Untersuchungsmethoden und Sinnesphysiologie

Normgerechte Sehschärfenbestimmung mit Buchstaben

B. Rassow, H. Cavazos*, W. Wesemann**

Abteilung für Medizinische Optik der Universitäts-Augenklinik Hamburg

Nach den Regeln der DIN 58220, Teil 2, wurde ein Satz von zehn Großbuchstaben (C, D, E, F, K, N, P, U, V, Z) der Schriftart DIN 1451 (Serifenlose Linear-Antiqua, Schriftform B, Mittelschrift) in seiner Erkennbarkeit mit dem Landolt-Ring verglichen. Das Anschlußverfahren ergibt, daß der Buchstabensatz bei gleicher Gesamthöhe (wie der Landolt-Ring) 4,7 % leichter zu erkennen ist als der Landolt-Ring. Damit ist der Buchstabensatz innerhalb des von der Norm geforderten Toleranzbereiches von ± 0,05 log Sehwinkeleinheiten dem Landolt-Ring-Sehtest äquivalent. Für Sehtestungen, bei denen nur acht statt zehn verschiedene Buchstaben benötigt werden, werden die Buchstaben C, D, E, K, N, P, U, Z vorgeschlagen.

Einleitung

Erste Versuche einer Standardisierung der subjektiven Sehschärfebestimmung mit Hilfe von verbindlichen Sehzeichen gehen auf Snellen [27] zurück. In der Folge untersuchten Green [10, 11] und Monoyer [19] bereits verschiedene Schriftarten von Buchstaben, aber erst Landolt [19] erkannte, daß ein Standardsehzeichen geschaffen werden muß, das bei verschiedenen Anbietungen in seinem Erkennbarkeitsdetail geringere Unterschiede aufweist als dies von Buchstabe zu Buchstabe der Fall ist. Er führte seinen „Cercle interrompu" ein, der 21 Jahre später beim Internationalen Ophthalmologenkongreß in Neapel [13] als Standardsehzeichen festgelegt wurde. Dieses mittlerweile nun schon über 90 Jahre alte Sehzeichen ist trotz verschiedenster Versuche, es durch ein anderes zu ersetzen – etwa durch das Snellen-E – bis zum heutigen Tag immer wieder bestätigt worden. Es wurde zum Beispiel im Jahre 1967 von einer Kommission der Deutschen Ophthalmologischen Gesellschaft (DOG), von der internationalen Standardisierungsorganisation [16] und in einer neuen Fassung der deutschen Norm [7] erneut zum Standard erklärt.

Den Vorteilen des Landolt-Ringes – gleiches Erkennbarkeitsdetail in allen acht Anbietungsrichtungen und geringe Richtungsabhängigkeit bei vollkorrigiertem Probanden – stehen aber auch erhebliche Nachteile gegenüber. So zeigte sich, daß der Test ohne eine genaue Erklärung oft nicht richtig verstanden wird und zahlreiche Probanden in der Prüfungssituation die Begriffe rechts und links verwechseln, insbesondere wenn diese noch mit den schrägen Richtungen verknüpft sind. Dies hat immer wieder dazu geführt, daß zusätzlich zum Landolt-Ring Ziffern- und Buchstabensehtests gefordert wurden.

In der DIN 58220 ist nun einerseits festgelegt worden, daß für gutachterliche Zwecke ausschließlich der Landolt-Ring verwendet werden soll. Andererseits sind aber für Sehtestungen und Vergleichsmessungen auch andere Sehzeichen zugelassen. Diese müssen aber, wenn die Sehtestung nach DIN geschehen soll, in einem in Teil 2 der oben genannten Norm angegebenen Verfahren in ihrem Sehwert an den Landolt-Ring angepaßt worden sein.

Im folgenden werden Untersuchungen beschrieben, die zum Ziel hatten, zehn Buchstaben der deutschen Normschrift „Serifenlose Linear-Antiqua, Mittelschrift, Schriftnorm B" [6] auszuwählen und diese nach dem in der Norm geforderten Verfahren an den Landolt-Ring anzuschließen.

Vorauswahl eines Buchstabensatzes

Das zentrale Problem bei der Verwendung von Buchstaben und Ziffern als Sehzeichen liegt in der „stark

* Jetzt: Dep. de Oftalmologia, Universidad Autonoma de Nuovo Leon, Monterrey, N. L., Mexico.
** Jetzt: Höhere Fachschule für Augenoptik, Köln-Bayenthal.

unterschiedlichen Erkennbarkeit auch bei gleicher Größe und Linienbreite" [8]. Mit der relativen Erkennbarkeit (bei Sloan [26] auch „relative legibility" genannt) haben sich zahlreiche Autoren beschäftigt, unter denen die Arbeiten von Hedin und Olsson [12], Krochmann und Lieske [17] und Roloff [22] hier besonders genannt seien. Es ist klar, daß die relative Erkennbarkeit ganz erheblich von der ausgewählten Schriftform abhängt. Vos [28] bedauert deshalb auch zu Recht das Chaos, das sich durch die Verwendung der unterschiedlichsten Schriftarten auf dem Gebiet der Sehschärfenbestimmung herausgebildet hat. Wir haben deshalb an den Beginn unserer Überlegungen die Auswahl der Schriftform gesetzt und die in DIN 1451, Ausgabe Februar 1986, angegebene „Verkehrsschrift" (serifenlose Linear-Antiqua, Schriftform B, Mittelschrift) gewählt. Die Gründe hierfür sind, daß diese Schrift schon in früheren Empfehlungen der DOG [1] nach Voruntersuchungen von Schober [25] empfohlen wurde und daß sie inzwischen nach Auskunft der Bundesanstalt für das Straßenwesen nicht nur in der Bundesrepublik, sondern in zunehmendem Maße auch in anderen europäischen Ländern zur Beschriftung von Straßen- und Hinweisschildern aller Art verwendet wird.

Von Hedin und Olsson [12] ist die Reihenfolge der relativen Erkennbarkeit aller Großbuchstaben einer Schriftform gemessen worden, die der von uns gewählten Schrift sehr ähnlich ist. Das Ergebnis zeigt die Abbildung 1. Man erkennt leicht, daß bei der Suche nach einem Buchstabensatz, der eine möglichst gleiche relative Erkennbarkeit aufweisen soll, Buchstaben zwischen dem H und dem U in die engere Wahl genommen werden können. Trägt man diese Buchstaben in einer Tabelle auf und markiert weiterhin, welche Empfehlungen die DOG, die „British Standard Institution" [4] und die „National Academy of Sciences – National Research Council Comitee on Vision" [20] empfohlen haben, so kristallisiert sich heraus, daß einige Buchstaben offensichtlich bereits heute international bevorzugt werden (Tabelle 1).

In der letzten Spalte von Tabelle 1 sind die 14 Buchstaben eingetragen, die wir in einem Vorversuch auf gleiche relative Erkennbarkeit getestet haben. Das Ergebnis dieser Messung für diese 14 Buchstaben zeigt Abbildung 2. Es führte uns dazu, aus dieser Gruppe die Buchstaben H, O, R und T zu eliminieren und als Buchstabensatz nur die zehn Buchstaben C, D, E, F, K, N, P, U, V und Z für das Anschlußverfahren auszuwählen.

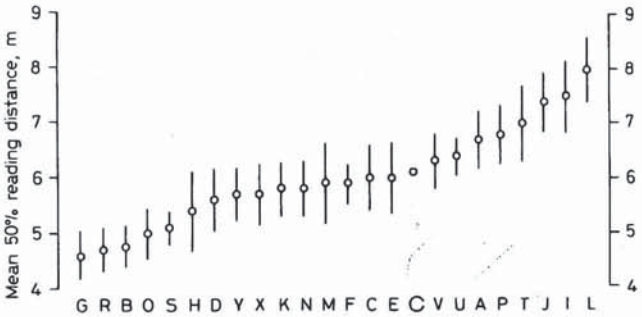

Abbildung 1. Erkennbarkeitsreihenfolge der Buchstaben und des Landolt-Ringes (nur vier Richtungen) nach Hedin 1984. Die vertikalen Linien zeigen die Standardabweichung [12].

	Buchstabenauswahl nach Hedin	DOG	BSI	NAS-NCR	Eigener Vorschlag
	C	–	–	C	C
	D	D	D	D	D
	E	E	–	–	E
	F	F	F	–	F
	H	H	H	H	(H)
	K	K	K	K	K
	M	–	–	–	–
	N	N	N	N	N
	–	O	O	O	(O)
	–	P	P	–	P
	–	R	R	R	(R)
	–	–	–	S	–
	–	T	T	–	(T)
	U	U	U	–	U
	V	–	–	V	V
	X	X	–	–	–
	Y	–	–	–	–
	–	Z	–	Z	Z
Anzahl	12	13	10	10	14

Tabelle 1. Die Buchstaben etwa gleicher relativer Erkennbarkeit nach Hedin [12] und die Vorschläge über die Verwendung von Buchstaben für Standardsehtafeln. Die in Klammern gesetzten Buchstaben des eigenen Vorschlages wurden aufgrund der Ergebnisse des Vorversuches eliminiert.

Methodik

1. Sehzeichen

Abbildung 3 zeigt den bekannten Landolt-Ring und die nach dem Vorversuch ausgewählten zehn Buchstaben in der Schriftart „Serifenlose Linear-Antiqua, Schriftform B, Mittelschrift" gemäß DIN-Blatt 1451. Für die Testzeichensätze wurden auf fotografischem Wege Papierabzüge der Landolt-Ringe und der Buchstaben hergestellt. Für eine möglichst genaue Visusbestimmung (siehe unter „Ergebnisse") wurde eine Abstufung der Sehzeichen in halben Visusstufen gewählt. Für den

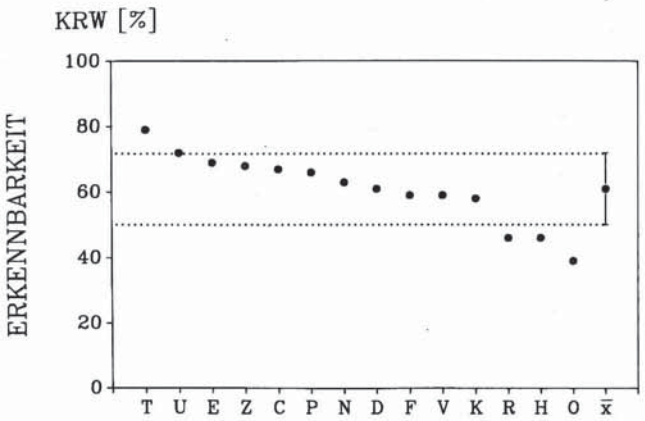

Abbildung 2. Die um die Ratewahrscheinlichkeit korrigierte relative Erkennbarkeit der 14 Buchstaben der Voruntersuchung. Der Mittelwert X und die Standardabweichung sind zusätzlich eingetragen. Einzelheiten siehe Text.

Bereich von Visus 1,0 bis 2,5 ergaben sich somit die neun Visusstufen gemäß Tabelle 2. Die Gesamthöhe der fertigen Testzeichen – im folgenden als „Größe" der Buchstaben bezeichnet – wurden genau nachgemessen und in die in Tabelle 2 angegebenen Werte umgerechnet. Die tatsächlichen Zeichengrößen wurden der Auswertung zugrunde gelegt.

Die Forderungen der DIN-Norm, wie Leuchtdichte, Kontrast und Darbietungszeit, wurden eingehalten. Die entsprechenden Versuchsparameter finden sich in Tabelle 3.

2. Meßaufbau

Die Forderungen der DIN-Norm, daß das Normsehzeichen in jeder angebotenen Visusstufe 120mal gezeigt werden soll und daß diese Versuche mit zehn Personen durchzuführen sind, ergeben für die von uns gewählten neun Visusstufen insgesamt 10800 Einzelanbietungen. Für die zehn verschiedenen Buchstaben folgt die gleiche Zahl von Einzelanbietungen.

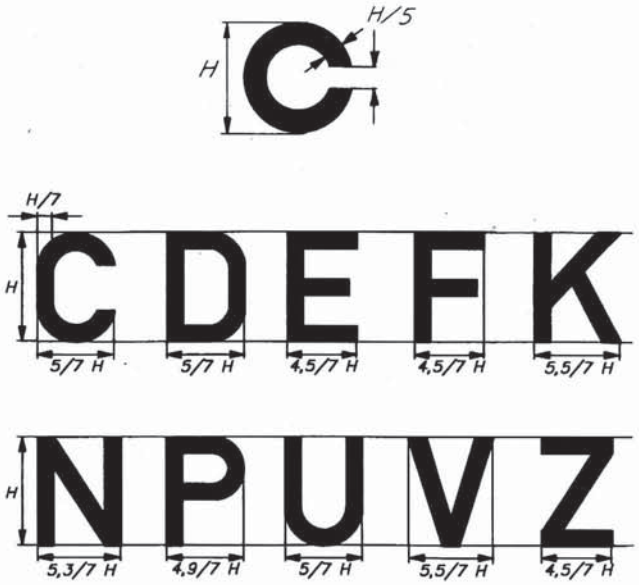

Abbildung 3. Der Landolt-Ring und die zehn im Vorversuch ausgewählten Buchstaben in der Schriftform „Serifenlose Linear Antiqua, Mittelschrift, Schriftform B" gemäß DIN 1451. (Für die Herstellung der normgerechten Druckvorlagen für diese Buchstaben danken wir der Firma Carl Zeiss, Geschäftsbereich Augenoptik, Aalen.)

Diese Forderungen führten uns zu folgendem Versuchsaufbau: Der Proband sitzt auf einem Untersuchungsstuhl und trägt gegebenenfalls seine Korrektionsgläser. Er betrachtet binokular aus 5 m Entfernung eine homogen graue Wand, auf der sich ein weißes Feld von vier Sehwinkelgrad Durchmesser – das Prüffeld – befindet. In der Mitte ist eine Öffnung von 10 cm Durchmesser ausgespart. Hinter dieser befindet sich ein Magazin mit Tafeln, auf die die fotografischen Abzüge der Sehzeichen geklebt sind. Von den hintereinander angeordneten Testtafeln ist jeweils nur die erste für den Proband sichtbar. Die kreisförmige Blende von 35 cm Durchmesser ist aus dem gleichen Fotopapier gefertigt wie die Abzüge, so daß aus der Prüfentfernung von 5 m das Prüffeld in der grauen Wand homogen weiß erscheint

Sollwerte			Istwerte Landolt-Ring		Buchstabensatz	
Visus	Sehwinkel	log-Sehwinkel	Visus	log-Sehwinkel	Visus	log-Sehwinkel
1,0	1,0	0	1,05	–0,02	1,05	–0,02
1,12	0,89	–0,05	1,18	–0,07	1,15	–0,06
1,25	0,80	–0,10	1,28	–0,11	1,31	–0,12
1,41	0,71	–0,15	1,47	–0,17	1,51	–0,18
1,6	0,63	–0,20	1,67	–0,22	1,67	–0,22
1,79	0,56	–0,25	1,85	–0,27	1,85	–0,27
2,0	0,5	–0,30	2,08	–0,32	2,08	–0,32
2,22	0,45	–0,35	2,32	–0,37	2,27	–0,36
2,5	0,4	–0,40	2,56	–0,41	2,50	–0,40

Tabelle 2. Verwendete Visusstufen. Die Istwerte sind die exakten durch den fotografischen Herstellungsprozeß der Sehzeichen erhaltenen Werte für die Landolt-Ringe und die Buchstaben.

Prüfentfernung	5 m
Größe des homogenen Umfeldes	> 15°
Helligkeit des Umfeldes	110 cd/m^2
Durchmesser des Prüffeldes	35 cm = 4°
Helligkeit des Prüffeldes	170 cd/m^2
Kontrast der Testzeichen	91 %
Anbietungsrhythmus	3 s Anbietung, 4 s Pause

Tabelle 3. Versuchsparameter.

und die Öffnung von 10 cm nicht mehr bemerkt wird, wenn die Tafeln von hinten fest angedrückt werden. Über einen Drehmagneten wird ein Verschlußarm von 12 cm Durchmesser in dem Rhythmus drei Sekunden Freigabe und vier Sekunden Abdeckung vor diese zentrale Öffnung geschwenkt. In der Verschlußphase wird die jeweils erste Tafel aus dem Magazin gezogen und der restliche Tafelsatz wieder nach vorne fest gegen die Öffnung geschoben. Der Proband hat zur Einhaltung der definierten Entfernung eine Stirnstütze. Unmittelbar vor ihm ist ein Mikrophon angebracht, mit dem seine Anworten auf Band aufgezeichnet werden. Anschließend erfolgte die Übertragung vom Band in einen Rechner, der die Auswertung übernahm.

3. Versuchspersonen

Die Messungen wurden an zehn erwachsenen, augengesunden Versuchspersonen mit normalem Binokularstatus durchgeführt. Die vorhandenen Refraktionsfehler wurden für die Messungen voll auskorrigiert. Alle Probanden erreichten monokular einen besseren Visus als 1,0 cc, und keiner wies eine Anisometropie auf.

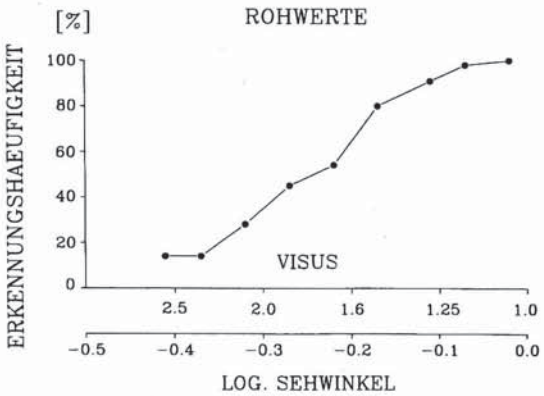

Abbildung 4. Die psychometrische Funktion einer Versuchsperson. Dargestellt ist die Erkennungshäufigkeit der Landolt-Ringe (unkorrigierte Rohwerte) in Abhängigkeit von der Größe (in log-Sehwinkeleinheiten). Die Meßpunkte sind Mittelwerte von 15 Meßsitzungen mit je 72 Einzeldarbietungen des Landolt-Ringes (acht Richtungen in neun Visusstufen), das heißt von insgesamt 1080 Einzelmessungen.

4. Versuchsdurchführung

Die Messungen wurden nach der „forced-choice"-Methode durchgeführt. Das bedeutet, daß die möglichen Optotypen den Probanden bekannt sind; die Antwort „nicht erkannt" ist nicht zulässig. Eine Meßserie bestand beim Landolt-Ring aus 72 und bei den Buchstaben aus 90 Anbietungen. Der Anfang der Meßserie wurde statistisch zufällig verändert, damit das Auswendiglernen bestimmter Zeichenfolgen erschwert war. Dabei wurde darauf geachtet, daß in einem Durchgang jedes Sehzeichen gleich häufig auftrat. Insgesamt mußten die Probanden an 27 Meßsitzungen (15 mit dem Landolt-Ring und zwölf mit den Buchstaben) von maximal zehnminütiger Dauer teilnehmen.

5. Auswertung

Zur Bestimmung des Sehwertes wird zunächst die relative Häufigkeit berechnet, mit der die Sehzeichen erkannt werden. Dieser Wert wird im folgenden mit „Erkennungshäufigkeit" bezeichnet. Er berechnet sich aus der Zahl der richtigen Antworten N, die bei N_o Darbietungen der Sehzeichen einer Visusstufe erhalten wurden.

$$\text{Erkennungshäufigkeit} \quad E = N/N_o$$

Trägt man die Erkennungshäufigkeit gegen die Größe der Testzeichen auf, so erhält man die sogenannte psychometrische Funktion, die das Auflösungs- und Erkennungsvermögen des visuellen Systems der jeweiligen Versuchsperson beschreibt (Abbildung 4). Diese Funktion ist typischerweise S-förmig.

Vor der Berechnung der Erkennbarkeitsschwelle sind zunächst die Meßpunkte nach der Abbotschen Formel, die die Ratewahrscheinlichkeit berücksichtigt, zu korrigieren:

$$E_K = \frac{E - P}{1 - P}$$

E_K = korrigierte Erkennungshäufigkeit, P = Ratewahrscheinlichkeit mit P=1/n, und n = Anzahl der Antwortmöglichkeiten.

Die korrigierten Meßwerte von Abbildung 4 zeigt Abbildung 5. Aus der psychometrischen Funktion ergibt sich der gesuchte Sehschärfewert, indem man den zur 50 % igen Erkennungshäufigkeit führenden Sehwinkel abliest. Die Auswertung dieser Kurve vereinfacht sich, wenn man die Datenpunkte auf Gaußsches Wahrscheinlichkeitspapier überträgt. (Einzelheiten siehe Bartleson und Grum [2]). Man erhält dadurch als

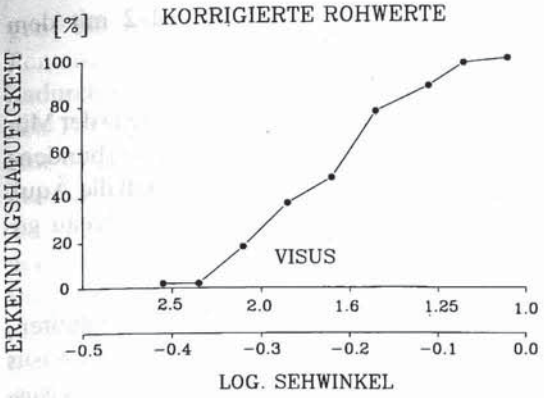

Abbildung 5. Psychometrische Funktion der um die Ratewahrscheinlichkeit korrigierten Ergebnisse von Abbildung 4.

psychometrische Funktion eine Gerade (Abbildung 6), die sich mittels Regressionsanalyse leichter auswerten läßt.

Voraussetzung für die Anwendbarkeit dieses Auswerteverfahrens ist, daß die psychometrische Funktion einer kumulativen Normalverteilung (Gaußsches Fehlerintegral) ähnelt. Dies kann bei den vorliegenden Messungen als gegeben angenommen werden, da die durchgeführten Regressionsanalysen für die Landolt-Ringe und die Buchstaben sowohl für die Kollektive als auch für die Einzelzeichen und Einzelpersonen jeweils sehr hohe Korrelationskoeffizienten ergaben (siehe „Ergebnisse").

Ergebnisse

1. Vorversuch

Der Vorversuch diente, wie bereits erläutert, der Auswahl von zehn Buchstaben mit möglichst gleicher relativer Erkennbarkeit. Diese Messungen wurden mit den

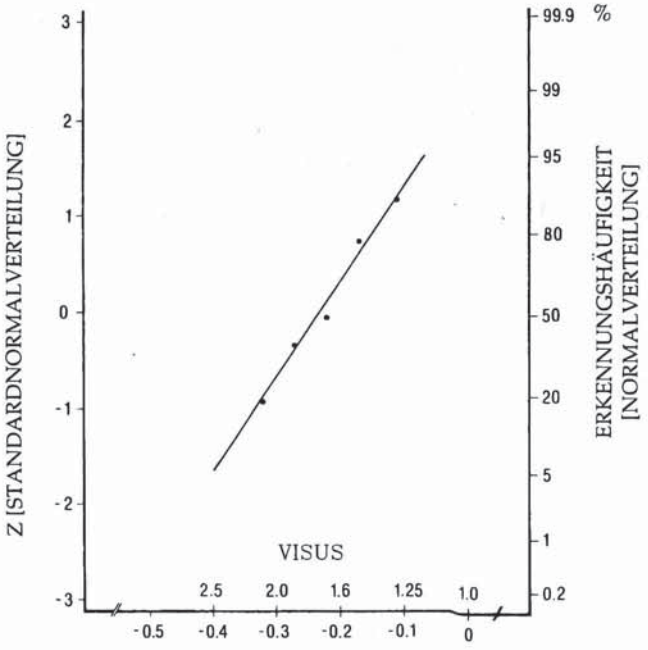

Abbildung 6. Die auf Gaußsches Wahrscheinlichkeitspapier transformierte psychometrische Funktion läßt sich durch eine lineare Regressionsgerade approximieren. Daten wie in Abbildungen 4 und 5.

zehn Probanden, die auch für den Hauptversuch zur Verfügung standen, durchgeführt. Ihnen wurden insgesamt 14 Buchstaben (C, D, E, F, H, K, N, O, P, R, T, U, V und Z) in neun Visusstufen je zweimal dargeboten, wobei diesmal die Probanden nicht informiert waren, welche Buchstaben verwendet wurden. Es wurde auch die Aussage „nicht erkannt" zugelassen. Die relative Erkennbarkeit der 14 verschiedenen Buchstaben zeigt Abbildung 2. Nur die zehn Buchstaben, die innerhalb der Standardabweichung (punktierte Linien) liegen, wurden für den Hauptversuch verwendet.

Probanden-nummer	50 %-Schwelle (log-Sehwinkel)	50 %-Schwelle (Visus)	Korrelations-koeffizient
1	−0,3791	2,39	0,998
2	−0,2872	1,94	0,994
3	−0,2876	1,94	0,996
4	−0,3210	2,09	0,999
5	−0,3824	2,41	0,984
6	−0,3584	2,28	0,994
7	−0,2197	1,66	0,988
8	−0,2302	1,70	0,992
9	−0,1613	1,45	0,988
10	−0,3684	2,34	0,998
Mittelwert	−0,2996	1,99	
Standardabweichung	±0,076	±0,327	

Tabelle 4. Visusergebnisse mit dem Landolt-Ring-Sehtest.

2. Landolt-Ring

Die Tabelle 4 zeigt die Ergebnisse, die die zehn Versuchspersonen bei den Messungen ihrer Sehschärfe mit dem Landolt-Ring erreicht haben. Eingetragen sind die 50 %-Schwellenwerte als Logarithmus des Sehwinkels, der dazugehörende Visuswert und die Korrelationskoeffizienten der Regressionsgeraden. Der Mittelwert der zehn Versuchspersonen beträgt –0,2995 log Sehwinkeleinheiten mit einer Standardabweichung von ± 0,076. Der entsprechende Visus ist 1,99.

3. Buchstabensatz

Die Tabelle 5 zeigt das Auflösungsvermögen in log-Sehwinkeleinheiten und die Visuswerte der zehn Versuchspersonen bei der Prüfung mit dem ausgewählten Buchstabensatz. Erneut sind auch die Korrelationskoeffizienten der Ausgleichsgeraden dargestellt. Als Mittelwert ergibt sich ein Wert für den log-Sehwinkel von –0,3203 mit einer Standardabweichung von ± 0,063. Das entspricht einem Visus von 2,11. Es zeigt sich, daß die gleich groß angebotenen Buchstaben bei der hier geprüften Probandengruppe zu einem etwas höheren Visuswert führen.

4. Äquivalenz zwischen Landolt-Ring und Buchstabensatz

Zum Vergleich des Landolt-Ring- und des Buchstabensehtests wurde die Paardifferenz der 50 %-Schwellenwerte für jede Versuchsperson berechnet. Man findet eine mittlere Differenz von 0,0207 log Sehwinkeleinheiten mit einer Standardabweichung von ± 0,023.

Da die DIN-Norm eine Abweichung von ± 0,05 log Sehwinkeleinheiten zuläßt, ist somit der ausgewählte Buchstabensatz gemäß DIN 58220 Teil 2 mit dem Landolt-Ring äquivalent.

Zur Überprüfung der Signifikanz der Differenz der Mittelwerte wurde der einseitige t-Test für verbundene Stichproben durchgeführt [23]. Er ergab, daß die Äquivalenz der beiden Sehtests auf dem 99 %-Niveau gesichert ist.

Um die Ergebnisse nicht nur in log-Sehwinkeleinheiten, sondern auch in den anschaulicheren Einheiten Visus und Sehwinkel direkt auszudrücken, wurden die Visusdifferenz und die Sehwinkeldifferenz jeweils auf den Landolt-Ring bezogen. Dabei ergab sich, daß der mittlere Visuswert des Buchstabensehtests gegenüber dem Landolt-Ring um 4,89 % höher lag. Der mittlere Sehwinkel, der mit dem Buchstabensehtest zum Visus 1,0 führt, ist um 4,7 % kleiner als der Sehwinkel des Landolt-Rings. Obgleich die Differenzen noch innerhalb der Toleranzen liegen, wäre ein äquivalenter Buchstabensatz folglich um 4,7 % kleiner als die entsprechenden Landolt-Ringe der gleichen Visusstufe anzufertigen.

5. Erkennbarkeit der Einzeloptotypen

Die DIN-Norm 58220 fordert im Teil 2 für den Anschluß eines Satzes von Sehzeichen an den Landolt-Ring nur die gleiche Erkennbarkeit des gesamten Satzes innerhalb der zugelassenen Toleranz. Wenngleich also nach DIN 58220 für den Anschluß nicht gefordert, war es doch interessant zu prüfen, ob die Buchstaben untereinander und auch die verschiedenen Anbietungsrichtungen des Landolt-Ringes gleich gut erkennbar sind. Dafür wurden, da für eine statistische Auswertung mit den Einzelpersonen nicht genügend Meßwerte vorlie-

Probanden-nummer	50 %-Schwelle (log-Sehwinkel)	50 %-Schwelle (Visus)	Korrelations-koeffizient
1	–0,3907	2,46	0,990
2	–0,2930	1,96	0,995
3	–0,2760	1,89	0,979
4	–0,3344	2,16	0,997
5	–0,3982	2,51	0,994
6	–0,3664	2,32	0,992
7	–0,2452	1,76	0,985
8	–0,2850	1,93	0,993
9	–0,2267	1,68	0,998
10	–0,3866	2,44	0,993
Mittelwert	–0,3203	2,11	
Standardabweichung	±0,063	±0,289	

Tabelle 5. Visusergebnisse für den Buchstabensehtest.

gen, die Messungen pro Buchstabe über alle zehn Personen gemittelt. Eine gewisse Unsicherheit, die dadurch entsteht, daß die psychometrische Funktion von Person zu Person unterschiedlich ist und deshalb eine Mittelung in streng mathematischen Sinne problematisch ist, wurde in Kauf genommen. Die Ergebnisse dieser Auswertungen zeigen die Abbildung 7 bezüglich der Landolt-Ringe und die Abbildung 8 bezüglich des Buchstabentests. Es ist jeweils das Auflösungsvermögen in log-Sehwinkeleinheiten für die einzelnen Optotypen aufgetragen. Die durchgezogenen Linien geben den Mittelwert und die gestrichelten Linien die Standardabweichung an. Es zeigt sich, daß auch der Landolt-Ring Unterschiede in der Erkennbarkeit aufweist, die auch bereits in der Literatur [14] beschrieben sind. Die Abweichungen vom Mittelwert liegen aber beim Landolt-Ring alle innerhalb der ± 0,05-Grenzen. Bei dem Buchstabentest fallen das E, das F und das V als Einzelbuchstaben aus diesem Bereich heraus. E und F sind „schwerer" und V ist „leichter" erkennbar als die übrigen Buchstaben.

6. *Verwechslungshäufigkeit*

Ein von der Erkennbarkeit weitgehend unabhängiges Problem ist die Frage der Verwechslung von Buchstaben, die ebenfalls geprüft wurde. Ideal wäre ein Buchstabensatz, bei dem die Auswahl der einzelnen Buchstaben entweder eine Verwechslung untereinander ausschließt oder aber eine gleiche Verwechslungshäufigkeit zwischen allen Buchstaben gewährleistet, weil dann der gefundene Sehwert jedes einzelnen Buchstaben von dem der übrigen Buchstaben unabhängig wäre. Ganz wesentlich ist die Verwechslungshäufigkeit darüber hinaus abhängig von der Kenntnis des Probanden über den gesamten Buchstabenvorrat. Bei der hier benutzten „forced-choice"-Befragungsmethode sind nur die zehn Buchstaben des ausgewählten Satzes als Antworten zulässig. Tabelle 6 zeigt die Zahl der aufgetretenen Verwechslungen. Man findet bei den falschen Antworten stets eine bevorzugte Verwechslung mit zwei bis drei anderen Buchstaben. So wird statt des „E" häufig „C", „K" oder „Z" geantwortet. Das „F" wird statt dessen überwiegend mit dem „P" verwechselt.

Die Summe der untereinanderstehenden Werte weicht sehr deutlich von 100% ab. Daraus kann gefolgert werden, daß unsere Versuchspersonen im Falle des Nichterkennens bestimmte Buchstaben bevorzugt (K, P) und andere (U, Z) weniger gern angeben.

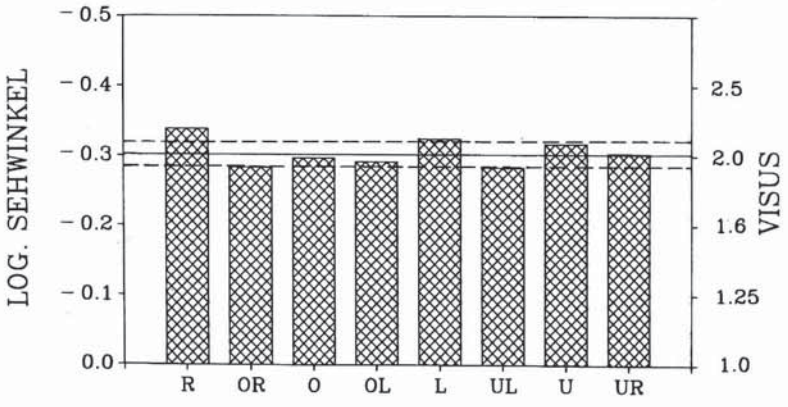

Abbildung 7. Sehwert des Landolt-Ringes in den acht Stellungen.

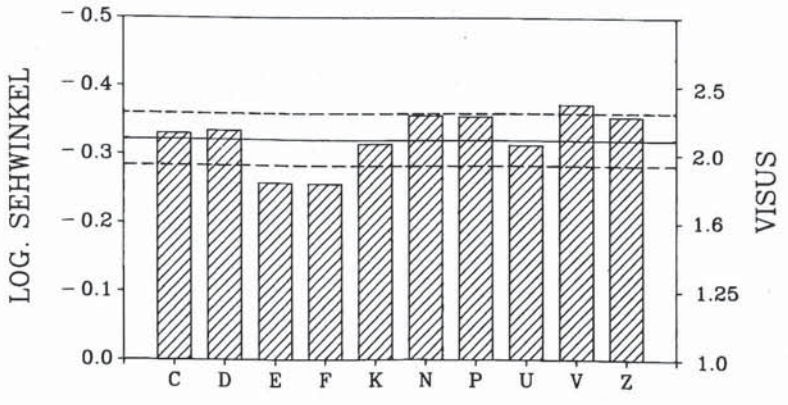

Abbildung 8. Sehwert der zehn Buchstaben des ausgewählten Buchstabensatzes.

Tabelle 6. Verwechslungshäufigkeit der Buchstaben. Die unterstrichenen Werte kennzeichnen die falschen Buchstaben, die bevorzugt anstelle des richtigen angegeben werden.

		Häufigkeit, mit der dargebotene Buchstaben mit einem anderen verwechselt wurden (Angaben in %)									
		C	D	E	F	K	N	P	U	V	Z
Dargebotener Buchstabe	C		8	32	9	15	4	8	3	9	9
	D	13		9	4	10	12	22	9	10	7
	E	32	4		7	24	3	6	2	9	13
	F	5	4	7		6	4	49	2	11	12
	K	24	10	11	4		22	6	5	12	7
	N	5	8	2	1	38		14	18	11	2
	P	1	23	10	36	11	8		3	9	4
	U	6	17	7	2	11	14	7		32	4
	V	6	8	8	20	20	7	19	7		5
	Z	10	9	32	17	8	4	6	3	11	

Zusammenfassend läßt sich feststellen, daß die Forderung der gleichen Verwechslungshäufigkeit zwischen den einzelnen Buchstaben nicht erfüllbar ist, wenn gleichzeitig das Kriterium möglichst gleicher Erkennbarkeit aufrechterhalten werden soll. Da letzteres das Wichtigere ist, muß eine gewisse Ungleichheit in der Verwechslungshäufigkeit in Kauf genommen werden.

7. *Übungseffekt*

Ein Übungseffekt trat bei unseren Probanden nur in geringem Maße auf. Die Abbildung 9 zeigt die erreichte Sehschärfe, wieder als Logarithmus des Sehwinkels, gemittelt über alle zehn Versuchspersonen in Abhängigkeit von der Zeit, die durch die ansteigenden Nummern der Meßsitzungen gekennzeichnet ist. Der Lerneffekt ist geringer als 0,05 log Sehwinkeleinheiten.

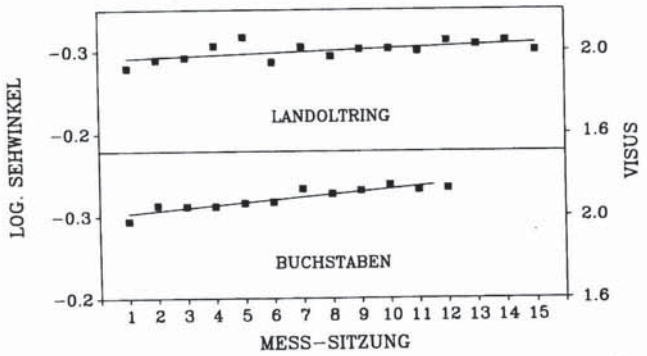

Abbildung 9. Lerneffekt; im Laufe der Meßsitzungen steigt der Visus geringfügig an.

Diskussion

Der Grund für die hier erfolgte Auswahl von zehn Buchstaben liegt in der Forderung von DIN 58220, Teil 5 – Allgemeiner Sehtest – und Teil 6 – Straßenverkehrsbezogener Sehtest. Sie besagt, daß Sätze von zweimal fünf bzw. einmal zehn Sehzeichen angeboten werden müssen. Damit ist die Vergleichbarkeit unserer Ergebnisse mit denen der Untersuchungen von Saur et al. [24] nur begrenzt möglich. Diese haben die acht Buchstaben D, F, K, N, R, T, U und Z der gleichen Schriftart in einem anderen Verfahren, aber ebenfalls nach den Vorschriften von DIN 58220, Teil 2, an den Landolt-Ring angeschlossen. Sie fanden ebenfalls eine Äquivalenz ihres Buchstabensatzes innerhalb des zulässigen Toleranzbereiches von ± 0,05 log Sehwinkeleinheiten, wenn er gleich groß wie der Landolt-Ring angeboten wurde. Die Verwendung eines Satzes von nur acht Buchstaben hat aber den offensichtlichen Nachteil, daß bei der Testung mit zehn Sehzeichen mindestens zwei Buchstaben wiederholt werden müssen. Der Vergleich der hier vorgelegten Ergebnisse mit denen von Saur et al. legt nahe, für einen Buchstabensatz mit nur acht Zeichen – entsprechend den acht Stellungen des Landolt-Ringes – aus unserem Satz die Buchstaben F und V auszusondern.

Aufgrund der bei der Durchführung des Anschlußverfahrens aufgetretenen Fragen sind nach unserer Sicht zwei Anmerkungen zur DIN-Norm 58220, Teil 2 notwendig:

1. Es wird für die Auswertung der psychometrischen Funktionen die lineare Darstellung auf Wahrscheinlichkeitspapier empfohlen. Zur Prüfung der Genauigkeit der Ergebnisse soll dann eine Regressionsanalyse der so erhaltenen Geraden durchgeführt werden. Die Verwendung aller Datenpunkte zur Regressionsberechnung ist aber nicht sinnvoll, da nur die Punkte in der Nähe des 50 %-Schwellenwertes Informationen über den vorliegenden Visus liefern. Datenpunkte mit einer sehr hohen oder sehr niedrigen Erkennbarkeit tragen praktisch keine Information über die Lage des Schwel-

lenwertes, gehen aber mit gleichem Gewicht in die Regressionsberechnung ein. Aus diesem Grunde haben wir bei unserer Untersuchung alle Datenpunkte, die eine korrigierte Erkennbarkeitshäufigkeit von < 5% oder > 95% aufwiesen, von der Regressionsberechnung ausgeschlossen. Trotzdem verbleibt der Nachteil der normalen Regressionsanalyse, daß sie alle Punkte gleich gewichtet. Nach unserer Meinung sollte die Berechnung des Visus aus den psychometrischen Funktionen deshalb zukünftig mit einer Methode erfolgen, die der Fragestellung besser angemessen ist. Dieses könnte zum Beispiel ein „Maximum-likelihood"-Verfahren wie die „Probit analysis" sein [2, 9].

2. Es wird die Äquivalenz mit dem Landolt-Ring nur für den *gesamten*, geprüften Satz von Sehzeichen ausgesprochen, wenn der Mittelwert des Visus, der mit diesem Satz erreicht wurde, weniger als ± 0,05 log Sehwinkeleinheiten vom Visus abweicht, der mit dem Landolt-Ring gefunden wurde. Das kann im Extremfall dazu führen, daß Sätze mit sehr unterschiedlichen Zeichen zusammengestellt werden, bei denen nur der Mittelwert, aber kein einziges Zeichen allein für sich mit dem Landolt-Ring äquivalent ist. Über die Einzelsehzeichen wird zwar gesagt, daß sie nach „vergleichbarer Erkennbarkeit" auszuwählen sind. Es ist aber diese Größe nicht definiert, somit auch keine zulässige Schwankungsbreite angegeben.

Die Ergebnisse des hier beschriebenen Anschlußverfahrens sind – ein Sehzeichenprojektor mit den hier ausgewählten Buchstaben sei vorausgesetzt – nur dann direkt zu übertragen, wenn folgendes berücksichtigt wird:

1. Die Methode der „forced-choice"-Auswahl muß eingehalten werden. Das bedeutet, dem Probanden werden die acht oder zehn möglichen Buchstaben zu Beginn der Sehschärfenbestimmung genannt und er muß jeweils einen davon als Antwort geben. Der Abbruch erfolgt dann bei mehr als 40% fehlerhaften Angaben.

2. Es müssen in jeder Visusstufe alle acht oder zehn Buchstaben angeboten werden.

3. Ein eventuell vorhandener Astigmatismus muß voll auskorrigiert sein. Bei nicht auskorrigiertem Astigmatismus besteht die Möglichkeit, daß einzelne Sehzeichen bevorzugt erkannt werden. Das gilt für die acht Stellungen des Landolt-Rings ebenso wie für den Buchstabensatz. Wir haben bei der Auswahl der Buchstaben zwar darauf geachtet, daß waagerechte, senkrechte und schräge Linien ebenso wie gerade und gebogene Abschnitte möglichst gleich vertreten sind, jedoch gilt das nur für den gesamten Satz. Die Bevorzugung einzelner Zeichen bei einem Astigmatismus vorgegebener Achsenlage ist prinzipiell nicht zu vermeiden.

Diese drei Hinweise gelten natürlich auch für den Landolt-Ring in seinen acht Anbietungsarten. Insofern ist dessen Heraushebung als einzig zulässiges Sehzeichen für Gutachterfragen (DIN 58220, Teil 3) nicht ganz einsichtig, wenn der Anschluß eines Satzes von Zeichen erst einmal vorgenommen worden ist. Der verbleibende Unterschied zwischen dem Landolt-Ring und dem hier vorgestellten Buchstabensatz ist die Streuung des Sehwertes der einzelnen Zeichen untereinander innerhalb dieser beiden Sehzeichensätze. Sie beträgt, wie wir gezeigt haben, für den Landolt-Ring ± 0,019 log Sehwinkeleinheiten (zirka 1/5 Viusstufe) und für die Buchstaben ± 0,038 log Sehwinkeleinheiten (zirka 2/5 Visusstufen) und liegt damit jeweils innerhalb des Toleranzbereiches, den die DIN-Norm zuläßt.

Literatur

1. Aulhorn, E., D. Comberg, H. Schober, R. Siebeck: Vorschläge der Kommission zur Koordinierung der Sehschärfe-Bestimmungsgeräte der Deutschen Ophthalmologischen Gesellschaft. Bericht 68. Zusammenkunft DOG (1967), 581–585.
2. Bartleson, C. J., F. Grum: Optical radiation measurements. Vol. 5: Visual measurements. Academic Press, New York 1984.
3. Bennett, A. G.: Ophthalmic test types. Brit. J. Physiol. Optics 22 (1965), 238–271.
4. British Standards Institution: Specification for test charts for determining distance visual cuity. BS 4274 1968.
5. Cavazos, H. A.: Anschluß eines Buchstaben-Sehtests an den standardisierten Landoltring-Sehtest, Diss., Universität Hamburg 1989.
6. DIN 1451 Teil 2: Serifenlose Linear-Antiqua, Verkehrsschrift, 1986.
7. DIN 58220 Teil 1: Sehschärfebestimmung: Normsehzeichen, 1988.
8. DIN 58220 Teil 2: Sehschärfenbestimmung: Anschluß von Sehzeichen, 1986.
9. Finney, D. J.: Probit analysis. 3rd ed. Cambridge Univ. Press, London 1971.
10. Green, J.: On a new series of test letters for determining the acuteness of vision. Trans. Amer. Ophthal. Soc. 1, pt. 3 (1868), 68.
11. Green, J.: Some improvements in test letters. IVth Int. Ophthalmol. Congr., London 1872, zit. nach Bennett [3].
12. Hedin, A., K. Olsson: Letter legibility and the construction of a new visual acuity chart. Ophthalmologica (Basel) 189 (1984), 147–156.
13. Hess, C. V.: Über einheitliche Bestimmung und Bezeichnung der Sehschärfe. Kommiss. Ber. Intern. Kongr. Augenheilk. Neapel. Arch. Augenheilk. 130 (1909), 239–327.
14. Husemann, K.: Der Orientierungseffekt bei normalen und inversen Landoltringen. Lichtforschung 1 (1979), 53–56.

15. ISO/DIS 8595: Optics and optical instruments – visual acuity testing – standard optotype and its presentation, 1986.
16. ISO/DIS 8597: Optics and optical instruments – visual acuity testing – correlation of optotypes, 1986.
17. Krochmann, J., R. M. Lieske: Über die Erkennbarkeit von Buchstaben und Ziffern. Lichttechnik 28 (1976), 165–170.
18. Landolt, E.: Methode optometrique simple. Bull. Mem. Soc. Franç. Ophthal. 6 (1888), 213–214.
19. Monoyer, F.: Echelle typographique décimale pour mésurer l'acuité de la vue. C. r. hbd. Séanc. Acad. Sci. (Paris) 80 (1875), 1137.
20. National Academy of Sciences – National Research Council Committee on Vision: Report of Working Group 39: Recommended standard procedures for the clinical measurement and specification of visual acuity. Adv. Ophthal. 41 (1980), 103–148.
21. Pointer, J. S.: The evolution of the broken ring visual acuity test figure. J. Amer. Optom. Ass. 51 (1980), 741–745.
22. Roloff, C.: Beteiligung musterspezifischer Neurone und Einfluß der Augenbewegung beim Prozeß der visuellen Information. Diss., Ludwig-Maximilian-Universität, München 1978.
23. Sachs, L.: Angewandte Statistik. Springer, Berlin 1984.
24. Saur, K., W. Grimm, R. Hilz: Sehschärfebestimmung-Anschluß von Buchstaben an den Landoltring. Neues Optiker J. 31 (1989), 14 (Nr. 12).
25. Schober, H.: Untersuchungen über die Verwendung des Landoltschen Ringes als Normsehzeichen bei der Sehschärfenbestimmung. Optik 9 (1952), 225–235.
26. Sloan, L. L.: Comparison of three types of test targets for the measurement of visual acuity. Q. Rev. Ophthal. 8 (1952), 4–16.
27. Snellen, H.: Probebuchstaben zur Bestimmung der Sehschärfe. Utrecht 1862. Zit. aus Duke-Elder, 1962.
28. Vos, J. J.: Do we really wish standardization of acuity testing? Ophthalmologica 162 (1971), 235–241.

Für die Verfasser: Prof. Dr. rer. nat. B. Rassow, Augenklinik, Universitätskrankenhaus Eppendorf, Martinistraße 52, D-2000 Hamburg 20.