

Photopisches Kontrastsehen

Örtliche Kontrastempfindlichkeit

Vorbemerkung

Die Untersuchungsmethodik der Kontrastempfindlichkeit hat bei weitem nicht den Reifegrad erreicht wie z. B. der Visus- oder Gesichtsfeldprüfung. Obwohl der Messung der Kontrastempfindlichkeit eine große Bedeutung in der refraktiven Hornhaut- und Linsen Chirurgie beigegeben wird, sind bisher keine allgemeingültigen Qualitätskriterien publiziert worden. Hier erachten wir es als sinnvoll, die Methodenvielfalt und die bislang z. T. uneinheitliche Terminologie geordnet darzustellen. Es ist sinnvoll, die örtliche und die zeitliche Kontrastempfindlichkeit zu unterscheiden, der Schwerpunkt der vorliegenden Darstellung liegt auf der örtlichen Kontrastempfindlichkeit im photopischen und mesopischen Bereich.

Untersuchungsziel

Die Untersuchung der Kontrastempfindlichkeit dient der Diagnostik und Verlaufskontrolle von ophthalmologischen und neuroophthalmologischen Erkrankungen einschließlich Allgemein- und Systemerkrankungen, welche die optischen Medien, die Netzhaut oder die Sehbahn mit betreffen können.

Ziel der Untersuchung ist das Erkennen und quantitative Beschreiben visueller Funktionsstörungen, soweit sie mit der Bestimmung von Visus, Farbsinn

und kinetischer oder statischer Perimetrie nicht erfasst werden.

Definitionen

Anatomisch-physiologische Basis, örtliche und zeitliche Kontrastempfindlichkeit

Kontrastempfindlichkeit beschreibt die Fähigkeit des visuellen Systems, örtliche oder/und zeitliche Helligkeitsunterschiede zu erkennen. Die Bestimmung der Leuchtdichteunterschiedsempfindlichkeit bei der Perimetrie wie auch Farbsinn, Visus und Flimmerschwellen, können als spezialisierte Untersuchungsvarianten der Kontrastempfindlichkeit aufgefasst werden.

Die örtliche Kontrastwahrnehmung hat im Wesentlichen ihre retinale Basis in der antagonistischen Interaktion von Signalen benachbarter Photorezeptoren und Bipolarzellen, zusätzlich ist auch die Funktion der Querneurone (Amakrin- und Horizontalzellen) von Bedeutung. Aufgrund der antagonistischen Struktur der rezeptiven Felder der retinalen Ganglienzellen gibt es für jede rezeptive Feldgröße eine optimale Ortsfrequenz, bei der Helligkeitsunterschiede mit höchster Empfindlichkeit wahrgenommen werden. Die örtliche und auch die zeitliche Diskrimination der Signale werden darüber hinaus auch durch die gesamte nachfolgende Signalkette der Sehbahn mit beeinflusst.

Physikalische und physiologisch-optische Basis, Kontrast, Schwellenkontrast und Kontrastempfindlichkeit

Der photometrische Kontrast beschreibt den Leuchtdichteunterschied zwischen örtlich mehr oder weniger eng benachbarten oder zeitlich mehr oder weniger rasch aufeinanderfolgenden Reizen. Leider ist die Definition der Kontrastberechnung nicht standardisiert. In der Praxis wird der Kontrast auf 4 unterschiedliche Weisen berechnet, 3 davon sind in der DIN 5340 Nr. 239 erläutert [8].

(1) Für Gittermuster, deren höchste und niedrigste Leuchtdichte L_{\max} bzw. L_{\min} ist, verwendet man meistens die Definition

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

Dieser Kontrast K_M wird auch als Michelson-Kontrast oder als Modulationstiefe bezeichnet.

Erarbeitet im Auftrag der DOG-Kommission zur Qualitätssicherung sinnesphysiologischer Untersuchungsverfahren und Geräte. Die Kommission besteht derzeit aus: Prof. U. Schiefer (Tübingen, Vorsitzender), M. Bach (Freiburg, Stellvertretender Leiter), F. Dannheim (Hamburg), M. Foerster (Berlin), M. Gräf (Gießen), U. Kellner (Siegburg), H. Krastel (Heidelberg), J. Weber (Köln), W. Wesemann (Köln), E. Zrenner (Tübingen) (<http://www.dog.org/dog/kommissionen.html#QUASI>).

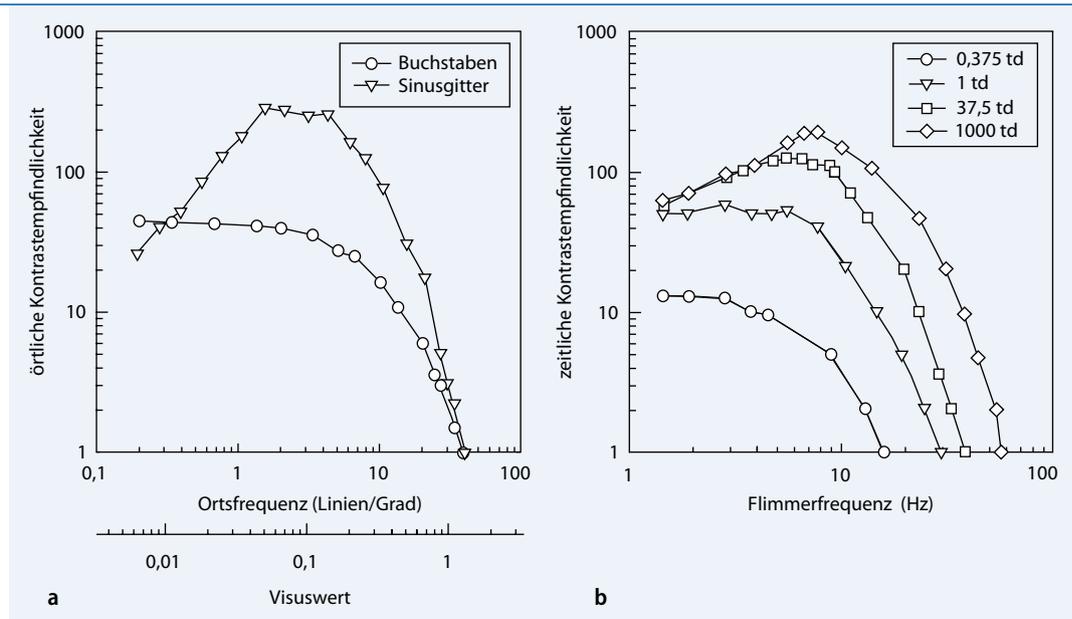


Abb. 1 **a** Kontrastempfindlichkeit (Kehrwert des Michelson-Schwellenkontrastes) in Abhängigkeit von der Ortsfrequenz bei einer Leuchtdichte von 500 cd/m² [6]. Statische Sinusgitter (*Dreiecke*) haben Bandpasscharakteristik mit einem Maximum um 5 Perioden/Grad. Bei Optotypen (*Kreise*) zeigt sich eine Tiefpasscharakteristik [10]. Der Schnittpunkt mit der Abszisse entspricht dem Visus. **b** Kontrastempfindlichkeit in Abhängigkeit von der Zeitfrequenz („de-Lange-Kurven“) bei verschiedenen retinalen Beleuchtungsstärken, angegeben in Troland (td). Im skotopischen Bereich (*Kreise*) zeigt sich die geringe Zeitauflösung der Stäbchen (Tiefpass mit Grenzfrequenz um 20 Hz). Im photopischen Bereich (*Karos*) zeigt sich ein Empfindlichkeitsmaximum um 8–10 Hz und eine Grenzfrequenz von 50–60 Hz [7]. Der Schnittpunkt mit der Abszisse entspricht der Flimmerverschmelzungsfrequenz

(2) Die Kontrastdefinition entsprechend dem Weber-Bruch lautet

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

Sie ist besonders für kleine Sehobjekte (Leuchtdichte L_i) auf homogenem Umfeld (Leuchtdichte L_u) zweckmäßig, wie z. B. in der Perimetrie.

(3) Für optische Anzeigen und Bildschirme wird immer häufiger das Kontrastverhältnis K_v verwendet:

$$K_v = \left(\frac{L_{\max}}{L_{\min}} \right) : 1.$$

So wird der Maximalkontrast eines LCD-Bildschirms durch sein Kontrastverhältnis von z. B. 500:1 (gesprochen 500 zu 1) gekennzeichnet.

(4) Die DOG verwendet in den Anforderungsrichtlinien an das Kontrastsehen bei Dämmerung den Kehrwert des letztgenannten Kontrastes.

$$K_{\text{DOG}} = 1/K_v = 1 : \left(\frac{L_{\max}}{L_{\min}} \right).$$

Nach den DOG-Richtlinien muss z. B. ein LKW-Fahrer in der Dämmerung einen kontrastarmen Landolt-Ring vom Visuswert 0,1 mit dem Kontrast 1:2,7 erkennen können.

Cave: Die 4 Kontrastdefinitionen liefern bei ein und demselben vorgegebenen Sehreiz völlig verschiedene Zahlenwerte, die auch in keinem einfachen Verhältnis zueinander stehen.

Der *Schwellenkontrast*, d. h. der kleinste Kontrast, der noch zu einer visuellen Wahrnehmung führt, ist der eigentliche Gegenstand der Messung. Die *Kontrastempfindlichkeit* ist der Kehrwert des Schwellenkontrastes im Michelson-Maß. Durch die Kehrwertbildung erreicht man, dass – analog zum Visus – der Zahlenwert der Kontrastempfindlichkeit umso größer ist, je besser diese Sehleistung ist.

Die Form der Kontrastempfindlichkeitsfunktion richtet sich nach der Art der verwendeten Testfiguren. Die Kontrastempfindlichkeitsfunktion für statische Gittermuster hat im photopischen Bereich Bandpasscharakter, mit einer maximalen Empfindlichkeit von etwa 300 bei einer Ortsfrequenz von ca. 5 Perioden/

Grad. [Ein „Bandpass“ lässt Frequenzen in einem mittleren Bereich (Band) „passieren“, tiefe und hohe Frequenzen werden abgeschwächt bzw. unterdrückt.] Die Kontrastempfindlichkeitsfunktion für Optotypen hat Tiefpasscharakter. Ein Tiefpass lässt Ortsfrequenzen von 0 bis zu seiner „Grenzfrequenz“ passieren, höhere werden zunehmend abgeschwächt. Sie fällt von einem Maximalwert bei sehr großen Optotypen zu kleiner werdenden Optotypen ab (■ **Abb. 1a**). Der Schnittpunkt der Kontrastempfindlichkeitsfunktion für Optotypen mit der Abszisse (■ **Abb. 1a**) kennzeichnet das kleinste Sehzeichen, das bei optimalem Kontrast gerade noch erkannt wird. Dieser Wert auf der Abszisse ist identisch mit dem Visus.

Die *zeitliche* Kontrastempfindlichkeit sei hier zur Abgrenzung auch angesprochen: Dabei wird die Leuchtdichte einer unstrukturierten Testfläche oder auch eines Musters zeitlich variiert, und es wird die Modulationsschwelle in Abhängigkeit von der Zeitfrequenz ermittelt (■ **Abb. 1b**). Bei einer Flimmerfrequenz von 8–10 Hz ist die zeitliche Kontrastempfindlichkeit (Flimmerempfindlich-

M. Bach · W. Wesemann · G. Kolling · J. Bühren · H. Krastel · U. Schiefer
Photopisches Kontrastsehen. Örtliche Kontrastempfindlichkeit

Zusammenfassung

Die Kontrastempfindlichkeit (KE) ist eine wesentliche Sehfunktion. Sie kann aus optischen (Aberrationen, Streuung, Beugung) oder neuralen Gründen (z. B. bei Glaukom oder Neuritis nervi optici) herabgesetzt sein. In der klinischen Praxis spielt die Prüfung der KE bei Verlaufskontrollen, Gutachten, Fahrtauglichkeitsprüfungen und Einstellungsuntersuchungen eine Rolle, sie ist ferner wichtiger Bestandteil klinischer Studien zur optischen Qualität z. B. in der Katarakt- und refraktiven Chirurgie. Durch zusätzliche Prüfung mit einer Blendlichtquelle kann die Blendempfindlichkeit ermittelt werden. Im Gegensatz zum Hochkontrastvisus unterliegenden Kontrastschwellen einer höheren Variabilität und sind stark vom verwendeten Test, von der Umgebungsleuchtdichte und von der verwendeten Teststrategie sowie der De-

inition des Kontrastes abhängig. Bei einigen Tests kommen „Deckeneffekte“ (engl. „ceiling effects“) vor. Insbesondere bei Verlaufskontrollen ist auf maximale Standardisierung zu achten. Klinisch bleibt die Kontrastschwelenmessung Spezialanwendungen und Eignungstests vorbehalten. In diesem Bericht der DOG-Kommission für Qualitätssicherung sinnesphysiologischer Untersuchungen wird auf die sinnesphysiologischen Grundlagen der Kontrastwahrnehmung eingegangen, ferner auf Testverfahren und Teststrategien, und es wird eine tabellarische Übersicht über gebräuchliche Testverfahren gegeben.

Schlüsselwörter

Kontrast · Sehfunktion · Sinnesphysiologie · Schwellenmessung · Blendung

Photopic contrast sensitivity. Local contrast perception

Abstract

Contrast perception is an important visual function. Contrast sensitivity (CS) is affected by to optical reasons (aberrations, scatter, diffraction) or neural dysfunction (e.g., glaucoma, optic nerve diseases). In clinical practice the measurement of CS is relevant for disease monitoring, expert opinions, roadworthiness assessment, and recruitment screening. Furthermore, CS testing is often required in studies assessing optical quality, e.g., cataract or refractive surgery. Adding an appropriate glare source allows measurement of the glare-induced loss of CS (disability glare). Compared to high-contrast acuity, CS is more variable and strongly depends on the type of

test, illumination, test strategy, and contrast definition; ceiling effects are quite common among many tests. Maximal standardization is important, especially for follow-up exams. In summary, CS testing cannot be regarded as a routine test. The present report by the DOG commission for quality management of psychophysical assessment covers the physiological background, testing principles, and strategies and presents a tabular overview of common tests.

Keywords

Contrast · Visual function · Psychophysics · Threshold assessment · Glare

keit) maximal. Sehr hohe und sehr niedrige Flimmerfrequenzen werden schlechter wahrgenommen. Die höchste zeitliche Frequenz, die bei der maximal möglichen Modulation gerade noch wahrgenommen wird (Schnittpunkt der Kurven mit der Abszisse in **Abb. 1b**) bezeichnet man als Flimmerverschmelzungsfrequenz (engl.: „critical flicker fusion frequency“). Starken Einfluss auf die Flimmerverschmelzungsfrequenz haben die Leuchtdichte (je heller, desto höher die Verschmelzungsfrequenz) und die retinale Exzentrizität (Maximum der Verschmelzungsfrequenz bei 10–20°).

Die Kontrastempfindlichkeit zeigt eine Reihe von Abhängigkeiten, die bei der Untersuchung berücksichtigt und bei Wiederholungsmessungen konstant gehalten werden müssen, um eine gleichbleibend hohe Qualität der Untersuchungsaussage zu erreichen. Entscheidend sind:

- die Art der Testzeichen mit variablem Kontrast (Gittermuster, Landolt-Ringe oder Buchstaben),
- die Ortsfrequenz, falls die Testmuster periodisch sind. Es werden Sinus- und Rechteckgitter verwendet, doch nur Sinusgitter sind durch eine Ortsfrequenz eindeutig definiert; Rechteckgitter und Optotypen enthalten stets eine Vielzahl von Ortsfrequenzen, die sich aus der Größe und der Abbildungsschärfe (z. B. Sehwinkelgröße der Landolt-Ringlücke und Kantenschärfe des Rings) ergeben. Bei Optotypen sollte deshalb statt der Ortsfrequenz besser der Visuswert des Testzeichens angegeben werden. Sinusgitter werden heute manchmal mit einer weichen Apertur (Gauß-Hüllkurve) versehen; man spricht dann auch von Gaborreizen. Generell muss bei allen Kontrastempfindlichkeitstests die Beobachtungsdistanz genau definiert sein und eingehalten werden.

Darüber hinaus sind zu spezifizieren:

- falls nicht statisch geprüft wird: die Zeitfrequenz der Kontrastwechsel,
- die Darbietungszeit,
- das geprüfte Gesichtsfeldareal,
- die Größe des Prüffeldes (der Winkel, unter dem es gesehen wird, daher Beobachtungsdistanz einhalten),

- die Leuchtdichte des Prüffeldes und der Umgebung,
- die spektrale Zusammensetzung des von Prüffeld und Umgebung abgegebenen oder reemittierten Lichtes (z. B. weiß mit kontinuierlichem Spektrum),
- die Art der psychophysischen Schwellenermittlung (z. B. „forced choice“ oder „kriteriumsabhängig“) und das Abbruchkriterium,
- der Refraktionsstatus des Probanden (z. B. ohne Korrektur, mit bestehender Brillenkorrektur oder mit neu ermittelter bester Korrektur),
- die Untersuchungsbedingungen (monokular/binokular).

Falls die Kontrastempfindlichkeit in Anwesenheit einer oder mehrerer Blendquellen geprüft wird (z. B. [4]), hängt das Messergebnis außerdem sehr stark von den optischen und geometrischen Eigenschaften der Blendquellen ab. Besonders wichtig sind:

- die Anzahl, Leuchtdichte, geometrische Form und der Durchmesser der Blendquellen,
- der Sehwinkelabstand der Blendquellen von der Foveola bzw. von den Prüfzeichen.

Indikationen

Pathophysiologie

Zahlreiche Erkrankungen, die zu einer Rarefizierung der Rezeptordichte oder niedrigerem Quanteneinfall führen, setzen die Kontrastempfindlichkeit herab. Erkrankungen der Ganglienzellen und des N. opticus bewirken insbesondere (aber keineswegs ausschließlich) eine Beeinträchtigung des zeitlichen Auflösungsvermögens für Kontraste.

Allerdings hat die klinische Erfahrung gezeigt, dass die Kontrastschwelle messung im Allgemeinen keine differenzialdiagnostischen Hinweise liefert, die nicht auch schon in den sinnesphysiologischen Basisuntersuchungen (Visus, Farbsinn und Perimetrie) erkennbar wären. Relevant ist die Kontrastempfindlichkeit dagegen bei Untersuchungen der Fahrtauglichkeit für Führerscheingutachten, insbesondere in Bezug auf Dämmerungsse-

hen, bei Filtergläseranpassungen in intermediären Stadien der Retinitis pigmentosa [13] und bei der refraktiven Hornhaut- und Linsen chirurgie.

Optische Aberrationen niedriger und höherer Ordnung können die Kontrastempfindlichkeit ebenfalls herabsetzen. Dies kann die diagnostische Aussagekraft bei den oben genannten Erkrankungen stören. Eine Bildunschärfe durch eine unkorrigierte oder falsch korrigierte Fehlsichtigkeit beeinträchtigt die Kontrastempfindlichkeit v. a. im Bereich hoher Ortsfrequenzen (feiner Bilddetails), dies äußert sich natürlich auch in reduziertem Visus. Lichtstreuende Augenmedien (z. B. Hornhautnarben und Katarakt) können die Kontrastempfindlichkeit sowohl bei niedrigen als auch bei hohen Ortsfrequenzen (groben und feinen Details) beeinflussen, da der Bildkontrast durch Streulicht reduziert wird. Der Einfluss der Lichtstreuung wird besonders deutlich, wenn zusätzlich zur normalen Messung der Kontrastempfindlichkeit eine zweite Messung unter Benutzung einer Blendquelle durchgeführt wird. Durch die Blendquelle entsteht zusätzliches Streulicht, das die Kontrastempfindlichkeit z. T. drastisch reduziert. Da unterschiedliche Arten von Medientrüben auch unterschiedliche Streu charakteristika aufweisen, hängt die Reduktion der Kontrastempfindlichkeit dabei in hohem Maß von den optischen und geometrischen Eigenschaften der Blendquellen ab (s. Abschnitt „Physikalische und physiologisch-optische Basis, Kontrast, Schwellenkontrast und Kontrastempfindlichkeit“).

Diagnostik und Verlaufskontrolle

Die Kontrastempfindlichkeit kann diagnostisch nutzvoll sein bei:

Erkrankungen von Netzhaut, Sehnerv, Sehbahn und Sehzentren. Diabetische Retinopathie; hereditäre, toxische, entzündliche, metabolische und immunologische Erkrankungen der Makula und der gesamten Retina; okuläres Ischämiesyndrom; Glaukom; ischämische, hereditäre, toxische, kompressive, entzündliche, metabolische und immunologische Optikusneuropathien. Die Kontrastempfindlichkeitsfunktion zeigt z. B. den charak-

teristischen Abfall der Kontrastempfindlichkeit zu niedrigen Ortsfrequenzen hin bei Netzhauterkrankungen, wie z. B. der diabetischen Retinopathie [13].

Optischen Einwirkungen. Hornhautnarben, Verätzungen; Verlaufskontrolle bei Katarakt; Evaluation, Diagnostik und Verlaufskontrolle nach hornhaut- und linsenchirurgischen Eingriffen [refraktive Hornhautchirurgie (LASIK, LASEK, PRK), Keratoplastiken (perforierende und lamelläre), Kataraktchirurgie (monofokale, multifokale und akkommodative IOL), refraktive Linsen chirurgie („phake“ IOL) etc.].

Verkehrsmedizin. Zum Beispiel Fahrtauglichkeitsuntersuchungen, Eignungsuntersuchungen für die Schiff- und Luftfahrt [17]. Typische Problemfelder: Steuerungsaufgaben bei herabgesetzter Kontrastempfindlichkeit in der Dämmerung oder bei herabgesetztem Kontrast durch Regen, Bewölkung und Nebel.

Arbeitsmedizin. Bei Eignungsuntersuchungen (z. B. Pilot, Schiffsführer, Drucker, Lackierer) oder zur Erfassung der Auswirkungen toxischer Belastungen am Arbeitsplatz.

Methodik

Verfahrensprinzipien

Die *Kontrastempfindlichkeitsfunktion* stellt die Kontrastempfindlichkeit in Abhängigkeit von der Ortsfrequenz bzw. vom Visuswert der verwendeten Optotypen dar (■ **Abb. 1a**), die *de Lange-Kurve* stellt die Kontrastempfindlichkeit in Abhängigkeit von der Zeitfrequenz dar (■ **Abb. 1b**).

Die Messung der Kontrastempfindlichkeit kann die Sehschärfepfung nicht ersetzen, sondern nur ergänzen. Nach Einschätzung der Verfasser ist – wenn überhaupt – nur der Bereich mittlerer Ortsfrequenzen von Bedeutung: Die Empfindlichkeit bei hohen Ortsfrequenzen ist schon mit der Visusprüfung abgedeckt (faktorenanalytisch belegt [15]). Da ein selektiver Verlust in nur einem eingeschränkten Bereich von Ortsfrequenzen offenbar nicht auftritt, reicht es aus, bei der Kontrastempfindlichkeitsbestimmung

nur mit einer mittleren Ortsfrequenz bzw. in einem mittleren Ortsfrequenzbereich zu prüfen. Nur hier sind Informationen zu erwarten, die über das hinausgehen, was sich bei Untersuchung von Visus, Farbsinn und Perimetrie ergibt.

Die Kontrastempfindlichkeit ist eine Sinnesleistung, die interindividuell sehr unterschiedlich ausgeprägt ist. Nach Burton et al. [5] unterscheidet sich die Kontrastempfindlichkeit für Sinusgitter bei vollkommen augengesunden Personen um einen Faktor von 4–8. Solch große Unterschiede gibt es beim Visus von Augengesunden nicht. Diese hohe interindividuelle Variabilität erschwert den diagnostischen Einsatz für das Erkennen beginnender pathologischer Veränderungen. Im klinisch-diagnostischen Bereich ist die Kontrastempfindlichkeit deshalb eher für vergleichende Messungen oder intraindividuelle Verlaufsbeobachtungen geeignet. So lässt sich die Qualität des Kontrastsehens vor und nach einem operativen Eingriff (z. B. refraktive Hornhautchirurgie) oder mit vs. ohne multifokale Kontaktlinsen evaluieren.

Wenn eine zusätzliche Blendquelle zur Verfügung steht [z. B. OPTEC® 6500 Contrast Sensitivity View-in Tester, Nyktometer, Mesotest II oder Brightness Acuity Tester (BAT, nicht mehr lieferbar), VectorVision, Kontrastometer], kann das Ausmaß der Sehbeeinträchtigung durch eine beginnende Medientrübung sehr gut beurteilt werden, da es dann mit eingeschalteter Blendquelle zu einer drastischen Verschlechterung der Kontrastempfindlichkeit kommen kann. Das neue Streulichtmessgerät „C-Quant“ (Firma Okulus) benutzt die Kontrastwahrnehmung, um in einem Kompensationsverfahren das intraokulare Streulicht zu quantifizieren.

Gebräuchliche Untersuchungsmethoden

Folgende Verfahren zur Messung der örtlichen Kontrastempfindlichkeit sind gebräuchlich: Sinusgittertafeln [z. B. Visitech-Tafel (nicht mehr lieferbar), F.A.C.T.-Tafel, VectorVision CSV-1000], Tafeln mit Optotypen und abgestuftem Kontrast [Pelli-Robson-Tafel (Pelli et al. 1988)], Tafeln mit Optotypen mit reduziertem Kontrast (Low-Contrast Bailey-Lovey-Tafel,

LEA Low-Contrast Symbol Chart). Letztere messen jedoch eigentlich den „Visus bei niedrigem Kontrast“. Tests zur Prüfung des Kontrastsehens bei Dämmerung (z. B. Mesotest II nach Aulhorn & Harms; Nyktometer, Kontrastometer), Tests zur Prüfung des photopischen Kontrastsehens mit von hinten durchleuchteten Optotypen (Nadler-Miller-Test, nicht mehr lieferbar), Videokontrastempfindlichkeitstests [Sinusgitter: z. B. Nicolet CS 2000 (nicht mehr lieferbar)], Optotypen: z. B. Freiburger Test mit Landolt-Ringen [1] und die Ringperimetrie nach Frisén (<http://www.oft.gu.se/webdiagnos/Perimetry/Perimetry.html#HRP>).

Als Beispiel für eine Untersuchungsmethode, bei der die zeitliche Kontrastempfindlichkeit gemessen wird, sei das Ortsfrequenzverdopplungsverfahren (FDT, auch perimetrisch, z. B. Zeiss-Humphrey) genannt. Diese Methode wird zur Glaukomfrüherkennung eingesetzt.

Neben den genannten, kommerziell erhältlichen Verfahren existieren zahlreiche Laboraufbauten, die jedoch nicht Gegenstand dieser Darstellung sein können.

Bezüglich der Vorgehensweise ist von Bedeutung, ob das sog. „Beobachterkriterium“ der Probanden im Sinn der Signalentdeckungstheorie [11, 18] das Ergebnis verfälschen kann. „Forced-choice-Verfahren“ oder d'-Auswertung sind vom Beobachterkriterium („Ja-Sage-Bereitschaft“) unabhängig und sind Verfahren vorzuziehen, bei denen vom Proband lediglich das Vorhanden-/Nichtvorhandensein eines Reizes berichtet wird. Dabei erbringen Verfahren mit mehr als 2 Alternativen einen erheblichen Gewinn in der Durchführungszeit (s. unten).

Beleuchtung, Leuchtdichte

Bei Einblickgeräten ist das Einhalten der Beleuchtungsmerkmale vom Hersteller konstruktiv oder durch Beigabe der entsprechenden Prüfvorrichtungen (Photometer) sicherzustellen.

Bei auf Karton oder auf Kunststoffoffolien gedruckten Kontrasttafeln ist die verwendete Beleuchtung integraler Bestandteil der Untersuchung. Diese muss vom Anwender regelmäßig kontrolliert werden. Generell sind die Herstellerempfehlungen einzuhalten, darüber hinaus

empfehlen wir: weißes Licht (z. B. weiße Leuchtstoffröhren mit tageslichtähnlicher Emission, Halogenstrahler, Glühlampen mit Farbkonversionsfilter), möglichst homogene Ausleuchtung (über die einzelnen Tafelbereiche nicht mehr als $\pm 25\%$ Leuchtdichteunterschied), mittlere Leuchtdichte z. B. 80–320 cd/m² (wie bei EN ISO 8596 = DIN 58220 für die Messung der Sehschärfe).

In Deutschland existiert bislang noch keine einheitliche Empfehlung für die Leuchtdichte von Tafelproben. Sie ist aber dringlich wünschenswert, da die Ergebnisse bei Retinopathien, Makula- und Zapfenerkrankungen, aber auch Optikusneuropathien mit der Leuchtdichte stark variieren können (wesentlich ausgeprägter als bei Normalbeobachtern). Es kann für die klinische Diagnostik sinnvoll sein, die Kontrastempfindlichkeit bei unterschiedlichen Leuchtdichten zu prüfen, z. B. auch für die Anpassung kontrastanhebender optischer oder elektronischer Sehhilfen [12, 14] sowie bei der Funktionsprüfung im Bereich der refraktiven Chirurgie. Die US-Amerikanische Food and Drug Administration (FDA) hat folgende Festlegungen getroffen: für photopische Bedingungen eine Leuchtdichte von 85 cd/m², für mesopische 3 cd/m² [9].

Die von den Herstellern empfohlenen Beobachtungsdistanzen sind wegen der Abhängigkeit der Kontrastempfindlichkeit von der wahrgenommenen Winkelgröße der Sehzeichen bzw. Kontrastmuster genau ($\pm 10\%$) einzuhalten und durch entsprechende Vorrichtungen (Kinn- oder Stirnstütze bei kurzem Betrachtungsabstand) sicherzustellen.

Kalibrierung von Leuchtdichte und Beleuchtungsstärke

Generell ist anzumerken, dass Schwankungen in den Beleuchtungsbedingungen die Ergebnisse einer Kontrastschwelle messung stärker stören als die einer Visusmessung. Die Definition der Untersuchungsbedingungen der benutzten Apparatur und ihre reproduzierbare Anwendung sind die erste und sehr wichtige Voraussetzung für die Untersuchungsqualität.

| Tab. 1 Gerätetabelle | |
|------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Vistech™-Tafel | |
| Hersteller/Vertrieb | Vistech Consultants Inc, Dayton, Ohio, USA; wird nicht mehr hergestellt. Sie wird hier aufgeführt, da sie noch weit verbreitet ist, sie war die erste kommerziell vertriebene Prüftafel |
| Testprinzip | Papptafel mit Gittermustern mit abnehmendem Kontrast |
| Beleuchtungsart | Auflichttafel |
| Sehzeichen | Sinusgittermuster in 3 Orientierungen (senkrecht, nach links oder nach rechts geneigt) |
| Anzahl der Ortsfrequenzen | 5 Reihen mit verschiedenen Ortsfrequenzen (1,5; 3; 6; 12; 18 Linien/Grad) |
| Anzahl der Kontraststufen pro Ortsfrequenz | 9 |
| Anzahl der Sehzeichen pro Kontraststufe | 1 |
| Abbruchkriterium | Das kontrastärmste, in ununterbrochener Reihenfolge richtig benannte Sehzeichen definiert die Kontrastempfindlichkeit in jeder Reihe |
| Ratewahrscheinlichkeit pro Sehzeichen/pro Kontraststufe | 33%/33% |
| Vom Hersteller empfohlene Prüferntfernung | 3 m |
| Umfeld | Weiß |
| Von der DOG empfohlene Leuchtdichte | 80–320 cd/m ² (= normale Prüftafelleuchtdichte nach DIN EN ISO 8596) |
| Maße | 68,6 cm×94 cm |
| Besonderheiten | Dieser Test war auch in verkleinerter Form für die Nähe erhältlich |
| Anmerkungen | Die Tafel muss durch die Beleuchtung (Strahler) gleichmäßig hell und frei von Spiegelungen und Blendung beleuchtet werden |
| Functional Acuity Contrast Test (F.A.C.T.) | |
| Hersteller/Vertrieb | Stereo Optical, Chicago, IL, USA (http://www.stereooptical.com/MainPages/Functional.htm) Vision Sciences Research Corporation, San Ramon, CA, USA (http://www.contrastsensitivity.net) |
| Testprinzip | Papptafel mit Gittermustern mit abnehmendem Kontrast |
| Beleuchtungsart | Auflichttafel |
| Sehzeichen | Sinusgittermuster in 3 Orientierungen (senkrecht, nach links oder nach rechts geneigt) |
| Anzahl der Ortsfrequenzen | 5 Reihen mit verschiedenen Ortsfrequenzen (1,5; 3; 6; 12; 18 Linien/Grad) |
| Anzahl der Kontraststufen pro Ortsfrequenz | 9 |
| Anzahl der Sehzeichen pro Kontraststufe | 1 |
| Abbruchkriterium | Das kontrastärmste, in ununterbrochener Reihenfolge richtig benannte Sehzeichen definiert die Kontrastempfindlichkeit in jeder Reihe |
| Ratewahrscheinlichkeit pro Sehzeichen/pro Kontraststufe | 33%/33% |
| Vom Hersteller empfohlene Prüferntfernung | 3 m |
| Umfeld | Mittelgrau |
| Von der DOG empfohlene Leuchtdichte | 80–320 cd/m ² (= normale Prüftafelleuchtdichte nach DIN EN ISO 8596) |
| Maße | 68,6 cm×94 cm |
| Besonderheiten | Dieser Test ist auch in verkleinerter Form für die Nähe erhältlich |
| Anmerkungen | Die Tafel muss durch die Beleuchtung (Strahler) gleichmäßig hell und frei von Spiegelungen und Blendung beleuchtet werden |
| Pelli-Robson-Tafel | |
| Hersteller/Vertrieb | VISUS GmbH, Stuttgart, BRD (http://www.visus.de) Clement Clarke Intl/Haag-Streit, ENGLAND (http://www.haag-streit-uk.com) |
| Testprinzip | Papptafel mit Buchstaben mit abnehmendem Kontrast |
| Beleuchtungsart | Auflichttafel |
| Sehzeichen | Buchstaben (10 verschiedene: C, D, H, K, N, O, R, S, V, Z) |
| Anzahl der Visusstufen | 1 (Visuswert 0,03 aus 1 m bzw. 0,1 aus 3 m) |
| Anzahl der Kontraststufen | 16 |
| Anzahl der Sehzeichen pro Kontraststufe | 3 |
| Abbruchkriterium | Die letzte Dreiergruppe, von der noch mindestens 2 Buchstaben richtig angegeben werden, definiert die Kontrastempfindlichkeit |
| Ratewahrscheinlichkeit pro Sehzeichen/pro Kontraststufe | ca. 4%/<1% |
| Vom Hersteller/von Pelli ursprünglich empfohlene Prüferntfernung | 1 m/3 m |

| Tab. 1 Gerätetabelle (Fortsetzung) | |
|-------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Umfeld | Weiß |
| Von der DOG empfohlene Leuchtdichte | 80–320 cd/m ² (= normale Prüftafelleuchtdichte nach DIN EN ISO 8596) |
| Maße | 59 cm×84 cm |
| Besonderheiten | Erste Kontrastempfindlichkeitsprüftafel mit Buchstaben (http://www.psych.nyu.edu/pelli/charts.html) |
| Anmerkungen | Die Tafel muss durch die Beleuchtung (Strahler) gleichmäßig hell und frei von Spiegelungen und Blendung beleuchtet werden |
| CST 1800 DIGITAL Contrast Sensitivity View-in Tester | |
| Hersteller/Vertrieb | Vision Sciences Research Corporation, San Ramon, CA, USA (http://www.contrastsensitivity.net) |
| Testprinzip | Einfaches Einblickgerät, in dem eine verkleinerte F.A.C.T.-Tafel zur Messung der Kontrastempfindlichkeit verwendet wird |
| Beleuchtungsart | Auflichttafel im geschlossenen Einblickgerät |
| Sehzeichen | Sinusgittermuster in 3 Orientierungen (senkrecht, nach links oder nach rechts geneigt) |
| Anzahl der Ortsfrequenzen | 5 Reihen mit verschiedenen Ortsfrequenzen (1,5; 3; 6; 12; 18 Linien/Grad) |
| Anzahl der Kontraststufen pro Ortsfrequenz | 9 |
| Anzahl der Sehzeichen pro Kontraststufe | 1 |
| Abbruchkriterium | Das kontrastärmste, in ununterbrochener Reihenfolge richtig benannte Sehzeichen definiert die Kontrastempfindlichkeit in jeder Reihe |
| Ratewahrscheinlichkeit pro Sehzeichen/pro Kontraststufe | 33%/33% |
| Vom Hersteller empfohlene Prüfentfernung | Die Testtafel im Einblickgerät wird durch ein Okular ins Unendliche abgebildet |
| Umfeld | Mittelgrau |
| Vom Hersteller verwendete Leuchtdichte | Derzeit nicht bekannt |
| Besonderheiten | Für das Einblickgerät gibt es zusätzlich eine verkleinerte EDTRS-Tafel, mit der man den Visus prüfen kann |
| Anmerkungen | Die gleichmäßige Beleuchtung im Einblickgerät sorgt für konstante Lichtverhältnisse |
| OPTEC® 6500 Contrast Sensitivity View-in Tester | |
| Hersteller/Vertrieb | Stereo Optical, Chicago, IL, USA (http://www.stereooptical.com/MainPages/Functional.htm) Vision Sciences Research Corporation, San Ramon, CA, USA (http://www.contrastsensitivity.net) |
| Testprinzip | Aufwendigeres Einblickgerät vom gleichen Hersteller wie CST 1800, in dem eine verkleinerte F.A.C.T.-Tafel zur Messung der Kontrastempfindlichkeit verwendet wird |
| Beleuchtungsart | Auflichttafel im geschlossenen Einblickgerät |
| Sehzeichen | Sinusgittermuster in 3 Orientierungen (senkrecht, nach links oder nach rechts geneigt) |
| Anzahl der Ortsfrequenzen | 5 Reihen mit verschiedenen Ortsfrequenzen (1,5; 3; 6; 12; 18 Linien/Grad) |
| Anzahl der Kontraststufen pro Ortsfrequenz | 9 |
| Anzahl der Sehzeichen pro Kontraststufe | 1 |
| Abbruchkriterium (DOG-Empfehlung) | Das kontrastärmste, in ununterbrochener Reihenfolge richtig benannte Sehzeichen definiert die Kontrastempfindlichkeit in jeder Reihe |
| Ratewahrscheinlichkeit pro Sehzeichen/pro Kontraststufe | 33%/33% |
| Vom Hersteller empfohlene Prüfentfernung | Die Testtafel im Einblickgerät wird durch ein Okular ins Unendliche abgebildet |
| Umfeld | Mittelgrau |
| Vom Hersteller verwendete Leuchtdichte | 2 Leuchtdichten: 85 cd/m ² und 3 cd/m ² |
| Besonderheiten | Für das Einblickgerät gibt es zusätzlich eine verkleinerte EDTRS-Tafel, mit der man den Visus prüfen kann Außerdem ist eine Blendquelle eingebaut. So können der Visus und die Kontrastempfindlichkeit bei Blendung (Blendempfindlichkeit) bestimmt werden |
| Anmerkungen | Die gleichmäßige Beleuchtung im Einblickgerät sorgt für konstante Lichtverhältnisse |
| Freiburg Visual Acuity & Contrast Test (FrACT) | |
| Hersteller/Vertrieb | Prof. M. Bach, Freiburg, (http://www.michaelbach.de/fract.html) |
| Testprinzip | Automatisiertes System zur Bestimmung von Visus und Kontrastempfindlichkeit |
| Beleuchtungsart | Sehzeichen auf einem Computermonitor |
| Sehzeichen | Landolt-Ringe, deren Kontrast, Größe und Orientierung computergesteuert verändert wird |

| Tab. 1 Gerätetabelle (Fortsetzung) | |
|-----------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Größe der Landolt-Ringe bei der Kontrastempfindlichkeitsmessung | Frei wählbar. Ferner ist es möglich, eine Visusbestimmung mit niedrigem Kontrast durchzuführen |
| Anzahl der Kontraststufen pro Visusstufe | Der Landolt-Ringkontrast kann nahezu stufenlos verändert werden |
| Anzahl der Sehzeichen pro Kontraststufe | Die Anzahl der Darbietungen pro Kontraststufe wird vom Computer je nach Verlauf der Messung automatisch gewählt |
| Abbruchkriterium | Die Messung erfolgt mit einer „Best-PEST-Messprozedur“. Die Anzahl der Darbietungen pro Messung ist vom Benutzer frei wählbar. In der Standardeinstellung werden 24 Darbietungen pro Kontrastempfindlichkeitsmessung vorgenommen. Nach der vorgegebenen Anzahl wird die Kontrastempfindlichkeit vom Computer auf der Basis der erhaltenen Antworten errechnet |
| Ratewahrscheinlichkeit pro Sehzeichen/pro Messung | 12,5% bei 8 Orientierungen des Landolt-Rings/gering, da die Auswertung alle gegebenen Antworten in die Berechnung einbezieht |
| Empfohlene Prüferentfernung | Die Entfernung ist frei wählbar. Empfehlenswert sind ca. 3–6 m |
| Umfeld | Mittelgrau |
| Von der DOG empfohlene Leuchtdichte | 80–320 cd/m ² (= normale Prüftafelleuchtdichte nach DIN EN ISO 8596) |
| Besonderheiten | Reines Computerprogramm, kostenfrei, setzt beim Anwender einen geeigneten Rechner voraus (die ältere Version ist derzeit besser für Kontrastmessung geeignet und erfordert einen Apple Macintosh-Rechner) und Kompetenz zur Einrichtung des Messplatzes |
| Anmerkungen | Zahlreiche Zusatzoptionen. Bei einer genügend hohen Zahl von Darbietungen (ab 24) sehr hohe Messgenauigkeit |
| VectorVision CSV-1000 | |
| Hersteller/Vertrieb | VectorVision, Greenville, Ohio, USA, (http://www.vectorvision.com) |
| Testprinzip | Von hinten durchleuchtete Prüftafeln |
| Beleuchtungsart | Auswechselbare, transparente Prüftafel, die von hinten von einem Lichtkasten durchleuchtet wird |
| Sehzeichen | Sinusgittermuster in 3 Orientierungen (senkrecht, nach links oder nach rechts geneigt) |
| Anzahl der Ortsfrequenzen | Die Sinusgitter auf der Tafel CSV-1000E werden in 4 Ortsfrequenzen (3; 6; 12; 18 Linien/Grad) angeboten. Zusätzlich gibt es weitere Kontrastprüftafeln in einfacherer Ausführung (s. Homepage) |
| Anzahl der Kontraststufen pro Ortsfrequenz | 8 |
| Anzahl der Sinusgitter pro Kontraststufe | 1 Gitter und 1 uniformes Feld untereinander |
| Abbruchkriterium (DOG-Empfehlung) | Befragung nach „forced-choice“ mit 2 Alternativen. Das kontrastärmste, in ununterbrochener Reihenfolge richtig benannte Sinusgitter definiert die Kontrastempfindlichkeit bei der getesteten Ortsfrequenz |
| Ratewahrscheinlichkeit pro Sehzeichen/pro Kontraststufe | Ca. 50%/ca. 50% |
| Vom Hersteller empfohlene Prüferentfernung | 8 Fuß=2,4 m |
| Umfeld | Weiß |
| Vom Hersteller verwendete Leuchtdichte | 85 cd/m ² |
| Maße | 65 cm×63 cm |
| Besonderheiten | Für den Lichtkasten gibt es zahlreiche andere Prüftafeln, z. B. eine EDTRS-Tafel zur Visusprüfung |
| Anmerkungen | Im Lichtkasten sind Photozellen eingebaut, die die Helligkeit messen und über einen Regelkreis für eine konstante Leuchtdichte sorgen |
| Kontrasttest für Kleinkinder | |
| Hiding Heidi (von Lea Hyvärinen) | |
| Hersteller/Vertrieb | Hersteller/Vertrieb |
| Testprinzip | Testprinzip |
| Beleuchtungsart | Beleuchtungsart |
| Sehzeichen | Sehzeichen |
| Anzahl der Visusstufen | Anzahl der Visusstufen |
| Anzahl der Kontraststufen | Anzahl der Kontraststufen |
| Anzahl der Sehzeichen pro Kontraststufe | Anzahl der Sehzeichen pro Kontraststufe |
| Abbruchkriterium (DOG-Empfehlung) | Abbruchkriterium (DOG-Empfehlung) |
| Ratewahrscheinlichkeit pro Sehzeichen/pro Kontraststufe | Ratewahrscheinlichkeit pro Sehzeichen/pro Kontraststufe |
| Vom Hersteller empfohlene Prüferentfernung | Vom Hersteller empfohlene Prüferentfernung |

| Tab. 1 Gerätetabelle (Fortsetzung) | |
|-----------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Visustafeln mit niedrigem Kontrast | |
| Bailey-Lovie-Tafel (Schweizer Version) mit niedrigem Kontrast | |
| Hersteller/Vertrieb | Schweizer Optik, 91301 Forchheim, BRD (http://www.schweizer-optik.de), beziehbar auch über den Schweizerischen Zentralverein Blindenwesen |
| Testprinzip | Visusprüfung mit Buchstaben mit 10% Kontrast |
| Beleuchtungsart | Auflichttafel |
| Sehzeichen | Buchstaben (11 verschiedene: B, D, E, F, H, K, N, P, R, U, V) |
| Anzahl der Visusstufen | 14 (Visuswerte 0,125–2,5 aus 5 m) |
| Anzahl der Kontraststufen | 1 (alle Buchstaben auf der Tafel haben den gleichen Kontrast) |
| Anzahl der Sehzeichen pro Visusstufe | 5 |
| Abbruchkriterium (DOG-Empfehlung) | Die letzte Reihe, von der noch mindestens 3 Buchstaben von 5 richtig angegeben werden, definiert den „Low-contrast-Visus“ |
| Ratewahrscheinlichkeit pro Sehzeichen/pro Visusstufe | ca. 4%/<1% |
| Empfohlene Prüferentfernung | Die Tafel ist so konzipiert, dass sie in fast beliebigen Entfernungen eingesetzt werden kann: Auf der Tafel ist nicht der Visuswert, sondern die „Normalentfernung“ angegeben. Üblich sind 2–6 m |
| Umfeld | Weiß |
| Von der DOG empfohlene Leuchtdichte | 80–320 cd/m ² (= normale Prüftafelleuchtdichte nach DIN EN ISO 8596) |
| Maße | 56 cm×65 cm |
| Besonderheiten | Zusammen mit der vom Hersteller angebotenen 2. Prüftafel mit hohem Kontrast kann der „normale“ Visus mit 100% Kontrast und der „Low-contrast-Visus“ mit 10% Kontrast gemessen werden |
| Anmerkungen | Die Tafel muss durch die Beleuchtung (Strahler) gleichmäßig hell und frei von Spiegelungen und Blendung beleuchtet werden |
| Original US Bailey-Lovie-Tafel mit niedrigem Kontrast | |
| Hersteller/Vertrieb | Clement Clarke Intl/Haag-Streit, ENGLAND (http://www.haag-streit-uk.com) |
| Testprinzip | Visusprüfung mit Buchstaben mit 10% Kontrast |
| Beleuchtungsart | Auflichttafel |
| Sehzeichen | Buchstaben (10 verschiedene: D, E, F, H, N, P, R, U, V, Z) |
| Anzahl der Visusstufen | 14 (Visuswerte 0,13–2,63 aus 5 m) |
| Anzahl der Kontraststufen | 1 (Alle Buchstaben auf der Tafel haben den gleichen Kontrast) |
| Anzahl der Sehzeichen pro Visusstufe | 5 |
| Abbruchkriterium (DOG-Empfehlung) | Die letzte Reihe, von der noch mindestens 3 Buchstaben von 5 richtig angegeben werden, definiert den „Low-contrast-Visus“ |
| Ratewahrscheinlichkeit pro Sehzeichen/pro Visusstufe | Ca. 4%/<1% |
| Empfohlene Prüferentfernung | Die Tafel ist so konzipiert, dass sie in fast beliebigen Entfernungen eingesetzt werden kann: Auf der Tafel ist nicht der Visuswert, sondern die „Normalentfernung“ angegeben. Üblich sind 2–6 m |
| Umfeld | Weiß |
| Vom Hersteller empfohlene Leuchtdichte | 160 cd/m ² (tolerierbar sind 80–320 cd/m ²) |
| Maße | 53 cm×61 cm |
| Besonderheiten | Die Tafel ist auf der Rückseite mit normalen Buchstaben mit hohem Kontrast bedruckt. Mit 2 Tafeln kann somit der „normale“ Visus mit 100% Kontrast und der „Low-contrast-Visus“ mit 10% Kontrast gemessen werden |
| Anmerkungen | Die Tafel muss durch die Beleuchtung (Strahler) gleichmäßig hell und frei von Spiegelungen und Blendung beleuchtet werden |
| LEA™ Low Contrast Symbol Charts (von Lea Hyvärinen für Kinder) | |
| Hersteller/Vertrieb | Good-Lite Company, Elgin, IL, USA (http://www.good-lite.com/default.cfm) Schweizer Optik, 91301 Forchheim, BRD (http://www.schweizer-optik.de) |
| Testprinzip | Visusprüfung mit LEA™-Symbolen mit niedrigem Kontrast |
| Beleuchtungsart | Auflichttafel |
| Sehzeichen | Kreis, Quadrat, Haus, Apfel/Herz |
| Anzahl der Visusstufen | 13 |
| Anzahl der Kontraststufen | Der Hersteller bietet 5 verschiedene Tafeln mit reduziertem Kontrast (1,25, 2,5, 5, 10, 25%) an |

| Tab. 1 Gerätetabelle (Fortsetzung) | |
|---------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Anzahl der Sehzeichen pro Kontraststufe | 3–10 |
| Abbruchkriterium | Der „Low-contrast-Visus“ ergibt sich aus der kleinsten Reihe, bei der mindestens 3 von 5 Optotypen richtig erkannt wurden. Weitere Empfehlungen zur Durchführung der Messungen findet man unter http://www.lea-test.fi/de/sehtests/instruct/contrast/lowchart/lowchart.html |
| Ratewahrscheinlichkeit pro Sehzeichen/pro Kontraststufe | 25%/<1% |
| Vom Hersteller empfohlene Prüferentfernung | Der Test kann in beliebiger Entfernung durchgeführt werden (wie bei der Bailey-Lovie-Tafel) |
| Umfeld | Weiß |
| Von der DOG empfohlene Leuchtdichte | 80–320 cd/m ² (= normale Prüftafelleuchtdichte nach DIN EN ISO 8596) |
| Maße | 22,9 cm×35,6 cm |
| Besonderheiten | Kann bei Kindern, die noch nicht lesen können, eingesetzt werden Zusammen mit der vom Hersteller angebotenen 2. Prüftafel mit hohem Kontrast kann der „normale“ Visus mit 100% Kontrast und der „Low-contrast-Visus“ mit dem Kontrast der jeweiligen Tafel gemessen werden |
| Anmerkungen | Häufig wird die Tafel mit 2,5% Kontrast verwendet Die Tafel muss durch die Beleuchtung (Strahler) gleichmäßig hell und frei von Spiegelungen und Blendung beleuchtet werden |
| Zur Prüfung des Kontrastsehens bei Dämmerung | |
| Mesotest II | |
| Hersteller/Vertrieb | Fa. Oculus, Dutenhofen, BRD (http://www.oculus.de) |
| Testprinzip | Einblickgerät zur Prüfung des Kontrastsehens bei Dämmerung |
| Beleuchtungsart | Von hinten durchleuchtete Testscheibe |
| Sehzeichen | Landolt-Ringe in 6 Orientierungen; Orientierung kann vom Untersucher beliebig verändert werden |
| Anzahl der Visusstufen | 1 (Visuswert 0,1) |
| Anzahl Kontraststufen | 8 |
| Anzahl der Sehzeichen pro Kontraststufe | Der Untersucher kann die Anzahl der Darbietungen selbst bestimmen und Landolt-Ringe mit wechselnden Orientierungen anbieten |
| Abbruchkriterium (DOG-Empfehlung) | Durch die vom Untersucher einstellbare Orientierung des Landolt-Rings kann eine ordnungsgemäße Prüfung nach den Vorschriften der DIN EN ISO 8596 (z. B. 3 Richtige von 5 Darbietungen) für jede Kontraststufe durchgeführt werden Der kontrastärmste Landolt-Ring, der von 5 Darbietungen mindestens 3-mal richtig benannt wurde, definiert die Kontrastempfindlichkeit |
| Ratewahrscheinlichkeit pro Sehzeichen/pro Kontraststufe | Ca. 17%/niedrig; der genaue Wert hängt von der vom Untersucher gewählten Anzahl der Darbietungen ab |
| Vom Hersteller empfohlene Prüferentfernung | Das Einblickgerät erlaubt eine binokulare Betrachtung der Landolt-Ringe. Die Testtafel wird durch die Okulare ins Unendliche abgebildet |
| Umfeld | Weiß |
| Vom Hersteller verwendete Leuchtdichten | 2 Leuchtdichten: 0,032 cd/m ² (ohne Blendung) und 0,1 cd/m ² (mit Blendung) |
| Besonderheiten | Durch die Konstruktion wird die Einhaltung der von der DOG geforderten mesopischen Leuchtdichten gewährleistet. Außerdem ist eine Blendquelle links vom Landolt-Ring eingebaut, die einen entgegenkommenden Autoscheinwerfer simuliert. So kann zusätzlich das mesopische Kontrastsehen bei Blendung (Blendempfindlichkeit) bestimmt werden |
| Anmerkungen | a) Die elektronisch geregelte, gleichmäßige Beleuchtung im Einblickgerät sorgt für konstante Lichtverhältnisse b) Man erhält eine Auskunft über die Qualität des Kontrastsehens bei Dämmerung für Landolt-Ringe mit dem Visuswert 0,1 c) Dieses Gerät erfüllt die Anforderungen der DOG zur Prüfung des Dämmerungssehens zur Kraftfahreignungsbegutachtung |
| Nyktometer 500 | |
| Hersteller/Vertrieb | Fa. Vistec, Olching, BRD (http://www.vistec-ag.de) |
| Testprinzip | Einblickgerät zur Prüfung des Kontrastsehens bei Dämmerung |
| Beleuchtungsart | Von hinten durchleuchtete Testscheibe |
| Sehzeichen | Landolt-Ringe in 6 Orientierungen; Orientierung ist auf der Testscheibe fest vorgegeben |
| Anzahl der Visusstufen | 1 (Visuswert 0,1) |

| Tab. 1 Gerätetabelle (Fortsetzung) | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Anzahl der Kontraststufen | 6 ohne Blendung/6 mit Blendung |
| Anzahl der Sehzeichen pro Kontraststufe | 1 |
| Abbruchkriterium (DOG-Empfehlung) | Der kontrastärmste, in ununterbrochener Reihenfolge richtig benannte Landolt-Ring definiert die Kontrastempfindlichkeit |
| Ratewahrscheinlichkeit pro Sehzeichen/pro Kontraststufe | Ca. 17%/ca. 17% |
| Vom Hersteller empfohlene Prüferntfernung | Das Einblickgerät erlaubt eine binokulare Betrachtung der Landolt-Ringe. Die Testtafel wird durch die Okulare ins Unendliche abgebildet |
| Umfeld | Weiß |
| Vom Hersteller verwendete Leuchtdichte | 2 Leuchtdichten: 0,032 cd/m ² (ohne Blendung) und 0,1 cd/m ² (mit Blendung) |
| Besonderheiten | Durch die Konstruktion wird eine exakte Einhaltung der von der DOG geforderten mesopischen Leuchtdichten gewährleistet. Außerdem ist eine Blendquelle links vom Landolt-Ring eingebaut, die einen entgegenkommenden Autoscheinwerfer simuliert. So kann zusätzlich das mesopische Kontrastsehen bei Blendung (Blendempfindlichkeit) bestimmt werden |
| Anmerkungen | a) Die elektronisch geregelte, gleichmäßige Beleuchtung im Einblickgerät sorgt für konstante Lichtverhältnisse b) Man erhält eine Auskunft über die Qualität des Kontrastsehens bei Dämmerung für Landolt-Ringe mit dem Visuswert 0,1 c) Dieses Gerät erfüllt die Anforderungen der DOG zur Prüfung des Dämmerungssehens zur Kraftfahreignungsbegutachtung |
| Kontrastometer BA-4 | |
| Hersteller/Vertrieb | Fa. BKG Medizintechnik GmbH, Bayreuth (http://www.bkg-medizintechnik.com) |
| Testprinzip | Einblickgerät zur Prüfung des Kontrastsehens bei Dämmerung |
| Beleuchtungsart | Von hinten durchleuchtete Testscheibe |
| Sehzeichen | Ohne Blendung: Landolt-Ringe in 8 Orientierungen Mit Blendung: Landolt-Ringe in 8 Orientierungen |
| Anzahl der Visusstufen | 1 (Visuswert 0,1) |
| Anzahl der Kontraststufen | Der Kontrast kann in sehr kleinen Stufen (quasikontinuierlich) verändert werden. Der Untersucher kann zwischen einer manuellen Kontrasteingabe und einem automatischen Untersuchungsablauf wählen |
| Anzahl der Sehzeichen pro Kontraststufe | Ein einzelner Landolt-Ring wird je nach Untersuchungsmodus in verschiedenen Orientierungen dargeboten |
| Abbruchkriterium | Bei der Prüfung des Dämmerungssehens für den Führerschein werden 3 Richtige von 5 verlangt |
| Ratewahrscheinlichkeit pro Sehzeichen/pro Kontraststufe | Ca. 12,5%/<1% |
| Vom Hersteller empfohlene Prüferntfernung | Das Einblickgerät erlaubt eine binokulare Betrachtung der Landolt-Ringe. Der Landolt-Ring wird durch die Okulare ins Unendliche abgebildet |
| Umfeld | Weiß (beim normalen Test), rot bei der „Rotkontrastmessung“ |
| Vom Hersteller verwendete Leuchtdichte | 2 Leuchtdichten: 0,032 cd/m ² /0,1 cd/m ² (ohne/mit Blendung) |
| Besonderheiten | Durch die Konstruktion wird eine Einhaltung der von der DOG geforderten mesopischen Leuchtdichten gewährleistet. Außerdem ist eine Blendquelle links vom Landolt-Ring eingebaut, die einen entgegenkommenden Autoscheinwerfer simuliert. So kann zusätzlich das mesopische Kontrastsehen bei Blendung (Blendempfindlichkeit) bestimmt werden Zusätzlich sind eine Prüfung der Readaptationszeit und eine Messung des Kontrastsehens bei Dämmerung mit rotem Umfeld möglich Der Kontrast kann in sehr kleinen Stufen (quasikontinuierlich) verändert werden |
| Anmerkungen | a) Die elektronisch geregelte, gleichmäßige Beleuchtung im Einblickgerät sorgt für konstante Lichtverhältnisse b) Man erhält eine Auskunft über die Qualität des Kontrastsehens bei Dämmerung für Landolt-Ringe mit dem Visuswert 0,1 c) Dieses Gerät erfüllt die Anforderungen der DOG zur Prüfung des Dämmerungssehens zur Kraftfahreignungsbegutachtung |
| Die Tabelle umfasst Geräte, die nach Informationen der Kommission zur Prüfung des Kontrastsehens geeignet sind. Die Tabelle erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit. | |

Kalibrierung der Leuchtdichte. Der Anwender sollte die hellen und die dunklen Musterelemente regelmäßig mit einem Leuchtdichtemessgerät photometrieren und deren Homogenität kontrollieren. Diese wichtige Forderung kann nicht immer eingehalten werden, da nicht allen Anwendern ein Leuchtdichtemessgerät zur Verfügung steht. In diesem Fall sollte der Hersteller oder der Vertrieb die Kalibrierung übernehmen. Optimal sind Geräte mit automatischer Kalibrierung. Der Vistech-Tafel und dem F.A.C.T. wurde bei der Auslieferung bislang ein einfacher Fotobelichtungsmesser beigelegt, mit dem man die Leuchtdichte zwar nicht messen, aber zumindest die Konstanz der Beleuchtungsbedingungen verifizieren konnte, andere Systeme (VectorVision CSV-1000, CST 1800) regeln die Helligkeit automatisch über ein eingebautes Luxmeter.

Des Weiteren gelten folgende Grundregeln (s. auch die Calibration Guidelines der International Society for Clinical Electrophysiology of Vision, ISCEV, [3]): Bei auf Computermonitoren dargestellten, selbstleuchtenden Kontrastmustern muss darauf geachtet werden, dass Kontrast- und Leuchtdichteregler des Monitors stets richtig eingestellt sind. Darüber hinaus sind die Alterung [3] und die oft starke Leuchtdichteinhomogenität [2] zu berücksichtigen, letztere darf $\pm 25\%$ nicht übersteigen.

Bei lichtreflektierenden Kontrastmustern (z. B. auf Karton gedruckten Kontrastprüftafeln) müssen immer exakt gleiche Beleuchtungsbedingungen (kein Tageslicht von außen, genau festgelegte Kunstlichtbeleuchtung) herrschen. Außerdem muss die Tafel vor Ausbleichen und Einstauben geschützt werden. (Anmerkung: Bei von schräg oben mit Kunstlicht beleuchteten lichtreflektierenden Kontrastprüftafeln kann eine homogene Leuchtdichteverteilung in der Praxis kaum erreicht werden.)

Bei Kontrastprüftafeln ist sachgerechte Anwendung ganz besonders in die Verantwortung des Nutzers gegeben. Bei Videotests kommt es auf die Einhaltung der Bildschirmleuchtdichten von Sehzeichen und Untergrund bzw. etwas weniger kritisch auf die Umgebungsleuchtdichte an, die vom Schirmhersteller bzw. vom Nutzer zu sichern sind.

Ratewahrscheinlichkeit

Alle derzeit für den klinischen Einsatz kommerziell angebotenen Testtafeln und Einblickgeräte enthalten nur wenige Kontraststufen und häufig nur eine Testtafel pro Kontraststufe. Deshalb muss damit gerechnet werden, dass das Ergebnis mit einer hohen Unsicherheit behaftet ist. Außerdem hängt die Messgenauigkeit und Reproduzierbarkeit von der Ratewahrscheinlichkeit ab. Die geringste Ratewahrscheinlichkeit haben Tests mit Buchstaben. Bei der Pelli-Robson-Tafel wird pro Kontraststufe ein Satz von 3 verschiedenen Buchstaben angeboten. (Nur insgesamt 10 verschiedene Buchstaben werden verwendet, was den Probanden aber nicht unbedingt bekannt ist.) Die Wahrscheinlichkeit, dass ein Patient, der eine bestimmte Kontraststufe nicht mehr erkennen kann, 2 oder sogar alle 3 Buchstaben in diesem Satz richtig errät, liegt unter 1%. Sehr viel ungünstiger ist die Ratewahrscheinlichkeit bei den sehr populären Tafeln mit Gittermustern, bei denen pro Kontraststufe nur jeweils 1 Gitter in einer von 3 möglichen Orientierungen [schräg nach links, senkrecht, schräg nach rechts; beim CSV-1000 (VectorVision) sogar nur 2 Alternativen] angeboten wird. Ein Patient, der das Gitter nicht erkennt, kann die richtige Orientierung mit einer Wahrscheinlichkeit von 33% (bzw. 50%) richtig erraten. Die für solide Diagnostik zu fordernde Messgenauigkeit kann bei realistischer Darbietungsanzahl mit diesen Tafeln deshalb nicht erreicht werden. Eine hinreichend hohe Genauigkeit erreicht man mit Gittermustern nur dann, wenn mit einem computergesteuerten Laboraufbau eine „Forced-choice-Methode“ mit randomisierten Wiederholungen eingesetzt wird; die Anzahl der Darbietungen muss der Ratewahrscheinlichkeit angepasst werden, typisch wären 100 Darbietungen bei 2 Antwortmöglichkeiten. Dies wiederum ist für die klinische Praxis meist zu zeitaufwendig, ab 4 Antwortmöglichkeiten kommt man in einen realisierbaren Bereich von 25–30 Darbietungen. Ein Kompromiss aus Zeitaufwand und Genauigkeit ist beim Freiburg Visual Acuity & Contrast Test (FrACT [1]) angestrebt worden; bei diesem computerbasierten Test wird die Schwelle automa-

tisch durch ein psychometrisches Verfahren („best PEST“) eingegabelt.

Versuchsdurchführung und Abbruchkriterium

Um genaue und reproduzierbare Messergebnisse zu erhalten, müssen die Unterweisung und die Befragung des Patienten immer gleichartig durchgeführt werden. Wir empfehlen für die klinische Praxis folgende Vorgehensweise: Nach der einleitenden Erläuterung des Tests sollte in allen Tests, die nur ein Prüfzeichen pro Kontraststufe aufweisen [z. B. Functional Acuity Contrast Test (F.A.C.T., Stereo Optical), Nyktometer] mit einer deutlich sichtbaren Kontraststufe begonnen werden. Dann wird schrittweise zu geringeren Kontrasten übergegangen und die niedrigste Kontraststufe ermittelt, die vom Patienten in ununterbrochener Reihenfolge fehlerfrei angegeben wird. Die erste Kontraststufe mit falscher Antwort stellt das Abbruchkriterium dar und wird nicht mehr gewertet. Ein Weiterprüfen trotz falscher Antwort ist nicht zulässig. Bei der Pelli-Robson-Tafel sollte man bei einer deutlich sichtbaren Kontraststufe beginnen und danach die kontrastärmste Dreiergruppe suchen, bei der noch mindestens 2 von den 3 Buchstaben richtig benannt werden. Beim Freiburg Visual Acuity & Contrast Test (FrACT, [1]) braucht der Untersucher nicht auf die Einhaltung eines Abbruchkriteriums zu achten, da dies vom Computer übernommen wird. Hier muss aber darauf geachtet werden, dass bei der Eingabe der Patientenantwort nicht irrtümlich Eingabefehler passieren, da der Computer dann falsche Schlüsse zieht. Bei allen Tests muss der Patient zum „bestmöglichen Raten“ aufgefordert werden („forced choice“).

Fehlerquellen

Nicht standardisierte Raum- und Tafelbeleuchtung, Alterung der Darbietungsmedien (seien es Tafeln, ihre Beleuchtung, Projektoren oder Bildschirme), Dejustierung der Leuchtdichte- und Kontrasteinstellung, falsche Entfernung, unzureichende oder wechselnde Korrektur (alte Brille vs. beste Korrektur mit Refraktionsmessbrille), Beschlagen der Korrektur-

onsmedien, hohe Ratewahrscheinlichkeit bei Testtafeln mit Gittermustern, falsche oder fehlende Einweisung, falsche Befragung bzw. falsches Abbruchkriterium, unterschiedliche Befragungstechniken bei wiederholten Messungen zur Verlaufskontrolle und unterschiedliche Untersucher mit inkonstanten Instruktionen und Abbruchkriterien stellen wesentliche Fehlerquellen dar.

Viele Kontrasttests leiden unter sog. „Deckeneffekten“ (engl. „ceiling effects“). Damit ist gemeint, dass der Test z. B. nicht genügend kleine Kontraste anbieten kann, um bei Normalpersonen die tatsächliche Kontrastschwelle zu ermitteln. Ähnlich ist es beim Visus: Die meisten Visustests bieten als kleinste Optotype 1,6 an, doch der normale Visus bei jungen Probanden liegt bei 1,9 [16]. Wenn Decken- oder Bodeneffekte (engl. „ceiling/floor effects“) vorliegen, wird nicht nur die Kontrastempfindlichkeit nicht richtig gemessen, sondern es wird auch eine zu hohe Reproduzierbarkeit vorgetäuscht.

Befunddarstellung, -wiedergabe

Soweit das Untersuchungsverfahren dies ermöglicht, wird eine Darstellung der Werte im kartesischen Koordinatensystem als Kontrastempfindlichkeitsfunktion empfohlen (■ **Abb. 1a**). Bei Kontrastempfindlichkeitstests, die nur *eine* Optotypengröße darbieten (z. B. Pelli-Robson-Tafel), sollte der gemessene Wert der Kontrastempfindlichkeit bzw. der Logarithmus dieses Wertes für die dargebotene Optotypengröße angegeben werden.

Qualitätskriterien

Die Qualitätskriterien sind dem Text und ■ **Tab. 1** zu entnehmen.

Fazit für die Praxis

Die Kontrastempfindlichkeit (KE) ist eine wesentliche Sehfunktion. Sie kann aus optischen oder neuralen Gründen herabgesetzt sein. In der klinischen Praxis spielt die Prüfung der KE bei Verlaufskontrollen, Gutachten, Fahrtauglichkeitsprüfungen und Einstellungsuntersuchungen eine Rolle, sie ist ferner wichtiger Bestandteil klinischer Studien zur

optischen Qualität z. B. in der Katarakt- und refraktiven Chirurgie. Durch zusätzliche Prüfung mit einer Blendlichtquelle kann die Blendempfindlichkeit ermittelt werden. Im Gegensatz zum Visus unterliegen Kontrastschwellen einer höheren Variabilität und sind stark vom verwendeten Test und vielen Störfaktoren abhängig. Daher bleibt die Kontrastschwelenmessung Spezialanwendungen vorbehalten.

Korrespondenzadresse

Prof. Dr. M. Bach
 Universitäts-Augenklinik
 Killianstraße 5, 79106 Freiburg
 michael.bach@uni-freiburg.de

Danksagung. Wir danken Prof. Dr. Hans Strasburger für kundige Hinweise.

Interessenkonflikt. Der korrespondierende Autor gibt an, dass kein Interessenkonflikt besteht.

Literatur

- Bach M (2006) Homepage of the Freiburg Visual Acuity & Contrast Test („FrACT“). Access: 2007-04-17 from <http://www.michaelbach.de/fract.html>
- Bach M, Meigen T, Strasburger H (1997) Raster-scan cathode-ray tubes for vision research – limits of resolution in space, time and intensity, and some solutions. *Spat Vis* 10: 403–414
- Brigell M, Bach M, Barber C et al. (2003) Guidelines for calibration of stimulus and recording parameters used in clinical electrophysiology of vision. *Doc Ophthalmol* 107: 185–193
- Bühren J, Terzi E, Bach M et al. (2006) Measuring contrast sensitivity under different lighting conditions: comparison of three tests. *Optom Vis Sci* 83: 290–298
- Burton KB, Owsley C, Sloane ME (1993) Aging and neural spatial contrast sensitivity: photopic vision. *Vision Res* 33: 939–946
- Campbell FW, Robson JG (1968) Application of Fourier analysis to the visibility of gratings. *J Physiol* 197: 551–566
- Lange H de (1958) Research into the dynamic nature of the human fovea-cortex systems with intermittent and modulated light. II. Phase shift in brightness and delay in color perception. *J Opt Soc Am* 48: 784–789
- DIN Deutsches Institut für Normung e.V. (1997) Begriffe der physiologischen Optik (DIN 5340). Beuth, Berlin
- Evans DW (2005) FDA UPDATE: Contrast sensitivity testing standards. *Ophthalmology management*. Access: 2007-04-16 from <http://www.ophmanagement.com/article.aspx?article=86281>
- Ginsburg AP (1978) Visual information processing based on spatial filters constrained by biological data. In: Aerospace Medical Research Lab, Wright-Patterson AFB. National Technical Information Service, Springfield, VA
- Green DM, Swets JA (1966) Signal detection theory and psychophysics. Wiley, New York

- Hauser B, Ochsner H, Zrenner E (1992) Der „Blendvisus“. I. Physiologische Grundlagen der Visusänderung bei steigender Testfeldleuchtdichte. *Klin Monatsbl Augenheilkd* 200: 105–109
- Krastel H (1997) Richtlinien zur Anpassung von Kantenfiltern. Zur Umsetzung und Anwendung der Heil- und Hilfsmittelrichtlinien. *Augenarzt* 5: 155–159
- Ochsner H, Hauser B, Zrenner E (1991) Die Abhängigkeit der Sehschärfe von der Testfeldleuchtdichte bei Blendungsempfindlichkeit unterschiedlicher Genese. *Fortschr Ophthalmol* 88: 549–553
- Pesudovs K, Hazel CA, Doran RML, Elliott DB (2004) The usefulness of Vistech and FACT contrast sensitivity charts for cataract and refractive surgery outcomes research. *Br J Ophthalmol* 88: 11–16
- Rassow B, Cavazos H, Wesemann W (1990) Normgerechte Sehschärfenbestimmung mit Buchstaben. *Augenärztliche Fortbildung* 13: 105–114
- Rijn LJ van (2005) New standards for the visual functions of drivers – Report of the Eyesight Working Group. Access: 2007-07-17 from http://ec.europa.eu/transport/home/drivinglicence/fitnessstodrive/index_en.htm
- Wickens TD (2002) Elementary signal detection theory. Oxford University Press, Oxford New York