

# Sehschärfebestimmung mit Freiburger Visustest, Bailey-Lovie-Tafel und Landoltring-Tafel

Wolfgang Wesemann

## *Visual Acuity Measured Via the Freiburg Visual Acuity Test (FVT), Bailey Lovie Chart and Landolt Ring Chart*

### Zusammenfassung

**Hintergrund:** Um verschiedene Methoden zur Korrektur von Refraktionsfehlern des Auges miteinander vergleichen zu können, sind Verfahren zur genauen und reproduzierbaren Sehschärfepfung erforderlich. **Methoden:** Der binokulare Visus von 130 Versuchspersonen ohne pathologische Augenveränderungen wurde mit dem Freiburger Visustest (FVT), einer Landoltring-Tafel (vier Orientierungen) und der Bailey-Lovie-Tafel unter Laborbedingungen gemessen. Die Reproduzierbarkeit des FVT wurde durch Wiederholungsmessungen überprüft. **Ergebnisse:** Im Mittel über alle Personen ergab sich eine Sehschärfe von  $1,93 \pm 0,03$  (FVT),  $1,82 \pm 0,03$  (Landoltring-Tafel) sowie  $1,48 \pm 0,02$  (Bailey-Lovie-Tafel). Bei Wiederholungsmessungen lagen 50% aller Einzelwerte des FVT innerhalb von  $\pm 0,35$  Visusstufen vom Visusmittelwert. 95% lagen innerhalb von  $\pm 1,0$  Visusstufen. Ergebnisse früherer Studien werden diskutiert. **Schlussfolgerungen:** Der Freiburger Visustest liefert im Mittel um 0,25 Visusstufen höhere, die Bailey-Lovie-Tafel um 0,9 Visusstufen niedrigere Visuswerte als die Landoltring-Tafel. Berücksichtigt man die von der DIN EN ISO 8597 [8] zugelassene Toleranz von 0,5 Visusstufen, so sind der FVT und die Landoltring-Tafel äquivalent. Da die Reproduzierbarkeit des FVT sehr hoch ist und die Messung im Gegensatz zu den anderen Verfahren auch Visuszwischenwerte erfasst, kann der FVT als Referenzmethode für vergleichende Untersuchungen empfohlen werden.

### Schlüsselwörter

Sehschärfe · Visus · Freiburger Visustest · Bailey-Lovie-Tafel · Landoltring · Hartmann-Nase

### Abstract

**Introduction:** If different ways for correcting refractive errors of the human eye have to be compared, accurate and reproducible measurement procedures are necessary. **Methods:** Binocular visual acuity of 130 students without pathologies was measured with the Freiburg Visual Acuity Test, the Bailey-Lovie chart and a Landolt ring chart (4 orientations). The reproducibility of the FVT was determined by repeated measurements. **Results:** The average visual acuity was  $1.93 \pm 0.03$  (= 20/10.4) with the FVT,  $1.82 \pm 0.03$  (= 20/11) with the Landolt ring chart, and  $1.48 \pm 0.02$  (= 20/13.5) with the Bailey-Lovie chart. 50% of all repeated measurements with the FVT were within an interval of  $\pm 0.035$  logMAR from the mean value. 95% were within  $\pm 0.1$  logMAR. Results of earlier studies are discussed. **Conclusion:** On average, visual acuity values found with the Freiburg Visual Acuity Test were slightly larger as compared to the Landolt ring chart (difference = 0.025 logMAR). Taking the maximal difference of 0.05 logMAR tolerated by the international standard DIN EN ISO 8597 [8] into account, both tests are equivalent. The results found with the Bailey-Lovie chart were substantially lower as compared to the Landolt ring chart (difference = 0.09 logMAR). The Freiburg Visual Acuity Test has a high reproducibility and measures visual acuity on a continuous scale that is not limited to the traditional visual acuity steps. Thus, it can be recommended as a reference procedure for comparative visual acuity studies.

### Key words

Visual acuity · Freiburg visual acuity test · Bailey-Lovie chart · Landolt ring

### Institutsangaben

Höhere Fachschule für Augenoptik Köln (HFAK) (Direktor: PD Dr. rer. nat. W. Wesemann)

### Widmung

Herrn Prof. Dr. Josef Reiner zum 81. Geburtstag gewidmet

### Korrespondenzadresse

PD Dr. rer. nat. Wolfgang Wesemann · Höhere Fachschule für Augenoptik Köln (HFAK) · Bayenthalgürtel 6–8 · 50968 Köln · E-mail: wesemann@hfak.de

**Eingegangen:** 6. Mai 2002 · **Angenommen:** 13. August 2002

### Bibliografie

Klin Monatsbl Augenheilkd 2002; 219: 660–667 © Georg Thieme Verlag Stuttgart · New York · ISSN 0023-2165

## Einleitung

Die klassischen Verfahren zur Korrektur von Refraktionsfehlern sind die Brille oder Kontaktlinsen. Seit einiger Zeit gibt es auch alternative Verfahren wie z.B. multifokale Intraokularlinsen oder die refraktive Hornhautchirurgie. In der Entwicklung sind außerdem Verfahren zur wellenfrontgesteuerten Hornhautchirurgie, mit denen der Visus möglicherweise über das übliche Maß hinaus gesteigert werden kann.

Um den Erfolg einer Korrektur überprüfen zu können, ist eine möglichst genaue und reproduzierbare Methode zur Visusbestimmung erforderlich. Eine genaue Methode ist besonders wichtig, wenn man zwei konkurrierende Verfahren miteinander vergleichen möchte.

Der Freiburger Visustest ist ein computergestütztes Verfahren zur Bestimmung der Sehschärfe, das die anzubietende Optotypengröße nach einer Optimalstrategie auswählt und auf einem Bildschirm darstellt. Das Verfahren arbeitet selbsttätig. Die Arbeit des Untersuchers beschränkt sich auf die Eingabe der Antworten des Prüflings.

Ziel der hier vorgelegten Arbeit war es, die Messgenauigkeit und die Reproduzierbarkeit dieses Tests durch Vergleich mit herkömmlichen Verfahren festzustellen.

## Versuchspersonen und Methoden

### a) Freiburger Visustest (FVT)

Der Freiburger Visustest (FVT) ermöglicht eine computerunterstützte Bestimmung der Sehschärfe mit Landoltringen in vier oder acht Orientierungen. Das Programm wurde von Bach [2,3] entwickelt. Es ist kostenlos über das Internet erhältlich (<http://www.ukl.uni-freiburg.de/aug/mb/fat/>), läuft aber derzeit nur auf Apple Computern.

Zur Messung wird ein „intelligentes“ Einschachtelungsverfahren angewandt, das als „Best PEST“ bezeichnet wird (PEST = parameter estimation by sequential testing, [17]). Das Programm zeigt den Visus nach einer vom Benutzer eingestellten Anzahl von Fragen auf dem Bildschirm an. Auf Wunsch kann dieser Messwert automatisch in einen Wert umgerechnet werden, den man erhalten hätte, wenn eine Messprozedur nach DIN EN ISO 8596 [7] angewandt worden wäre.

### Darstellung der Landoltringe beim Freiburger Visustest

Kleine Landoltringe können auf einem normalen Computermonitor eigentlich nicht gut dargestellt werden, da die runde Form der Ringe nicht zu der vorgegebenen quadratischen Pixelstruktur des Bildschirms passt. Der Freiburger Visustest verwendet ein als „Anti-Aliasing“ bezeichnetes Verfahren, das dieses Problem minimiert [4]. Bei diesem Verfahren werden die scharfkantigen Ecken, die auf dem Pixelraster des Monitors eigentlich entstehen, durch zusätzliche Grauwerte vermindert. So können auch Landoltringgrößen dargestellt werden, die zwischen den DIN-Visustufen liegen. Nähere Erläuterungen zu diesem Verfahren sind in der Bildunterschrift von Abb. 1 aufgeführt.

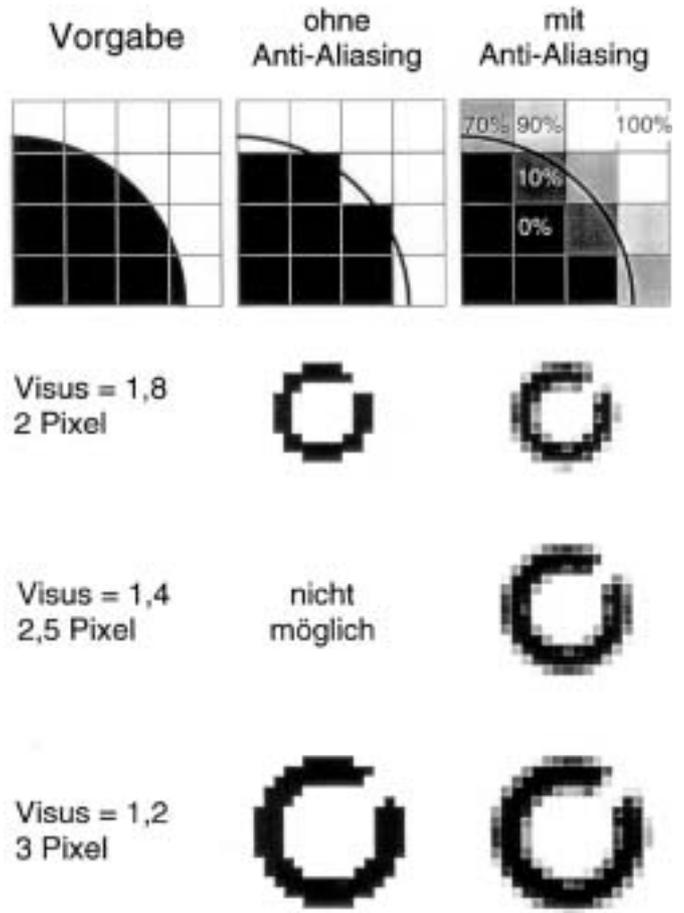


Abb. 1 Anschauliche Darstellung des „Anti-Aliasing“-Verfahrens beim Freiburger Visustest. Das Verfahren dient dazu, sehr kleine Optotypen, deren Gestalt sich nicht mehr richtig mit der vom Bildschirm vorgegebenen Pixelgröße darstellen lässt, angenähert darzustellen. Oben links: Vorgabe des anzuzeigenden schwarzen Objekts auf dem Pixelraster des Bildschirms. Oben Mitte: Schlechte Darstellung des runden Objekts. Jedes Pixel, das zu mehr als 50% vom Objekt überdeckt wird, ist schwarz. Alle anderen Pixel werden weiß dargestellt. Oben rechts: Darstellung mit „Anti-Aliasing“. Nur die Pixel, die vollständig vom Objekt überdeckt werden, sind schwarz. Alle anderen Pixel des Bildschirms zeigen einen Grauwert, der gleich der Prozentzahl der vom Objekt überdeckten Fläche ist. Zweite bis vierte Reihe: Stark vergrößerte Bildschirmdarstellung von Landoltringen auf einem handelsüblichen Monitor. Mit Anti-Aliasing wird die Form besser wiedergegeben. Mit diesem Verfahren können auch Zwischengrößen dargestellt werden, die eigentlich nicht zum Pixelraster des Bildschirms passen (Abb. aus [2] mit freundlicher Erlaubnis).

### b) Landoltring-Tafel

Als zweites Verfahren zur Sehschärfestimmung wurden zwei kommerziell erhältliche Landoltring-Tafeln eingesetzt. Eine Tafel enthielt Landoltringe bis zum Visuswert 1,25. Zusätzlich wurde eine weitere Landoltring-Tafel eingesetzt, die eigentlich zur Bestimmung der Nahsehschärfe aus 40 cm gedacht war. Im Laufe unserer Messungen zeigte sich, dass viele unserer Probanden mehrere Reihen auf der Nahprobe auch aus der Ferne richtig lesen konnten. Durch die beiden Tafeln wurden alle Visuswerte von ca. 0,1 – 5,0 abgedeckt. Auf beiden Tafeln waren die Landoltringe, abweichend von der derzeit geltenden DIN-Vorschrift, nur in vier Orientierungen abgedruckt. Jede Zeile enthielt fünf Landoltringe.

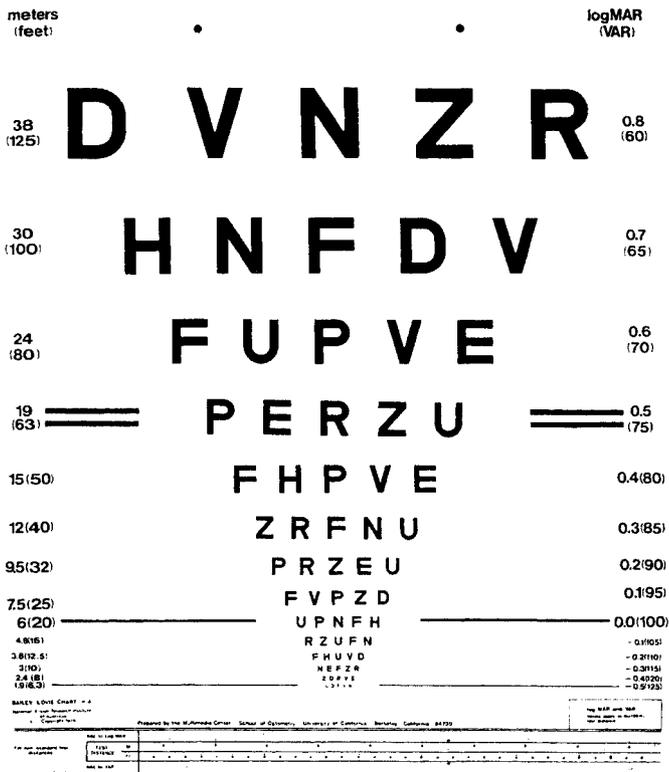


Abb. 2 Bailey-Lovie-Tafel. Der Abstand der Optotypen zueinander und der Abstand der Zeilen voneinander ist proportional zur jeweiligen Optotypengröße.

### c) Bailey-Lovie-Prüftafel

Das dritte Verfahren zur Sehschärfebestimmung war die in den USA weit verbreitete Bailey-Lovie-Tafel (Abb. 2). Diese Tafel hat folgende charakteristische Merkmale:

1. Die Größenänderung der Optotypen ist normgerecht, d. h. bei einem Sprung um zehn Visusstufen ändert sich die Optotypengröße um das 10fache. Der Faktor der Größenänderung pro Visusstufe beträgt 1,26.
2. Die einzelnen Buchstaben in jeder Reihe sind nach Herstellerangaben fast gleich gut erkennbar.
3. In jeder Reihe werden fünf Buchstaben angeboten.
4. Der Abstand der Sehzeichen zueinander und der Abstand der Reihen voneinander ist proportional zur Sehzeichengröße.

Der letzte Punkt ist das charakteristische Kennzeichen der Bailey-Lovie-Tafel. Durch das konstante Verhältnis von Sehzeichengröße und Abstand führt eine Veränderung der Prüfentfernung nicht zu einer Veränderung der geometrischen Proportionen der Prüftafel. Deshalb kann die Tafel in einer beliebigen Entfernung verwendet werden. Dies ist z. B. günstig für die Sehschärfeprüfung von Amblyopen, deren Visus durch den „Crowding-Effekt“ beeinflusst wird<sup>1</sup>. Da der Abstand der Buchstaben in jeder Reihe gleich der Buchstabenbreite ist, beeinflusst der Crowding-Effekt den Visus in jeder Prüfentfernung gleich stark. Bei Sehbehinderten wird die Tafel in den USA oft aus kurzer Distanz (z. B. Prüfentfernung 1 m) benutzt.

<sup>1</sup> Mit dem Wort „Crowding-Effekt“ (von engl.: crowd = eine große Anzahl von Personen oder Objekten, die dicht zusammen stehen) wird in der physiologischen Optik die Tatsache bezeichnet, dass – besonders bei amblyopen Augen – die gemessene Sehschärfe bei sehr nahe beieinander stehenden Optotypen um mehrere Visusstufen niedriger sein kann als bei frei stehenden Einzelzeichen [11]. Im deutschen Sprachraum bezeichnet man die Auswirkungen des „Crowding-Effekts“ oft auch als „Trennschwierigkeiten“. Die Stärke der Trennschwierigkeiten hängt vom Abstand der Optotypen ab. Den maximalen Crowding-Effekt findet man bei einem Optotypenabstand von etwa 2,6 Winkelminuten.

Wie bei amerikanischen Sehprobentafeln üblich, ist der Visuswert der Optotypen auf der Bailey-Lovie-Tafel nicht abgedruckt. Stattdessen ist die Normalentfernung der Sehzeichen, also die Entfernung, aus der ein Mensch mit dem Visus 1,0 die Zeichen gerade noch erkennen kann, links neben jeder Zeile in Metern und Fuß angegeben. Der Sehschärfewert jeder Zeile ergibt sich dann über die Formel

$$\text{Visus} = \frac{\text{Prüfentfernung}}{\text{Normalentfernung}}$$

In den USA wird dieser Quotient meist nicht ausgerechnet, sondern als unausgerechneter Bruch auf die Verordnung geschrieben. Insgesamt befinden sich 14 Optotypenreihen auf der Tafel. Die Normalentfernungen reichen von 38 – 1,9 m. Bei einer Prüfentfernung von 5 m überdeckt die Tafel alle Visuswerte von 0,13 (= 5 m/38 m) bis 2,6 (= 5 m/1,9 m).

### d) Prüfzeichen „Hartmann-Nase“

Bei einer Teilgruppe von 66 Personen wurde außerdem ein Sehzeichen verwendet, das in der physiologischen Optik als „Hartmann-Nase“ bezeichnet wird. Dieses Prüfzeichen ist anschaulich die geschwärtzte „Innenform“ des Landoltrings (Abb. 3). Es konnte mit einer Spezialversion des Freiburger Visustests erzeugt werden. Die „Hartmann-Nase“ war in der Vergangenheit u. a. als Standardprüfzeichen im Dämmerungssehtestgerät „Nyktometer“ gebräuchlich.

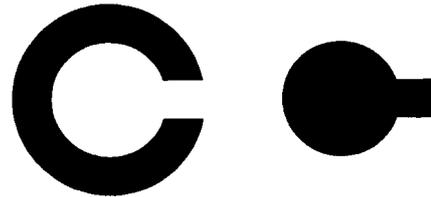


Abb. 3 Landoltring und „Hartmann-Nase“ mit gleich großem Erkennbarkeitsdetail.

### Versuchspersonen

Als Versuchspersonen wirkten 130 Studierende der HFAK im Alter von 23 – 27 Jahren mit. Alle Personen trugen ihre habituelle Brillen- oder Kontaktlinsenkorrektur bzw. eine Messbrille mit ihrer Korrektur. Vor den Versuchen wurden alle in die vorgeschriebene Methodik der Messungen genau eingewiesen.

Bei den Versuchspersonen handelte es sich um alle Studierenden von drei Jahrgängen unserer Schule. Keine Person aus diesen Jahrgängen wurde aus der Auswertung herausgenommen. Insofern sind die Ergebnisse auch ein repräsentatives Spiegelbild der Sehleistung dieser Personengruppe.

### Methodik der Messungen

Alle Messungen wurden binokular vorgenommen. Die Leuchtdichte des Monitors und der mit Kunstlicht beleuchteten Sehtesttafeln betrug 80 cd/m<sup>2</sup>. Dieser Wert liegt an der unteren Grenze des nach DIN EN ISO 8596 [7] erlaubten Bereichs. Der Ab-

stand zu den Optotypen betrug etwa 4,8 m. Die tatsächliche Prüferentfernung wurde vor dem Beginn jeder Messung mit einem Maßband genau gemessen und im Computerprogramm berücksichtigt bzw. in die obige Formel eingesetzt.

**Methodik Freiburger Visustest:** Beim Freiburger Visustest muss die Richtung der Öffnung des Landoltrings angegeben werden. Wenn die Öffnung nicht erkannt wird, muss geraten werden. Die Antwort: „Den Ring kann ich nicht erkennen“, ist nicht erlaubt. Die Ratewahrscheinlichkeit wird vom Programm automatisch berücksichtigt. Das Computerprogramm überlegt selbstständig, welche Landoltringgröße als nächste gezeigt werden soll. Es versucht, Landoltringe anzubieten, deren Größe in der Nähe der steilsten Stelle der psychometrischen Funktion liegt. An diesem Punkt ist die Erkennungshäufigkeit 56,25%. Durch diese Vorgehensweise wird der Informationszuwachs pro Messung optimiert und die Genauigkeit der Messung verbessert. Die Anzahl der Darbietungen pro Visusmessung betrug bei allen hier vorgelegten Messungen 24. Die vom Programm-Menü angebotene DIN-Rundung war abgeschaltet. Der ermittelte Visuswert wurde anschließend mit dem Faktor 0,89 multipliziert, um einen Wert zu erhalten, der dem Ergebnis einer DIN-Prozedur angepasst sein soll. Dieser Anpassungsfaktor folgte aus einer theoretischen Analyse der Unterschiede zwischen der DIN-Prozedur (Darbietung mit monoton abnehmender Optotypengröße) und dem FVT (Einabelungsstrategie).

**Methodik Landoltring- und Bailey-Lovie-Tafel:** Bei jeder Visusprüfung begann der Prüfling bei einer noch deutlich erkennbaren Zeile mit dem Vorlesen der Optotypen. Die Prüfung wurde dann solange fortgesetzt, bis weniger als drei Optotypen richtig benannt wurden. Bei sehr kleinen Optotypen musste im Zweifelsfall geraten werden. Die letzte Reihe, bei der noch drei oder mehr Sehzeichen richtig gelesen worden waren, definierte den Visus.

## Ergebnisse

Abb. 4 zeigt eine sortierte Darstellung der mit dem Freiburger Visustest bei allen 130 Personen gefundenen Sehschärfe. Dargestellt ist der Sehschärfemittelwert, der sich aus jeweils vier Wiederholungsmessungen ergab, und dessen Standardabweichung. Im Mittel über alle Messungen ergab sich ein Visus von 1,93. Die geringste Sehschärfe war 1,03, der Rekordhalter bei unseren Messungen erreichte eine Sehschärfe von 2,83. Insgesamt erreichten 7 der 130 Personen eine Sehschärfe von mehr als 2,5. Nur zwei der 130 Personen hatten eine binokulare Sehschärfe unter 1,25.

Abb. 5 stellt die Ergebnisse, die mit dem Freiburger Visustest gefunden wurden, den Ergebnissen gegenüber, die sich mit der Landoltring- und der Bailey-Lovie-Tafel ergaben. Bei der Betrachtung der Grafik sollte man daran denken, dass die Sehschärfe, die mit den Prüftafeln gemessen wurde, grundsätzlich in ganzen Visusstufen ansteigt, während der Freiburger Visustest auch die Zwischenwerte berücksichtigt.

Zusätzlich eingezeichnet sind zwei Regressionsgeraden, die aus physiologischen Gründen durch den Nullpunkt gelegt wurden.

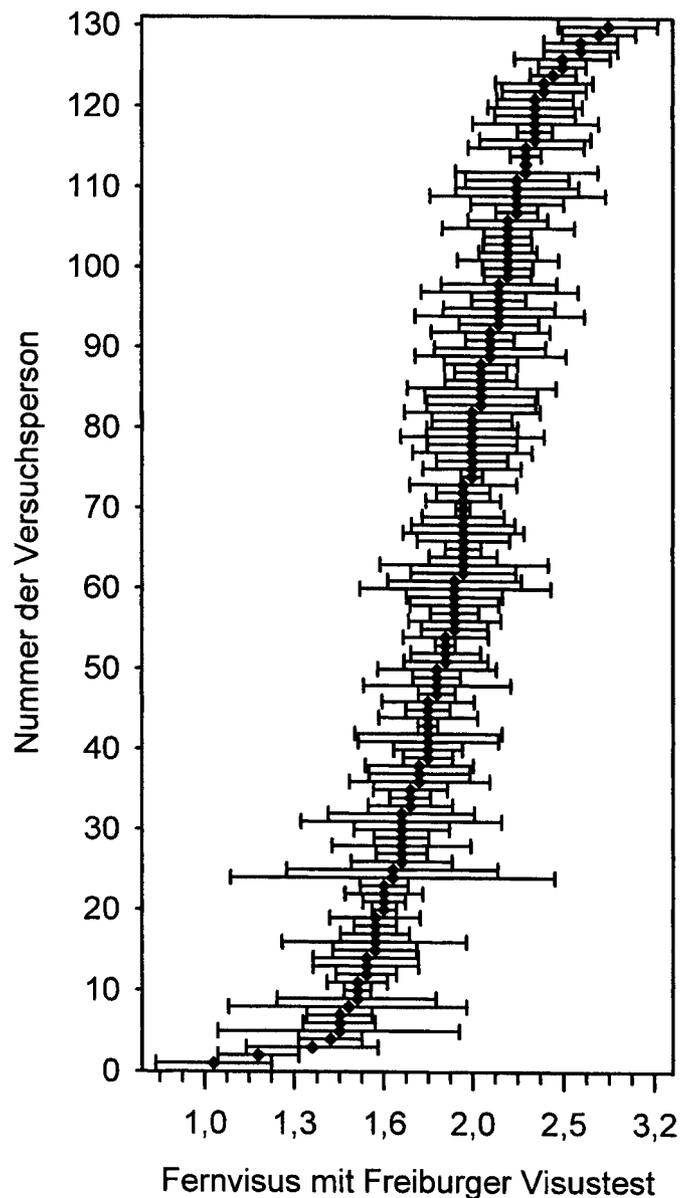


Abb. 4 Binokularer Visus gemessen mit dem Freiburger Visustest bei 130 Studierenden. Aufgetragen sind die Mittelwerte von jeweils vier Messungen und deren Standardabweichung. Die gemessenen Sehschärfen variieren von 1,03–2,83 (alle Ergebnisse wurden entfernungs- und DIN-korrigiert.)

Die eine Regressionsgerade nimmt an, dass die Ergebnisse des Freiburger Visustests fehlerfrei sind und die Ergebnisse der Vergleichstafel fehlerbehaftet. Bei der anderen Regressionsgeraden ist es genau umgekehrt.

Betrachtet man zunächst die obere Abb. 5 a, so erkennt man, dass mit dem Freiburger Visustest und der Landoltring-Tafel in etwa die gleichen Sehschärfeergebnisse gefunden wurden. Aus der unteren Abb. 5 b ergibt sich, dass die Sehschärfe, die mit der Bailey-Lovie-Tafel gefunden wurde, im Vergleich zum Freiburger Visustest systematisch niedriger ausfiel.

Im Mittel über alle 130 Personen ergaben sich die in Tab. 1 angegebenen Sehschärfen. Zusätzlich sind die Ergebnisse, die die Personen mit der höchsten und der niedrigsten Sehschärfe erreich-

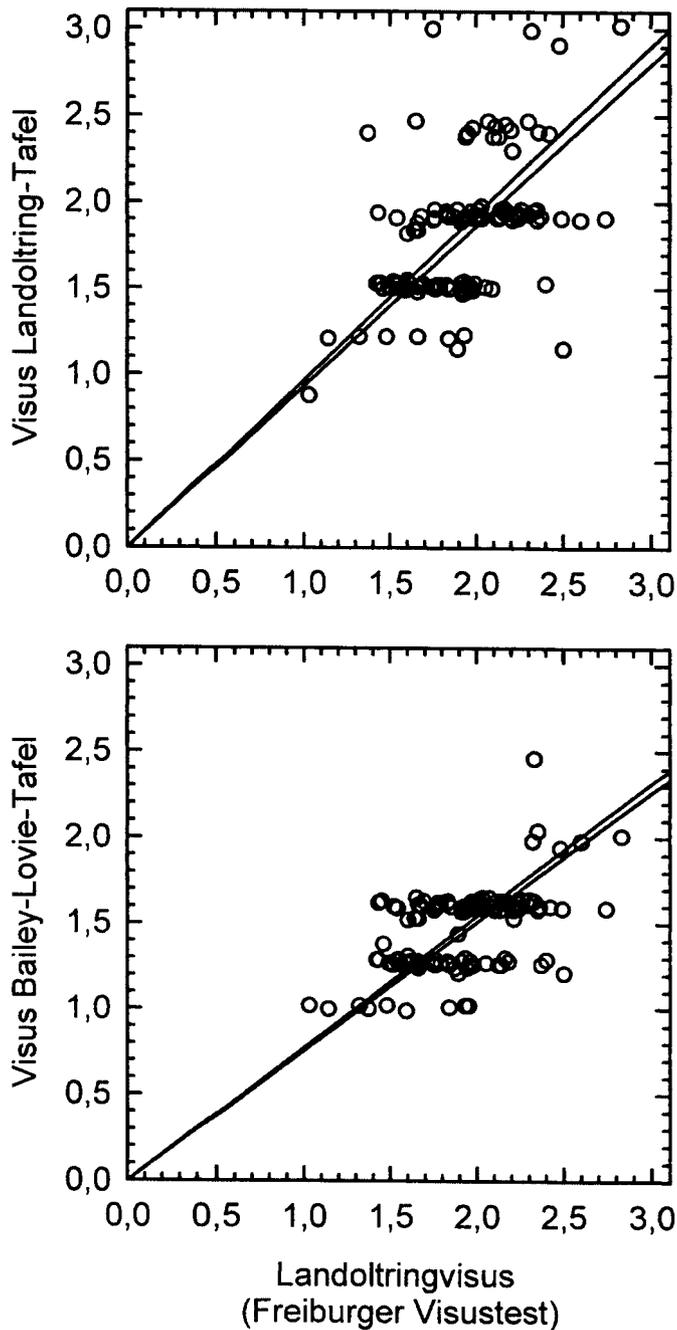


Abb. 5 Binokulare Sehschärfe gemessen mit drei verschiedenen Tests. **a)** Obere Abbildung: Vergleich Landoltring-Tafel mit Freiburger Visustest. **b)** Untere Abbildung: Vergleich Bailey-Lovie-Tafel mit Freiburger Visustest. Mit der Landoltringtafel und der Bailey-Lovie-Tafel ist die Messgenauigkeit auf ganze Visusstufen begrenzt. Der Freiburger Visustest ist nicht an die Visusstufen gebunden und liefert kontinuierliche Ergebnisse.

ten, aufgeführt. Mit dem Freiburger Visustest und der Landoltring-Tafel wurden im Mittel Sehschärfen von  $1,93 \pm 0,03$  bzw.  $1,82 \pm 0,03$  erreicht<sup>2</sup>. Die Differenz zwischen dem FVT und der Landoltring-Tafel beträgt 0,25 Visusstufen. Da nach DIN EN ISO 8597 [8] eine Differenz von 0,5 Visusstufen zulässig ist, können

<sup>2</sup> Vor der Mittelwertbildung wurden alle Visusergebnisse logarithmiert, da nur so das physiologisch richtige Ergebnis herauskommt.

Tab. 1 Binokularer Fernvisus von augengesunden Versuchspersonen (Leuchtdichte  $L = 80 \text{ cd/m}^2$ )

Testverfahren	Freiburger Visustest (Landoltringe)	Landoltring-Tafel mit vier Orientierungen	Bailey-Lovie-Tafel	Freiburger Visustest mit „Hartmann“-Nase
Sehschärfemittelwert	1,93	1,82	1,48	1,56
Prüfling mit dem kleinsten Visus	1,03	0,88	1,0	0,93
Prüfling mit dem höchsten Visus	2,83	3,0	2,46	–

beide Tests trotz dieses Unterschieds als äquivalent bezeichnet werden.

Die Bailey-Lovie-Tafel lieferte einen Visusmittelwert von  $1,48 \pm 0,02$  also einen Wert, der um 0,9 Visusstufen niedriger war als der Wert der Landoltring-Tafel.

Der mit der „Hartmann-Nase“ gefundene Visus betrug im Mittel über 66 Personen 1,56. Dieser Wert ist um 0,7 Visusstufen kleiner als der Landoltring-Visus.

Damit sind sowohl die Bailey-Lovie-Tafel als auch das Sehzeichen „Hartmann-Nase“ nicht äquivalent zu der von uns verwendeten Landoltring-Tafel und dem FVT.

#### Reproduzierbarkeit des Freiburger Visustests

Die Anzahl der Darbietungen beim FVT ist frei wählbar. Mit steigender Anzahl von Fragen steigt die Messgenauigkeit, da dem Programm dann mehr Informationen zur Berechnung des Visus vorliegen. Andererseits ermüdet eine zu hohe Anzahl von Fragen den Probanden und zieht die Messung in die Länge. Deshalb muss ein Kompromiss zwischen einer möglichst hohen Messsicherheit und einer möglichst kurzen Messzeit gewählt werden. In unseren Messungen war die Zahl der Darbietungen konstant auf 24 eingestellt.

Zur Überprüfung der Reproduzierbarkeit der Sehschärferegebnisse wurde die Messung mit dem FVT bei allen Probanden 4-mal wiederholt. Dadurch kann die Streuung der Einzelergebnisse ermittelt werden (Abb. 6). Zur Erleichterung der Interpretation wurde der Visusmittelwert jeder Versuchsperson auf  $10 \cdot \log(\text{Visus}) = 0$  normiert. Dann kann man die Abweichung der Einzelwerte vom Mittelwert in Abb. 6 direkt in DIN-Visusstufen ablesen.

Die Standardabweichung der Einzelmessungen in Abb. 6 beträgt im Mittel 0,52 Visusstufen. Bis auf einen Ausreißer wichen die Messwerte in keinem Fall um mehr als 1,7 Visusstufen vom wahren Wert ab. 50% aller Einzelergebnisse lagen innerhalb von  $\pm 0,35$  Visusstufen, 95% aller Messergebnisse innerhalb von  $\pm 1,0$  Visusstufen.

Das Histogramm ist nicht normal verteilt (Kolmogorov-Smirnov-Test/K-S-Distanz = 0,057, Exzess = 1,275, Schiefe = -0,291). Der

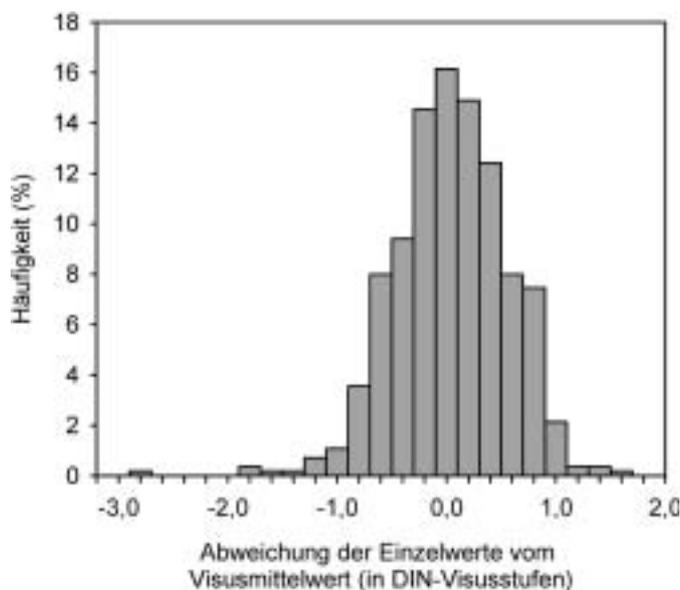


Abb. 6 Verteilung der Sehschärfemesswerte beim Freiburger Visustest. Die x-Achse ist in Visusstufen skaliert. Alle Einzelwerte wurden bezüglich des jeweiligen Mittelwerts normiert. 50% aller Werte liegen innerhalb von  $\pm 0,35$  Visusstufen, 95% innerhalb von 1,0 Visusstufen.

Exzess zeigt einen Werteüberschuss in der Nähe des Visusmittelwerts an.

## Diskussion

### Reproduzierbarkeit

Petersen [18] hat die Breite des Übergangsbereichs der psychometrischen Funktion der Sehschärfe mit  $\pm 1,5$  Visusstufen angegeben. Gemessen daran ist die Reproduzierbarkeit des Freiburger Visustests wesentlich besser ( $\sigma = \pm 0,52$  Visusstufen). Dadurch qualifiziert sich der Freiburger Visustest als Referenzmethode für vergleichende Untersuchungen.

Man könnte den Freiburger Visustest zum Beispiel sehr sinnvoll einsetzen, um eine Visusverbesserung durch die wellenfrontgesteuerte Hornhautchirurgie nachzuweisen. Auch kleine Änderungen in der Sehschärfe sollten sich, im Mittel über mehrere Wiederholungsmessungen, schnell abzeichnen. Bei solchen Studien sollte man aber darauf achten, dass die DIN-Rundung der Resultate, die der Freiburger Visustest anbietet, im Programmменю bewusst abgeschaltet wurde, und die Visuswerte erst nach dem Mitteln bei Bedarf in die DIN-Stufen umrechnet werden.

### Genauigkeit des Freiburger Visustests

Bei den hier vorgelegten Messungen ergaben sich sowohl mit dem Freiburger Visustest als auch mit der Landoltring-Tafel teilweise überraschend hohe Visuswerte. Wir hatten nicht damit gerechnet, dass so viele unserer Probanden auf eine Sehschärfe von über 2,0 kommen würden. Insofern erhebt sich die Frage, ob die eingesetzten Tests tendenziell zu hohe Werte anzeigen.

Mit dem Freiburger Visustest fanden wir im Mittel einen Visus von 1,93. Mit der Landoltring-Tafel ergab sich 1,82. Der Unterschied ist klein, aber statistisch signifikant ( $p < 0,001$ ). Berücksichtigt man zusätzlich, dass unsere Landoltring-Tafel nur vier Orientierungen aufwies, so scheinen beide Verfahren einen geringfügig höheren Visus zu liefern, als mit Landoltringen in acht Orientierungen zu erwarten wäre. Die systematische Abweichung könnte man beim FVT durch eine geeignete Wahl des DIN-Korrekturfaktors beeinflussen. Möglicherweise ist der derzeit angewandte DIN-Korrekturfaktor von 0,89 ein wenig zu groß.

Warum ist der Visus mit der Bailey-Lovie-Tafel niedriger? Mit der Bailey-Lovie-Tafel ergab sich eine Sehschärfe, die um 1,15 Visusstufen niedriger war als beim FVT und um 0,9 Visusstufen niedriger war als bei der Landoltring-Tafel. Eine Erklärung für die geringere Sehschärfe liegt möglicherweise im Problem der Kontureninteraktion [12], denn nahe beieinander stehende Optotypen geben Anlass zu Trennschwierigkeiten. Bei der Bailey-Lovie-Tafel ist der Abstand der Buchstaben gleich der Breite der Sehzeichen. Bei einem Visuswert von 2,0 ist der Buchstabenabstand also nur etwa 2,5 Winkelminuten. Dieser Abstand ist exakt der Wert, bei dem die Beeinträchtigung der Erkennbarkeit von Optotypen durch benachbarte Konturen maximal ist [11].

### Warum ist der Visus mit der Bailey-Lovie-Tafel niedriger?

Vergleich mit Ergebnissen anderer Autoren Visusergebnisse, die unter standardisierten Bedingungen an augengesunden Versuchspersonen ermittelt wurden, wurden auch von anderen Autoren veröffentlicht. Diese Werte sind aber aufgrund verschiedener Sehzeichen und Messverfahren nicht direkt mit den hier vorgelegten Ergebnissen vergleichbar. Nach von Benda [5] erreicht man bei Prüfung mit Landoltringen im Normalfall den Visus 1,9. Rassow, Cavazos u. Wesemann [19] bestimmten die psychometrische Funktion der Sehschärfe für Buchstaben und Landoltringe. Bei dieser Untersuchung wurden pro Visusbestimmung jeweils 1080 verschiedene Optotypen dargeboten. Für Landoltringe ergab sich bei zehn Studenten im Mittel ein Visus von  $1,99 \pm 0,33$ . Für serifenlose Buchstaben nach DIN 1451, Teil 2 [6] betrug der Visusmittelwert  $2,11 \pm 0,29$ .

### Vergleich mit Ergebnissen anderer Autoren

Sowohl Aulhorn [1] als auch Hauser et al. [14] untersuchten die Sehschärfe in Abhängigkeit von der Leuchtdichte des Testfeldes. Deren Ergebnisse sind in Abb. 7 zusammenfassend dargestellt. Bei niedrigen Leuchtdichten unterscheiden sich die Visusergebnisse aufgrund der unterschiedlichen Darbietungsbedingungen recht deutlich. Bei photopischen Leuchtdichten nähern sich beide Kurve aber immer mehr an. Bei Leuchtdichten größer als  $100 \text{ cd/m}^2$  wurde im Mittel etwa der Visus 2,0 erreicht.

Hartmann [13] bestimmte die Sehschärfe in Abhängigkeit vom Kontrast der Optotypen (Abb. 9). Die Sehschärfe stieg bei einer Erhöhung des Kontrasts zunächst steil an. Schließlich nähert sich der Visus einem Grenzwert, der in Abb. 8 je nach Versuchsperson zwischen 2,0 und 2,8 lag.

Insgesamt gesehen stimmen die von uns erzielten Visusergebnisse mit denen in älteren Studien gefundenen sehr gut überein.

Anmerkungen zur Abstufung der Visuswerte Bei Personen mit hoher Sehschärfe hat man bei Wiederholungsmessungen manchmal den Eindruck, als ob die Einzelergebnisse stark schwanken würden. Dieser Eindruck täuscht aber, denn bei hohen Visuswerten vergrößert sich die Schrittweite der DIN-Visusstufen (DIN-Visusstufen: 1,0; 1,25; 1,6; 2,0; 2,5; 3,2). Der Er-

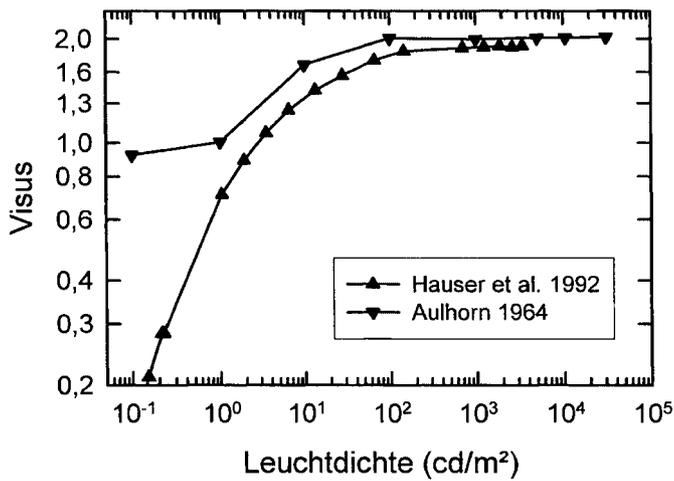


Abb. 7 Abhängigkeit der monokularen Sehschärfe von der Leuchtdichte. Messergebnisse von zwei Arbeitsgruppen [1, 14]. Im Bereich geringer Leuchtdichten unterscheiden sich die gemessenen Sehschärfen aufgrund verschiedener Messbedingungen sehr stark. Im Bereich hoher Leuchtdichten ergab sich bei beiden Untersuchungen im Mittel ein Visus von etwa 2,0.

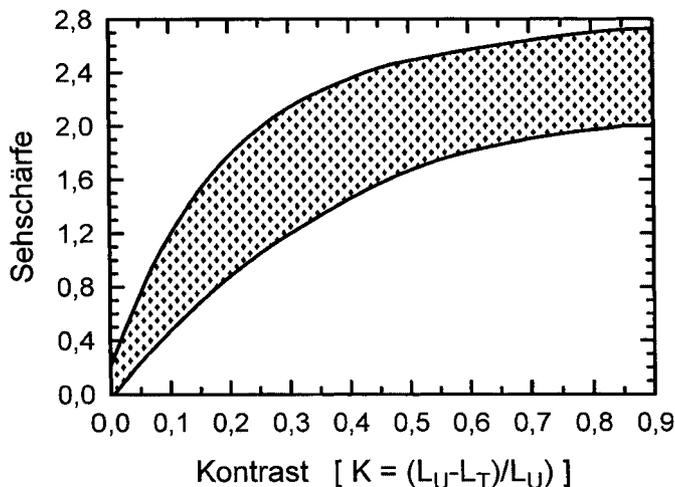


Abb. 8 Abhängigkeit der Sehschärfe vom Weber-Kontrast der Optotypen. Die bei verschiedenen Personen gefundenen Werte lagen innerhalb des schraffierten Bereichs [13].

kennbarkeitsunterschied zwischen zwei aufeinander folgenden Zeilen bleibt aber immer gleich. Diesen konstanten Erkennbarkeitsunterschied zwischen zwei Zeilen auf der Visustafel erreicht man, indem die Optotypengröße von einer Reihe zur anderen um den Faktor  $10\sqrt{10} = 1,26$ , also um 26%, verändert wird.

Eine Analyse unserer in Visusstufen umgerechneten Ergebnisse ergab, dass die Schwankungen der Einzelergebnisse beim FVT unabhängig von der Höhe des jeweiligen Visus sind.

**Praktische Hinweise zur Benutzung des Freiburger Visustests**  
Bei der Arbeit mit dem FVT hat sich gezeigt, dass man folgende Hinweise beachten sollte:

1. Wenn zu Beginn der Messung bei großen Landoltringen aus Versehen eine falsche Antwort gegeben wird oder der Untersucher die richtige Antwort falsch eingibt, ist es günstiger, die Messung abzubrechen und neu zu beginnen. Ansonsten sucht

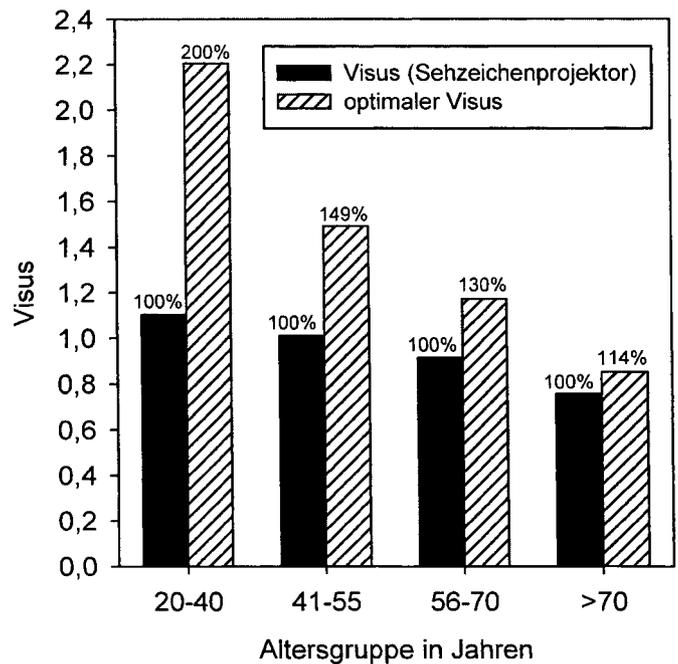


Abb. 9 Vergleich der Sehschärfe, die bei der optimalen Leuchtdichte erzielt wurde, mit der Sehschärfe, die mit einem kommerziell erhältlichen Sehzeichenprojektor gemessen wurde. Bei „jungen“ Erwachsenen unterscheiden sich die Ergebnisse erheblich (nach Hauser et al. [14]).

der Computeralgorithmus den Visus an der falschen Stelle und verschwendet unnötige Suchzeit.

2. Beim FVT kann der Prüfling seine Antworten über eine zusätzliche Tastatur selbst eingeben. Diese elegante Methode ist für ungeübte Personen unserer Meinung nach nicht empfehlenswert, da der Patient dann ständig vom Monitor zur Tastatur hin und her blickt. So muss die Akkommodation ständig arbeiten und die Visusergebnisse fallen, besonders bei älteren Personen, niedriger aus.

### Warum bleibt eine hohe Sehschärfe manchmal unentdeckt?

Die vorgelegten Ergebnisse haben gezeigt, dass optisch gut korrigierte junge Erwachsene häufig Sehschärfewerte über 1,6 erreichen. Warum bleibt dies bei einer normalen Augenuntersuchung oft unbemerkt?

Ein Grund ist, dass die üblichen Sehzeichenprojektoren überwiegend beim Visus 1,6 enden. Wenn ein Prüfling tatsächlich einen höheren Visus hat, ist das im Praxisalltag nicht feststellbar.

Ein zweiter Grund liegt in der Messprozedur. Viele Augenärzte werten eine Reihe genau dann als richtig gelesen, wenn alle Optotypen richtig erkannt wurden. Visusstufen, die nur zum Teil richtig gelesen wurden, werden hingegen häufig durch den Zusatz „partiell“ (z. B. Visus = 1,6 p) gekennzeichnet. Wenn man genau nach der DIN-Vorschrift zur gutachterlichen Sehschärfestimmung [9,10] vorgehen will, muss man eine Reihe aber bereits als richtig werten, wenn 60% der dargebotenen Zeichen richtig vorgelesen wurden.

Drittens macht sich die Tatsache, dass in dieser Untersuchung die Sehschärfe binokular gemessen wurde, bemerkbar, denn

nach Home [15] ist die binokulare Sehschärfe für kontrastreiche Sehzeichen auf hellem Umfeld im Mittel um ca. 7,5% höher als die monokulare.

Ein vierter Grund ist die manchmal unzureichende Technik älterer Sehzeichenprojektoren. Bei kleinen Buchstaben sind der Kontrast und die Kantenschärfe der Optotypen möglicherweise nicht optimal. Es könnte auch sein, dass die verwendeten Ziffern und Buchstaben nicht richtig nach DIN EN ISO 8597 [8] an den Landoltring angeschlossen sind.

Ferner besteht zwischen der Sehschärfe, die bei optimaler Leuchtdichte des Testfeldes erzielt wird, und der Sehschärfe, die man mit einem Sehzeichenprojektor erreicht, nach Hauser et al. [14] ein Unterschied (Abb. 9). In der Altersgruppe von 20–40 Jahren erhielt Hauser bei optimalen Lichtverhältnissen im Mittel einen Visus von 2,2. Mit einem Sehzeichenprojektor lag der gemessene Visus hingegen nur bei 1,1. Interessanterweise wurde diese Diskrepanz mit zunehmendem Alter immer kleiner.

Weiterhin hat die Tatsache, dass unsere Versuchspersonen optisch besonders gut korrigiert waren, sicher einen visussteigernden Effekt.

Schließlich mag die Tatsache, dass es sich bei unseren Versuchspersonen um geübte Beobachter gehandelt hat, einen kleinen Einfluss gehabt haben. Der maximale Übungseffekt bei der Visusbestimmung ist nach Ergebnissen von Rassow, Cavazos u. Wesemann [19] aber wesentlich kleiner als eine halbe Visusstufe.

Der Verdacht, dass unsere Versuchspersonen die Optotypen des FVT auswendig lernen konnten, kann aber mit Sicherheit ausgeschlossen werden, da jeder neue Landoltring beim Freiburger Visustest durch den Computer nach dem Zufallsprinzip stets neu erzeugt wird und die neue Orientierung weder dem Untersucher noch dem Untersuchten vor der eigentlichen Darbietung bekannt sind.

## Literatur

- <sup>1</sup> Aulhorn E. Über die Beziehung zwischen Lichtsinn und Sehschärfe. Graefes Archiv Ophthalmol 1964; 167: 4–74 (zitiert nach Knoche u. Lindner 1980)
- <sup>2</sup> Bach M. Der Freiburger Visustest. Der Ophthalmologe 1995 a; 92: 174–178
- <sup>3</sup> Bach M. The „Freiburg Visual Acuity Test“ – Automatic Measurement of visual acuity. Optometry and Vision Science 1995 b; 73: 49–53
- <sup>4</sup> Bach M. Anti-aliasing and dithering in the „Freiburg Visual Acuity Test“. Spatial Vision 1997; 11: 85–89
- <sup>5</sup> von Benda H. Verfahren zur Sehschärfebestimmung. Bücherei des Augenarztes. Beiheft der Klin Mbl Augenheilkunde 1971; 58
- <sup>6</sup> DIN 1451, Teil 2. Schriften, Serifenlose Linear-Antiqua, Verkehrsschrift. Typefaces. Lineal Linear-Antiqua, Lettering for transportation. Berlin: Deutsches Institut für Normung, 1986
- <sup>7</sup> DIN EN ISO 8596, Sehschärfeprüfung. Das Normsehzeichen und seine Darbietung. Berlin, Köln: Beuth Verlag, Mai 1996
- <sup>8</sup> DIN EN ISO 8597, Sehschärfeprüfung. Verfahren zum Anschluss von Sehzeichen. Berlin, Köln: Beuth Verlag, Februar 1996
- <sup>9</sup> DIN 58 220, Sehschärfebestimmung Teil 3, Prüfung für Gutachten. Berlin, Köln: Beuth Verlag, Januar 1997
- <sup>10</sup> DOG. Empfehlungen der Deutschen Ophthalmologischen Gesellschaft zur Qualitätssicherung bei sinnesphysiologischen Untersuchungen und Geräten. Der Ophthalmologe 2000; 97: 923–964
- <sup>11</sup> Haase W, Hohmann A. Ein neuer Test (C-Test) zur quantitativen Prüfung der Trennschwierigkeiten („crowding“) – Ergebnisse bei Ambylopie-Ametropie. Klin Mbl Augenheilkunde 1982; 180: 210
- <sup>12</sup> Haase W, Rassow B. Sehschärfe. In: Kaufmann H (Hrsg): Strabismus, Stuttgart: Enke, 1995
- <sup>13</sup> Hartmann E. Beleuchtung und Sehen am Bildschirmarbeitsplatz. München: Goldmann, 1978
- <sup>14</sup> Hauser B, Ochsner H, Zrenner E. Der Blendvisus. Klin Mbl Augenheilkunde 1992; 200: 105–109
- <sup>15</sup> Home R. Binocular summation: A study of contrast sensitivity, visual acuity and recognition. Vision Research 1978; 18: 579–585
- <sup>16</sup> Knoche H, Lindner H. Fehlermöglichkeiten bei der Sehschärfeprüfung an verschiedenen Prüfplätzen. Augenoptik 1980; 97: 35–39
- <sup>17</sup> Liebermann HR, Pentland AP. Microcomputer-based estimation of psychophysical thresholds. The best PEST. Behav Res Math Instrum 1982; 14: 21–25
- <sup>18</sup> Petersen J. Die Zuverlässigkeit der Sehschärfebestimmung mit Landolt-Ringen. Stuttgart: Enke, 1993
- <sup>19</sup> Rassow B, Cavazos H, Wesemann W. Normgerechte Sehschärfebestimmung mit Buchstaben. Augenärztl Fortbildung 1990; 13: 105–114