

Sehvermögen von Kraftfahrern und Lichtbedingungen im nächtlichen Straßenverkehr

Berichte der
Bundesanstalt für Straßenwesen

Mensch und Sicherheit Heft M 158

bast

Sehvermögen von Kraftfahrern und Lichtbedingungen im nächtlichen Straßenverkehr

Hans-Joachim Schmidt-Clausen
Achim Freiding

Fachgebiet Lichttechnik
Technische Universität Darmstadt

**Berichte der
Bundesanstalt für Straßenwesen**

Mensch und Sicherheit Heft M 158

bast

Die Bundesanstalt für Straßenwesen veröffentlicht ihre Arbeits- und Forschungsergebnisse in der Schriftenreihe **Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen**. Die Reihe besteht aus folgenden Unterreihen:

A - Allgemeines
B - Brücken- und Ingenieurbau
F - Fahrzeugtechnik
M- Mensch und Sicherheit
S - Straßenbau
V - Verkehrstechnik

Es wird darauf hingewiesen, dass die unter dem Namen der Verfasser veröffentlichten Berichte nicht in jedem Fall die Ansicht des Herausgebers wiedergeben.

Nachdruck und photomechanische Wiedergabe, auch auszugsweise, nur mit Genehmigung der Bundesanstalt für Straßenwesen, Referat Öffentlichkeitsarbeit.

Die Hefte der Schriftenreihe **Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen** können direkt beim Wirtschaftsverlag NW, Verlag für neue Wissenschaft GmbH, Bgm.-Smidt-Str. 74-76, D-27568 Bremerhaven, Telefon (04 71) 9 45 44 - 0, bezogen werden.

Über die Forschungsergebnisse und ihre Veröffentlichungen wird in Kurzform im Informationsdienst **BASt-Info** berichtet. Dieser Dienst wird kostenlos abgegeben; Interessenten wenden sich bitte an die Bundesanstalt für Straßenwesen, Referat Öffentlichkeitsarbeit.

Impressum

Bericht zum Forschungsprojekt 82.182/2000:
Überprüfung der Grenzwerte für die
Dämmerungssehstärke

Projektbetreuung
Martina Albrecht

Herausgeber
Bundesanstalt für Straßenwesen
Brüderstraße 53, D-51427 Bergisch Gladbach
Telefon: (0 22 04) 43 - 0
Telefax: (0 22 04) 43 - 674

Redaktion
Referat Öffentlichkeitsarbeit

Druck und Verlag
Wirtschaftsverlag NW
Verlag für neue Wissenschaft GmbH
Postfach 10 11 10, D-27511 Bremerhaven
Telefon: (04 71) 9 45 44 - 0
Telefax (04 71) 9 45 44 77
Email: vertrieb@nw-verlag.de
Internet: www.nw-verlag.de

ISSN 0943-9315
ISBN 3-86509-102-4

Bergisch Gladbach, März 2004

Kurzfassung – Abstract

Sehvermögen von Kraftfahrern und Lichtbedingungen im nächtlichen Straßenverkehr

Basierend auf den Untersuchungen von AULHORN und HARMS hat die Deutsche Ophthalmologische Gesellschaft in ihren Empfehlungen zur Fahreignungsbegutachtung Grenzwerte für die Dämmerungssehschärfe festgelegt.

Durch die Entwicklung auf dem Gebiet der Kraftfahrzeug-Scheinwerfertechnologie ist davon auszugehen, dass sich das Leuchtdichteniveau auf der Fahrbahn gegenüber den derzeit zugrunde gelegten Fahrbahnleuchtdichten verändert hat. Ziel der vorliegenden Untersuchung war es, das Leuchtdichteniveau im heutigen Straßenverkehr zu ermitteln.

Vorausgehende Untersuchungen von 1.701 Probanden, die keine Anforderungen bezüglich Sehleistung erfüllen mussten, mit einem Mesoptometer II zeigen, dass die Sehtest-Ergebnisse von AULHORN und HARMS trotz unterschiedlicher Probandenkollektive bestätigt werden können. Die Ergebnisse für die Untersuchungsparameter, die von der Deutschen Ophthalmologischen Gesellschaft vorgeschlagen werden, zeigen keine signifikanten Unterschiede.

Untersuchungen mit einem Head-Up-Display zeigen, dass der erreichbare Kontrast unter realen statischen Verkehrsbedingungen im Mittel um etwa eine Kontraststufe unterhalb der Werte liegt, die mit dem Mesoptometer ermittelt wurden. Unter dem Einfluss des Fahrens eines Kraftfahrzeugs reduzieren sich die erreichbaren Kontraste weiter.

Gegenüber den Fahrbahnleuchtdichten, auf denen die Arbeit von AULHORN und HARMS basiert, liegen die Leuchtdichten heutiger Scheinwerfersysteme auf Asphaltoberflächen etwa um den Faktor $k \approx 3$ höher. Eine Erhöhung der Leuchtdichte muss generell zu einer Erhöhung der Dämmerungssehschärfe führen, da das Adaptationsniveau und somit die Leistungsfähigkeit des menschlichen Auges angehoben werden. Die geforderten Grenzwerte für die Dämmerungssehschärfe sollten vor diesem Hintergrund diskutiert werden.

Untersuchungen der Dämmerungssehschärfe mit dem Mesoptometer und der PELLI-ROBSON-Tafel deuten auf eine Beziehung hin, die es in Zukunft er-

möglichen könnte, die Dämmerungssehschärfe anhand von Untersuchungen unter tagesähnlichen Bedingungen zu bestimmen.

Der Originalbericht enthält als Anhänge eine weitergehende Darstellung der Ergebnisse und Daten der in Kapitel 4 vorgestellten bisherigen Untersuchungen sowie Angaben zu den Testpersonen für die Untersuchungen mit dem Mesoptometer und zur Auswertemethode. Auf die Wiedergabe dieser Anhänge wurde in der vorliegenden Veröffentlichung verzichtet. Sie liegen bei der Bundesanstalt für Straßenwesen vor und sind dort einsehbar. Verweise auf die Anhänge im Berichtstext wurden beibehalten.

Drivers' vision and light conditions in road traffic at night

On the basis of the investigations of AULHORN and HARMS, the German Society of Ophthalmologists, in its recommendations on assessment of driving ability, has defined limit values for twilight vision.

On the basis of developments in the field of motor vehicle headlamp technology, it can be assumed that the luminance level on the roadway has changed by comparison with the roadway luminance values currently taken as a basis. The aim of this investigation was to determine the luminance level on today's roads.

Preceding investigations with a mesoptometer II on 1,701 test subjects who did not have to meet any requirements in respect of visual acuity indicate that the eye test results of AULHORN and HARMS were able to be confirmed despite differing test subject populations. The results for the investigation parameters proposed by the German Society of Ophthalmologists show no significant differences.

Investigations with a head-up display indicate that the achievable contrast under real, static traffic conditions is, on average, approximately one contrast step lower than the values determined with the mesoptometer. The achievable contrast values are reduced still further under the influence of driving a motor vehicle.

By comparison with the roadway luminance values on which the work of AULHORN and HARMS is based, the luminance values of today's headlamp systems on tarmac surfaces are higher by a factor of approximately $k \approx 3$. In general, an increase in the luminance must lead to an improvement in twilight vision since the adaptation level and, thus, the performance of the human eye is increased. The required twilight vision limit values should be discussed against this backdrop.

Investigations into twilight vision with the mesoptometer and the PELLI-ROBSON chart indicate a relationship which could apply in future for determining the twilight vision on the basis of investigations under conditions similar to those of daylight.

The original report is supplemented in Chapter 4 with annexes containing a further representation of the results and data on the investigations presented to date, in addition to information on the test persons used for the investigations with the mesoptometer and on the evaluation method. These annexes have not been included in this publication. They are available for perusal at the Federal Road Research Institute. Cross-references to the annexes in the wording of the report have been retained.

Inhalt

1	Einleitung	7	5.6.1	Umfeldleuchtdichte von $L_U = 0,1 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$ ohne Blendung	25
2	Aufgabenstellung	7	5.6.2	Umfeldleuchtdichte von $L_U = 0,032 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$ ohne Blendung	26
3	Grundlagen	7	5.6.3	Umfeldleuchtdichte von $L_U = 0,1 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$ mit Blendung	27
3.1	Kontrastempfindlichkeit	7	5.7	Einfluss der Untersuchungs- parameter	28
3.2	Sehschärfe	8	6	Untersuchungen mit einer PELLI-ROBSON-Tafel	30
3.3	Blendung	8	7	Untersuchungen mit einem Head-Up-Display	31
3.4	Adaptation	9	8	Untersuchungen bei einem geteilten Umfeld im Labor	33
4	Bisherige Untersuchungen	9	9	Fahrbahnleuchtdichten bei Beleuchtung durch kraftfahr- zeugeigene Scheinwerfer	34
4.1	Untersuchungen von AULHORN und HARMS	10	10	Folgerungen für die Praxis	38
4.2	Untersuchungen von BITTERMANN und GRAMBERG-DANIELSEN	10	11	Literatur	39
4.3	Untersuchungen von BAUM und SIEGFRIED	11	Danksagung		
4.4	Untersuchungen von SCHARWEY, KRZIZOK und HERFURTH	12			
4.5	Untersuchungen von RASSOW	12			
4.6	Untersuchungen von von HEBENSTREIT	13			
5	Untersuchungen mit dem Mesoptometer	14			
5.1	Einfluss des Trainings	14			
5.2	Einfluss der Adaptationszeit	15			
5.3	Großversuch mit dem Mesoptometer	16			
5.4	Ergebnisse „Frühjahr 2002“	17			
5.4.1	Umfeldleuchtdichte von $L_U = 0,1 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$ ohne Blendung	18			
5.4.2	Umfeldleuchtdichte von $L_U = 0,032 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$ ohne Blendung	19			
5.4.3	Umfeldleuchtdichte von $L_U = 0,1 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$ mit Blendung	20			
5.5	Ergebnisse „Herbst 2002“	21			
5.5.1	Umfeldleuchtdichte von $L_U = 0,1 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$ ohne Blendung	22			
5.5.2	Umfeldleuchtdichte von $L_U = 0,032 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$ ohne Blendung	23			
5.5.3	Umfeldleuchtdichte von $L_U = 0,1 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$ mit Blendung	23			
5.6	Gesamtergebnisse aller Testpersonen	24			

Einheiten, Formelzeichen und Abkürzungen

Einheiten

cd	Candela, SI-Einheit der Lichtstärke I	θ	Blendwinkel in Grad
cd·m ⁻²	Candela pro Quadratmeter, Einheit der Leuchtdichte L	U	Elektrische Spannung in V
km·h ⁻¹	Kilometer pro Stunde, Einheit der Geschwindigkeit v	v	Geschwindigkeit in km·h ⁻¹
lx	Lux, Einheit der Beleuchtungsstärke E		
m	Meter, SI-Einheit der Länge l		
°	Grad, Einheit des Winkels		
'	Winkelminuten		
V	Elektrische Spannung in Volt		

Formelzeichen und Abkürzungen

α	Horizontaler Beobachtungswinkel in Grad
α_S	Signifikanzniveau für statistische Tests
α_L	Auflösung des Leuchtdichtemesssystem
d	Entfernung in m
DIN	Deutsches Institut für Normung e. V.
DOG	Deutsche Ophthalmologische Gesellschaft
E	Beleuchtungsstärke in lx
ΔE	Differenz der Beleuchtungsstärke auf der Netzhaut in lx
f	Kumulierte Häufigkeit (Summenhäufigkeit) in %
F	Absolute Häufigkeit
k	Faktor
K	Kontrast
ΔK	Kontrastdifferenz
K_S	Schwellenkontrast
L	Leuchtdichte in cd·m ⁻²
L_U	Umfeldleuchtdichte in cd·m ⁻²
L_O	Objektleuchtdichte in cd·m ⁻²
ΔL	Leuchtdichtedifferenz in cd·m ⁻²
ΔL_S	Schwellenleuchtdichtedifferenz in cd·m ⁻²
log	Logarithmus zur Basis 10
N	Anzahl der Testpersonen
P	Prozentualer Anteil der Testpersonen, die einen bestimmten Kontrast nicht erreichen in %
σ	Standardabweichung

1 Einleitung

Der Kraftfahrer kann im Straßenverkehr bei Nacht im Gegensatz zum Tage nur eine eingeschränkte Anzahl visueller Informationen wahrnehmen und erkennen. Dieses reduzierte Informationsangebot ist unter anderem durch die begrenzte Ausleuchtung des Verkehrsraumes mittels der kraftfahrzeugeigenen Scheinwerfer bedingt. Nur innerhalb von geschlossenen Ortschaften auf Straßen mit ortsfester Straßenbeleuchtung wird dieser Nachteil etwas kompensiert.

Zusätzlich nimmt die visuelle Leistungsfähigkeit des menschlichen Sehapparates bei reduzierter Umfeldleuchtdichte, die das Adaptationsniveau festlegt, ab. Kennwerte für diese Leistungsfähigkeit sind u. a. die Schwellenleuchtdichte, Unterschiedsempfindlichkeit (Kontrastempfindlichkeit) und die Sehschärfe.

Die Leistungsfähigkeit des menschlichen Auges ist direkt an die Adaptationsleuchtdichte (Umfeldleuchtdichte) gekoppelt, die bei nächtlicher Fahrt auf einer Straße ohne ortsfeste Straßenbeleuchtung nur durch die Scheinwerfer des Kraftfahrzeuges und die Reflexionseigenschaften der Fahrbahnoberfläche bestimmt wird. Bei inhomogenen Leuchtdichteverteilungen, wie sie bei der Beleuchtung der Straße durch kraftfahrzeugeigene Scheinwerfer entstehen, ist bis heute noch keine Angabe der entsprechenden Adaptationsleuchtdichte möglich.

Zum sicheren Fahren bei Nacht muss eine Mindestleistungsfähigkeit des menschlichen Sehapparates gegeben sein, um z. B. Objekte im Straßenraum rechtzeitig wahrzunehmen und zu erkennen, um geeignete Fahrmanöver einzuleiten.

AULHORN und HARMS 1970 [1] publizierten einen Vorschlag für eine solche Überprüfung mit den entsprechenden Grenzwerten. Diese Ergebnisse wurden von der Deutschen Ophthalmologischen Gesellschaft (DOG) in einer Empfehlung zur Überprüfung der Fahreignungsbegutachtung übernommen (DOG 1999 [7]).

2 Aufgabenstellung

Durch die stark vorangeschrittene Entwicklung in den letzten Jahren auf dem Gebiet der Kraftfahrzeug-Scheinwerfertechnologie, die u. a. zu der Einführung des Scheinwerfers mit Gasentladungslampe

geführt hat, haben sich auch der nutzbare Lichtstrom und somit die Lichtstärkeverteilung verändert. Durch diese Veränderungen und den Einsatz neuer Lichtquellen, ist davon auszugehen, dass sich das Leuchtdichteniveau auf der Fahrbahn verändert hat. Diese Veränderungen sind in diesem Projekt zu erfassen und für die weiteren Untersuchungen zu berücksichtigen.

Unter Berücksichtigung der beschriebenen Veränderungen soll untersucht werden, in wie weit die von AULHORN und HARMS [1] publizierten Ergebnisse mit den damals zugrunde gelegten Umfeldleuchtdichten heute noch der Realität entsprechen.

3 Grundlagen

Im Folgenden werden einige lichttechnische Grundgrößen und Begriffe vorgestellt und erläutert, um ein besseres Verständnis für die Ergebnisdarstellung zu ermöglichen.

Der visuelle Prozess gliedert sich im Wesentlichen in drei Schritte:

- Sehen,
- Wahrnehmen,
- Erkennen.

Das Sehen, Wahrnehmen und Erkennen der Umgebung sind von verschiedenen Parametern abhängig, u. a. Leuchtdichte, Größe, Farbe, Darbietungszeit (vgl. SCHMIDT-CLAUSEN [24]). Zur Beschreibung des Erkennungsprozesses werden verschiedene Methoden verwendet:

- Schwellenleuchtdichte (achromatisch und chromatisch),
- Kontrastempfindlichkeit (Unterschiedsempfindlichkeit),
- Sehschärfe (Formempfindlichkeit),
- Wahrnehmungsgeschwindigkeit.

3.1 Kontrastempfindlichkeit

Ein Objekt kann erst vom menschlichen Auge wahrgenommen werden, wenn es gegenüber seiner Umgebung einen Kontrast aufweist. Dies kann ein Leuchtdichte- und/oder ein Farbunterschied sein. Für die hier dargestellten Ergebnisse ist der Leuchtdichteunterschied die maßgebende Größe.

Der Leuchtdichteunterschied ΔL eines Objektes L_O zu seiner Umgebung L_U bezogen auf die Leuchtdichte der Umgebung ist als Kontrast definiert.

$$K = \frac{L_O - L_U}{L_U} = \frac{\Delta L}{L_U} \quad (1)$$

Ist die Leuchtdichte des Objektes größer als die Leuchtdichte der Umgebung, ergibt sich ein positiver Kontrast. Hat das Objekt eine geringere Leuchtdichte als die Umgebung, tritt ein negativer Kontrast auf, dies ist insbesondere in der Straßen- und Kraftfahrzeugbeleuchtung der Fall.

Um ein Objekt wahrzunehmen, muss sein Kontrast über der adaptionsabhängigen Schwelle, dem Schwellenkontrast K_S , liegen.

$$K_S = \frac{\Delta L_S}{L_U} \quad (2)$$

Hierbei ist ΔL_S die Schwellenleuchtdichtedifferenz, d. h. die minimale noch wahrzunehmende Leuchtdichtedifferenz zwischen dem Objekt und dem Umfeld.

3.2 Sehschärfe

Die Sehschärfe ist ein spezieller Fall der Formempfindlichkeit, welche die Fähigkeit der Wahrnehmung von Einzelheiten wiedergibt.

Zwei getrennte Punkte mit dem Abstand α auf der Netzhaut werden erkannt, wenn in der Netzhautebene ein bestimmter Unterschied der Beleuchtungsstärke ΔE vorhanden ist. Somit ist die Sehschärfe direkt proportional zu dem Unterschied der Beleuchtungsstärke.

Die Sehschärfe berechnet sich aus:

$$S = \frac{1}{\alpha} \quad ['] \quad (3)$$

Der Sehwinkel α wird in Winkelminuten angegeben.

Zur Bestimmung der Sehschärfe werden unterschiedliche Prüfzeichen, z. B. Landoltringe, Nonius-Striche, Snellen'sche Haken oder negative Landoltringe, eingesetzt. Obwohl mit all diesen Prüfzeichen die Sehschärfe gemessen werden kann, sind die jeweils erzielten Ergebnisse nicht identisch, da sich durch die unterschiedlichen Formen der Prüfzeichen unterschiedliche Sehschärfen ergeben.

Nach DIN EN ISO 8596 [8] wird als Normprüfzeichen der Landoltring verwendet.

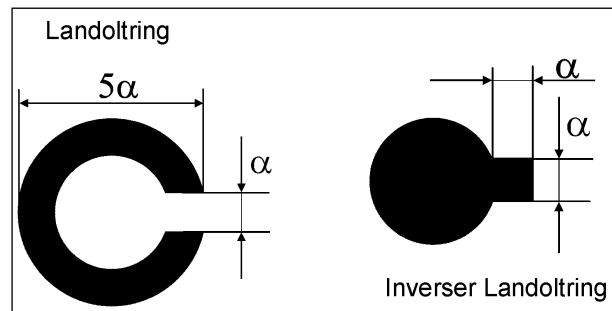


Bild 1: Beispiele für Sehschärfeprüfzeichen

Die maximale Sehschärfe liegt im Bereich des photopischen Sehens; je geringer die Umfeldleuchtdichte, desto geringer die Sehschärfe (vgl. SCHMIDT-CLAUSEN [24]).

Entsprechend der grundlegenden Arbeit von AULHORN und HARMS [1] und der Empfehlungen der Deutschen Ophthalmologischen Gesellschaft [7] liefert die Dämmerungssehschärfe eine Aussage über die Unterschiedsempfindlichkeit. Das bedeutet, dass nicht die Sehschärfe mit Testzeichen unterschiedlicher Größe, sondern die Unterschiedsempfindlichkeit (Kontrastempfindlichkeit) bei verschiedenen Testzeichenkontrasten untersucht wird.

3.3 Blendung

Es werden zwei Arten der Blendung unterschieden, die beide nicht voneinander zu trennen sind, die physiologische und die psychologische Blendung. Die physiologische Blendung ist durch eine Herabsetzung der Sehleistung gekennzeichnet und messbar. Die psychologische Blendung dagegen gibt eine Beeinträchtigung des Sehkomforts wieder, sie wird bewertet.

Blendung tritt auf, wenn in dem Gesichtsfeld des Beobachters inhomogene Leuchtdichteverteilungen oder zu hohe Leuchtdichten vorhanden sind. In diesem Falle kommt es zu einer Fehladaptation. Durch diese Fehladaptation ist es nicht mehr möglich, vorher erkannte Objekte oder Kontraste weiterhin wahrzunehmen und zu erkennen.

Maßgebliche Einflussfaktoren für die Blendung sind neben der Beleuchtungsstärke, die durch die Blendquelle am Auge des Beobachters hervorgerufen wird, der Winkel Θ zwischen Blendlichtquelle und Sehachse sowie das Alter des Beobachters.

In Bild 2 ist die Entstehung von Blendung dargestellt. Das Bild eines Objektes auf der Netzhaut

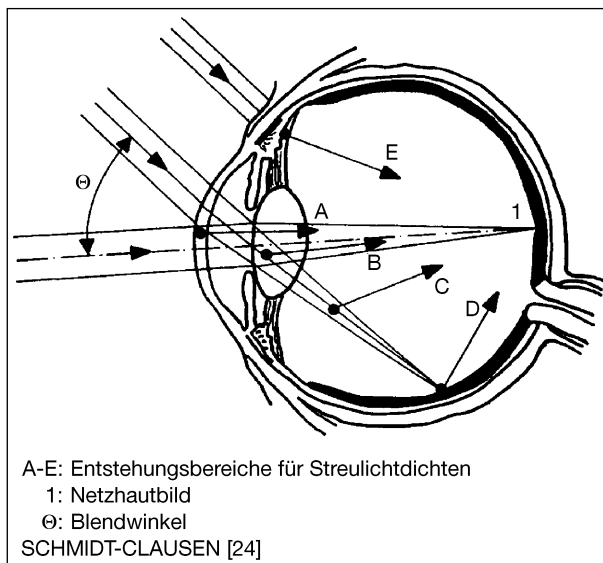


Bild 2: Entstehung von Blendung

wird durch die Schleierleuchtdichten, die bei dem Durchtritt durch die Augenmedien entstehen, überlagert. Diese Überlagerung verursacht eine Reduzierung des Kontrastes des Netzhautbildes und erschwert somit das Erkennen von Objekten.

3.4 Adaptation

Das menschliche Auge passt sich den verschiedenen Leuchtdichten im Gesichtsfeld an. Dieser Vorgang wird Adaptation genannt und ermöglicht, sowohl bei Tag als auch bei Nacht, visuelle Informationen zu erfassen.

In der Netzhautebene befinden sich zwei Arten von Lichtempfängern, die nicht gleichmäßig über die Netzhaut verteilt sind. In der Fovea centralis, dem Bereich der größten Sehschärfe, befinden sich die Zapfen in besonders hoher Dichte. Die Zapfen ermöglichen das Farbsehen und das scharfe Sehen bei hohen Umgebungsleuchtdichten. Die Stäbchen befinden sich im extrafovealen Bereich der Netzhaut. Aufgrund ihrer Anordnung und Verschaltung liefern die Stäbchen ein unscharfes Schwarzweißbild. Die Stäbchen besitzen eine höhere Empfindlichkeit als die Zapfen.

Es werden drei Adaptationszustände unterschieden:

- Photopisches Sehen: Bei Umgebungsleuchtdichten von $L_U > 10^2 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$ sind überwiegend Zapfen aktiv.
- Mesopisches Sehen: Bei Umgebungsleuchtdichten von $L_U = 10^2 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$ bis $L_U = 10^{-3} \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$ ist der Zwischenbereich erreicht, der als

mesopisches Sehen bezeichnet wird. Bei diesem Adaptationszustand sind sowohl Stäbchen als auch Zapfen aktiv.

- Skotopisches Sehen: Sinkt die Leuchtdichte auf $L_U < 10^{-3} \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$ ab, wird der Bereich des skotopischen Sehens erreicht; hier sind fast nur noch Stäbchen aktiv.

Während einer Fahrt bei Nacht, wenn nur die kraftfahrzeugeigenen Scheinwerfer oder eine ortsfeste Straßenbeleuchtung die Fahrbahn beleuchten, treten Leuchtdichten im mesopischen Bereich des Sehens auf.

Die Gesichtsfeldleuchtdichte bestimmt den Adaptationszustand, der durch zwei Mechanismen erreicht werden kann, die neuronale und die photochemische Adaptation.

Die neuronale Adaptation des Auges erfolgt unter anderem durch den Übergang vom Zapfen- zum Stäbchensehen und die Variation des Pupillendurchmessers.

Die photochemische Adaptation bezeichnet die Empfindlichkeitsveränderung der Zapfen und Stäbchen und der für sie maßgebenden Sehfärbstoffe.

Für die Adaptationsvorgänge ist es nicht gleichgültig, ob der Anpassungsvorgang auf ein höheres oder niedrigeres Leuchtdichteniveau erfolgt. Für einen Übergang auf ein höheres Leuchtdichteniveau werden kürzere Adaptationszeiten benötigt als für einen Übergang zu einem niedrigeren Leuchtdichteniveau. Bei einem Hell-Dunkel-Übergang ist die Zapfenadaptation nach etwa 8-10 Minuten abgeschlossen, die Stäbchenadaptation kann dagegen, je nach Niveau der Umfeldleuchtdichte, mehrere Stunden benötigen.

4 Bisherige Untersuchungen

Bisher wurden mit dem Mesoptometer der Firma Oculus [17] Untersuchungen zur Dämmerungssehschärfe von verschiedenen Autoren durchgeführt (vgl. AULHORN und HARMS [1], BAUM [2], BITTERMANN [4], SCHARWEY [22]). Die Untersuchungen von AULHORN und HARMS bilden die Grundlage für alle weiteren Untersuchungen. Die Deutsche Ophthalmologische Gesellschaft (DOG) wendete in ihrer Empfehlung zur Fahreignungsbeurteilung die Ergebnisse von AULHORN und

HARMS [1] zur Dämmerungssehschärfe und Blendempfindlichkeit an (vgl. DOG [7]).

In der Arbeit von AULHORN und HARMS [1] wird der Begriff Dämmerungssehschärfe verwendet, es sei hier darauf hingewiesen, dass dieser Begriff die Untersuchungen nicht treffend beschreibt. Die Untersuchungen von AULHORN und HARMS [1] wurden bei einer konstanten Sehschärfe von $S = 0,1$ und verschiedenen Kontrasten durchgeführt, somit wurde eine Kontrastempfindlichkeit untersucht.

Es hat sich allerdings die Bezeichnung der Dämmerungssehschärfe für die Überprüfung durchgesetzt (vgl. DOG [7]) und es werden von der DOG Grenzkontraste festgelegt, die ein Proband zum Erfüllen des Tests erreichen muss.

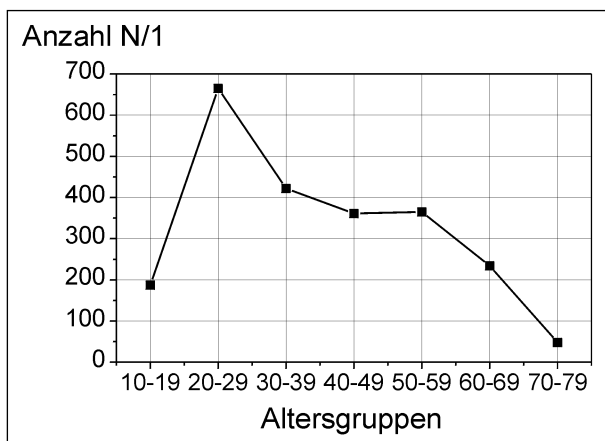


Bild 3: Anzahl der Testpersonen pro Altersgruppe in den Untersuchungen von AULHORN und HARMS

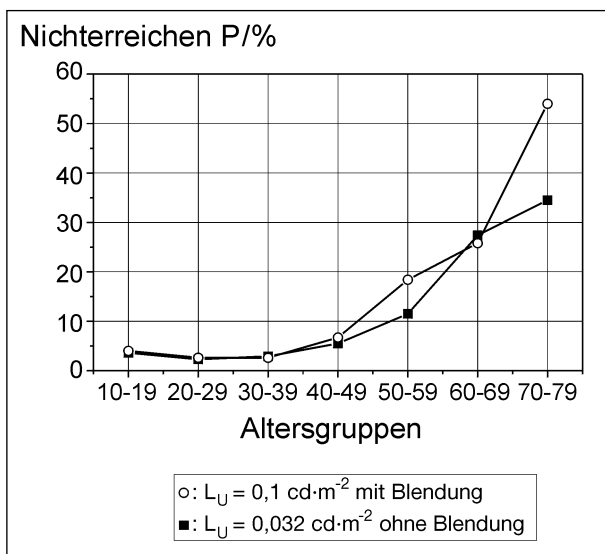


Bild 4: Prozentuales Nichterreichen der Kontraststufe 6 in Abhängigkeit der Altersgruppe in den Untersuchungen von AULHORN und HARMS

Entsprechende Untersuchungen wurden von von HEBENSTREIT [28] und RASSOW [21] mit einem Nyktometer durchgeführt, dabei wurden anstelle von Landoltringen inverse Landoltringe dargeboten (vgl. Bild 1).

Die folgend dargestellten Ergebnisse der bisherigen Untersuchungen wurden mit einem Mesoptometer oder Nyktometer erzielt. Als Prüfzeichen wurde ein Landoltring (Mesoptometer) oder ein inverser Landoltring (Nyktometer) verwendet. Die konstant eingestellte Sehschärfe war bei jeder Untersuchung $S = 0,1$. Die Blendbeleuchtungsstärke betrug $E = 0,35$ lx bei einem Blendwinkel von $\Theta = 3^\circ$ und einem Blendlichtquellendurchmesser von $\alpha = 12'$.

4.1 Untersuchungen von AULHORN und HARMS

An den Untersuchungen nahmen 2.282 Personen teil, die eine Tagessehschärfe von mindestens $S = 0,67$ erreichten und Normalsichtigkeit aufwiesen. Die Testpersonen mussten vor Beginn der Messungen eine 5-minütige Dunkeladaptationsphase einhalten.

In Bild 3 ist die Verteilung der Testpersonen pro Altersgruppe dargestellt.

Die Auswertung der Ergebnisse erfolgte durch die Berechnung des Mittelwertes und der Standardabweichung σ unter Annahme einer Normalverteilung der Werte. Der Grenzwert für eine vorgeschlagene Fahrtauglichkeit wurde auf 2σ festgelegt, dies entspricht der Kontraststufe 6 am Mesoptometer.

In Bild 4 sind exemplarisch Ergebnisse von AULHORN und HARMS dargestellt. Über den Altersgruppen ist der prozentuale Anteil der Testpersonen aufgetragen, der die Kontraststufe 6 an dem Messgerät nicht mehr erreichte.

Weitere Ergebnisse und Daten der Untersuchungen finden sich im Anhang.

4.2 Untersuchungen von BITTERMANN und GRAMBERG-DANIELSEN

Für diese Untersuchungen wurden 896 Personen vermessen, die keinen Grenzwert für die Tagessehschärfe aufweisen mussten.

Im Gegensatz zu den Untersuchungen von AULHORN und HARMS wurden keine Testpersonen

unter 20 Jahre untersucht. Weiterhin wurden die Testpersonen, die 70 Jahre oder älter waren, in einer Altersgruppe zusammengefasst.

In Bild 5 ist die Verteilung der Testpersonen pro Altersgruppe dargestellt, zusätzlich ist hier noch die Verteilung der Testpersonen in den Untersuchungen von AULHORN und HARMS eingezeichnet.

Die Ergebnisse der Untersuchungen von BITTERMANN und GRAMBERG-DANIELSEN sind für die Umfeldleuchtdichte von $L_U = 0,032 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$ in Bild 6 dargestellt.

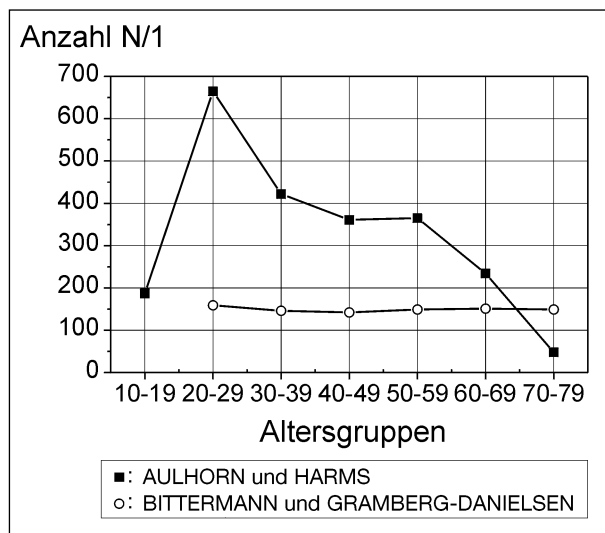


Bild 5: Anzahl der Testpersonen pro Altersgruppe in den Untersuchungen von BITTERMANN und GRAMBERG-DANIELSEN

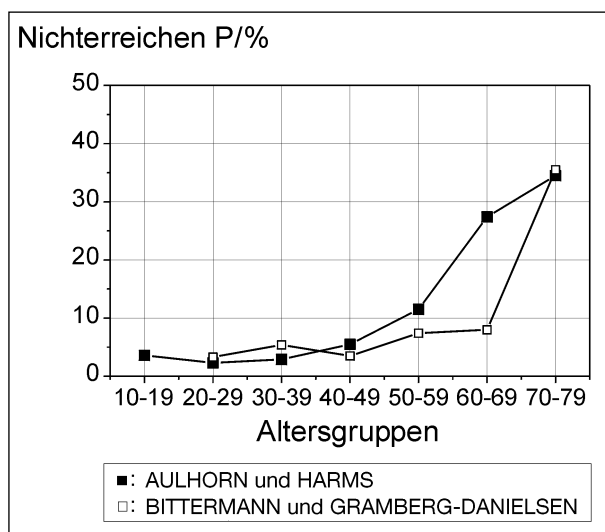


Bild 6: Prozentuales Nichterreichen der Kontraststufe 6 in Abhängigkeit der Altersgruppe in den Untersuchungen von BITTERMANN und GRAMBERG-DANIELSEN bei einer Umfeldleuchtdichte von $L_U = 0,032 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$

Ein Vergleich mit den Ergebnissen von AULHORN und HARMS zeigt nur in der Altersgruppe der 60-69 Jahre alten Testpersonen große Abweichungen.

Als Erklärung für diese Abweichungen werden ethnografische Unterschiede (vgl. BITTERMANN [4]) angeführt, weitergehende Erläuterungen sind nicht zu finden.

Weitere Ergebnisse der Untersuchungen von BITTERMANN und GRAMBERG-DANIELSEN finden sich im Anhang.

4.3 Untersuchungen von BAUM und SIEGFRIED

BAUM und SIEGFRIED [2] untersuchten 83 Personen im Alter von 9 bis 69 Jahre. In den Untersuchungen wurde die mitgeführte Sehhilfe benutzt, es bestanden keine weiteren Einschränkungen für die Teilnahme. Jede Testperson musste vor Beginn der Messungen eine 5-minütige Dunkeladaptationszeit einhalten.

In Bild 7 ist die Verteilung der Testpersonen pro Altersgruppe dargestellt.

Die Ergebnisse dieser Untersuchungen lassen sich mit denen von AULHORN und HARMS leider nicht vergleichen, da hier als Grenzwerte die Kontraststufen in Paare zusammengefasst wurden.

Ein Grenzwert liegt bei Kontraststufen 5 und 6, wenn diese nicht mehr erreicht wurden. Der andere Grenzwert liegt bei den Kontraststufen 5, 6 und 7, wenn diese nicht mehr erreicht wurden oder

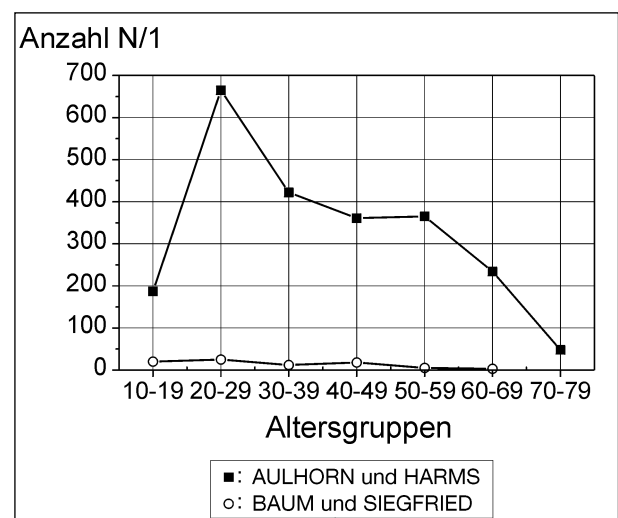


Bild 7: Anzahl der Testpersonen pro Altersgruppe in den Untersuchungen von BAUM und SIEGFRIED

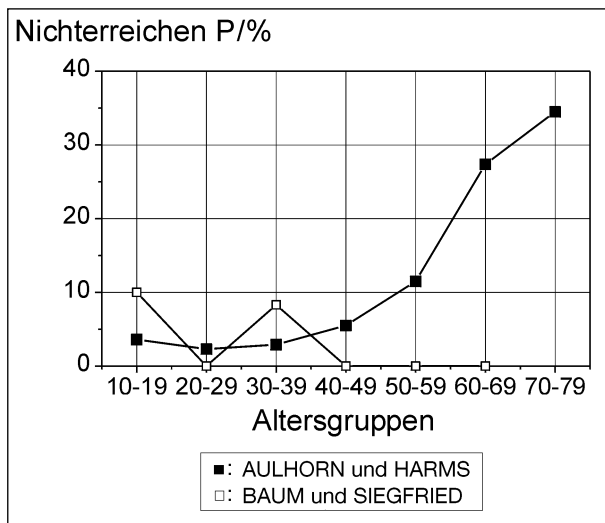


Bild 8: Prozentuales Nichterreichen der Kontraststufen 5 und 6 in Abhängigkeit der Altersgruppe in den Untersuchungen von BAUM und SIEGFRIED bei einer Umfeldleuchtdichte von $L_U = 0,032 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$

wenn lediglich die Kontraststufe 8 von den Probanden erreicht wurde.

Das Ergebnis der Untersuchungen von BAUM und SIEGFRIED sind für die Umfeldleuchtdichte $L_U = 0,032 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$ in Bild 8 dargestellt.

Alle Ergebnisse der Arbeit von BAUM und SIEGFRIED finden sich im Anhang.

4.4 Untersuchungen von SCHARWEY, KRZIZOK und HERFURTH

An diesen Untersuchungen nahmen 117 Personen mit einer Mindestsehschärfe von $S = 0,63$ teil. Zu Beginn jeder Messung wurde eine 10-minütige Dunkeladaptationsphase eingehalten.

Die Verteilung der Testpersonen im Vergleich zu der Arbeit von AULHORN und HARMS ist in Bild 9 dargestellt.

In Bild 10 sind die Ergebnisse der Untersuchungen von SCHARWEY, KRZIZOK und HERFURTH für eine Umfeldleuchtdichte von $L_U = 0,032 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$ ohne Blendung dargestellt.

Auffallend ist hier, dass alle Testpersonen unter 60 Jahre die dargebotenen Landoltringe der Kontraststufe 6 erkennen und somit diese Kontraststufe erfüllen.

Weitere Ergebnisse der Untersuchungen von SCHARWEY, KRZIZOK und HERFURTH finden sich im Anhang.

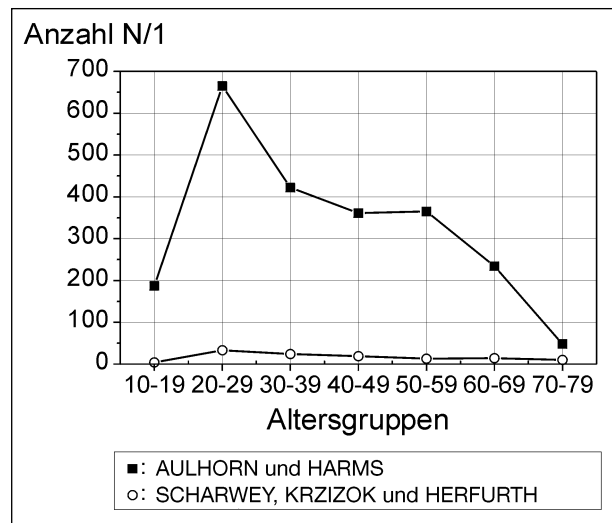


Bild 9: Anzahl der Testpersonen pro Altersgruppe in den Untersuchungen von SCHARWEY, KRZIZOK und HERFURTH

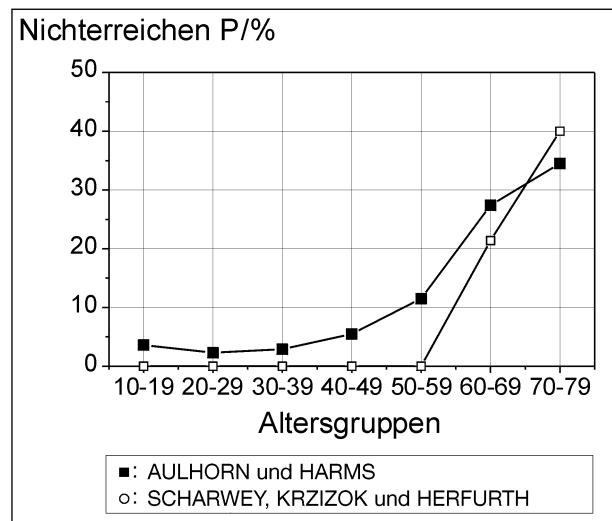


Bild 10: Prozentuales Nichterreichen der Kontraststufe 6 in Abhängigkeit der Altersgruppe in den Untersuchungen von SCHARWEY, KRZIZOK und HERFURTH bei einer Umfeldleuchtdichte von $L_U = 0,032 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$

4.5 Untersuchungen von RASSOW

RASSOW [21] führte mit 50 Personen an zwei Nyktometern Untersuchungen durch. Ein Nyktometer war so modifiziert, dass die Leuchtdichte der Prüfzeichen und der Umfeldler um den Faktor $k = 3$ höher lagen, bei der Blendlichtquelle wurde ein Faktor von $k = 2,2$ gewählt (s. Bild 11).

Bei einem Nyktometer waren Umfeldleuchtdichten von $L_U = 0,032 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$ und $L_U = 0,1 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$ realisiert, die Blendbeleuchtungsstärke betrug $E = 0,345 \text{ lx}$.

Die Werte des anderen Nyktometers waren entsprechend den Faktoren auf $L_U = 0,1 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$ und

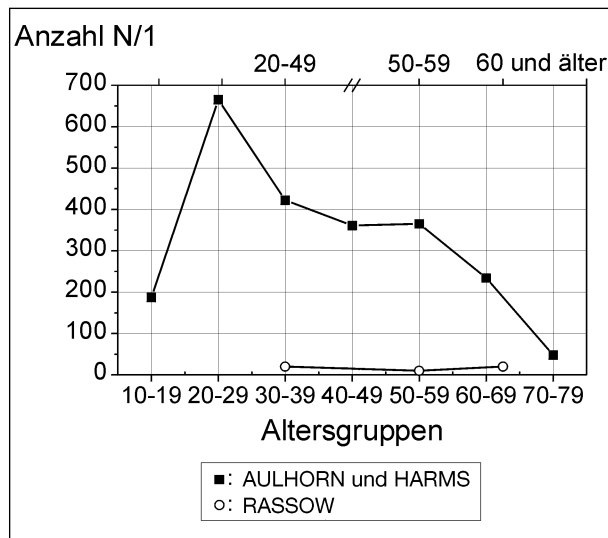


Bild 11: Anzahl der Testpersonen pro Altersgruppe in den Untersuchungen von RASSOW

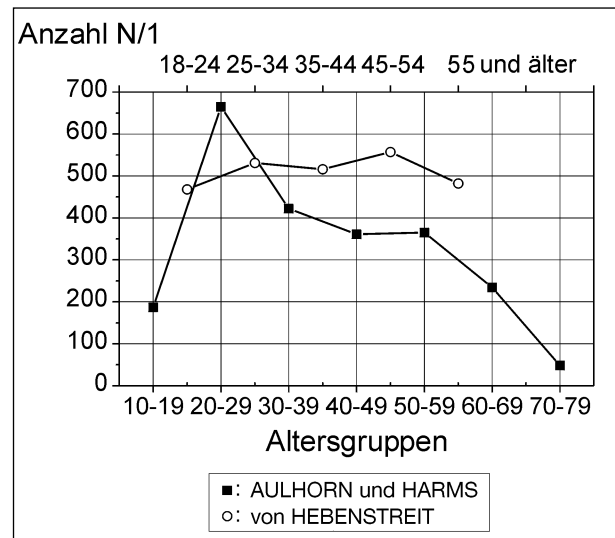


Bild 13: Anzahl der Testpersonen pro Altersgruppe in den Untersuchungen von von HEBENSTREIT

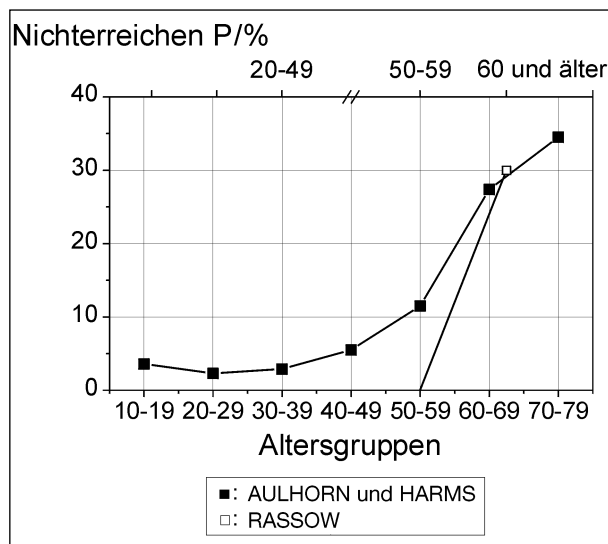


Bild 12: Prozentuales Nichterreichen der Kontraststufe 6 in Abhängigkeit der Altersgruppe in den Untersuchungen von RASSOW bei einer Umfeldleuchtdichte von $L_U = 0,032 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$

$L_U = 0,32 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$ erhöht, die Blendbeleuchtungsstärke betrug $E = 0,74 \text{ lx}$. Die Kontraste wurden durch diese Modifizierung nicht verändert.

Die Einteilung der Testpersonen erfolgte bei RASSOW in drei Gruppen, 20-49 Jahre, 50-59 Jahre und älter als 60 Jahre. Die Testpersonen wiesen eine Sehschärfe von mindestens $S = 0,5$ auf. Vor jeder Messung mussten die Testpersonen eine 15-minütige Dunkeladaptationsphase einhalten.

Zusätzlich wurde der Einfluss der Dunkeladaptationszeit und der Adaptationsart an fünf Testpersonen getestet. Die Adaptationszeit wurde auf 5 und

15 Minuten festgelegt, die Adaptation erfolgte in einem dunklen Raum.

In Bild 12 sind die Ergebnisse für die Untersuchungen mit dem herkömmlichen Nyktometer dargestellt, nur in der Altersgruppe der 60 Jahre alten und älteren Testpersonen treten Probanden auf, die die Kontraststufe 6 nicht mehr erreichen. Wird das modifizierte Nyktometer mit einer Umfeldleuchtdichte von $L_U = 0,1 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$ ohne Blendung anstatt $L_U = 0,032 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$ ohne Blendung verwendet, können alle Testpersonen die Kontraststufe 6 erfüllen.

Die Untersuchung zum Einfluss der Adaptationszeit und -art zeigen, dass die Mittelwerte der fünf Testpersonen innerhalb eines Streubereichs von ± 1 Kontraststufe liegen. Somit ist kein deutlicher Einfluss der Adaptationszeit festzustellen.

4.6 Untersuchungen von von HEBENSTREIT

Für die Untersuchungen von von HEBENSTREIT [28] wurden die Ergebnisse von 2.554 Personen, die mit einem Nyktometer getestet wurden, für die Auswertung herangezogen.

Die gewählten Altersgruppen unterschieden sich zu denen von AULHORN und HARMS, daher wird in Bild 13 ein zweiter Maßstab der Abszisse gezeigt.

Die Ergebnisse der Untersuchungen von von HEBENSTREIT sind in Bild 14 dargestellt. Aufgrund der unterschiedlichen Einteilung der Altersgruppe

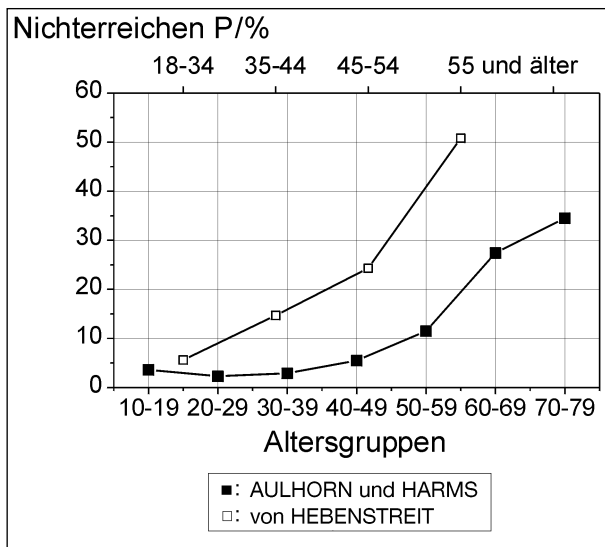


Bild 14: Prozentuales Nichterreichen der Kontraststufe 6 in Abhängigkeit der Altersgruppe in den Untersuchungen von von HEBENSTREIT bei einer Umfeldleuchtdichte von $L_U = 0,032 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$

ist auch hier ein zweiter Maßstab für die Abszisse aufgetragen.

Die weiteren Ergebnisse dieser Untersuchungen finden sich im Anhang.

5 Untersuchungen mit dem Mesoptometer

Die Untersuchungen mit dem Mesoptometer wurden mit zwei Geräten durchgeführt, die vor Beginn der Testreihen von der Firma Oculus überprüft und kalibriert wurden. Vor Inbetriebnahme wurden die Geräte am Fachgebiet Lichttechnik in Bezug auf die lichttechnischen Größen Umfeldleuchtdichte und Kontrast zusätzlich überprüft.

Die Kontrastschwelle ohne Blendung wurde bei den Umfeldleuchtdichten $L_U = 0,1 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$ und $L_U = 0,032 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$ untersucht, bei Blendung wurde eine Umfeldleuchtdichte von $L_U = 0,1 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$ eingestellt. Als Prüfzeichen wurde ein Landoltring mit einer Sehschärfe von $S = 0,1$ verwendet. Bei Blendung betrug die Blendbeleuchtungsstärke $E = 0,35 \text{ lx}$ bei einem Blendwinkel von $\Theta = 3^\circ$ und einem Blendlichtquellendurchmesser von $\alpha = 12'$. Der Landoltring wurde in einem $\alpha = 4^\circ$ großen Umfeld, das die Adaptationsleuchtdichte im Wesentlichen festlegt, dargeboten.

Pro Kontraststufe wurden fünf Landoltringe mit unterschiedlicher Stellung dargeboten. Eine Stufe galt als erkannt, wenn drei der fünf Darbietungen von der

Kontrast-	Leuchtdichtequotient zwischen Landoltring und Umfeld $L_O \cdot L_U^{-1/1}$	Kontrast K/%	Kontrast $\log K/1$
8	1 : 23	95,6	2,0
7	1 : 5	80	1,9
6	1 : 2,7	63	1,8
5	1 : 2	50	1,7
4	1 : 1,67	40	1,6
3	1 : 1,47	32	1,5
2	1 : 1,25	20	1,3
1	1 : 1,14	12,5	1,1

Tab. 1: Kontraststufen am Mesoptometer und dazugehörige Kontraste

Testperson richtig benannt wurden. Die Darbietung der Landoltringe erfolgte zufällig in einer fest vorgegebenen Reihenfolge (vgl. DIN EN ISO 8596 [8]).

In Tabelle 1 sind die Kontraststufen des Mesoptometers mit den entsprechenden Kontrasten aufgezeigt. Sowohl der prozentuale Kontrast als auch der logarithmisch bewertete Kontrast sind partiell gerundet, um die angegebenen Werte zu erreichen.

Wird von dem Leuchtdichtequotienten 1 subtrahiert und dieser Wert mit 100 multipliziert, ergibt sich der prozentuale Kontrast, der in diesem Falle negativ ist. Wird von dem absoluten Wert des prozentualen Kontrasts der Logarithmus zur Basis 10 berechnet ergibt sich der Wert in der rechten Spalte der Tabelle 1.

Wurde von einem Probanden die Kontraststufe 8 nicht erkannt, wurde in der Auswertung die fiktive Kontraststufe 9 zugeordnet, dies entspricht einem logarithmischen Kontrast von 2,1.

Für die Überprüfung der Ergebnisse auf Normalverteilung wird diese Kontraststufe von $K = 2,1$ nicht berücksichtigt, wie später näher erläutert wird.

Zur Bildung des arithmetischen Mittelwertes wurde diese fiktive Kontraststufe ebenfalls nicht berücksichtigt.

5.1 Einfluss des Trainings

Aus psychophysischen Untersuchungen ist bekannt, dass die Testergebnisse vom Grad der Wiederholung abhängen, da die Testpersonen eine bestimmte Mindestanzahl von Testreihen benötigen, um ein reproduzierbares Ergebnis zu liefern.

Aus diesem Grunde wurden am Fachgebiet Lichttechnik für fünf Testpersonen im Alter zwischen 22 und 29 Jahren Untersuchungen durchgeführt, um

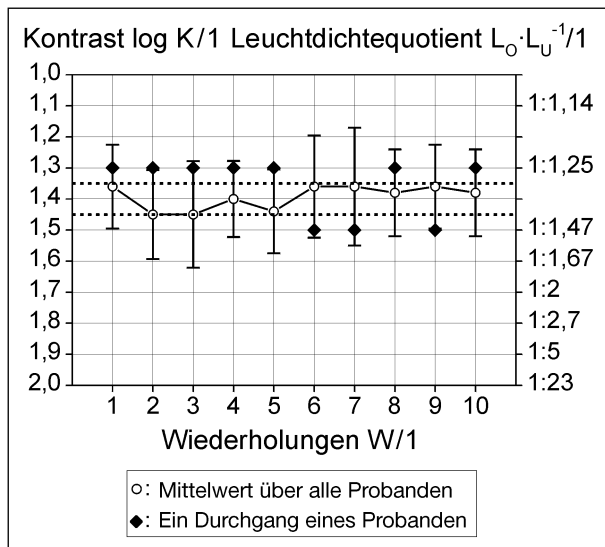


Bild 15: Überprüfung des Trainingseinflusses bei einer Umfeldleuchtdichte von $L_U = 0,032 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$ ohne Blendung

die Reproduzierbarkeit der Ergebnisse zu überprüfen.

Vor Beginn jeder Testreihe wurde eine Dunkeladaptation durchgeführt. Anschließend wurden bei einer Umfeldleuchtdichte von $L_U = 0,032 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$ zehn Durchgänge zur Bestimmung der Kontrastschwelle durchgeführt.

Diese Untersuchungen wurden pro Proband an zwei unterschiedlichen Tagen wiederholt. Über alle Probanden wurde das arithmetische Mittel gebildet und die Standardabweichung berechnet.

In Bild 15 sind diese Mittelwerte mit den entsprechenden Standardabweichungen dargestellt. Zusätzlich sind in dieses Diagramm zwei waagrechte Linien gestrichelt eingezeichnet, die verdeutlichen, dass der mittlere logarithmisch bewertete Kontrast im Bereich von $\Delta K = \pm 0,05$ um $K = 1,4$ streut. Da der logarithmisch bewertete Kontrast von $K = 1,4$ mit dem Mesoptometer nicht darstellbar ist, wurden für eine Testperson die Ergebnisse von einem Durchgang ebenfalls in das Diagramm eingezeichnet. Es ist zu erkennen, dass die Ergebnisse einer Testperson um maximal eine einstellbare Kontraststufe schwanken.

Dieser Streubereich von einer Kontraststufe legt somit das Auflösungsvermögen der zu erwartenden Ergebnisse fest.

5.2 Einfluss der Adaptationszeit

Aus den Untersuchungen von AULHORN und HARMS ist bekannt, dass die Testpersonen eine

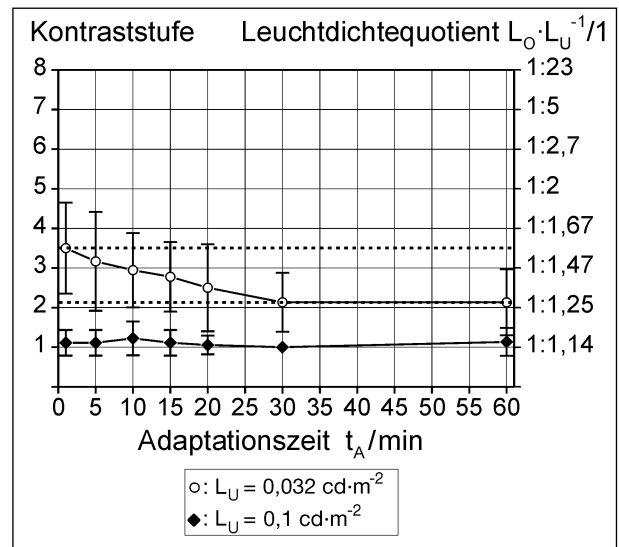


Bild 16: Mittelwerte mit den Standardabweichungen der Kontraststufen am Mesoptometer ohne Blendung für die Umfeldleuchtdichten

Adaptationszeit von 5 Minuten vor dem Untersuchungsbeginn in einem abgedunkelten Raum verbracht. SCHARWEY et al. [22] hielten eine längere Adaptationszeit von 10 Minuten ein und fanden vergleichbare Ergebnisse wie AULHORN und HARMS.

RASSOW [21] variierte die Dunkeladaptationszeit im Bereich von 5 Minuten bis zu 15 Minuten und fand keine signifikanten Unterschiede in den Ergebnissen.

Um eine Aussage über den Einfluss der Adaptationszeit in den Untersuchungen zu erhalten, wurde die Adaptationszeit im Bereich von einer Minute bis zu 60 Minuten variiert. An diesen Untersuchungen nahmen fünf Testpersonen im Alter von 21 bis 31 Jahre teil. Die Untersuchungen wurden an drei verschiedenen Tagen durchgeführt. Die Testpersonen absolvierten pro Tag drei Durchgänge, zwei ohne Blendung bei den Umfeldleuchtdichten von $L_U = 0,1 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$ und $L_U = 0,032 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$ und einen Testdurchgang mit Blendung bei einer Umfeldleuchtdichte von $L_U = 0,1 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$.

In Bild 16 sind die Ergebnisse für die Untersuchungen ohne Blendung dargestellt.

Bei einer Umfeldleuchtdichte von $L_U = 0,1 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$ liegen die erzielten Mittelwerte im Bereich der Kontraststufe 1, die Standardabweichungen sind geringer als eine halbe Kontraststufe. Die Adaptationszeit hat unter den untersuchten Bedingungen keinen Einfluss auf die Kontrastschwelle.

Wird die Umfeldleuchtdichte auf $L_U = 0,032 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$ reduziert, erhöht sich die Kontrastschwelle generell. Hier ist eine Verringerung der Kontrastschwelle mit zunehmender Adaptationszeit zu erkennen. Deutlich ist auch eine Erhöhung der Standardabweichung zu erkennen, die im Mittel unabhängig von der Adaptationszeit eine Kontraststufe beträgt.

Trotz der Verringerung der Kontrastschwelle mit zunehmender Adaptationszeit liegen die Mittelwerte alle im Bereich von kleiner 1,5 Kontraststufen und somit im erwarteten Streubereich der Messanordnung (vgl. Kapitel 5.1).

Eine Aussage zur Abhängigkeit der Ergebnisse von der Adaptationszeit ist unter den hier untersuchten Bedingungen nicht festzustellen.

5.3 Großversuch mit dem Mesopometer

Von dem berufsgenossenschaftlichen Arbeitsdienst in Darmstadt wurden Testreihen durchgeführt, die aber in ihrer Gesamtheit nicht ausreichen, um eine statistisch repräsentative Aussage zu treffen.

Daher wurden Testreihen an der Rastanlage Gräfenhausen West an der Autobahn A5 durchgeführt. Die Testreihen wurden in zwei Phasen im Frühling 2002 und Herbst 2002 durchgeführt.

Die Testpersonen nahmen freiwillig an diesen Testreihen teil und mussten keine Vorausbedingungen erfüllen. Die Testreihen wurden mit den Sehhilfen durchgeführt, die von den Probanden normalerweise beim Fahren getragen werden.

Die gewonnenen Ergebnisse wurden für jede Untersuchungsphase in ihrer Gesamtheit und für jede Altersgruppe und Parameterkombination auf Normalverteilung überprüft.

Die Überprüfung auf Normalverteilung erfolgt anhand einer Darstellung der kumulierten relativen Häufigkeiten für das Ereignis

„Erkennen einer Kontraststufe“

in einem Wahrscheinlichkeitsdiagramm. Lassen sich die relativen kumulierten Häufigkeiten zwischen $f = 16 \%$ und $f = 84 \%$ durch eine Gerade verbinden, kann eine Normalverteilung angenommen werden.

Für alle Darstellungen werden die Altersgruppen 70-79 Jahre und 80-89 Jahre zusammengelegt, da

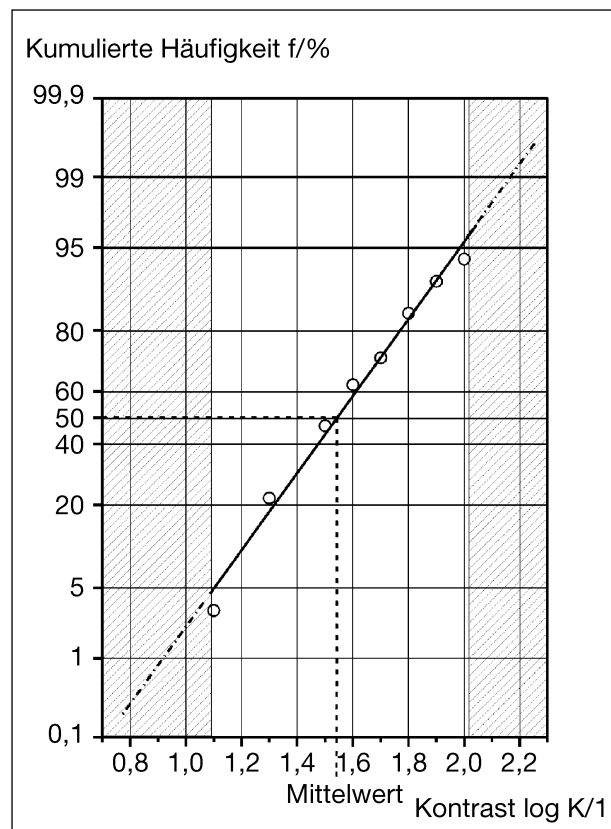


Bild 17: Kumulierte Häufigkeiten aller Testpersonen in einem Wahrscheinlichkeitsdiagramm bei einer Umfeldleuchtdichte von $L_U = 0,1 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$ ohne Blending für die Altersgruppe 70-89 Jahre

in der letzten Altersklasse nur zwei Personen vermessen werden konnten.

Beispielhaft für die Überprüfung der Daten auf Normalverteilung ist in Bild 17 ein Wahrscheinlichkeitsdiagramm dargestellt. Eingezeichnet ist hier die berechnete Ausgleichsgerade für die Ergebnisse. Die Auswertung erfolgt entsprechend den üblichen statistischen Methoden (vgl. Anhang, Bild 71).

Diese Ausgleichsgerade wurde über eine lineare Regression mit der Methode der kleinsten Abweichungsquadrate berechnet. Schraffiert sind die Kontrastbereiche hinterlegt, die mit dem Messgerät nicht dargeboten werden können.

Zur Bestimmung des 50%-Wertes (Mittelwert) wird von dem Ordinatenwert $f = 50 \%$ auf die Ausgleichsgerade und von dort auf die Abszisse gelotet. Dieser Vorgang wird für den Ordinatenwert $f = 98 \%$ ebenfalls durchgeführt.

Anhand der Überprüfungen auf Normalverteilung können aus den entstandenen Diagrammen die logarithmisch bewerteten Kontraste, die von $f = 50 \%$ und $f = 98 \%$ der Testpersonen erreicht wer-

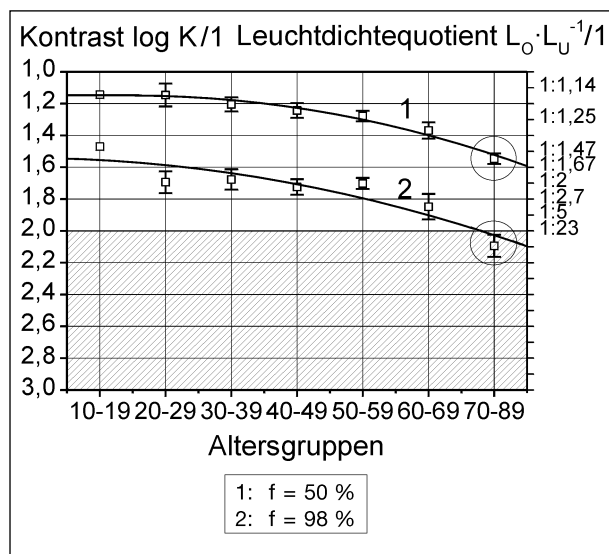


Bild 18: 50%-Wahrscheinlichkeitswerte für das Erreichen der Kontraste in Abhängigkeit der Altersgruppe für eine Umfeldleuchtdichte von $L_U = 0,1 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$ ohne Blendung

den, abgelesen werden. Werden diese Werte für alle Altersgruppen erfasst und mit den zugehörigen 95-%-Vertrauensintervallen dargestellt, ergibt sich ein Diagramm wie in Bild 18.

Die Werte für eine Wahrscheinlichkeit von $f = 50 \%$ und $f = 98 \%$, die aus Bild 17 gewonnen wurden, sind hier durch eine Umrandung hervorgehoben.

Liegen die grafisch ermittelten Werte in den gestrichelten eingezeichneten Bereichen, so sind dies virtuelle Werte, die auf die Lage der Ausgleichsgeraden zurückgehen und die mit dem Messgerät nicht dargeboten werden können.

Der Vollständigkeit halber werden die Vertrauensbereiche auch für die virtuellen Werte angegeben.

Vergleichend zu diesen Darstellungen werden auch die berechneten Mittelwerte und deren Standardabweichung dargestellt.

Die Ergebnisse der Untersuchungen an der Autobahnraststätte Gräfenhausen werden zunächst einzeln für die beiden Untersuchungsphasen im Frühjahr 2002 und Herbst 2002 dargestellt. Anschließend erfolgt die Darstellung aller Daten zusammen.

5.4 Ergebnisse „Frühjahr 2002“

In Bild 19 sind die Altersgruppen mit der dazugehörigen Anzahl an untersuchten Probanden dar-

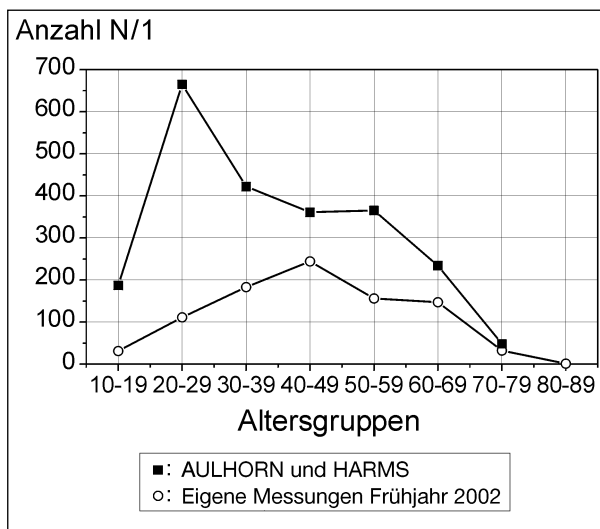


Bild 19: Anzahl der Testpersonen pro Altersgruppe in den Untersuchungen im Frühjahr 2002

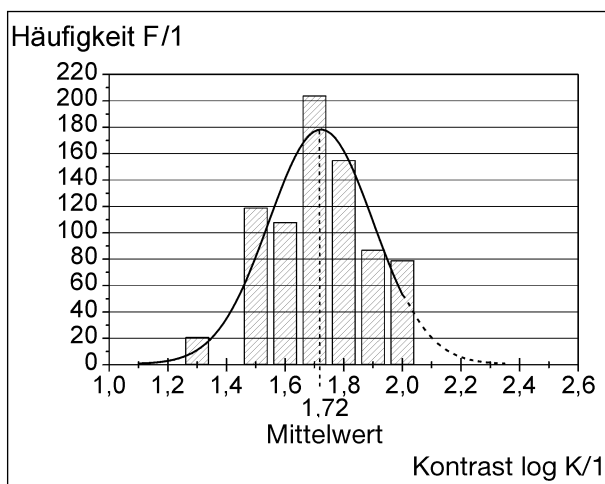


Bild 20: Häufigkeitsverteilung aller Testpersonen über den Kontrasten bei einer Umfeldleuchtdichte von $L_U = 0,032 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$ ohne Blendung. Messung im Frühjahr 2002

gestellt, insgesamt wurden an der Autobahn A5 im Frühjahr 2002 905 Personen vermessen.

Die Verteilung der erreichten Kontraste für alle Testpersonen bei einer Umfeldleuchtdichte von $L_U = 0,032 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$ ohne Blendung ist in Bild 20 dargestellt. Hierzu wurde für jede darstellbare Kontraststufe an dem Messgerät die absolute Häufigkeit der Testpersonen aufgetragen, die diese Kontraststufe erreichten.

Bedingt durch die Stufung der Kontraste an dem Mesoptometer sind die logarithmischen Kontraste von $K = 1,2$ und $K = 1,4$ nicht realisierbar, daher sind keine Häufigkeiten in Bild 20 bei diesen Kontrasten eingetragen. Neben den absoluten Häufigkeiten ist zusätzlich eine Normalverteilung darge-

stellt, die für die Ergebnisse berechnet wurde. Ab dem Kontrast von $K = 2,0$ ist diese Normalverteilung gestrichelt gezeichnet, da definitionsgemäß keine größeren logarithmischen Kontraste als $K = 2$ auftreten. Für das Gesamtkollektiv der Testpersonen ergibt sich ein Mittelwert von $K = 1,72$.

Zum Vergleich sind nachfolgend zwei weitere Verteilungen für die Altersgruppen von 20-29 Jahre und 60-69 Jahre dargestellt.

In Bild 21 sind die absoluten Häufigkeiten für die Altersgruppe der 20-29 Jahre alten Testpersonen und die berechnete Normalverteilung dargestellt.

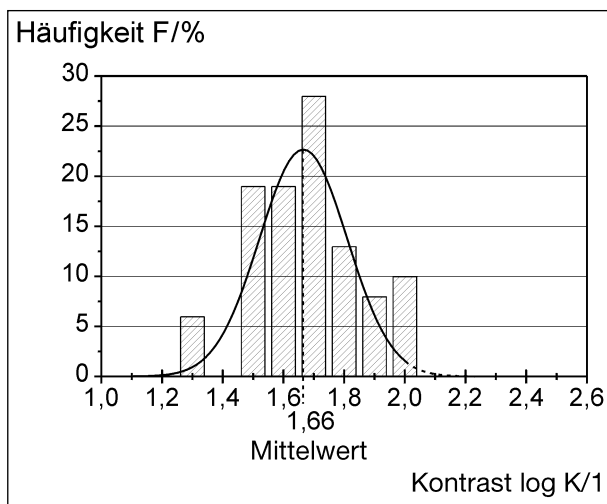


Bild 21: Häufigkeitsverteilung der Testpersonen im Alter zwischen 20 und 29 Jahren über den Kontrasten bei einer Umfeldleuchtdichte von $L_U = 0,032 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$ ohne Blendung. Messung im Frühjahr 2002

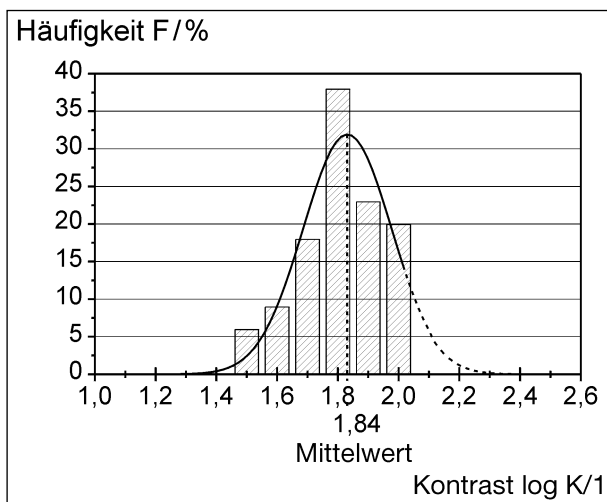


Bild 22: Häufigkeitsverteilung der Testpersonen im Alter zwischen 60 und 69 Jahren über den Kontrasten bei einer Umfeldleuchtdichte von $L_U = 0,032 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$ ohne Blendung. Messung im Frühjahr 2002

Der geringste Kontrast von $K = 1,1$ wird von keinem der 110 Testpersonen erkannt, der Mittelwert der Verteilung liegt bei $K = 1,66$.

Für die Altersgruppe der 60-69 Jahre alten Probanden ist die Verteilung der absoluten Häufigkeiten mit der berechneten Normalverteilung in Bild 22 dargestellt. Wie bei den 20-29-Jährigen wird auch hier der geringste Kontrast nicht erkannt, erst ab einem logarithmischen Kontrast von $K = 1,5$ erkennen sechs von 146 Testpersonen die Prüfzeichen richtig.

Gegenüber den 20-29-Jährigen verschiebt sich für die 60-69 Jahre alten Probanden die maximale Häufigkeit um eine logarithmische Kontraststufe.

Diese Verschiebung der Verteilung zu höheren Kontrasten führt zu einem mittleren Kontrast von $K = 1,84$. Für die 60-69-jährigen Probanden muss gegenüber der Altersgruppe der 20-29 Jahre alten Probanden der Kontrast im Mittel um etwa 34 % erhöht werden, damit die Prüfzeichen richtig erkannt werden.

5.4.1 Umfeldleuchtdichte von $L_U = 0,1 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$ ohne Blendung

Entsprechend Bild 17 wurden die Ergebnisse für jede Altersgruppe auf Normalverteilung überprüft. Anschließend wurden sowohl die berechneten Mittelwerte und Standardabweichungen als auch die grafisch ermittelten Werte aus den Wahrscheinlichkeitsdiagrammen gewonnen.

Die Werte aus diesen Diagrammen geben an, welcher Kontrast von $f = 50 \%$ und $f = 98 \%$ der Testpersonen erreicht wird.

Mit Hilfe der Regressionsanalyse in den Wahrscheinlichkeitsdiagrammen wurden die 95%-Vertrauensintervalle für die ermittelten Werte bestimmt.

In Bild 23 sind die Mittelwerte für die einzelnen Altersgruppen mit den dazugehörigen Standardabweichungen aufgetragen. Zusätzlich wurden Ausgleichsfunktionen für die Standardabweichungen gestrichelt eingezeichnet, die den Verlauf der Grenzen der Standardabweichungen wiedergeben.

Der Bereich mit Werten für den Kontrast $K \geq 2$ wird hier gestrichelt dargestellt, da der Werte von $K = 2$ der größtmögliche darstellbare Kontrast ist.

Anhand dieser Darstellung ist deutlich der Einfluss des Alters auf den Mittelwert zu erkennen. Für die

Altersgruppen von 10-39 Jahre liegt der Mittelwert bei einem logarithmisch bewerteten Kontrast von etwa $K = 1,3$, dies entspricht der Kontraststufe 2 an dem Messgerät (Leuchtdichtequotient 1:1,25).

Alle Testpersonen in den Altersgruppen von 10-59 Jahren können noch einen logarithmischen Kontrast von $K = 1,5$ erkennen, dies entspricht der Kontraststufe 3 (Leuchtdichtequotient 1:1,47).

Für die Altersgruppe 70-89 Jahre sinkt der Mittelwert auf etwa $K = 1,6$, dies entspricht der Kontraststufe 4 (Leuchtdichtequotient 1:1,67) an dem Messgerät.

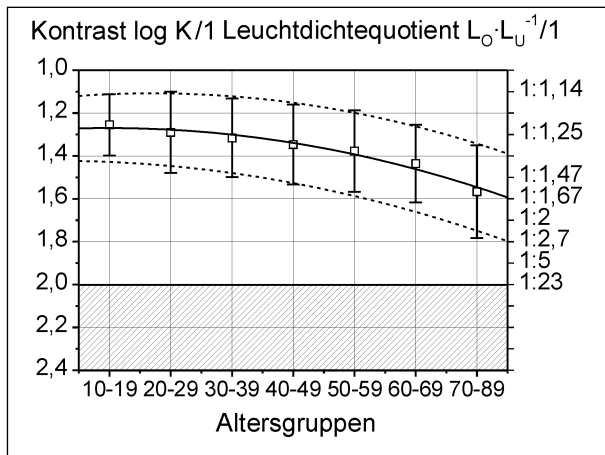


Bild 23: Mittelwerte der Kontraste in Abhängigkeit der Altersgruppen mit den entsprechenden Standardabweichungen für eine Umfeldleuchtdichte von $L_U = 0,1 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$ ohne Blendung im Frühjahr 2002

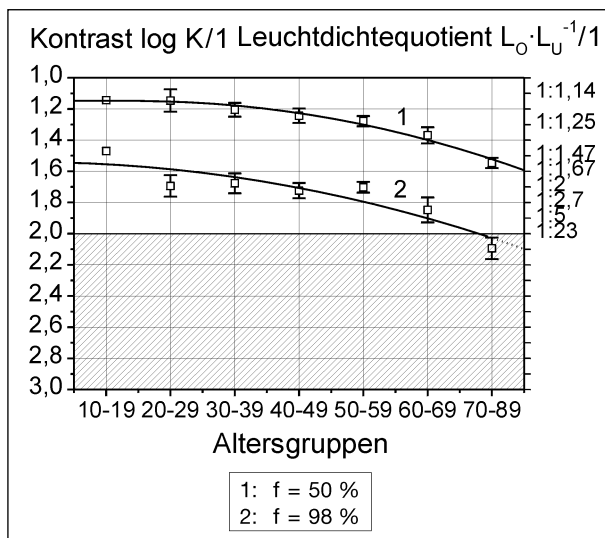


Bild 24: Wahrscheinlichkeitswerte von 50 % und 98 % für das Erreichen der Kontraste in Abhängigkeit der Altersgruppen mit den entsprechenden 95%-Vertrauensintervallen für eine Umfeldleuchtdichte von $L_U = 0,1 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$ ohne Blendung im Frühjahr 2002

Zum Vergleich sind in Bild 24 die grafisch ermittelten Werte für eine Wahrscheinlichkeit von $f = 50 \%$ und $f = 98 \%$ für das Erreichen der Kontraste dargestellt. Zusätzlich ist eine Ausgleichsfunktion eingezeichnet, die den funktionalen Zusammenhang verdeutlichen soll.

Für eine Wahrscheinlichkeit von $f = 50 \%$ ergibt sich ein ähnlicher Verlauf wie in Bild 23. Wird der Grenzwert auf $f = 98 \%$ der Testpersonen festgelegt, die zur Erfüllung der jeweiligen Kontraststufe notwendig sind, wird die resultierende Kurve im Vergleich zu $f = 50 \%$ deutlich zu höheren Kontrasten hin verschoben.

Überschreitet die Ausgleichsfunktion den Kontrast von $K = 2$, wird die Ausgleichsfunktion gestrichelt dargestellt.

5.4.2 Umfeldleuchtdichte von $L_U = 0,032 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$ ohne Blendung

Für die Umfeldleuchtdichte von $L_U = 0,032 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$ sind die Mittelwerte über den Altersgruppen in Bild 25 dargestellt. Im Vergleich zu Bild 23 ist deutlich die reduzierte Kontrastschwelle zu erkennen.

Für die Altersgruppen von 10-39 Jahren liegt der Mittelwert jetzt bei einem logarithmisch bewerteten Kontrast von etwa $K = 1,7$, dies entspricht der Kontraststufe 5 an dem Messgerät (Leuchtdichtequotient 1:2). Für die Altersgruppe 70-89 sinkt der Mittelwert auf $K = 1,8$, dies entspricht der Kontraststufe 6 (Leuchtdichtequotient 1:2,7) an dem Messgerät.

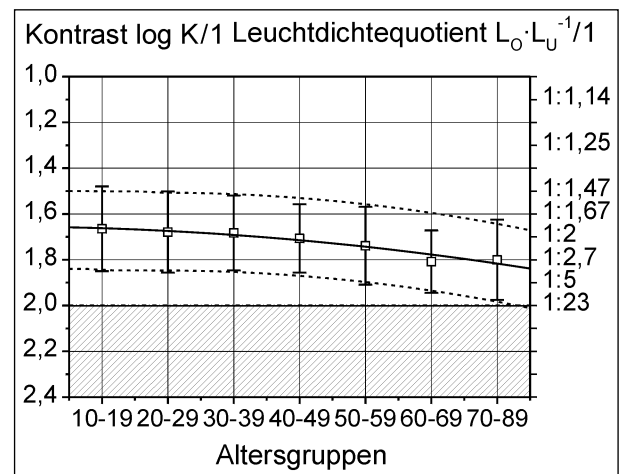


Bild 25: Mittelwerte der Kontraste in Abhängigkeit der Altersgruppen mit den entsprechenden Standardabweichungen für eine Umfeldleuchtdichte von $L_U = 0,032 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$ ohne Blendung im Frühjahr 2002

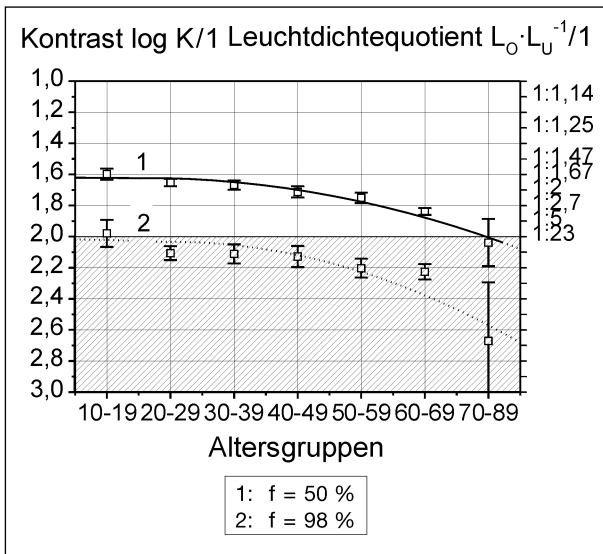


Bild 26: Wahrscheinlichkeitswerte von 50 % und 98 % für das Erreichen der Kontraste in Abhängigkeit der Altersgruppen mit den entsprechenden 95%-Vertrauensintervallen für eine Umfeldleuchtdichte von $L_U = 0,032 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$ ohne Blending im Frühjahr 2002

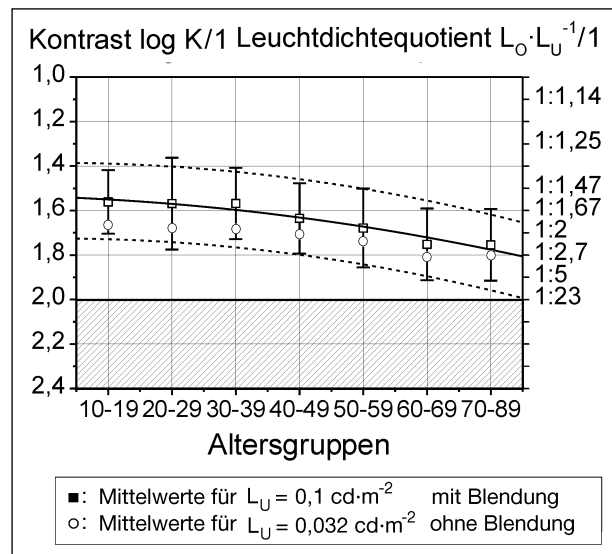


Bild 27: Mittelwerte der Kontraste in Abhängigkeit der Altersgruppen mit den entsprechenden Standardabweichungen für eine Umfeldleuchtdichte von $L_U = 0,1 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$ mit Blending im Frühjahr 2002

Eine Überprüfung der Testergebnisse auf Normalverteilung zeigt, dass für die Altersgruppe der 70-89-Jährigen keine Normalverteilung auftritt, da mehr als 50 % der Testpersonen die höchste Kontraststufe nicht erreichten.

Ein Vergleich der berechneten und der grafisch gewonnenen Mittelwerte zeigt, dass unter Annahme einer Normalverteilung die erreichten Kontraste mit zunehmendem Alter stärker sinken als bei den berechneten Mittelwerten (vgl. Bild 26).

Sollen $f = 98 \%$ aller Testpersonen in den einzelnen Altersgruppen die Prüfung erfüllen, muss der Kontrast noch weiter erhöht werden. Lediglich in der Altersgruppe 10-19 Jahre tritt ein Kontrast von $K < 2$ auf, ansonsten liegen die berechneten Kontraste außerhalb des darstellbaren Bereiches.

5.4.3 Umfeldleuchtdichte von $L_U = 0,1 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$ mit Blending

Um den Gegenverkehr in der nächtlichen Verkehrssituation zu berücksichtigen, wurden die Untersuchungen zur Kontrastschwelle auch bei permanenter Blending durchgeführt.

In Bild 27 sind die berechneten Mittelwerte für jede Altersgruppe dargestellt. Insgesamt tritt kaum ein Unterschied zu den Ergebnisse bei einer Umfeldleuchtdichte von $L_U = 0,032 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$ auf. Anhand dieser Darstellung ist ein größerer Alterseinfluss als

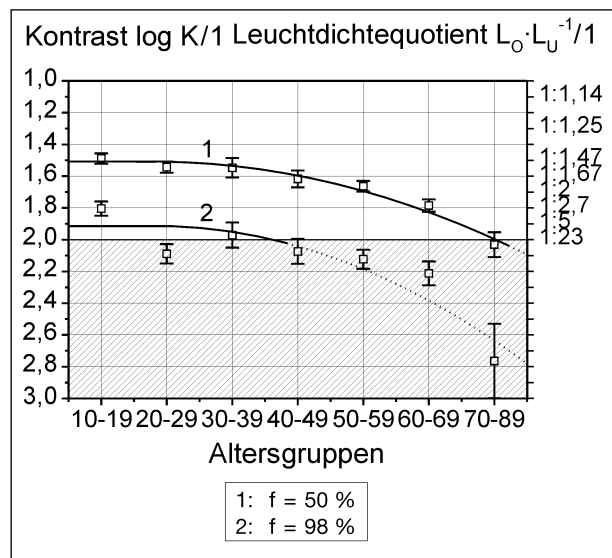


Bild 28: Wahrscheinlichkeitswerte von 50 % und 98 % für das Erreichen der Kontraste in Abhängigkeit der Altersgruppen mit den entsprechenden 95%-Vertrauensintervallen für eine Umfeldleuchtdichte von $L_U = 0,1 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$ mit Blending im Frühjahr 2002

bei einer Umfeldleuchtdichte von $L_U = 0,032 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$ zu erkennen. Im Mittel nehmen die Kontraste um $\Delta K = 0,2$ für die Altersgruppe 70-89 Jahre gegenüber der Altersgruppe 10-19 Jahre ab.

In Bild 28 ist der Einfluss des Alters auf den notwendigen Kontrast deutlich zu erkennen, wenn für die Ergebnisse eine Normalverteilung zugrunde gelegt wird. Bei einer Wahrscheinlichkeit von $f = 50 \%$ beträgt die Kontrastdifferenz $\Delta K \approx 0,5$ zwischen den Altersgruppen der 10-19 und 70-89 Jahre alten

Probanden. Wird die Wahrscheinlichkeit auf $f = 98\%$ erhöht, können nur noch die Probanden in den Altersgruppen 10-19 Jahre und 30-39 Jahre die darstellbaren Kontraste erreichen.

5.5 Ergebnisse „Herbst 2002“

In Bild 29 sind die Altersgruppen mit der dazugehörigen Anzahl an untersuchten Probanden im Herbst 2002 dargestellt, insgesamt wurden an der Autobahn A5 im Herbst 2002 796 Personen vermessen.

Detaillierte Angaben zu dem Testpersonenkollektiv im Herbst 2002 finden sich im Anhang.

Um einen Eindruck für die Verteilung der erreichten Kontraste für alle Testpersonen bei einer Umfeldleuchtdichte von $L_U = 0,032 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$ ohne Blendung zu erhalten, ist in dem Diagramm (Bild 30) die Verteilung der absoluten Häufigkeiten aller Testpersonen im Herbst 2002 dargestellt.

Zusätzlich zu den absoluten Häufigkeiten ist eine Normalverteilung eingezeichnet, die für die Ergebnisse berechnet wurde. Ab dem Kontrast von $K = 2,0$ ist diese Normalverteilung wieder gestrichelt eingezeichnet, da keine größeren Kontraste als $K = 2$ auftreten. Für das Gesamtkollektiv der Testpersonen ergibt sich ein Mittelwert des Kontrasts von $K = 1,68$.

Zum Vergleich sind zwei weitere Verteilungen der absoluten Häufigkeiten für die Altersgruppen von 20-29 Jahre und 60-69 Jahre in Bild 31 und Bild 32 dargestellt.

Zusätzlich zu den Häufigkeitsverteilungen werden wieder die berechneten Normalverteilungen in den Diagrammen eingezeichnet.

In Bild 31 ist die Verteilung absoluter Häufigkeiten der Altersgruppe der 20-29 Jahre alten Testpersonen dargestellt. Der Mittelwert der Verteilung liegt bei einem Kontrast von $K = 1,67$.

Für die Altersgruppe der 60-69 Jahre alten Probanden ist die Verteilung der absoluten Häufigkeiten mit der berechneten Normalverteilung in Bild 32 auf der folgenden Seite dargestellt. Der geringste Kontrast von $K = 1,1$ wird von keiner Testperson erkannt, erst ab einem logarithmischen Kontrast von $K = 1,3$ erkennt eine von 91 Testpersonen die Prüfzeichen richtig.

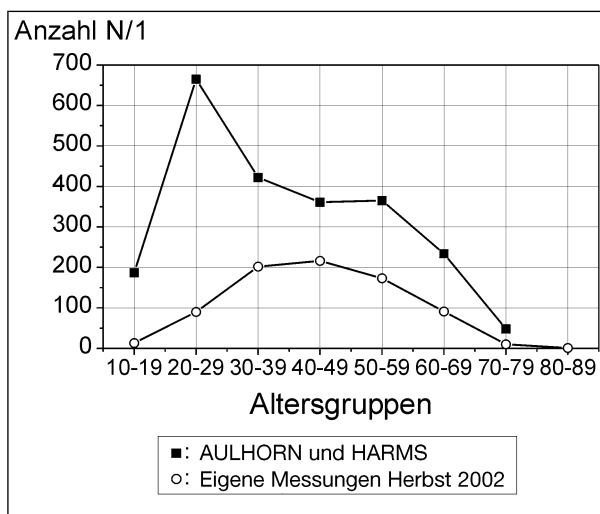


Bild 29: Anzahl der Testpersonen pro Altersgruppe in den Untersuchungen im Herbst 2002

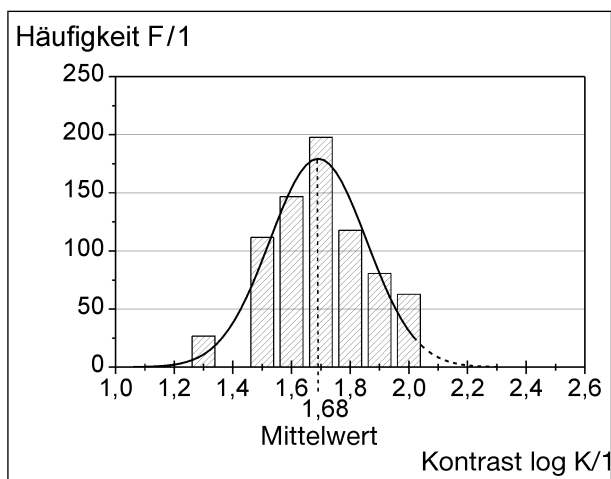


Bild 30: Häufigkeitsverteilung aller Testpersonen über den Kontrasten bei einer Umfeldleuchtdichte von $L_U = 0,032 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$ ohne Blendung. Messung im Herbst 2002

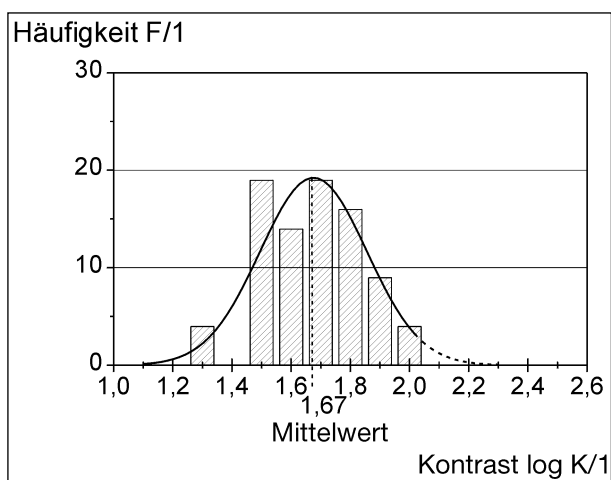


Bild 31: Häufigkeitsverteilung der Testpersonen im Alter zwischen 20 und 29 Jahren über den Kontrasten bei einer Umfeldleuchtdichte von $L_U = 0,032 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$ ohne Blendung. Messung im Herbst 2002

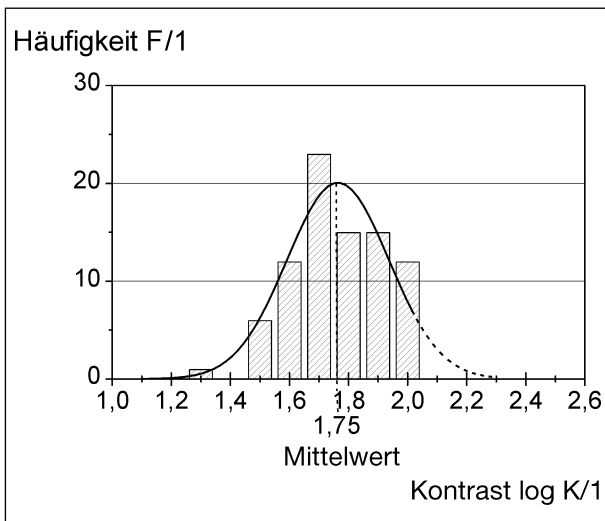


Bild 32: Häufigkeitsverteilung der Testpersonen im Alter zwischen 60 und 69 Jahren über den Kontrasten bei einer Umfelleuchtdichte von $L_U = 0,032 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$ ohne Blendung. Messung im Herbst 2002

5.5.1 Umfelleuchtdichte von $L_U = 0,1 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$ ohne Blendung

Entsprechend der Auswertungsmethode für die Ergebnisse aus dem Frühjahr 2002 wurde für jede Altersgruppe eine Überprüfung auf Normalverteilung durchgeführt. Die Darstellung der Ergebnisse erfolgt analog zu Kapitel 5.4.1.

In Bild 33 sind die Mittelwerte für die einzelnen Altersgruppen mit den dazugehörigen Standardabweichungen aufgetragen. Zusätzlich wurden Ausgleichsfunktionen für die Standardabweichungen eingezeichnet, die den Verlauf der Grenzen der Standardabweichungen wiedergeben.

Für die Altersgruppen von 10-49 Jahre liegt der Mittelwert bei einem logarithmisch bewerteten Kontrast von etwa $K = 1,3$, dies entspricht der Kontraststufe 2 an dem Messgerät (Leuchtdichtequotient 1:1,25).

Alle Testpersonen in den Altersgruppen von 10-69 Jahre können noch einen logarithmischen Kontrast von $K = 1,4$ erkennen, diesem Kontrast ist keine Kontraststufe an dem Messgerät zugeordnet, der nächste darstellbare Kontrast entspricht der Kontraststufe 3 (Leuchtdichtequotient 1:1,47).

Für die Altersgruppe 70-89 sinkt der Mittelwert auf etwa $K = 1,6$, dies entspricht der Kontraststufe 4 (Leuchtdichtequotient 1:1,67) an dem Messgerät.

Zum Vergleich sind in Bild 34 die grafisch ermittelten Werte für eine Wahrscheinlichkeit von $f = 50 \%$ und $f = 95 \%$ für das Erreichen der Kontraste dar-

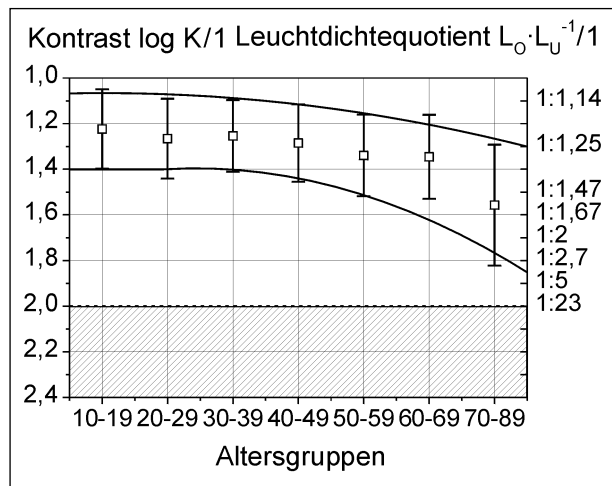


Bild 33: Mittelwerte der Kontraste in Abhängigkeit der Altersgruppen mit den entsprechenden Standardabweichungen für eine Umfelleuchtdichte von $L_U = 0,1 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$ ohne Blendung im Herbst 2002

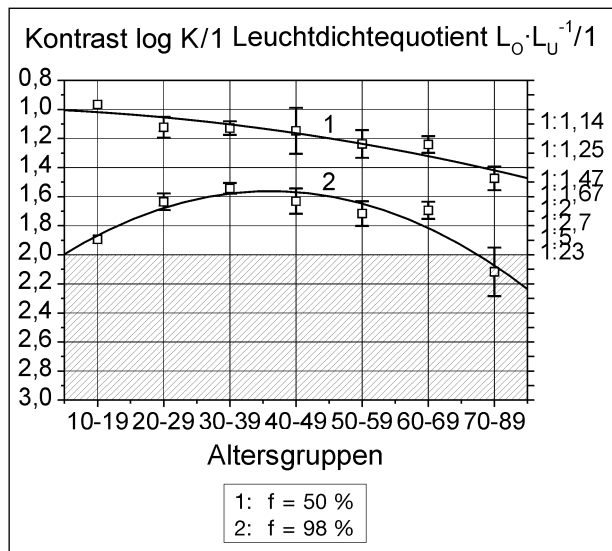


Bild 34: Wahrscheinlichkeitswerte von 50 % und 98 % für das Erreichen der Kontraste in Abhängigkeit der Altersgruppen mit den entsprechenden 95%-Vertrauensintervallen für eine Umfelleuchtdichte von $L_U = 0,1 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$ ohne Blendung im Herbst 2002

gestellt. Zusätzlich ist eine Ausgleichsfunktion eingezeichnet, die den funktionalen Zusammenhang verdeutlichen soll.

In Bild 34 ist deutlich eine Abweichung der eingezeichneten Ausgleichsfunktion von dem erwarteten asymptotischen Verlauf für jüngere Testpersonen zu erkennen. Diese Abweichung wird durch die Ergebnisse für die Altersgruppe der 10-19 Jahre alten Testpersonen verursacht. Die Abweichung resultiert aus der Verteilung der erreichten Kontraststufen, 61 % der Testpersonen erreichen einen Kontrast von $K = 1,1$ und 15 % erreichen den Kontrast

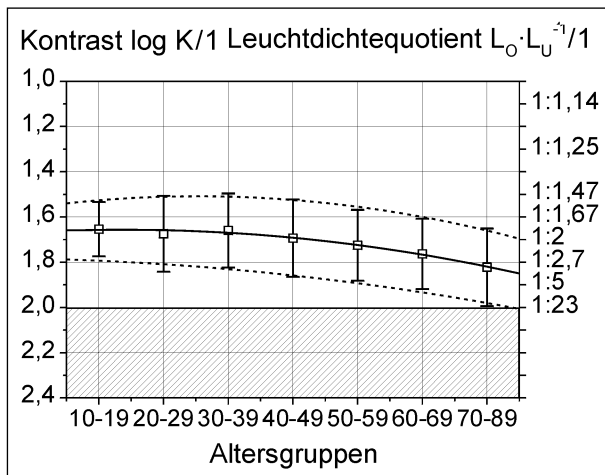


Bild 35: Mittelwerte der Kontraste in Abhängigkeit der Altersgruppen mit den entsprechenden Standardabweichungen für eine Umfeldleuchtdichte von $L_U = 0,032 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$ ohne Blendung im Herbst 2002

von $K = 1,3$. Somit verschiebt sich der ermittelte Wert für eine Wahrscheinlichkeit von $f = 50 \%$ zu niedrigeren und der ermittelte Wert für eine Wahrscheinlichkeit von $f = 98 \%$ zu höheren Kontrastwerten.

5.5.2 Umfeldleuchtdichte von $L_U = 0,032 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$ ohne Blendung

Für die Umfeldleuchtdichte von $L_U = 0,032 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$ sind die Mittelwerte über den Altersgruppen in Bild 35 dargestellt. Im Vergleich zu Bild 33 ist deutlich die reduzierte Kontrastschwelle zu erkennen.

Für die Altersgruppen von 10-39 Jahren liegt der Mittelwert jetzt bei einem logarithmisch bewerteten Kontrast von etwa $K = 1,7$, dies entspricht der Kontraststufe 5 an dem Messgerät (Leuchtdichtequotient 1:2). Für die Altersgruppe 70-89 sinkt der Mittelwert auf $K = 1,8$, dies entspricht der Kontraststufe 6 (Leuchtdichtequotient 1:2,7) an dem Messgerät (vgl. Kapitel 5.4.2).

Ein Vergleich der berechneten und der grafisch gewonnenen Mittelwerte zeigt, dass unter Annahme einer Normalverteilung die erreichten Kontraste mit zunehmendem Alter stärker sinken als bei den berechneten Mittelwerten.

Sollen $f = 98 \%$ aller Testpersonen in den einzelnen Altersgruppen die Prüfung erfüllen, muss der Kontrast noch weiter erhöht werden. Lediglich in der Altersgruppe 10-19 Jahre und 30-39 Jahre tritt ein Kontrast von $K < 2$ auf, ansonsten liegen die berechneten Kontraste außerhalb des darstellbaren Bereiches.

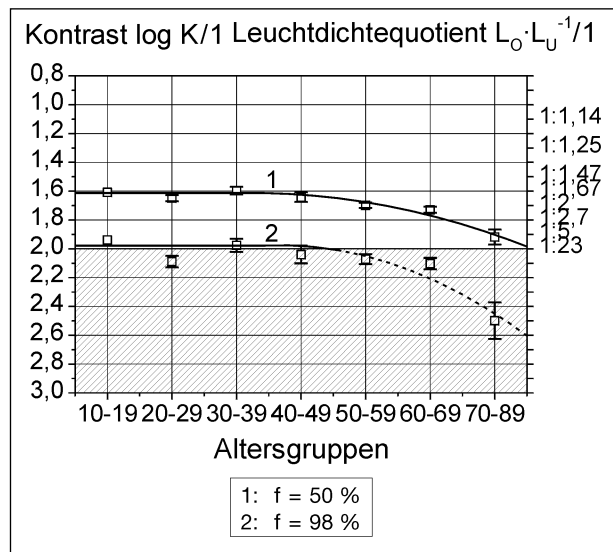


Bild 36: Wahrscheinlichkeitswerte von 50 % und 98 % für das Erreichen der Kontraste in Abhängigkeit der Altersgruppen mit den entsprechenden 95%-Vertrauensintervallen für eine Umfeldleuchtdichte von $L_U = 0,032 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$ ohne Blendung im Herbst 2002

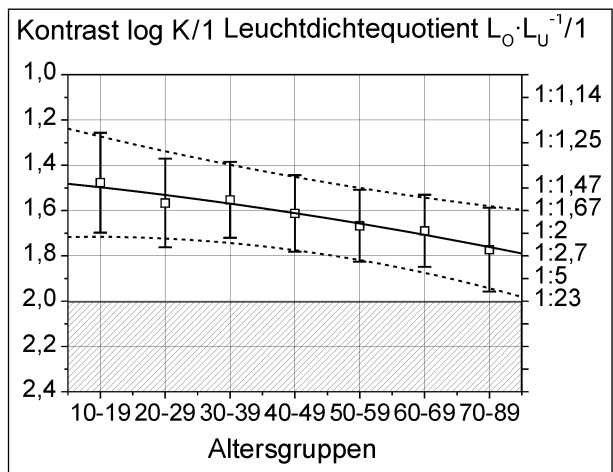


Bild 37: Mittelwerte der Kontraste in Abhängigkeit der Altersgruppen mit den entsprechenden Standardabweichungen für eine Umfeldleuchtdichte von $L_U = 0,1 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$ mit Blendung im Herbst 2002

5.5.3 Umfeldleuchtdichte von $L_U = 0,1 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$ mit Blendung

Die Ergebnisse der Untersuchungen zur Kontrastschwelle bei permanenter Blendung sind in Bild 37 dargestellt.

In Bild 37 sind die berechneten Mittelwerte mit den Standardabweichungen für jede Altersgruppe dargestellt. Im Gegensatz zu den Untersuchungen im Frühjahr 2002 (vgl. Bild 27) ist hier der Alterseinfluss deutlicher zu erkennen. Im Mittel nehmen die Kontraste um $\Delta K = 0,3$ für die Altersgruppe 70-89 Jahre gegenüber der Altersgruppe 10-19 Jahre ab.

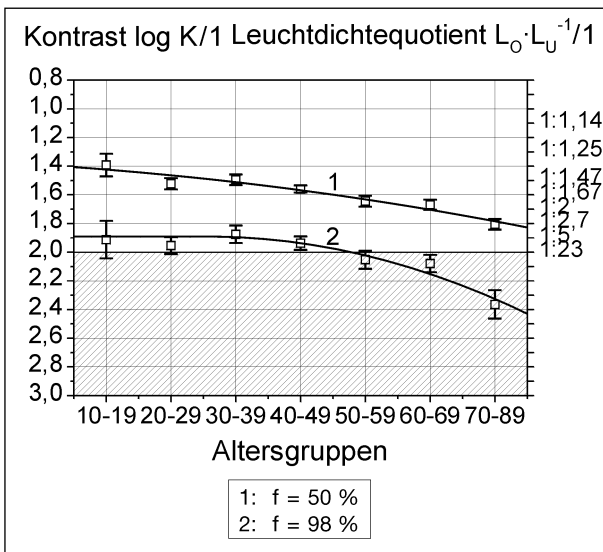


Bild 38: Wahrscheinlichkeitswerte von 50 % und 98 % für das Erreichen der Kontraste in Abhängigkeit der Altersgruppen mit den entsprechenden 95%-Vertrauensintervallen für eine Umfeldleuchtdichte von $L_U = 0,1 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$ mit Blendung im Herbst 2002

Ein Vergleich zu den Ergebnissen im Frühjahr 2002 bei einer Umfeldleuchtdichte von $L_U = 0,032 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$ zeigt, dass bei Blendung und dreifacher Umfeldleuchtdichte ein stärkerer Alterseinfluss auftritt. Auch wenn die Mittelwerte für die Altersgruppe der 70-89 Jahre alten Testpersonen etwa identisch ist, stellt die Blendung für die anderen Altersgruppen das schärfere Untersuchungskriterium dar.

In Bild 38 ist der Einfluss des Alters auf den notwendigen Kontrast ebenfalls deutlich zu erkennen, wenn für die Ergebnisse eine Normalverteilung zugrunde gelegt wird. Bei einer Wahrscheinlichkeit von $f = 50 \%$ beträgt die Kontrastdifferenz $\Delta K = 0,4$ zwischen den Altersgruppen der 10-19 und 70-89 Jahre alten Probanden. Wird die Wahrscheinlichkeit auf $f = 98 \%$ erhöht, können nur noch die Probanden in den Altersgruppen von 10-19 Jahre bis 40-49 Jahre die darstellbaren Kontraste erreichen.

5.6 Gesamtergebnisse aller Testpersonen

Im folgenden Kapitel werden alle Ergebnisse aus den beiden Untersuchungsphasen Frühjahr und Herbst 2002 zusammen ausgewertet.

In Bild 39 sind die Altersgruppen mit der dazugehörigen Anzahl aller untersuchten Probanden im Jahr 2002 dargestellt, insgesamt wurden an der Autobahn A5 im Jahr 2002 1.701 Personen vermessen.

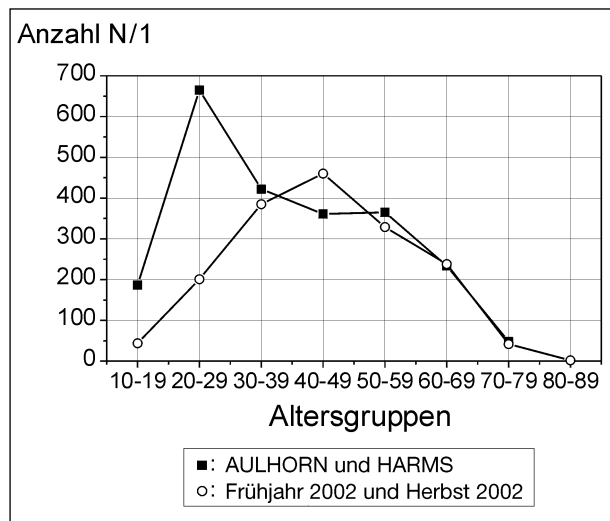


Bild 39: Anzahl der Testpersonen pro Altersgruppe in den Untersuchungen im Frühjahr 2002 und Herbst 2002

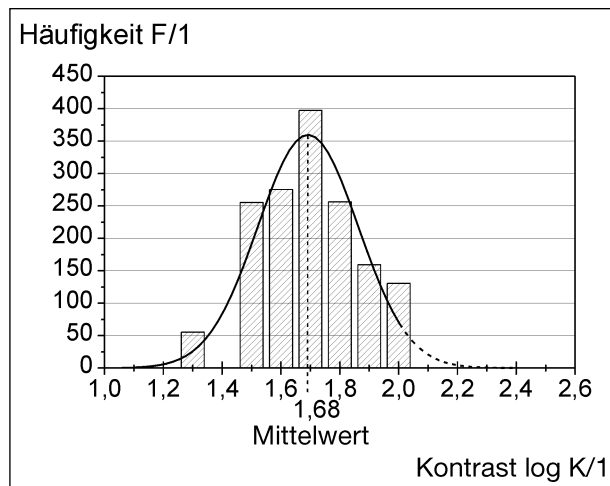


Bild 40: Häufigkeitsverteilung aller Testpersonen über den Kontrasten bei einer Umfeldleuchtdichte von $L_U = 0,032 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$ ohne Blendung im Jahr 2002

Im Vergleich zu den Untersuchungen von AULHORN und HARMS wurden in der vorliegenden Arbeit weniger Personen in den Altersgruppen der 10-19 Jahre und 20-29 Jahre alten Testpersonen vermessen.

In den anderen Altersgruppen ist jeweils eine vergleichbare Anzahl von Testpersonen vermessen worden.

In Bild 40 ist die Verteilung der absoluten Häufigkeiten für alle Testpersonen bei einer Umfeldleuchtdichte von $L_U = 0,032 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$ ohne Blendung dargestellt.

Zusätzlich zu den absoluten Häufigkeiten ist eine Normalverteilung dargestellt, die für die Ergebnisse berechnet wurde. Ab dem Kontrast von $K = 2,0$ ist

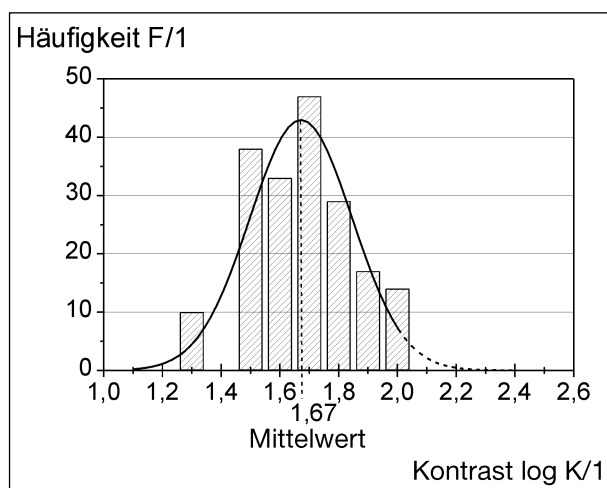


Bild 41: Häufigkeitsverteilung der Testpersonen im Alter zwischen 20 und 29 Jahren über den Kontrasten bei einer Umfeldleuchtdichte von $L_U = 0,032 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$ ohne Blendung im Jahr 2002

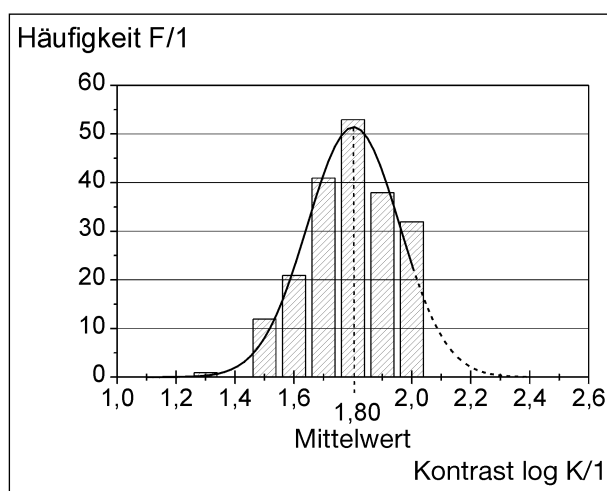


Bild 42: Häufigkeitsverteilung der Testpersonen im Alter zwischen 60 und 69 Jahren über den Kontrasten bei einer Umfeldleuchtdichte von $L_U = 0,032 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$ ohne Blendung im Jahr 2002

diese Normalverteilung wieder gestrichelt eingezeichnet. Für das Gesamtkollektiv der Testpersonen ergibt sich ein Mittelwert des Kontrasts von $K = 1,68$.

Zum Vergleich sind in den Bildern 41 und 42 zwei weitere Verteilungen für die Altersgruppen von 20-29 Jahre und 60-69 Jahre dargestellt.

In Bild 41 sind die absoluten Häufigkeiten für die Altersgruppe der 20-29 Jahre alten Testpersonen und die berechnete Normalverteilung dargestellt. Der Mittelwert der Verteilung liegt bei einem Kontrast von $K = 1,67$.

Für die Altersgruppe der 60-69 Jahre alten Probanden ist die Verteilung der absoluten Häufigkeiten

mit der berechneten Normalverteilung in Bild 42 dargestellt. Der geringste Kontrast von $K = 1,1$ wird von keiner Testperson erkannt, erst ab einem logarithmischen Kontrast von $K = 1,3$ erkennt eine Testperson die Prüfzeichen richtig.

5.6.1 Umfeldleuchtdichte von $L_U = 0,1 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$ ohne Blendung

Entsprechend der Auswertungsmethode für die Ergebnisse aus dem Frühjahr und Herbst erfolgt zuerst eine Darstellung der berechneten Mittelwerte und deren Standardabweichung und anschließend die Darstellung der Wahrscheinlichkeitswerte für $f = 50 \%$ und $f = 98 \%$ unter der Bedingung, dass eine Normalverteilung zugrunde gelegt wird.

In Bild 43 sind die Mittelwerte für die einzelnen Altersgruppen mit den dazugehörigen Standardabweichungen aufgetragen. Zusätzlich wurden Ausgleichsfunktionen für die Standardabweichungen eingezeichnet, die den Verlauf der Grenzen der Standardabweichungen wiedergeben.

Um einen Vergleich mit den Ergebnissen der grundlegenden Arbeit von AULHORN und HARMS zu ermöglichen, sind deren erzielte Mittelwerte ebenfalls eingezeichnet.

Für die Altersgruppen von 10-49 Jahre liegt der Mittelwert bei einem logarithmisch bewerteten Kontrast von etwa $K = 1,3$, dies entspricht der Kontraststufe 2 an dem Messgerät (Leuchtdichtequotient 1:1,25). Auffällig ist der höhere berechnete Mittelwert für die Altersgruppe der 30-39-jährigen Testpersonen. Diese Abweichung liegt jedoch im Bereich der Streuung und wird somit nicht weiter berücksichtigt. Die Streubereiche betragen für alle Altersgruppen bis 69 Jahre weniger als zwei logarithmisch bewertete Kontraststufen, erst ab der Altersgruppe der 70-Jährigen und älter steigt der Streubereich auf über zwei logarithmisch bewertete Kontraststufen an.

Wenn ein Streubereich von einer plus minus einer Kontraststufe angenommen wird, liegen die berechneten Mittelwerte für alle Altersgruppen von 10-69 Jahre im Bereich von $K = 1,3$. Erst für die älteren Testpersonen in der Gruppe der 70-89-Jährigen tritt eine deutliche Reuzierung des erreichbaren Kontrasts auf.

Für die Altersgruppe 70-89 sinkt der Mittelwert auf etwa $K = 1,6$, dies entspricht der Kontraststufe 4 (Leuchtdichtequotient 1:1,67) an dem Messgerät.

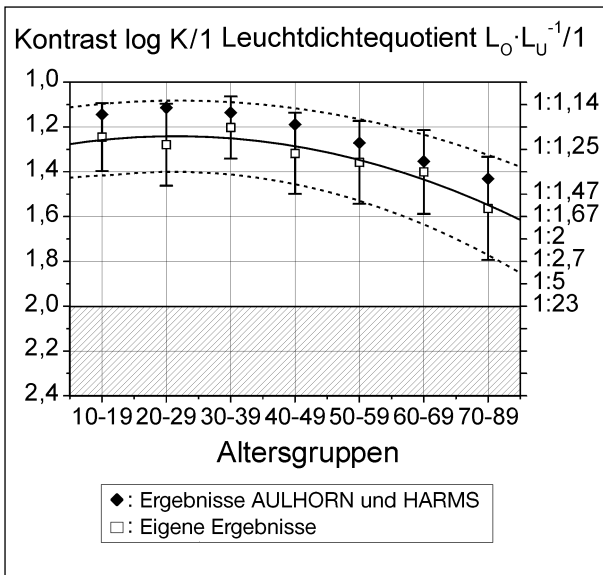


Bild 43: Mittelwerte der Kontraste in Abhängigkeit der Altersgruppen mit den entsprechenden Standardabweichungen für eine Umfeldleuchtdichte von $L_U = 0,1 \text{ cd} \cdot \text{m}^{-2}$ ohne Blendung

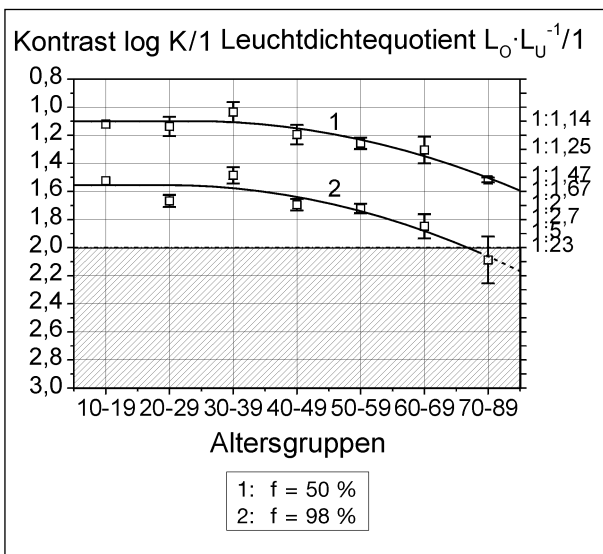


Bild 44: Wahrscheinlichkeitswerte von 50 % und 98 % für das Erreichen der Kontraste in Abhängigkeit der Altersgruppen mit den entsprechenden 95%-Vertrauensintervallen für eine Umfeldleuchtdichte von $L_U = 0,1 \text{ cd} \cdot \text{m}^{-2}$ ohne Blendung

Ein Vergleich mit den Ergebnissen von AULHORN und HARMS zeigt einen ähnlichen Einfluss des Alters der Testpersonen auf die Mittelwerte. Die Mittelwerte von AULHORN und HARMS liegen bis auf die Altersgruppen der 30-39 Jahre und der 60-69 Jahre alten Testpersonen um eine Kontraststufe über den hier erzielten Mittelwerten. Es sei hier darauf hingewiesen, dass in den Untersuchungen von AULHORN und HARMS augengesunde Testpersonen verwendet wurden, im Gegensatz zu

der aktuellen Untersuchung, in der über alle Testpersonen, unabhängig von der Sehleistung, gemittelt wurde.

Wenn also nicht nur augengesunde Testpersonen herangezogen werden, ergibt sich eine Verschiebung der Mittelwerte zu höheren notwendigen Kontrasten. Eine statistische Überprüfung der Signifikanz dieser Verschiebung der Mittelwerte ist nicht möglich, da von AULHORN und HARMS nur die Mittelwerte vorliegen. Da aber die Mittelwerte von AULHORN und HARMS innerhalb der Streubreiche der aktuell ermittelten Mittelwerte liegen, ist von keiner statistischen Signifikanz der Unterschiede auszugehen.

Zum Vergleich sind in Bild 44 die grafisch ermittelten Werte für eine Wahrscheinlichkeit von $f = 50 \%$ und $f = 95 \%$ für das Erreichen der Kontraste dargestellt. Zusätzlich ist eine Ausgleichsfunktion eingezeichnet, die den funktionalen Zusammenhang verdeutlichen soll.

Für eine Wahrscheinlichkeit von $f = 50 \%$ betragen die Unterschiede zu den berechneten Mittelwerten und den Werten von AULHORN und HARMS $\Delta K \leq 0,1$. Somit liegen diese Werte innerhalb des Streubereichs und sind als nicht unterschiedlich anzusehen.

Im Vergleich zu den berechneten Mittelwerten weisen die Werte für eine Wahrscheinlichkeit von $f = 98 \%$ für das Erreichen der Kontraste generell eine Abweichung von etwa $\Delta K = 0,4$ Kontraststufen auf. Somit ist die Ausgleichsfunktion um etwa $\Delta K = 0,4$ Kontraststufen zu niedrigeren Kontrasten verschoben. In den Altersgruppen von 10-19 Jahre und 30-39 Jahre tritt kein Unterschied in den erreichten Kontrasten auf, die Werte für die Altersgruppe der 20-29-Jährigen liegen hingegen etwas niedriger.

Bei einer Erkennungswahrscheinlichkeit von $f = 50 \%$ der Testpersonen erreichen alle Altersgruppen im Mittel die darstellbaren Kontraste. Wird diese Erkennungswahrscheinlichkeit auf $f = 98 \%$ erhöht, können nur noch die Altersgruppen von 10-39 Jahre die darstellbaren Kontraste erreichen.

5.6.2 Umfeldleuchtdichte von $L_U = 0,032 \text{ cd} \cdot \text{m}^{-2}$ ohne Blendung

Für die Umfeldleuchtdichte von $L_U = 0,032 \text{ cd} \cdot \text{m}^{-2}$ sind die Mittelwerte mit den Standardabweichungen über den Altersgruppen in Bild 45 dargestellt.

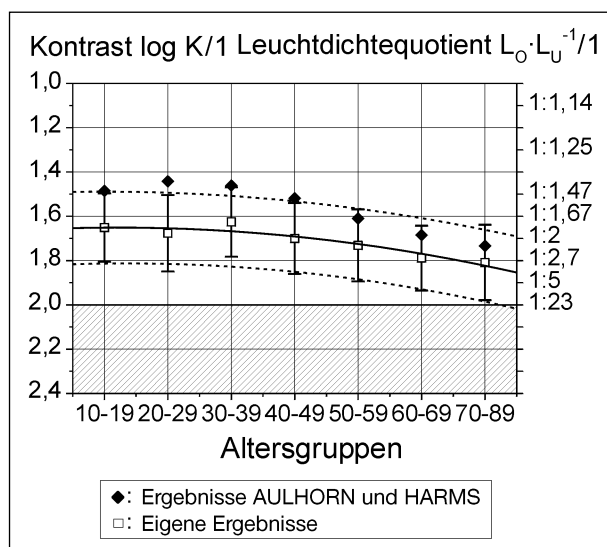


Bild 45: Mittelwerte der Kontraste in Abhängigkeit der Altersgruppen mit den entsprechenden Standardabweichungen für eine Umfeldleuchtdichte von $L_U = 0,032 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$ ohne Blendung

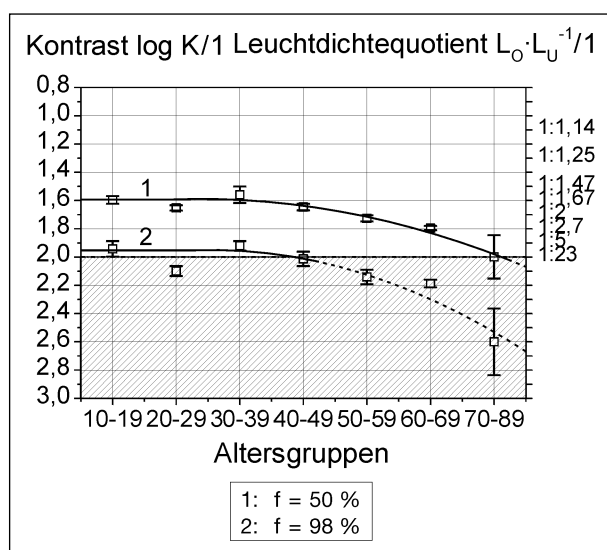


Bild 46: Wahrscheinlichkeitswerte von 50 % und 98 % für das Erreichen der Kontraste in Abhängigkeit der Altersgruppen mit den entsprechenden 95%-Vertrauensintervallen für eine Umfeldleuchtdichte von $L_U = 0,032 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$ ohne Blendung

Im Vergleich zu den Ergebnissen bei einer Umfeldleuchtdichte von $L_U = 0,1 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$ (vgl. Bild 42) ist eine deutliche Reduzierung der erreichten Kontraste zu erkennen. Die Altersgruppe der 10-19-jährigen Testpersonen erreicht einen mittleren Kontrast von etwa $K = 1,6$, dieser Kontrast wurde bei einer Umfeldleuchtdichte von $L_U = 0,1 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$ von den 70-89-jährigen Testpersonen erreicht.

Im Vergleich zu der Umfeldleuchtdichte von $L_U = 0,1 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$ zeigt sich bei der Umfeldleucht-

dichte von $L_U = 0,032 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$ im Mittel ein geringerer Einfluss des Alters der Testpersonen. Bei einer Umfeldleuchtdichte von $L_U = 0,1 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$ tritt ein Unterschied in den noch erreichbaren Kontrasten zwischen den Altersgruppen der 10-19 und der 70-89-jährigen Testpersonen von $\Delta K = 0,4$ auf. Diese Differenz verringert sich bei der niedrigeren Umfeldleuchtdichte im Mittel auf $\Delta K = 0,2$.

Ein Vergleich mit den Mittelwerten von AULHORN und HARMS zeigt, dass für die Altersgruppen der 10-19 Jahre bis 40-49 Jahre alten Testpersonen die Werte von AULHORN und HARMS am Rande oder außerhalb des Streubereiches liegen. Für die Testpersonen über 50 Jahre nähern sich die Mittelwerte mit zunehmenden Alter immer weiter an.

Die Lage der Mittelwerte außerhalb des Streubereiches deutet auf einen Unterschied der Mittelwerte hin. Daher wurden die aktuell ermittelten Werte mit den Werten von AULHORN und HARMS statistisch untersucht. Bei einer zugrunde gelegten Normalverteilung der Werte ergibt ein Zweistichprobentest für die Differenz zweier Mittelwerte, dass die Mittelwerte außerhalb des Streubereiches signifikant (Signifikanzniveau $\alpha_S = 0,05$) unterschiedlich sind. Die Mittelwerte, die innerhalb des Streubereiches liegen, zeigen keinen signifikanten Unterschied zu den aktuell ermittelten Werten.

Ein Vergleich der berechneten und der grafisch gewonnenen Mittelwerte zeigt, dass unter Annahme einer Normalverteilung die noch erreichten Kontraste mit zunehmendem Alter stärker sinken als bei den berechneten Mittelwerten. Der Einfluss des Alters ist ab der Altersgruppe der 50-59 Jahre alten Testpersonen deutlich zu erkennen.

Im Mittel erreichen 50 % der Testpersonen alle dargestellten Kontraste.

Sollen 98 % aller Testpersonen in den einzelnen Altersgruppen die Prüfung erfüllen, muss der Kontrast noch weiter erhöht werden. Lediglich in den Altersgruppe 10-19 Jahre bis 40-49 Jahre tritt ein Kontrast von $K \leq 2$ auf, ansonsten liegen die berechneten Kontraste außerhalb des darstellbaren Bereiches.

5.6.3 Umfeldleuchtdichte von $L_U = 0,1 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$ mit Blendung

In Bild 47 sind die berechneten Mittelwerte bei permanenter Blendung für jede Altersgruppe dargestellt. Im Vergleich zu den Untersuchungen bei

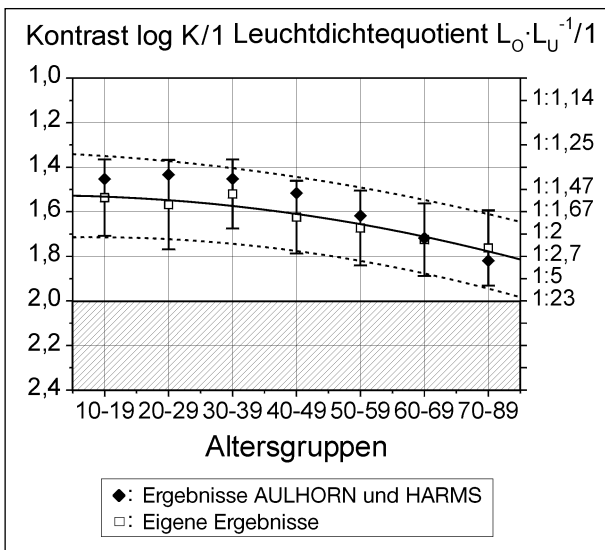


Bild 47: Mittelwerte der Kontraste in Abhängigkeit der Altersgruppen mit den entsprechenden Standardabweichungen für eine Umfeldleuchtdichte von $L_U = 0,1 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$ mit Blendung

einer Umfeldleuchtdichte von $L_U = 0,1 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$ ohne Blendung (vgl. Bild 43) zeigt sich hier ein flacherer Verlauf in Abhängigkeit des Alters.

Ein Vergleich mit den Ergebnissen bei einer Umfeldleuchtdichte von $L_U = 0,032 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$ ohne Blendung zeigt, dass für die jüngeren Testpersonen der erreichbare Kontrast um etwa $\Delta K = 0,1$ höher liegt, sich aber die Ergebnisse mit zunehmendem Alter der Testpersonen annähern (vgl. Bild 45).

Dies deutet darauf hin, dass eine Erhöhung der Untersuchungsanforderungen unabhängig von der Sehleistung im Mittel zu einem vergleichbaren Ergebnis führt.

Ein Vergleich mit den Ergebnissen von AULHORN und HARMS zeigt, dass nur für die Altersgruppen der 20-29 Jahre und 40-49 Jahre alten Testpersonen Unterschiede im Mittelwert von $K > 0,1$ auftreten. Für alle anderen Altersgruppen beträgt der Unterschied weniger als eine Kontraststufe. Eine statistische Überprüfung auf Unterschiedlichkeit der Mittelwerte zeigt, dass hier keine signifikanten Unterschiede festgestellt werden können.

In Bild 48 sind die Ergebnisse für die berechneten Wahrscheinlichkeiten bei einer zugrunde gelegten Normalverteilung dargestellt.

Bei einer Wahrscheinlichkeit von $f = 50 \%$ beträgt die Kontrastdifferenz $\Delta K = 0,5$ zwischen den Altersgruppen der 10-19 und 70-89 Jahre alten Probanden. Wird die Wahrscheinlichkeit auf $f = 98 \%$ erhöht, können nur noch die Probanden in den Al-

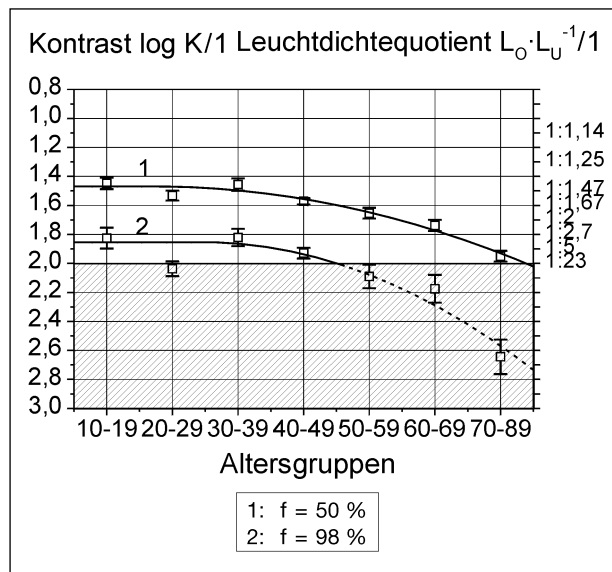


Bild 48: Wahrscheinlichkeitswerte von 50 % und 98 % für das Erreichen der Kontraste in Abhängigkeit der Altersgruppen mit den entsprechenden 95%-Vertrauensintervallen für eine Umfeldleuchtdichte von $L_U = 0,1 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$ mit Blendung

tersgruppen von 10-19 Jahre bis 40-49 Jahre die darstellbaren Kontraste erreichen.

Ein Vergleich mit den berechneten Mittelwerten und den Ergebnissen von AULHORN und HARMS zeigt, dass für die Werte bei einer Wahrscheinlichkeit von $f = 50 \%$ ein stärkerer Alterseinfluss festzustellen ist. Dieser tritt speziell zwischen den Altersgruppen der 50-59 Jahre und der 70-89 Jahre alten Testpersonen auf.

5.7 Einfluss der Untersuchungsparameter

Um den Einfluss der Untersuchungsparameter auf die Ergebnisse festzustellen, werden im Folgenden die Mittelwerte für die entsprechende Altersgruppe für zwei verschiedene Parameter in einem Diagramm dargestellt. Hierzu wird der mittlere erreichte logarithmisch bewertete Kontrast für einen Parameter über dem logarithmisch bewerteten Kontrast bei einer Umfeldleuchtdichte von $L_U = 0,1 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$ ohne und mit Blendung aufgetragen.

Zusätzlich ist in diesen Diagrammen die Winkelhalbierende eingezeichnet. Liegen die Mittelwerte auf dieser Geraden, so besitzen beide Parameter den gleichen Einfluss. Liegen die Mittelwerte oberhalb der Winkelhalbierenden, sind die Mittelwerte für den Parameter, der auf der Ordinate aufgetragen ist, größer und somit besitzt dieser Parameter

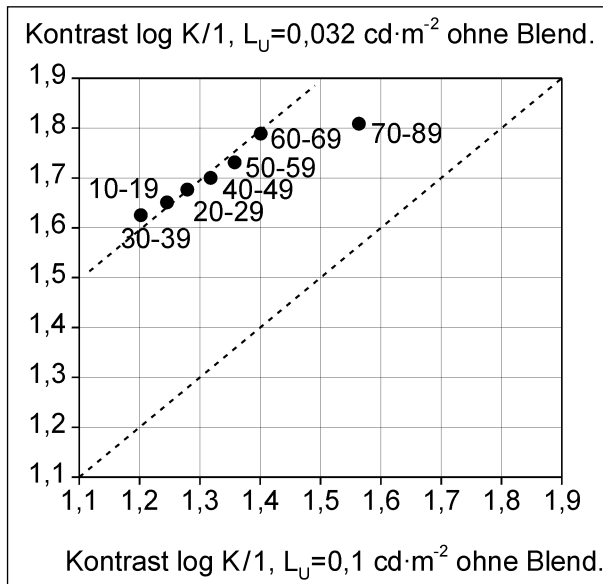


Bild 49: Einfluss der Umfeldleuchtdichte in den Untersuchungen ohne Blendung

einen größeren Einfluss als der Parameter, der auf der Abszisse aufgetragen ist.

Aus Bild 49 wird ersichtlich, dass bei den Untersuchungen ohne Blendung eine Reduzierung der Umfeldleuchtdichte von $L_U = 0,1 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$ auf $L_U = 0,032 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$ zu einer deutlichen Verringerung der erreichbaren Kontraste führt. Diese Verringerung ist unabhängig von der Altersgruppe, lediglich die Altersgruppe der 70-89 Jahre alten Probanden weist eine geringere Abnahme des erreichbaren Kontrasts auf. Dies wird durch die zusätzlich eingezeichnete Ausgleichsgerade für die Mittelwerte der Altersgruppen von 10-19 Jahre bis 60-69 Jahre verdeutlicht.

In Bild 50 ist der Einfluss der Blendung bei gleicher Umfeldleuchtdichte von $L_U = 0,1 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$ auf die erreichbaren mittleren Kontraste dargestellt.

In Bild 50 ist zu erkennen, dass bei gleicher Umfeldleuchtdichte die Blendung der Testperson zu einer Reduzierung der erreichbaren Kontraste führt. Diese Reduzierung beträgt $\Delta K \approx 0,3$ in den Altergruppen von 10-19 Jahren bis 60-69 Jahre. In der Altersgruppe der 70-89 Jahre alten Probanden verringert sich diese Reduzierung auf $\Delta K \approx 0,2$.

In Bild 51 werden die beiden Untersuchungsparameter, die die höchsten Anforderungen an die Testperson festlegen, dargestellt. Es werden die mittleren erreichten Kontraste für eine Umfeldleuchtdichte von $L_U = 0,032 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$ ohne Blendung über den Kontrasten für eine Umfeldleuchtdichte von $L_U = 0,1 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$ mit Blendung aufgetragen.

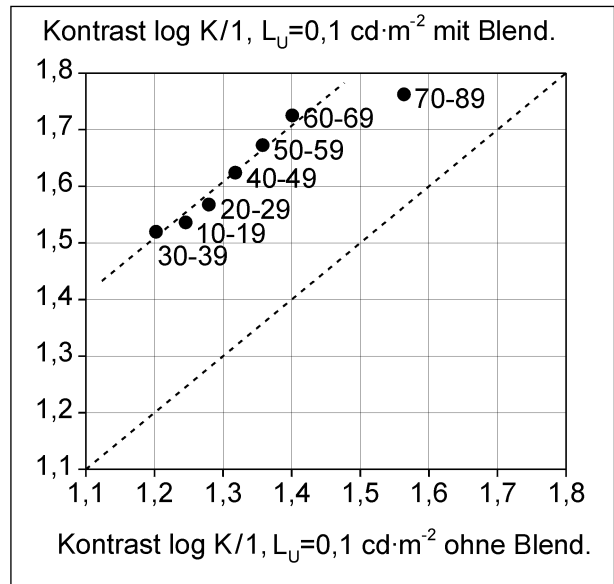


Bild 50: Einfluss der Blendung in den Untersuchungen mit der gleichen Umfeldleuchtdichte

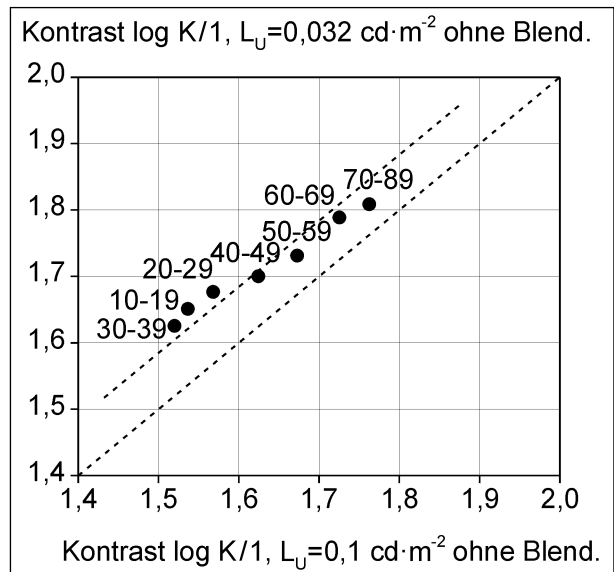


Bild 51: Einfluss der unterschiedlichen Umfeldleuchtdichte in den Untersuchungen mit und ohne Blendung

Im Gegensatz zu den Bildern 49 und Bild 50 ist hier eine Reduzierung des Abstandes zu der Winkelhalbierenden zu erkennen. Die Unterschiede der Mittelwerte betragen maximal $\Delta K = 0,11$. Dieser Unterschied entspricht nur einer einstellbaren Kontraststufe an dem Messgerät.

Da der zu erwartende Streubereich des Messgerätes eine einstellbare Kontraststufe beträgt, wurden die Mittelwerte für diese Parameterkombination weitergehend statistisch untersucht.

Hierzu wurde ausgehend von der zugrunde gelegten Normalverteilung der Daten ein Zweistichpro-

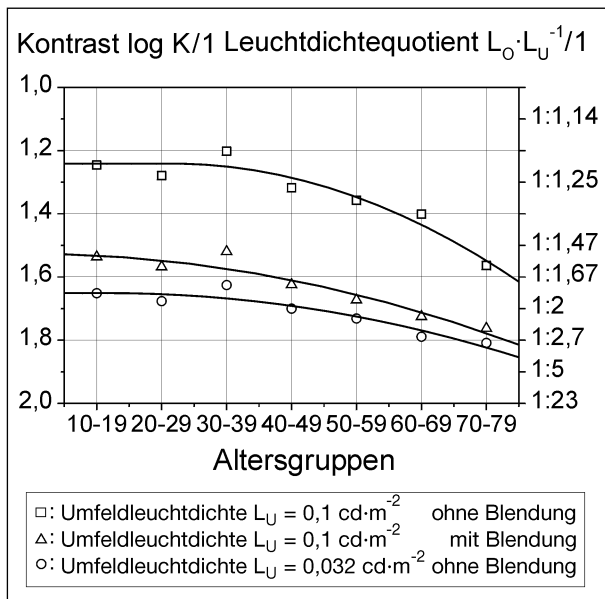


Bild 52: Mittelwerte der Kontraste in Abhängigkeit der Altersgruppen für alle untersuchten Parameter

bentest für die Differenz zweier Mittelwerte durchgeführt. Dieser Test liefert mit einem Signifikanzniveau von $\alpha_S = 0,05$, dass die Mittelwerte bei einer Umfundleuchtdichte von $L_U = 0,032 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$ ohne Blendung und die Mittelwerte für eine Umfundleuchtdichte von $L_U = 0,1 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$ mit Blendung nicht unterschiedlich sind. Das bedeutet, dass beide Parameter zu vergleichbaren Mittelwerten führen.

In Bild 52 sind abschließend die Mittelwerte für alle mit dem Mesoptometer untersuchten Parameter dargestellt.

6 Untersuchungen mit einer PELLI-ROBSON-Tafel

Es ist bekannt, dass ein gutes Sehvermögen am Tage nicht ein gutes Sehvermögen in der Dämmerung oder während der Nacht bedingt (OWENS [18], SCHMIDT-CLAUSEN [24]). Um eventuelle Korrelationen zwischen dem Kontrastsehen bei Tage und bei Nacht zu erhalten, wurden während der ersten Untersuchungsphase an der Autobahnraststätte Gräfenhausen im Frühjahr 2002 auch Untersuchungen zur Kontrastempfindlichkeit unter tagesähnlichen Bedingungen durchgeführt.

Hierzu wurde eine PELLI-ROBSON-Kontrasttafel verwendet. Auf dieser Tafel sind jeweils drei Buchstaben pro Kontraststufe dargestellt, die Kontraste sind logarithmisch linear gestuft. Die Tafel wurde so

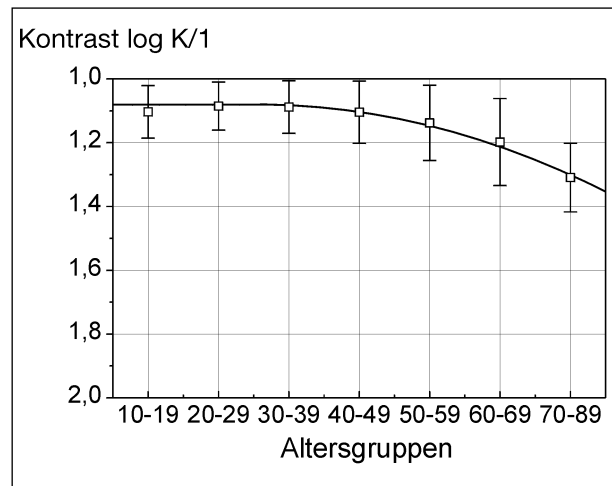


Bild 53: Mittelwerte mit den Standardabweichungen der Kontraststufen der PELLI-ROBSON-Tafel bei einer Umfundleuchtdichte von $L_U = 100 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$

beleuchtet, dass eine mittlere Leuchtdichte von $L_U \approx 100 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$ entsteht. Die Buchstaben werden mit einem abnehmenden negativen Kontrast (Schwarz auf Weiß) dargestellt. Die Testpersonen saßen in einer Entfernung von $d = 1 \text{ m}$ vor der Tafel (empfohlene Beobachtungsentfernung). Eine Kontraststufe galt dann als erfüllt, wenn 2 von 3 Buchstaben korrekt benannt wurden. Insgesamt nahmen 900 Testpersonen an diesen Untersuchungen teil.

Aufgrund der erreichten Kontraste unter diesen Bedingungen ist es nicht möglich, eine Normalverteilung anzunehmen. Lediglich für die Altersgruppen der 50-59, 60-69 und der 70-89 Jahre alten Testpersonen treten drei unterschiedlich erreichte Kontraste auf. Aus diesem Grund werden hier nur die berechneten Mittelwerte mit den dazugehörigen Standardabweichungen dargestellt.

In Bild 53 sind die Ergebnisse dieser Untersuchung über den Altersgruppen dargestellt. Bis zu der Altersgruppe der 40-49 Jahre alten Testpersonen ist kein Unterschied in den mittleren erreichten Kontrasten zu erkennen. Erst ab der Altersgruppe der 50-59 Jahre alten Testpersonen setzt eine Reduzierung der erreichten Kontraste ein. Der mittlere noch erreichbare Kontrast für die Altersgruppe von 70-89 Jahre beträgt $K = 1,3$. Gegenüber den 10-19 Jahre alten Testpersonen ist das eine Reduzierung um $\Delta K = 0,2$. Dies entspricht einer Verringerung des mittleren noch erreichbaren Kontrastes um 37 %.

Wie bei den Untersuchungen im mesopischen Bereich ist auch hier eine deutlicher Einfluss des Alters der Testpersonen festzustellen.

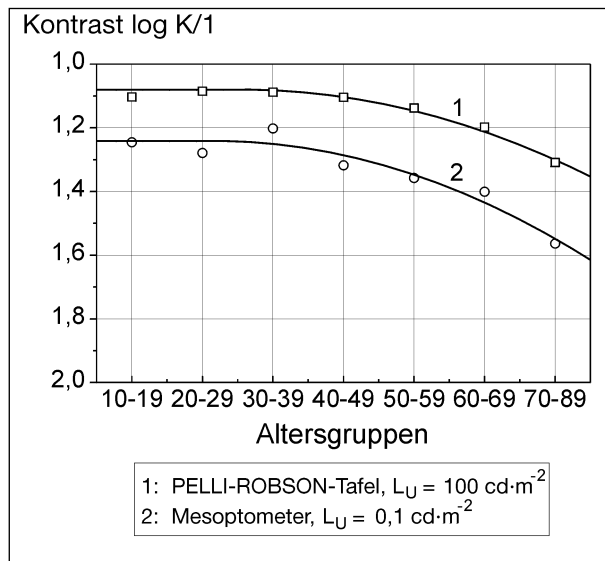


Bild 54: Mittelwerte in Abhängigkeit der Altersgruppen mit den entsprechenden Standardabweichungen für die Untersuchungen mit dem Mesoptometer und der PELLI-ROBSON-Tafel

In Bild 54 sind zusätzlich zu den Ergebnissen der Untersuchungen mit der PELLI-ROBSON-Tafel die Ergebnisse der Untersuchungen mit dem Mesoptometer aller Testpersonen für eine Umfeldleuchtdichte von $L_U = 0,1 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$ dargestellt.

Entsprechend der höheren Umfeldleuchtdichte von $L_U = 100 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$ liegen die mittleren erreichten Kontraste für alle Altersstufen niedriger als die mittleren Kontraste bei einer Umfeldleuchtdichte von $L_U = 0,1 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$. Deutlich ist hier eine fast parallele Verschiebung der beiden Kurven zu erkennen. Bei einer Umfeldleuchtdichte von $L_U = 0,1 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$ liegen die mittleren Kontraste für die Altersgruppe der 10-19 Jahre alten Testpersonen um $\Delta K = 0,16$ niedriger, für die Altersgruppe der 70-89 Jahre alten Testpersonen steigt diese Differenz auf $\Delta K = 0,24$ an.

Diese annähernde parallele Verschiebung der beiden Kurven, auch wenn sie unter verschiedenen Bedingungen gewonnen wurde, deutet darauf hin, dass eine Abhängigkeit zwischen dem Kontrastsehen unter Tages- und Nachtbedingungen besteht. Dieser Zusammenhang eröffnet die Möglichkeit, die Dämmerungssehschärfe aufgrund eines einfachen Tests unter tagesähnlichen Bedingungen zu bestimmen und eine Aussage zu der Dämmerungssehschärfe zu erhalten.

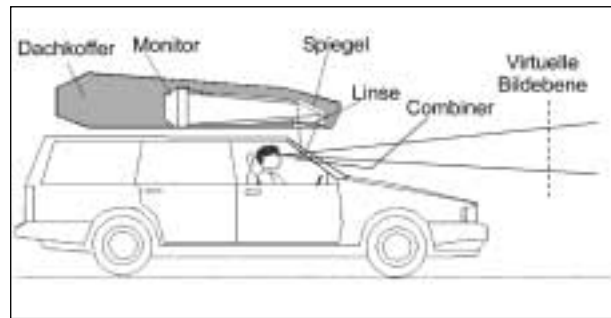


Bild 55: Schematische Darstellung des Head-Up-Displays

7 Untersuchungen mit einem Head-Up-Display

Am Fachgebiet Lichttechnik steht ein Versuchsfahrzeug mit einem Head-Up-Display zur Verfügung, das es erlaubt, computergenerierte Bilder in das Gesichtsfeld des Fahrers einzuspiegeln.

In Bild 55 ist der Versuchsaufbau dargestellt. Das computergenerierte Bild wird über einen Spiegel und eine Linse auf den Combiner abgebildet. Der Fahrer sieht eine Überlagerung aus realem und virtuellem Bild. Um keine unterschiedliche Akkommodation der Augen bei einem Blick in die Straßenszenarie und dem computergenerierte Bild zu verursachen, wird das computergenerierte Bild in einer Entfernung von etwa sieben Metern vor dem Fahrer in einer virtuellen Bildebene scharf abgebildet.

Mit Hilfe dieses Testfahrzeugs wurden auf dem Testgelände der TU Darmstadt Versuche sowohl statisch als auch dynamisch durchgeführt.

Die Untersuchungen fanden jeweils bei Dunkelheit und trockener Fahrbahnoberfläche statt. Fünf normalsichtige Testpersonen im Alter zwischen 24-35 Jahren nahmen an diesen Untersuchungen teil. Die Testreihen wurden pro Testperson an zwei unterschiedlichen Tagen durchgeführt, um Schwankungen in der Tagesform zu minimieren.

Den Testpersonen wurde ein Landoltring mit einem Durchmesser von $\alpha = 50'$ dargeboten, dies entspricht einer Sehschärfe von $S = 0,1$.

Der Landoltring wurde in einem $\alpha = 4^\circ$ großen Umfeld, das die Adaptationsleuchtdichte festlegt, dargeboten (vgl. Kapitel 5, AULHORN [1]). Für jeden Kontrast wurden fünf Landoltringe präsentiert, zur Erfüllung einer Kontraststufe mussten 3 der 5 dargebotenen Orientierungen richtig benannt werden.

In Tabelle 2 sind die dargestellten Kontraste und die untersuchten Parameter zusammengefasst.

In Bild 56 sind die Ergebnisse der statischen Untersuchung dargestellt. Wie zu erwarten, zeigt sich ein deutlicher Einfluss der Umfeldleuchtdichte auf die zu erreichenden Kontraste. Je geringer die Um-

Parametertyp	Auswahl
Kontrast log K/1	1,97; 1,8; 1,7; 1,6; 1,5; 1,4; 1,3; 1,2; 1,1; 1,0; 0,9; 0,8; 0,7
Umfeldleuchtdichte $L_U/\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$	0,1; 0,3; 1; 3; 10
Geschwindigkeit $v/\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$	0; 30; 60

Tab. 2: Übersicht der ausgewählten Parameter für die Untersuchungen mit dem Head-Up-Display

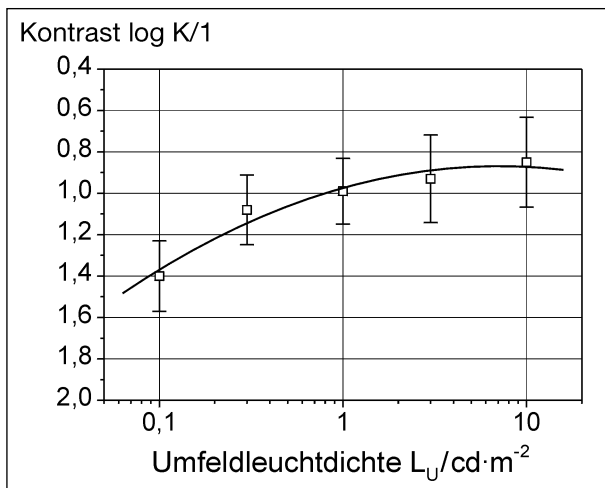


Bild 56: Mittelwerte in Abhängigkeit der Umfeldleuchtdichte mit den entsprechenden Standardabweichungen für die Untersuchungen mit dem Head-Up-Display

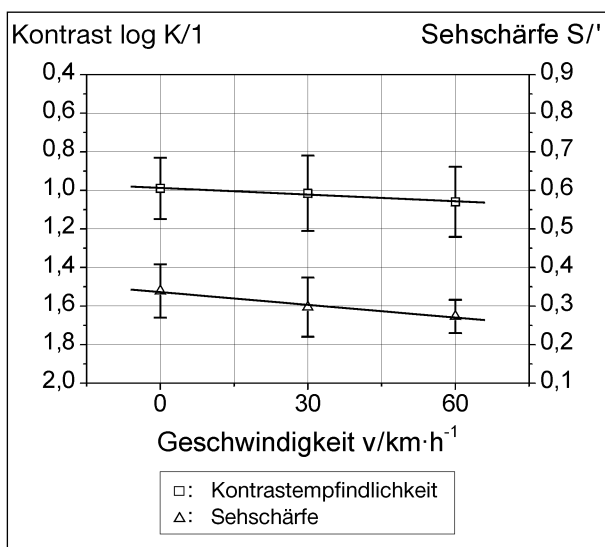


Bild 57: Mittelwerte in Abhängigkeit der Geschwindigkeit mit den entsprechenden Standardabweichungen für die Untersuchungen mit dem Head-Up-Display

feldleuchtdichte, desto größer muss der dargebotene Kontrast des Landoltringes im Mittel sein, um von den Testpersonen erkannt werden zu können.

Bei etwa $L_U = 10 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$ nähert sich die Ausgleichsfunktion einer Asymptote, d. h., eine Zunahme der Umfeldleuchtdichte führt zu keiner weiteren Verringerung des noch erreichbaren Kontrastes.

Dieses Ergebnis deutet darauf hin, dass durch eine Erhöhung der Umfeldleuchtdichte – der angenommenen Adaptationsleuchtdichte – auch eine Verbesserung der Kontrastempfindlichkeit erreicht wird (vgl. SCHMIDT-CLAUSEN [24]).

Weiterführend zu den statischen Untersuchungen wurden dynamische Testreihen durchgeführt. In den dynamischen Testreihen wurden die gleichen Testpersonen wie in den statischen Testreihen eingesetzt. Die Aufgabe der Testperson war es jetzt, die Orientierung des Landoltringes zu benennen, die vorgegebene Fahrgeschwindigkeit einzuhalten und das Fahrzeug auf der Teststrecke zu bewegen. Im Gegensatz zu den statischen Untersuchungen wurde nur eine Umfeldleuchtdichte von $L_U = 1 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$ berücksichtigt.

Zusätzlich zu den Untersuchungen der dynamischen Kontrastempfindlichkeit (Dämmerungssehschärfe) wurde die Sehschärfe der Testpersonen vermessen. Hierzu wurde die Größe des Landoltringes logarithmisch gestuft für einen konstanten logarithmisch bewerteten Kontrast von $K = 1,97$ dargeboten.

Pro Sehschärfestufe wurden ebenfalls fünf Landoltringe dargeboten. Eine Sehschärfestufe galt als erreicht, wenn drei der fünf Landoltringe richtig erkannt und benannt wurden.

Die Ergebnisse dieser beiden Testreihen sind in Bild 57 über der Geschwindigkeit dargestellt. Für die Sehschärfe ist an der rechten Ordinate ein eigener Maßstab angetragen. Zusätzlich sind Ausgleichsfunktion eingezeichnet, die in diesem berücksichtigten Geschwindigkeitsbereich Geraden ergeben. Deutlich ist eine Reduzierung der erreichbaren Kontraste und der Sehschärfe bei zunehmender Geschwindigkeit zu erkennen. Mit weiter zunehmender Geschwindigkeit müssen diese Geraden mit negativer Steigung in einen asymptotischen Verlauf übergehen. Aus Sicherheitsgründen konnten allerdings keine höheren Geschwindigkeiten mit dem Testfahrzeug gefahren werden.

Für den untersuchten Geschwindigkeitsbereich bis $v = 60 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ reduziert sich der mittlere noch erreichbare Kontrast gegenüber den statischen Testreihen um $\Delta K = 15 \%$. Das bedeutet, dass sich die gefundenen Ergebnisse unter Laborbedingungen in der realen Fahrsituation weiter reduzieren und nicht als absolute Werte zur Beschreibung der Kontrastempfindlichkeit unter dynamischen Bedingungen herangezogen werden können.

Die mittlere Sehschärfe liegt für den dargebotenen Geschwindigkeitsbereich und Kontrast in einem Bereich von etwa $S \approx 0,35$ bis $S \approx 0,25$. Die mittlere Sehschärfe verringert sich für eine Geschwindigkeit von $60 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ gegenüber den statischen Testreihen um $\Delta S = 20 \%$.

Trotz des maximal dargebotenen negativen Kontrasts können die normalsichtigen Testpersonen im Alter zwischen 24-35 Jahren nur diese geringen Sehschärfen erreichen.

In Bild 58 ist der Einfluss des Kontrasts auf die Sehschärfe dargestellt. Es ist zu erkennen, dass für einen maximalen negativen Kontrast gegenüber dem maximalen positiven Kontrast nur eine Sehschärfe von ca. $S \approx 0,75$ erreicht wird. Da sich die Sehschärfe mit abnehmender Umfeldleuchtdichte verringert ist bei geringeren Umfeldleuchtdichten mit weiter reduzierten Sehschärfen bei einem Objekt mit negativem Kontrast zu seiner Umgebung auszugehen (vgl. SCHMIDT-CLAUSEN [24]).

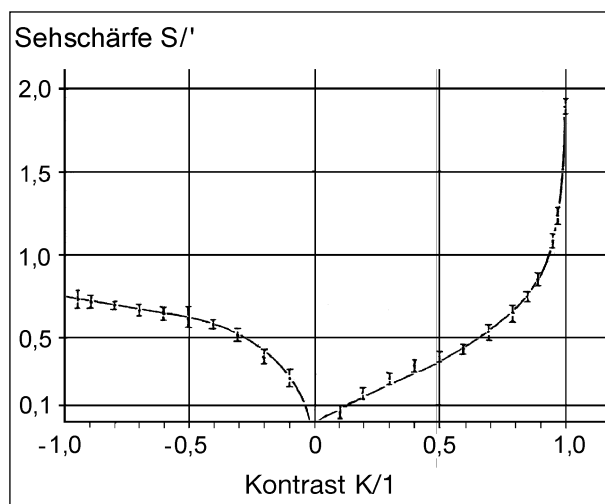


Bild 58: Sehschärfe als Funktion des Kontrasts bei einer Umfeldleuchtdichte von $L_U = 0,032 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$ (JAINSKI [10])

8 Untersuchungen bei einem geteilten Umfeld im Labor

Zusätzlich zu den Untersuchungen mit dem Head-Up-Display unter realitätsnahen Bedingungen wurden am Fachgebiet Lichttechnik weitergehende Untersuchungen zur Kontrastempfindlichkeit bei einem geteilten Umfeld durchgeführt. Bei diesen Untersuchungen besteht das Umfeld, das die Adaptationsleuchtdichte festlegt, aus einer perspektivisch projizierten Fahrbahn. Die Leuchtdichte dieser projizierten Fahrbahn kann entsprechend dem vorgegebenen Leuchtdichtebereich variiert werden. Um einen Vergleich der Untersuchungen mit dem Testfahrzeug zu gewährleisten, wird eine Beobachtungsentfernung von $d = 7 \text{ m}$ festgelegt. Das Testzeichen wurde in einer entsprechenden Entfernung von $d = 50 \text{ m}$ vor dem Fahrzeug mit einer Sehschärfe von $S = 0,1$ dargeboten, um einen Vergleich mit den vorangegangenen Untersuchungen zu ermöglichen.

In Bild 59 ist schematisch das visuell wahrgenommene Bild der Testpersonen dargestellt.

Der Kopf der Testperson wird über einen Gesichtsrahmen fixiert, um eine definierte Beobachungsposition zu gewährleisten.

Entsprechend den vorangegangenen Untersuchungen besteht die Aufgabe der Testperson darin, die Position der Lücke im Landoltring zu benennen. Pro Kontrast wurden 5 Landoltringe präsentiert, wenn 3 Positionen richtig benannt wurden, galt diese Kontraststufe als erfüllt und der Kontrast des Landoltringes wurde verringert.

Vor jedem Testdurchgang musste die Testperson 30 Minuten in Dunkelheit verbringen, um an die

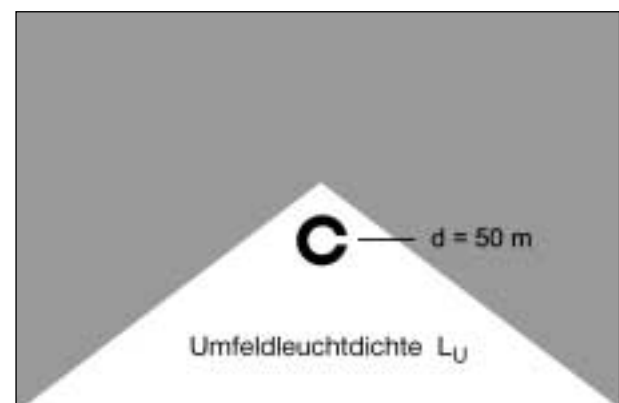


Bild 59: Schematische Darstellung des geteilten Umfeldes mit einem Landoltring

Leuchtdichteverhältnisse zu adaptieren. Jeder Test wurde nach der Erläuterung mit der niedrigsten Leuchtdichtestufe begonnen.

Die Testreihen wurden pro Person zweimal an unterschiedlichen Tagen wiederholt.

Die Testpersonen wurden entsprechend ihrem Alter in Gruppen eingeteilt, folgende Altersgruppen wurden gewählt: 18-35 Jahre, 35-55 Jahre und > 55 Jahre. Pro Altersgruppe nahmen 10 Testpersonen an den Untersuchungen teil.

In Tabelle 3 sind die Parameter der Untersuchungen zusammengefasst.

In Bild 60 sind die Ergebnisse der Untersuchungen dargestellt. Neben den erzielten Mittelwerten in den drei Altersgruppen ist für die Altersgruppe der 18-35 Jahre alten Testpersonen eine Ausgleichsfunktion und deren 95%-Vertrauensintervall eingezeichnet.

Deutlich ist in Bild 60 der Anstieg mit zunehmender Umfeldleuchtdichte zu erkennen. Aufgrund der

Parametertyp	Auswahl
Kontrast log K/1	1,98; 1,8; 1,7; 1,6; 1,5; 1,4; 1,27; 1,2; 1,14; 1,0; 0,86; 0,64
Umfeldleuchtdichte $L_U/cd \cdot m^{-2}$	0,01; 0,032; 0,1; 1; 10
Alter der Testpersonen a/Jahre	18-35, 35-55, >55

Tab. 3: Übersicht der ausgewählten Parameter für die Untersuchungen im Labor mit einem geteilten Umfeld

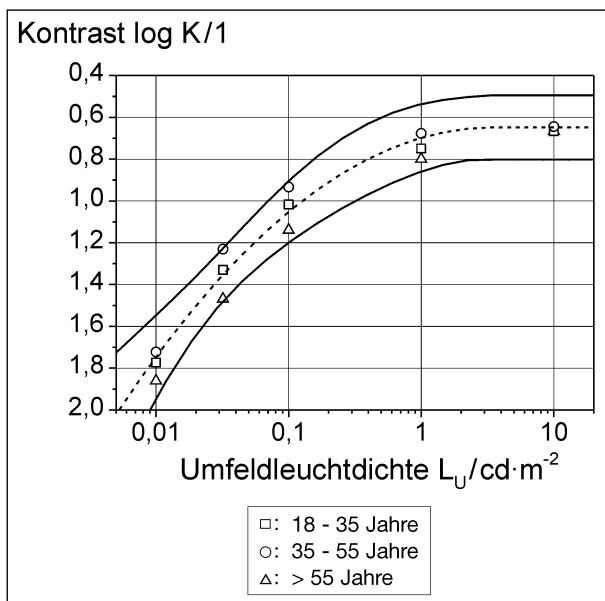


Bild 60: Mittelwerte der Kontrastschwelle in Abhängigkeit der Umfeldleuchtdichte für die verschiedenen Altersgruppen

darstellbaren Kontraste kann keine Aussage über den absoluten Verlauf bei Leuchtdichten $L_U = 1 cd \cdot m^{-2}$ getroffen werden. Schon bei einer Umfeldleuchtdichte von $L_U \geq 1 cd \cdot m^{-2}$ können Testpersonen in allen Altersgruppen die niedrigsten Kontraststufen erfüllen.

Weiterhin fällt auf, dass kaum ein Einfluss des Alters der Testpersonen auftritt, dies kann durch die Einteilung der Altersgruppen bedingt sein.

9 Fahrbahnleuchtdichten bei Beleuchtung durch kraftfahrzeugeigene Scheinwerfer

Durch die Entwicklung auf dem Gebiet der Scheinwerfertechnologie in den letzten Jahren und die damit verbundenen Änderungen der lichttechnischen Gegebenheiten ist zu analysieren, welche Leuchtdichten heute auf Fahrbahnoberflächen erreicht werden.

In der grundlegenden Arbeit von AULHORN und HARMS werden für die trockene Fahrbahn (günstige Bedingungen) eine Leuchtdichte von $L = 0,1 cd \cdot m^{-2}$ und für eine nasse Fahrbahn eine Leuchtdichte von $L = 0,032 cd \cdot m^{-2}$ gewählt. Aus Tabelle 4 gehen die zugrunde gelegten Werte hervor.

Die Vermessung der Fahrbahnleuchtdichte wurde sowohl auf dem Testgelände der TU Darmstadt als auch auf Autobahnen und Landstraßen durchgeführt.

Hierzu wurden aus der Kraftfahrerposition mit einem Leuchtdichtemesssystem die sich ergebenden Leuchtdichteverteilungen auf der Fahrbahnoberfläche vermessen. Pro Pixel wird mit dem verwendeten Objektiv ein Winkel von $\alpha_L = 0,4'$ überstrichen.

Standardmäßig wurden Gasentladungsscheinwerfer eingesetzt, vergleichend hierzu wurden ein weiterer Ellipsoid-Gasentladungsscheinwerfer und Scheinwerfer mit Halogenglühlampen von Großse-

		Distanz d/m		
		50	25	10
Fahrbahnleuchtdichte $L/cd \cdot m^{-2}$	trocken	0,0095	0,477	0,636
	nass	0,0095	0,019	0,25

Tab. 4: Zugrunde gelegte Fahrbahnleuchtdichten des Abblendlichtes in der Arbeit von AULHORN und HARMS [1]

rienfahrzeugen verwendet. Die Scheinwerfer der Großserienfahrzeuge besitzen einen Freiformreflektor und einen bifokalen Paraboloidreflektor. Die Ellipsoid-Gasentladungsscheinwerfer und die Scheinwerfer mit Freiformreflektor repräsentieren den heutigen Stand der Technik.

Prinzipiell ist die Leuchtdichteverteilung auf der Fahrbahnoberfläche von der Lichtstärkeverteilung der Scheinwerfer und den Reflexionseigenschaften der Fahrbahnoberfläche abhängig. Die Reflexionseigenschaften der Fahrbahnoberfläche werden durch die verwendeten Materialien und die Witterungsverhältnisse bestimmt.

In Bild 61 sind die Leuchtdichteverläufe für den standardmäßigen Gasentladungsscheinwerfer auf zwei unterschiedlich hellen Fahrbahnoberflächen dargestellt. Die Leuchtdichteverläufe entstehen durch eine Umrechnung der Daten des perspektivischen Leuchtdichtebildes in eine äquidistante Darstellung entlang der Beobachtungsrichtung.

Die helle Fahrbahnoberfläche besteht aus Beton. Diese Fahrbahnoberfläche wurde kurz nach ihrer Fertigstellung vermessen und kann als eine Fahrbahnoberfläche angesehen werden, bei der die höchsten Reflexionseigenschaften auftreten, somit legt sie die höchsten zu erwartenden Leuchtdichten fest. Vergleichend hierzu ist eine Fahrbahn mit Asphaltdecke bei trockener und nasser Fahrbahnoberfläche dargestellt. Der Leuchtdichteverlauf für

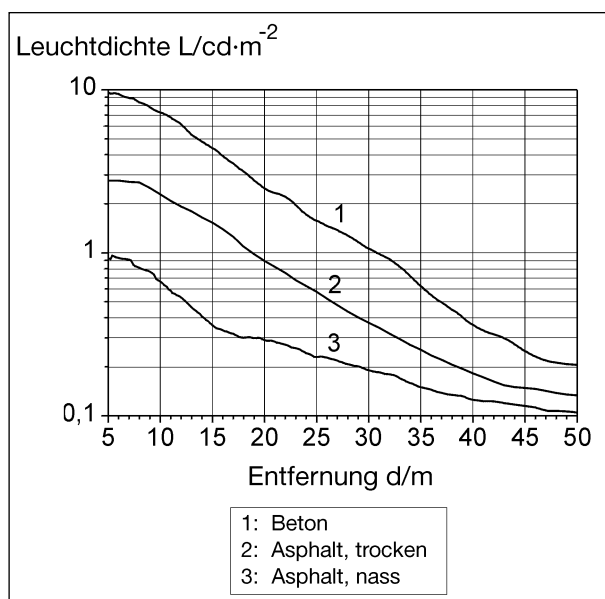


Bild 61: Verlauf der Leuchtdichte in Abhängigkeit von der Entfernung zu dem Kraftfahrzeug bei verschiedenen Fahrbahnoberflächen

die nasse Fahrbahnoberfläche repräsentiert somit den niedrigsten zu erwartenden Leuchtdichteverlauf.

Für die schlechtesten Bedingungen, nasse Fahrbahnoberfläche aus Asphalt, liegen die heute erreichten Leuchtdichten mit einem Gasentladungsscheinwerfer um den Faktor $k = 10$ höher als die gemessenen Werte, die AULHORN und HARMS [1] herangezogen haben.

In Bild 62 sind die Leuchtdichteverläufe für drei verschiedene Scheinwerfersysteme auf der gleichen Fahrbahnoberfläche mit Asphaltdecke dargestellt.

Deutlich ist hier der Einfluss einer veränderten Lichtstärkeverteilung der Scheinwerfer zu erkennen. Die Leuchtdichteverteilungen der Scheinwerfer mit Halogenglühlampe unterscheiden sich in kurzen Entfernungen und für große Entfernungen nähern sie sich an. Im Vergleich dazu ist der Unterschied zwischen dem Scheinwerfer mit Gasentladungslampe und dem Scheinwerfer mit Freiformreflektor in kurzen Entfernungen geringer als in großen Entfernungen. Hier wird der erhöhte Lichtstrom zur Ausleuchtung der großen Entfernungsbereiche genutzt. Ab etwa $d = 35$ m steigt die Leuchtdichte des Scheinwerfers mit Gasentladungslampe auf etwa den zweifachen Werte des Scheinwerfers mit Halogenglühlampe und Freiformreflektor.

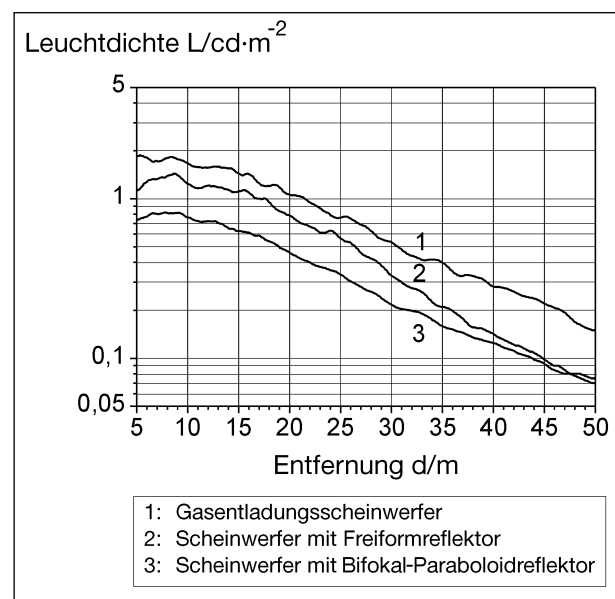


Bild 62: Verlauf der Leuchtdichte in Abhängigkeit von der Entfernung zu dem Kraftfahrzeug bei verschiedenen Scheinwerfern

In Bild 63 sind die Leuchtdichteverläufe für einen Scheinwerfer mit Freiformreflektor und Halogenglühlampe in Abhängigkeit der Lampenspannung aufgetragen.

Das heutige Bordnetz eines Kraftfahrzeugs hat eine mittlere Spannung von $U \geq 13$ V. Eine Verringerung der Lampenspannung von $U = 14$ V auf $U = 12$ V führt zu einer Verringerung der Leuchtdichte um den Faktor $k = 0,66$, wird die Lampenspannung

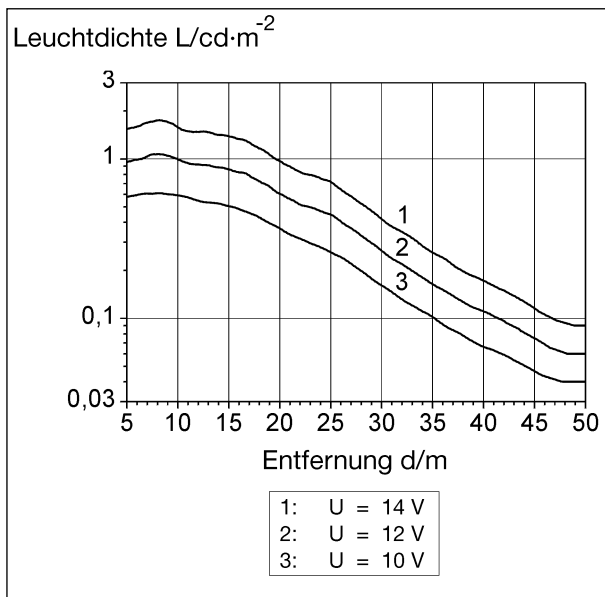


Bild 63: Verlauf der Leuchtdichte in Abhängigkeit von der Entfernung zu dem Kraftfahrzeug eines Scheinwerfers mit Freiformreflektor und Halogenglühlampe bei verschiedenen Spannungen

		Eigenschaft	Distanz d/m	
			20	35
Fahrbahnleuchtdichte $L/\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$	AULHORN und HARMS	trocken	0,554	0,100
		nass	0,032	0,015
	Standard GDL	Asphalt trocken	0,917	0,260
	Standard GDL	Asphalt nass	0,289	0,140
	Standard GDL	Beton trocken	2,43	0,608
	Vergleichs GDL	Asphalt trocken	1,05	0,398
	Freiform - Halogen	Asphalt trocken	0,816	0,208
	Paraboloid - Halogen	Asphalt trocken	0,461	0,154
GDL – Scheinwerfer mit Gasentladungslampe				

Tab. 5: Übersicht der Leuchtdichten in Abhängigkeit des Scheinwerfers und der Fahrbahnoberfläche

weiter auf $U = 10$ V reduziert, verringert sich die Leuchtdichte um den Faktor $k = 2-3$.

Zusammenfassend lässt sich die folgende Aussage treffen. Gegenüber den zugrunde liegenden Leuchtdichtewerten für die Untersuchungen von AULHORN und HARMS [1] haben sich die Leuchtdichten je nach Witterungsverhältnis, Fahrbahnoberfläche und Messentfernung erhöht. Aufgrund der Messwerte wird eine Entfernung von $d = 35$ m für eine trockene Fahrbahn und eine Entfernung von $d = 20$ m für die Leuchtdichten zugrunde gelegt.

In Tabelle 5 sind die Leuchtdichten in den entsprechenden Entfernungen zusammengefasst.

Für jeden vermessenen Scheinwerfertyp liegen die Leuchtdichtewerte bei trockener Fahrbahnoberfläche in einer Entfernung von $d = 35$ m über denen von AULHORN und HARMS. Je nach Scheinwerfertyp und Witterungsverhältnis liegen die Leuchtdichten der heutigen Scheinwerfer um den Faktor $k = 1,5-6$ über den zugrunde gelegten Werten.

Werden nur die Scheinwerfer mit Gasentladungslampe und die mit Freiformreflektor berücksichtigt, erhöhen sich die Leuchtdichten um den Faktor $k = 3$ für Fahrbahnen mit Asphaltdecke und um $k = 6$ für Fahrbahnen mit Betondecke.

Um einen visuellen Vergleich zu ermöglichen, sind in den Bildern 64 bis 70 für die oben beschriebenen Fahrbahnoberflächen die Leuchtdichteaufnahmen dargestellt.

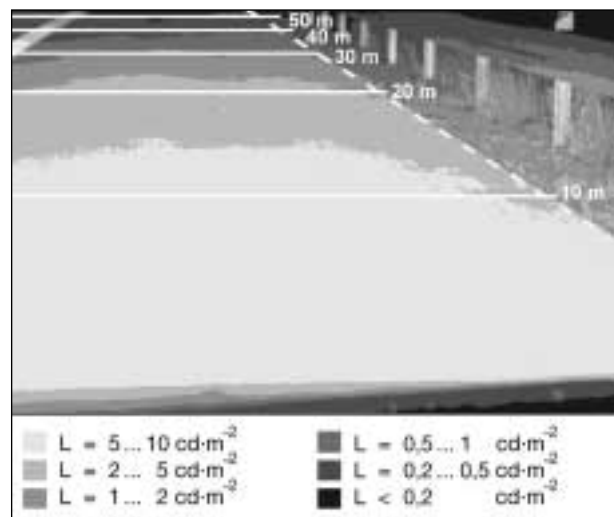


Bild 64: Leuchtdichteaufnahme einer trockenen Fahrbahnoberfläche aus Beton

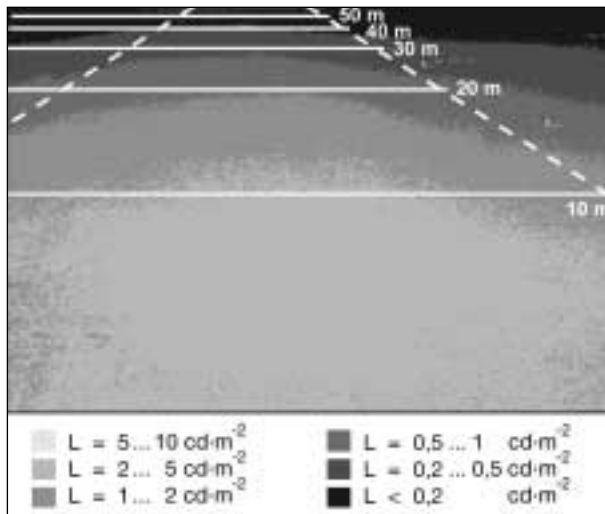


Bild 65: Leuchtdichteaufnahme einer trockenen Fahrbahnoberfläche aus Asphalt

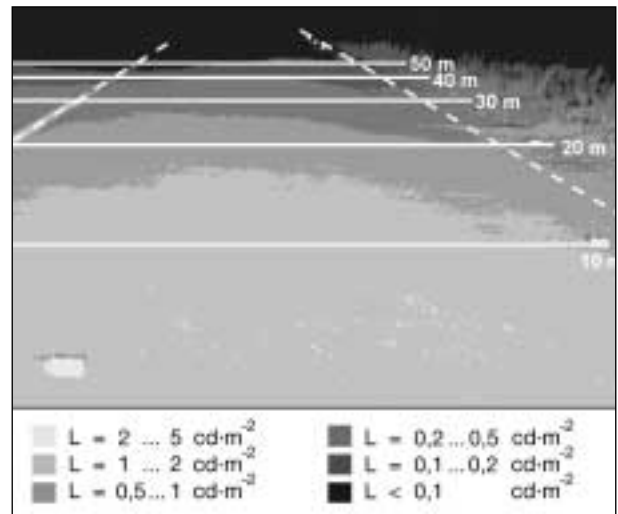


Bild 68: Leuchtdichteaufnahme des Vergleichsscheinwerfers mit Gasentladungslampe auf trockener Fahrbahnoberfläche

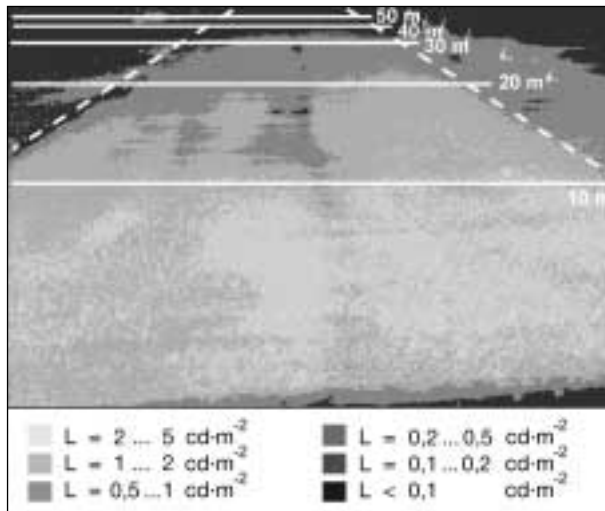


Bild 66: Leuchtdichteaufnahme einer nassen Fahrbahnoberfläche aus Asphalt

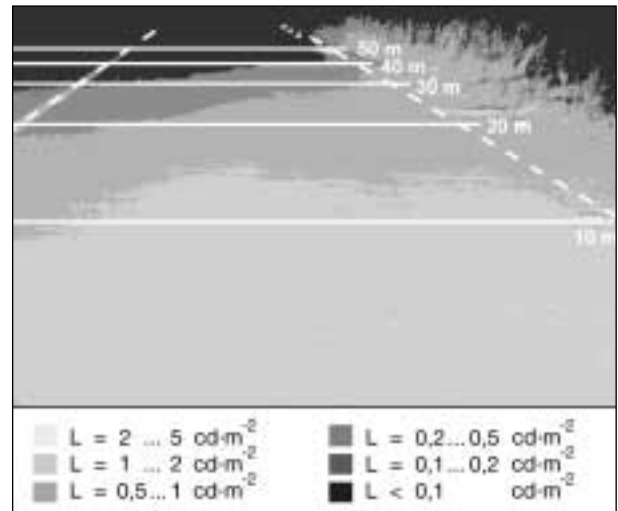


Bild 69: Leuchtdichteaufnahme des Scheinwerfers mit Paraboloidreflektor und Halogenglühlampe auf trockener Fahrbahnoberfläche

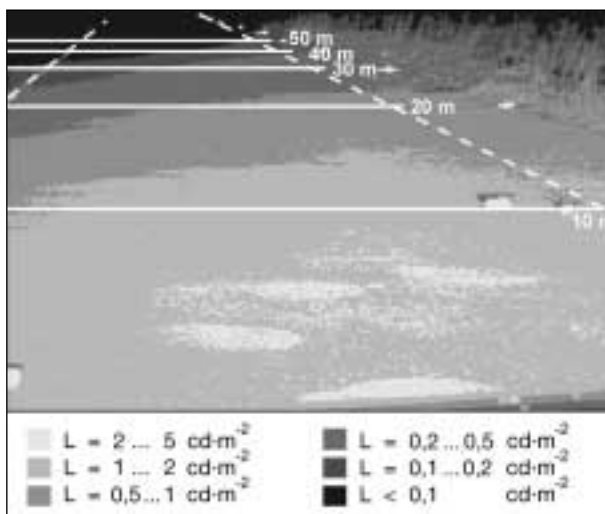


Bild 67: Leuchtdichteaufnahme des Standardscheinwerfers mit Gasentladungslampe auf trockener Fahrbahnoberfläche

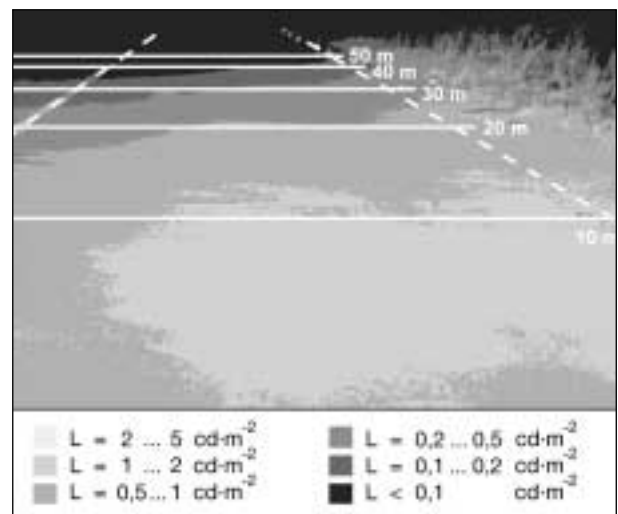


Bild 70: Leuchtdichteaufnahme des Scheinwerfers mit Freiformreflektor und Halogenglühlampe auf trockener Fahrbahnoberfläche

10 Folgerungen für die Praxis

Die durchgeführten Untersuchungen an der Autobahnrastanlage Gräfenhausen West an der A5 mit dem Mesoptometer haben die Ergebnisse von AULHORN und HARMS [1] bestätigt. Es zeigen sich keine statistisch signifikanten Unterschiede, obwohl unterschiedliche Testvoraussetzungen zugrunde liegen. In den durchgeführten Untersuchungen wurden keine Testvoraussetzungen für die Testpersonen, wie z. B. eine minimale Sehschärfe, definiert und die Ergebnisse aller 1.701 untersuchten Testpersonen zur Auswertung verwendet. Bei AULHORN und HARMS wurden ausschließlich augengesunde Personen getestet und von ca. 3.000 Testpersonen wurden nur Daten von 2.282 Personen für die Auswertung verwendet.

Ein Vergleich des Einflusses der Umfeldleuchtdichte in den durchgeführten Untersuchungen zeigt, dass eine Reduzierung der Umfeldleuchtdichte unabhängig von der Altersgruppe zu einem geringeren erreichbaren Kontrast führt (vgl. Bild 52). Diese Differenz beträgt im Mittel vier Kontraststufen (vgl. Kapitel 5), lediglich bei den Testpersonen in der Altersgruppe 70-89 Jahre tritt eine geringere Reduzierung von 2,5 Kontraststufen im Mittel auf.

Die Gegenüberstellung der Ergebnisse, die mit dem Mesoptometer bei einer Umfeldleuchtdichte von $L_U = 0,032 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$ ohne Blendung und einer Umfeldleuchtdichte von $L_U = 0,1 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$ mit Blendung erzielt wurden, zeigt, dass hier maximal eine Abweichung von einer darstellbaren Kontraststufe auftritt. Eine weitergehende statistische Überprüfung der Mittelwerte deutet darauf hin, dass beide Untersuchungsbedingungen zu gleichen Ergebnissen führen (vgl. Kapitel 5.7). Eine Verdreifachung der Umfeldleuchtdichte auf $L_U = 0,1 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$ bei der Untersuchung mit Blendung liefert vergleichbare Ergebnisse wie die Untersuchung ohne Blendung bei einer Umfeldleuchtdichte von $L_U = 0,032 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$ unter den berücksichtigten Untersuchungsbedingungen.

Der Einfluss der Blendung kann somit unter diesen Untersuchungsbedingungen durch eine dreifach höhere Umfeldleuchtdichte kompensiert werden.

Die Untersuchungen mit einem Head-Up-Display haben gezeigt, dass der noch erreichbare Kontrast unter realen statischen Verkehrsbedingungen im Mittel um etwa eine Kontraststufe unterhalb der Werte liegt, die mit dem Mesoptometer ermittelt wurden (vgl. Bild 56). Wird zusätzlich noch der Ein-

fluss des Fahrens des Kraftfahrzeugs berücksichtigt, reduzieren sich die noch erreichbaren Kontraste weiter (vgl. Bild 57). Somit ist unter realen Verkehrsbedingungen für die Dämmerungssehschärfe eine weitere Reduzierung zu erwarten, die mindestens eine Kontraststufe beträgt und zusätzlich abhängig von der Fahrgeschwindigkeit ist. Der in diesen Testreihen untersuchte Geschwindigkeitsbereich lässt Aussagen bis zu einer Geschwindigkeit von $v = 60 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ zu. Höhere Geschwindigkeiten konnten aus Sicherheitsgründen nicht untersucht werden.

Die statischen und dynamischen Untersuchungen der Sehschärfe mit einem Head-Up-Display zeigen, dass bei jungen normalsichtigen Testpersonen (Alter zwischen 24-35 Jahre) selbst bei maximalen dargebotenen Kontrasten nur mittlere Sehschärfen von $S \approx 0,25$ bis $S \approx 0,35$ unter den betrachteten Testbedingungen (Umfeldleuchtdichte $L_U = 0,1 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$) auftreten. Ein Vergleich mit den Untersuchungen von JAINSKI [10] bestätigt diese Ergebnisse.

Für die Überprüfung der Sehschärfe von Führerscheinaspiranten heißt dies, dass die festgelegte Mindestsehschärfe von $S = 0,7$ unter realen nächtlichen Verkehrsbedingungen nicht erreicht werden kann.

Aufgrund der Einführung neuer Scheinwerfersysteme mit Gasentladungslampen und weiterentwickelter Halogenleuchtampen haben sich die Fahrbahnleuchtdichten und somit die Adaptationsleuchtdichten gegenüber den Untersuchungen von AULHORN und HARMS verändert. Unter Berücksichtigung der Fahrbahnleuchtdichten, die bei AULHORN und HARMS zugrunde gelegt wurden, ist für neue Scheinwerfersysteme mit einer Erhöhung der Leuchtdichte um den Faktor $k = 1,5$ bis $k = 4$ bei Asphaltoberflächen zu rechnen (vgl. Tabelle 5). Die Leuchtdichte auf einer Fahrbahnoberfläche aus Beton ist gegenüber den Werten von AULHORN und HARMS um den Faktor $k = 6$ größer.

Aufgrund der heute höheren Fahrbahnleuchtdichte und somit der höheren Adaptationsleuchtdichte ist davon auszugehen, dass die Grenzwerte von AULHORN und HARMS nicht mehr auf die heutigen Verhältnisse übertragen werden können.

Eine Erhöhung der Umfeldleuchtdichte und damit der Untersuchungsgrundlage um etwa den Faktor $k \approx 3$ muss gegenüber den alten Grenzwerten zu

einer Erhöhung der Dämmerungssehschärfe führen.

Ausgehend von der Umfeldleuchtdichte von $L_U = 0,032 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$, die zu der Überprüfung der Dämmerungssehschärfe ohne Blendung vorgeschlagen wird, ergibt sich unter Berücksichtigung der Umfeldleuchtdichteerhöhung um etwa den Faktor $k \approx 3$ eine Umfeldleuchtdichte von $L_U = 0,1 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$. Da die Dämmerungssehschärfe in dem Leuchtdichtebereich von $L_U = 0,032 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$ bis $L_U = 0,1 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$ als linear zunehmend angenähert werden kann, ergibt sich eine Erhöhung der noch erkennbaren Kontraststufe um $\Delta K = 0,2$ (vgl. Bild 56 und Bild 60). Dies bedeutet, dass unter diesen Bedingungen, der zum Erkennen notwendige Kontrast theoretisch um $\Delta K \approx 37 \%$ reduziert werden kann, ohne Einbußen der Dämmerungssehschärfe zu erwarten.

In der Realität wird der Kontrast durch die lichttechnischen Oberflächeneigenschaften der Objekte im Straßenraum und die Scheinwerferlichtstärkeverteilung festgelegt. Eine generelle Erhöhung der Scheinwerferlichtstärken verursacht nicht zwingend eine Erhöhung des Objektkontrasts. Befindet sich das Objekt vor einem lichtlosen (schwarzen) Hintergrund, wird dessen Kontrast durch die Scheinwerferlichtstärkeerhöhung angehoben.

Durch die Erhöhung der Umfeldleuchtdichte und somit auch der Adaptationsleuchtdichte wird das Leistungsniveau des menschlichen Auges prinzipiell angehoben. Daher kann davon ausgegangen werden, dass die heutigen Scheinwerfersysteme zu einer Verbesserung der Dämmerungssehschärfe beitragen und dass sich gegenüber den Untersuchungen von AULHORN und HARMS Verbesserungen der allgemeinen nächtlichen Verkehrssituationen ergeben haben.

Die Untersuchungen der Dämmerungssehschärfe mit dem Mesoptometer und der PELLI-ROBSON-Tafel deuten auf eine Beziehung hin, die es in Zukunft ermöglichen könnte, die Dämmerungssehschärfe anhand von Untersuchungen unter tagesähnlichen Bedingungen zu bestimmen.

Die Untersuchungen mit der PELLI-ROBSON-Tafel wurden bei einer Umfeldleuchtdichte von $L_U = 100 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$ durchgeführt und mit den Resultaten der Untersuchungen mit dem Mesoptometer bei einer Umfeldleuchtdichte von $L_U = 0,1 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$ verglichen. Dieser Vergleich zeigt trotz unterschiedlicher Test-

bedingungen eine parallele Verschiebung der berechneten Ausgleichsfunktionen, die darauf hindeutet, dass die Ergebnisse nur von der Umfeldleuchtdichte abhängig sind.

Der Zusammenhang zwischen den Ergebnissen, die mit der PELLI-ROBSON-Tafel erzielt wurden, und den Ergebnissen der Untersuchungen mit dem Mesoptometer sollten weitergehend überprüft werden. Von Interesse ist hier, ob die Dämmerungssehschärfe auch mit Untersuchungen, die unter tagesähnlichen Bedingungen durchgeführt werden, getestet werden kann und welche prinzipiellen Zusammenhänge bestehen.

11 Literatur

- [1] AULHORN, E., HARMS, H.: Über die Untersuchung der Nachtfahreignung von Kraftfahrern mit dem Mesoptometer. Klinisches Monatsblatt für Augenheilkunde, Band 15, Heft 6. 1970
- [2] BAUM, E., SIEGFRIED, I.: Untersuchung des Dämmerungssehens bei Verkehrsteilnehmern. Zentralblatt für Arbeitsmedizin, Arbeitsschutz, Prophylaxe und Ergonomie, Band 33, Heft 3. 1983
- [3] BENDA, H. V.: Dynamische Sehschärfe und ihre Bedeutung für das Verkehrsverhalten. Zeitschrift für Verkehrssicherheit, Band 26, Heft 2. 1980
- [4] BITTERMANN, K., GRAMBERG-DANIELSEN, B.: Zur Grenzwertbestimmung im Bereich der mesopischen Sehschärfe. Zeitschrift für Verkehrssicherheit, Band 27, Heft 3. 1981
- [5] CHARMAN, W. N.: Vision and driving – a literature review and commentary. Ophthalmic and Physiological Optics, Vol. 17, Issue 5. 1997
- [6] COLOMBO, J.: Experimenteller Beitrag zum Problem des Dämmerungssehens und der Blendung im motorisierten Straßenverkehr. Dissertation an der medizinischen Fakultät der Universität Zürich. 1955
- [7] Deutsche Ophthalmologische Gesellschaft Heidelberg: Empfehlung der Deutschen Ophthalmologischen Gesellschaft zur Fahreignungsbegutachtung für den Straßenverkehr. 2. Auflage. 1999

- [8] DIN EN ISO 8596: Sehschärfeprüfung. Das Normsehzeichen und seine Darbietung. Berlin: Beuth. 1996
- [9] HONEGGER, H., SCHÄFER, W. D.: Sehschärfe für bewegte Objekte – Einige Gesichtspunkte für die Verkehrsmedizin. Zentralblatt für Verkehrsmedizin, Verkehrspsychologie, Luft- und Raumfahrtmedizin, Band 14, Heft 3. 1968
- [10] JAINSKI, P., SCHMIDT-CLAUSEN, H.-J.: Über das Verhalten der Sehschärfe bei räumlich getrennten Adaptationsfeldern inhomogener Leuchtdichte. Optik, Band 31, Heft 5. 1970
- [11] JOOS, G.: Vergleichende Pupillenmessungen bei Kraftfahrern in verschiedenen Verkehrssituationen und in Innenräumen. Dissertation an der Eberhard-Karls-Universität Tübingen. 1977
- [12] KAUFMANN, H., KLUXEN, M.: Zum Problem der Brillenkorrektur für Autofahrer. Zentralblatt für Verkehrsmedizin, Verkehrspsychologie, Luft- und Raumfahrtmedizin, Band 18. 1972
- [13] KELTNER, J. L., JOHNSON, Ch. A.: Visual Function, Driving Safety, and the Elderly. Ophthalmology, Vol. 94. 1987
- [14] LACHENMAYR, B., BUSER, A., MÜLLER, S.: Welche visuelle Information benötigt der Kraftfahrer für die sichere Teilnahme am Straßenverkehr? Ophthalmologie 91: S. 383 - 394. 1994
- [15] LACHENMAYR, B., BUSER, A., KELLER, O.: Sehstörung als Unfallursache. Bericht der Bundesanstalt für Straßenwesen. Heft M 65. 1996
- [16] NOLTE, W.: Die Leuchtdichteverhältnisse im Straßenverkehr als Grundlage für die Augenuntersuchung von Kraftfahrern. Berichte der Deutschen Ophthalmologischen Gesellschaft. 1961
- [17] Oculus: Bedienungsanleitung Mesoptometer II. Oculus Optikgeräte GmbH, Dutenhofen
- [18] OWENS, D. A.: The Resting State of the Eye. American Scientist, Band 72. 1984
- [19] PETERSEN, J.: Die Zuverlässigkeit der Sehschärfebestimmung mit Landolt-Ringen. Ferdinand Enke Verlag Stuttgart. 1993
- [20] PUSCH, R.: Probleme der Umadaptation des menschlichen Auges bei Leuchtdichten im Bereich des Dämmerungssehens. Lichttechnik, Band 28, Heft 3. 1976
- [21] RASSOW, B.: Einfluss der Leuchtdichte auf Kontrast- und Blendempfindlichkeit im mesopischen Bereich. Klinische Monatsblätter für Augenheilkunde, Band 214, Heft 6. 1999
- [22] SCHARWEY, K., KRZIZOK, Th., HERFURTH, M.: Nachtfahreignung augengesunder Personen verschiedener Altersstufen. Der Ophthalmologe, Band 95, Heft 8. 1998
- [23] SCHMIDT-CLAUSEN, H.-J.: Über die günstige Instrumenten- und Raumbelichtung in modernen Hochleistungsflugzeugen. Forschungsvertrag am Fachgebiet Lichttechnik
- [24] SCHMIDT-CLAUSEN, H.-J.: Skriptum zur Vorlesung Lichttechnik. Teil 1 und Teil 2. 1996
- [25] Statistisches Bundesamt Deutschland: Auszüge aus der Unfallstatistik für 1999 - 2001. 2002
- [26] STUTTS, J. C.: Do Older Drivers with Visual and Cognitive Impairments Drive Less? Journal of the American Geriatrics Society. Vol. 46. 1998
- [27] ULRICH, H.-G.: Über die Prüfung der Sehleistung im mesopischen Bereich. Dissertation am Fachbereich Umwelttechnik der Technischen Universität Berlin. 1976
- [28] von HEBENSTREIT, B.: Untersuchungen zur Sehschärfe unter nächtlichen Fahrbedingungen im Straßenverkehr (Dämmerungsseh-schärfe). Verkehrswissenschaftliches Forschungszentrum, Unternehmensgruppe TÜV Bayern. 1995

Danksagung

Bedanken möchten wir uns bei Herrn Dr. BOCKELMANN, der zu jeder Zeit mit zahlreichen Hinweisen, Informationen und Ratschlägen maßgebend zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen hat.

Danke an die Firma Oculus, die uns ein zweites Mesoptometer II für die Untersuchungen zur Verfügung gestellt hat.

Frau SHAO HONG gebührt unser Dank, die an den Untersuchungen an der Autobahnrastanlage Gräfenhausen West teilnahm und diese im Herbst 2002 leitete.

Danke auch an Herrn Dr. VOLLMER vom berufsgenossenschaftlichen Arbeitsdienst in Darmstadt, der Testreihen mit dem Mesoptometer II in den Untersuchungsalltag integrierte.

Weiterhin möchten wir Frau HOFMANN vom Amt für Straßen und Verkehrswesen Darmstadt und Herrn HOFMANN von der Autobahnmeisterei Darmstadt, die unseren Anliegen immer hilfsbereit entgegenkamen, danken.

Allen Helfern während der Untersuchungen an der Autobahnrastanlage Gräfenhausen und allen Testpersonen danken wir für ihre Mitarbeit.

Schriftenreihe

Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen

Unterreihe „Mensch und Sicherheit“

M 1: Verkehrssicherheitsaktivitäten auf lokaler Ebene
D. Wagner, P. G. Jansen
124 Seiten, 1993

M 2: Identifikation und Ursachenuntersuchung von innerörtlichen Unfallstellen
L. Neumann, B. Schaaf, H. Sperber
136 Seiten, 1993

M 3: Sicherheit von Fußgängern außerorts bei eingeschränkten Sichtverhältnissen
G. Ruwenstroth, E. C. Kuller, F. Radder
91 Seiten, 1993

M 4: Sichtabstand bei Fahrten in der Dunkelheit
A. Bartmann, D. Reiffenrath, A. M. Jacobs, H. Leder, M. Walkowiak, A. Szymkowiak
94 Seiten, 1993

M 5: Straßenverkehrsunfälle von Gefahrguttfahrzeugen 1989 bis 1991
M. Pöppel, M. Kühnen
62 Seiten, 1993

M 6: Möglichkeit/Realisierbarkeit eines Sicherheitsinformationssystems
E. Hörnstein
64 Seiten, 1993

M 7: Sicherheitsanalyse im Straßengüterverkehr
J. Grandel, F. Berg, W. Niewöhner
298 Seiten, 1993

M 8: Effektivität des Rettungsdienstes bei der Versorgung von Traumapatienten
B. Bouillion
38 Seiten, 1993

M 9: Faktor Mensch im Straßenverkehr
Referate des Symposiums '92 der BAST und Verleihung des Verkehrssicherheitspreises 1992 des Bundesministers für Verkehr am 3. Dezember 1992 in Bergisch Gladbach
79 Seiten, 1993

M 10: Verkehrssicherheit im vereinten Deutschland
E. Brühning, M. A. Kühnen, S. Berns
66 Seiten, 1993

M 11: Marketing für Verkehrssicherheit in der Praxis
Expertengruppe der OECD
76 Seiten, 1993

M 12: Ausbildungssystem für Fahrlehrer
Arbeitsgruppe „Fahrschulen, Fahrlehrer“
24 Seiten, 1993

M 13: Dunkelziffer bei Unfällen mit Personenschaden
H. Hautzinger, H. Dürholt, E. Hörnstein, B. Tassaux-Becker
70 Seiten, 1993

M 14: Kommunikation im Rettungsdienst
R. Schmiedel, M. Unterkofler
174 Seiten, 1993

M 15: Öffentlichkeitsarbeit für die Erste Hilfe
V. Garms-Homolová, D. Schaefer, M. Goll
19 Seiten, 1993

M 16: Auswirkungen des Stunfenführerscheins
B. v. Hebenstreit, Ch. Ostermaier, H. D. Utzelmann, G. Kajan, D. M. DeVol, W. Schweflinghaus, D. Wobben, H. J. Voss
156 Seiten, 1993

M 17: Zur Sicherheit von Reiseomnibussen
A. Schepers
52 Seiten, 1993

M 18: Methadonsubstitution und Verkehrssicherheit
G. Berghaus, M. Staak, R. Glazinski, K. Höher
34 Seiten, 1993

M 19: Lernklima und Lernerfolg in Fahrschulen
H. Ch. Heinrich
68 Seiten, 1993

M 20: Fahrleistungserhebung 1990
H. Hautzinger, D. Heidemann, S. Krämer
30 Seiten, 1993

M 21: Fahrerverhaltensbeobachtung im Raum Berlin
K. Reker, E. Buss, F. Zwiulich
203 Seiten, 1993

M 22: Lehrpläne zur schulischen Verkehrserziehung
H. Ch. Heinrich, A. Seliger
414 Seiten, 1993

M 23: Verkehrssoziologische Forschung in Deutschland
Ch. Seipel
36 Seiten, 1994

M 24: Psychische Erste Hilfe für Laien
R. Bourauel
44 Seiten, 1994

M 25: Verkehrsunfallfolgen schwerstverletzter Unfallopfer
S. Busch
204 Seiten, 1994

M 26: Nachalarmierung von Notärzten im Rettungsdienst
Th. Puhan
36 Seiten, 1994

M 27: Psychologische Untersuchungen am Unfallort
B. Pund, W.-R. Nickel
111 Seiten, 1994

M 28: Erfahrungsaustausch über Länder-Verkehrssicherheitsprogramme
Referate der Arbeitstagung der Bundesanstalt für Straßenwesen am 1. Dezember 1993 in Berlin
64 Seiten, 1994

M 29: Drogen- und Medikamentennachweis bei verkehrsauffälligen Kraftfahrern
M.R. Möller
31 Seiten, 1994

M 30: Fahrleistung und Unfallrisiko von Kraftfahrzeugen
H. Hautzinger, D. Heidemann, B. Krämer, B. Tassaux-Becker
340 Seiten, 1994

M 31: Neuere Entwicklungen und Erkenntnisse in der Fahrer eignungsbegutachtung
M. Weinand
74 Seiten, 1994

M 32: Leistungen des Rettungsdienstes 1992/93
W. Siegener, Th. Rödelstab
96 Seiten, 1994

M 33: Kenngrößen subjektiver Sicherheitsbewertung
H. Holte
168 Seiten, 1994

M 34: Deutsch-polnisches Seminar über Straßenverkehrssicherheit
Referate des Seminars 1993 der Bundesanstalt für Straßenwesen am 26. und 27. Oktober 1993 in Görlitz
174 Seiten, 1994

M 35: Massenunfälle
Presseseminar des Bundesministeriums für Verkehr am 14. und 15. September 1994 in Kassel
72 Seiten, 1995

M 36: Mobilität der ostdeutschen Bevölkerung
Verkehrsmobilität in Deutschland zu Beginn der 90er Jahre - Band 1
H. Hautzinger, B. Tassaux-Becker
126 Seiten, 1995

M 37: Sicher fahren in Europa
Referate des 2. ADAC/BAST-Symposiums am 7. und 8. Juni 1994 in Baden-Baden
182 Seiten, 1995

M 38: Regionalstruktur nächtlicher Freizeitunfälle junger Fahrer
M. A. Kühnen, M. Pöppel-Decker
71 Seiten, 1995

M 39: Unfälle beim Transport gefährlicher Güter in Verpackung 1987 bis 1992
M. Pöppel-Decker
58 Seiten, 1995

M 40: Sicherheit im Reisebusverkehr
B. Färber, H. Ch. Heinrich, G. Hundhausen, G. Hütter, H. Kamm, G. Mörl, W. Winkler
124 Seiten, 1995

M 41: Drogen und Verkehrssicherheit
Symposium der Bundesanstalt für Straßenwesen und des Instituts für Rechtsmedizin der Universität Köln am 19. November 1994 in Bergisch Gladbach
84 Seiten, 1995

M 42: Disco-Busse
Sicherheitsbeitrag spezieller nächtlicher Beförderungsangebote
R. Hoppe, A. Tekaat
211 Seiten, 1995

M 43: Biomechanik der Seitenkollision
Validierung der Verletzungskriterien TTI und VC als Verletzungsprädiiktoren
R. Mattern, W. Härdle, D. Kallieris
134 Seiten, 1995

M 44: Curriculum für die Fahrlehrerausbildung
B. Heilig, W. Knörzer, E. Pommernenke
192 Seiten, 1995

M 45: Telefonieren am Steuer
St. Becker, M. Brockmann, E. Bruckmayr, O. Hofmann, R. Krause, A. Mertens, R. Niu, J. Sonntag
188 Seiten, 1995

M 46: Fahrzeugwerbung, Testberichte und Verkehrssicherheit
M. Wachtel, K.-P. Ulbrich, St. Schepper, G. Richter, J. Fischer
160 Seiten, 1995

M 47: Kongreßbericht 1995 der Deutschen Gesellschaft für Verkehrsmedizin e.V.
28. Jahrestagung
Leipzig, 23. bis 25. März 1995
216 Seiten, 1995

M 48: Delegierte Belohnung und intensivierte Verkehrsüberwachung im Vergleich
Eine empirische Untersuchung zur Beeinflussung des Geschwindigkeitsverhaltens
E. Machemer, B. Runde, U. Wolf, D. Büttner, M. Tücke
104 Seiten, 1995

- M 49: **Fahrausbildung in Europa**
Ergebnisse einer Umfrage in 29 Ländern
N. Neumann-Opitz, H. Ch. Heinrich
184 Seiten, 1995
- M 50: **Eignung von Pkw-Fahrsimulatoren für Fahrausbildung und Fahrerlaubnisprüfung**
G. v. Bressensdorf, B. Heilig, H. Ch. Heinrich, H. Kamm, W. D. Käßler, M. Weinand
88 Seiten, 1995
- M 51: **Unfallgeschehen auf Autobahnen - Strukturuntersuchung**
M. A. Kühnen, E. Brühning, A. Schepers, M. Schmid
118 Seiten, 1995
- M 52: **Junge Fahrer und Fahrerinnen**
Referate der Ersten Interdisziplinären Fachkonferenz vom 12. bis 14. Dezember 1994 in Köln
466 Seiten, 1995
- M 53: **Methodik zur Beurteilung der Ausbildungslehrgänge in Erster Hilfe**
K. Clemens, S. Zolper, B. Kuschinsky, B. Koch
136 Seiten, 1996
- M 54: **Außerschulische Verkehrserziehung in Ländern Europas**
N. Neumann-Opitz
59 Seiten, 1996
- M 55: **Mobilität der westdeutschen Bevölkerung**
Verkehrsmobilität in Deutschland zu Beginn der 90er Jahre - Band 2
H. Hautzinger, R. Hamacher, B. Tassaux-Becker
100 Seiten, 1996
- M 56: **Lebensstil und Verkehrsverhalten junger Fahrer und Fahrerinnen**
H. Schulze
123 Seiten, 1996
- M 57: **Gesetzmäßigkeiten des Mobilitätsverhaltens**
Verkehrsmobilität in Deutschland zu Beginn der 90er Jahre - Band 4
H. Hautzinger, M. Pfeiffer
66 Seiten, 1996
- M 58: **Verkehrsunfallrisiko in Deutschland**
Verkehrsmobilität in Deutschland zu Beginn der 90er Jahre - Band 5
H. Hautzinger, B. Tassaux-Becker, R. Hamacher
131 Seiten, 1996
- M 59: **Mobilität der ausländischen Bevölkerung**
Verkehrsmobilität in Deutschland zu Beginn der 90er Jahre - Band 3
H. Hautzinger, B. Tassaux-Becker, M. Pfeiffer
142 Seiten, 1996
- M 60: **Medikamenten- und Drogennachweis bei verkehrsunfallfälligen Fahrern**
Roadside Survey
H.-P. Krüger, E. Schulz, Hj. Magerl
72 Seiten, 1996
- M 61: **Inländerfahrleistung 1993**
H. Hautzinger, D. Heidemann, B. Krämer
186 Seiten, 1996
- M 62: **Unfallrisiko von Pkw unterschiedlicher Fahrzeugtypen**
A. Schepers, M. Schmid
56 Seiten, 1996
- M 63: **Schlafbezogene Atmungsstörungen und Verkehrssicherheit**
P. v. Wichert, J.H. Peter, W. Casel, Th. Ploch
52 Seiten, 1996
- M 64: **Kombinationswirkung von Medikamenten und Alkohol**
Literaturübersicht
H.-P. Krüger
191 Seiten, 1996
- M 65: **Sehstörungen als Unfallursache**
B. Lachenmayr, A. Buser, O. Keller, J. Berger
75 Seiten, 1996
- M 66: **Verkehrssicherheitsprobleme infolge Zuwanderung**
G. Dostal, A. W. T. Dostal
131 Seiten, 1996
- M 67: **Polizeiliche Verkehrsüberwachung**
Literaturübersicht unter Berücksichtigung der kommunalen Verkehrsüberwachung
I. Koßmann
64 Seiten, 1996
- M 68: **Inlandsfahrleistung und Unfallrisiko 1993**
H. Hautzinger, D. Heidemann, B. Krämer
40 Seiten, 1996
- M 69: **Vergleich des Verkehrsordnungsrechts in Europa**
D. Ellinghaus, K. Seidenstecher, J. Steinbrecher
116 Seiten, 1997
- M 70: **Schwachstellenanalyse Gefahrguttransport**
P. R. Pautsch, S. Steinger
68 Seiten, 1997
- M 71: **Legalbewährung von Fahranfängern**
E. Hansjosten, F.-D. Schade
64 Seiten, 1997
- M 72: **Leistungen des Rettungsdienstes 1994/95**
Zusammenstellung von Ausstattungs- und Leistungsdaten zum Rettungswesen 1994 und
Analyse des Leistungsniveaus im Rettungsdienst für die Jahre 1994 und 1995
R. Schmiedel
102 Seiten, 1997
- M 73: **Verbesserung des Schutzes von Kindern in Pkw**
K. Langwieder, P. Stadler, Th. Hummel, W. Fastenmeier, F. Finkbeiner
238 Seiten, 1997
- M 74: **Personale Kommunikation in Berufsbildenden Schulen**
Programmevaluation
R. Hoppe, A. Tekaatt
142 Seiten, 1997
- M 75: **Verbesserung der Kommunikation bei der Notfallmeldung**
U. Smentek, V. Garms-Homolová
94 Seiten, 1997
- M 76: **Charakteristische Merkmale der Kraffahrtauglichkeit von Methadonpatienten**
J. Kubitzki
82 Seiten, 1997
- M 77: **Kompensationsmöglichkeiten bei älteren Kraffahrern mit Leistungsdefiziten**
M. Weinand
56 Seiten, 1997
- M 78: **Situationsbezogene Sicherheitskenngrößen im Straßenverkehr**
K. Dahmen-Zimmer, A. Zimmer
76 Seiten, 1997
- M 79: **Kommunale Überwachung von Kfz-Geschwindigkeiten in Tempo 30-Zonen**
R. Luthmann, U. Potthoff, St. Wachs, B. Reich, Th. Dietrich
90 Seiten, 1997
- M 80: **Neuere Entwicklung bei Fahrsimulatoren**
Dokumentation
H. Chr. Heinrich, M. Weinand
66 Seiten, 1997
- M 81: **Fahruntüchtigkeit durch Cannabis, Amphetamine und Cocain**
E. Schulz, M. Vollrath, C. Klimesch, A. Szegedi
88 Seiten, 1997
- M 82: **Verbesserung der Verkehrssicherheit durch Versicherungsanreize**
H. Baum, T. Kling
198 Seiten, 1997
- M 83: **Sicher fahren in Europa**
Referate des 3. ADAC/BAST-Symposiums am 11. und 12. Juni 1997 in Baden-Baden
184 Seiten, 1997
- M 84: **Auswirkungen neuer Technologien im Fahrzeug auf das Fahrverhalten**
Ch. Chaloupka, R. Risser, A. Antoniadou, U. Lehner, M. Praschl
172 Seiten, 1998
- M 85: **Auswirkungen des grenzüberschreitenden Verkehrs in Deutschland auf die Verkehrssicherheit**
D. Heidemann, R. Hamacher, H. Hautzinger, A. Müller
38 Seiten, 1998
- M 86: **Opiathaltige Schmerzmittel und Verkehrssicherheit**
M. Lakemeyer
50 Seiten, 1998
- M 87: **Qualitätskontrolle für quantitative Analysen von Betäubungsmitteln im Blut**
R. Aderjan, M. Herbold
62 Seiten, 1998
- M 88: **Soziales Umfeld, Alkohol und junge Fahrer**
H.-P. Krüger, P. Braun, J. Kazenwadel, J. Reiß, M. Vollrath
123 Seiten, 1998
- M 89: **Telefonieren am Steuer und Verkehrssicherheit**
E. Brühning, I. Haas, H. Mäder, I. Pfafferott, M. Pöppel-Decker
67 Seiten, 1998
- M 90: **Anspracheformen der Verkehrsaufklärung älterer Menschen**
H. J. Kaiser, S. Teichmann, J. Myllymäki-Neuhoff, K. Schüssel, W. D. Oswald, P. Jaensch
192 Seiten, 1998
- M 91: **Nächtliche Freizeitunfälle junger Fahrerinnen und Fahrer**
H. Schulze
43 Seiten, 1998
- M 92: **Kongreßbericht 1997 der Deutschen Gesellschaft für Verkehrsmedizin e.V.**
29. Jahrestagung
Münster, 19. bis 22. März 1997
368 Seiten, 1998
- M 93: **Driver Improvement - 6. Internationaler Workshop**
Referate des Workshops 1997, veranstaltet von Bundesanstalt für Straßenwesen, Bergisch Gladbach, Kuratorium für Verkehrssicherheit, Wien, Schweizer Beratungsstelle für Unfallverhütung, Bern, vom 20. bis 22. Oktober 1997 in Berlin
472 Seiten, 1998

- M 94: Der Konflikt „Alkohol und Fahren“: Normative Orientierungen und Verhaltensmuster**
Eine empirische Untersuchung in Deutschland zum Wandel im Westen und zum Ost-West-Vergleich
E. Kretschmer-Bäumel
150 Seiten, 1998
- M 95: Risikoanalyse des Gefahrguttransportes**
Unfallstatistische Risikoanalyse auf der Basis typischer Transportketten
A. Brenck, S. Mondry
108 Seiten, 1998
- M 96: Drogenerkennung im Straßenverkehr**
Schulungsprogramm für Polizeibeamte
Expertengruppe unter Leitung von M.R. Möller
151 Seiten, 1998
- M 97: Leistungen des Rettungsdienstes 1996/97**
Analyse des Leistungsniveaus im Rettungsdienst für die Jahre 1996 und 1997
R. Schmiedel
61 Seiten, 1998
- M 98: Attraktivität des Berufes Rettungsassistent/Rettungsassistentin**
Th. Bals, K. Runggaldier
121 Seiten, 1998
- M 99: Die Aktion „Darauf fahr ich ab: Trinken und Fahren könnt ihr euch sparen“**
Evaluation einer Verkehrsaufklärungsmaßnahme für Jugendliche
M. Emsbach
69 Seiten, 1998
- M 100: Analyse organisatorischer Strukturen im Rettungsdienst**
Teil I: Entwicklung bedarfsgerechter Dispositionsbereiche von Rettungsleitstellen
Teil II: Die Organisation des Notarztendienstes im Zusammenhang mit den Mitwirkungsmöglichkeiten niedergelassener Ärzte (KV-Ärzte)
Teil III: Konzeption eines Anforderungsprofils an den „Leiter Rettungsdienst“
R. Schmiedel
232 Seiten, 1998
- M 101: Straßenverkehrsunfälle beim Transport gefährlicher Güter 1992 bis 1995**
M. Pöppel-Decker
34 Seiten, 1998
- M 102: Volkswirtschaftliche Kosten der Personenschäden im Straßenverkehr**
H. Baum, K.-J. Höhnscheid
84 Seiten, 1999
- M 103: Lebensstil, Freizeitstil und Verkehrsverhalten 18- bis 34jähriger Verkehrsteilnehmer**
H. Schulze
67 Seiten, 1999
- M 104: Telematik-Systeme und Verkehrssicherheit**
B. Färber, B. Färber
96 Seiten, 1999
- M 105: Zweites Forschungsprogramm „Sicherheit in der Gefahrgutbeförderung“**
H. Beck, K.-H. Bell, E. Bruckmayer, R. Damzog, W. Förster, T. Heilandt, G. Hundhausen, W. Kachel, A. Lauer, R. Lüttemeyer, K. E. Wieser
120 Seiten, 1999
- M 106: Marktstudie des Reisebusverkehrs in Europa**
G. Dostal, A. W. T. Dostal
232 Seiten, 1999
- M 107: Konfrontierende Stilmittel in der Verkehrssicherheitsarbeit**
Confrontational Methods in Road Safety Campaigns
Vorträge, gehalten auf dem Europäischen Kongreß - veranstaltet von der Bundesanstalt für Straßenwesen und dem Deutschen Verkehrssicherheitsrat e.V. am 19. und 20. April 1999 in Bonn
176 Seiten, 1999
- M 108: Mobilität und Raumeignung von Kindern**
J. Krause, M. Schömann, I. Böhme, H. Schäfer, S. Lässig
149 Seiten, 1999
- M 109: Kenngrößen für Fußgänger- und Fahrradverkehr**
W. Brög, E. Erl
39 Seiten, 1999
- M 110: Unfall- und Unfallkostenanalyse im Reisebusverkehr**
L. Neumann, P. Hofmann, B. Schaaf, F.A. Berg, W. Niewöhner
64 Seiten, 1999
- M 111: Kongreßbericht 1999 der Deutschen Gesellschaft für Verkehrsmedizin e.V.**
30. Jahrestagung
Berlin, 10. bis 13. März 1999
199 Seiten, 1999
- M 112: Ältere Menschen als Radfahrer**
U. Steffens, K. Pfeiffer, N. Schreiber, G. Rudinger, H. Groß, G. Hübner
147 Seiten, 1999
- M 113: Umweltbewußtsein und Verkehrsmittelwahl**
P. Preisendörfer, F. Wächter-Scholz, A. Franzen, A. Diekmann, H. Schad, St. Rommerskirchen
153 Seiten, 1999
- M 114: ÖPNV-Nutzung von Kindern und Jugendlichen**
H. Dürholt, M. Pfeifer, G. Deetjen
73 Seiten, 1999
- M 115: Begutachtungs-Leitlinien zur Kraftfahrereignung**
Gemeinsamer Beirat für Verkehrsmedizin beim Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen und beim Bundesministerium für Gesundheit
95 Seiten, 2000
- M 116: Informations- und Assistenzsysteme im Auto benutzergerecht gestalten**
Methoden für den Entwicklungsprozeß
Referate des gemeinsamen Symposiums der Forschungsvereinigung Automobiltechnik e.V. (FAT) und der Bundesanstalt für Straßenwesen am 1. Juli 1999 in Bergisch Gladbach
84 Seiten, 2000
- M 117: Erleben der präklinischen Versorgung nach einem Verkehrsunfall**
E. Nyberg, M. Mayer, U. Frommberger
34 Seiten, 2000
- M 118: Leistungen des Rettungsdienstes 1998/99**
R. Schmiedel, H. Behrendt
59 Seiten, 2000
- M 119: Volkswirtschaftliche Kosten der Sachschäden im Straßenverkehr**
H. Baum, K.-J. Höhnscheid, H. Höhnscheid, V. Schott
21 Seiten, 2000
- M 120: Entwicklung der Verkehrssicherheit und ihrer Determinanten bis zum Jahr 2010**
R. Ratzberger
133 Seiten, 2000
- M 121: Sicher fahren in Europa**
Referate des 4. ADAC/BAST-Symposiums am 6. und 7. Juni 2000 in Baden-Baden
187 Seiten, 2000
- M 122: Charakteristika von Unfällen auf Landstraßen**
Analyse aus Erhebungen am Unfallort
D. Otte
66 Seiten, 2000
- M 123: Mehr Verkehrssicherheit für Senioren – More Road Safety for Senior Citizens**
Beiträge zur Europäischen Konferenz, veranstaltet von der Bundesanstalt für Straßenwesen und dem Deutschen Verkehrssicherheitsrat e.V.
vom 2. bis 4. Mai 2000 in Köln
242 Seiten, 2000
- M 124: Fahrerverhaltensbeobachtungen auf Landstraßen am Beispiel von Baumalleen**
F. Zwieli, K. Reker, J. Flach
51 Seiten, 2001
- M 125: Sachschadenschätzung der Polizei bei unfallbeteiligten Fahrzeugen**
D. Heidemann, B. Krämer, H. Hautzinger
33 Seiten, 2001
- M 126: Auswirkungen der Verkehrsüberwachung auf die Befolgung von Verkehrsvorschriften**
M. Pfeiffer, H. Hautzinger
80 Seiten, 2001
- M 127: Verkehrssicherheit nach Einnahme psychotroper Substanzen**
Workshop veranstaltet von der Deutschen Gesellschaft für Verkehrsmedizin vom 31.03. bis 01.04.2000 in Heidelberg
87 Seiten, 2001
- M 128: Auswirkungen neuer Arbeitskonzepte und insbesondere von Telearbeit auf das Verkehrsverhalten**
W. Vogt, St. Denzinger, W. Glaser, M. O. Glaser, Th. Kuder
134 Seiten, 2001
- M 129: Regionalstruktur nächtlicher Freizeitunfälle junger Fahrer in den Jahren 1997 und 1998**
H. Mäder, M. Pöppel-Decker
45 Seiten, 2001
- M 130: Informations- und Steuerungssystem für die Verkehrssicherheitsarbeit für Senioren**
R. Meka, S. Bayer
39 Seiten, 2001
- M 131: Perspektiven der Verkehrssicherheitsarbeit für Senioren**
Teil A: Erster Bericht der Projektgruppe zur Optimierung der Zielgruppenprogramme für die Verkehrsaufklärung von Senioren
Teil B: Modellprojekt zur Erprobung von Maßnahmen der Verkehrssicherheitsarbeit mit Senioren
S. Becker, R. Berger, M. Dumbs, M. Emsbach, N. Erlemeier, H. J. Kaiser, U. Six

- Unter Mitwirkung von
A. Bergmeier, D. Ernst, M. Mohrhardt, S. Pech, M. Schafhausen, S. Schmidt, A. Zehnpfennig
124 Seiten, 2001
- M 132: Fahrten unter Drogeneinfluss – Einflussfaktoren und Gefährdungspotenzial**
M. Vollrath, R. Löbmann, H.-P. Krüger, H. Schöch, T. Widera, M. Mettke
172 Seiten, 2001
- M 133: Kongressbericht 2001 der Deutschen Gesellschaft für Verkehrsmedizin e. V.**
31. Jahrestagung
Frankfurt a. Main,
22. bis 24. März 2001
186 Seiten, 2001
- M 134: Ältere Menschen im künftigen Sicherheitssystem Straße/Fahrzeug/Mensch**
E. Jansen, H. Holte, C. Jung, V. Kahmann, K. Moritz, Ch. Rietz, G. Rudinger, Ch. Weidemann
276 Seiten, 2001
- M 135: Nutzung von Inline-Skates im Straßenverkehr**
D. Alrutz, D. Gündel, H. Müller
Unter Mitwirkung von
Th. Brückner, K. Gnielka,
M. Lerner, H. Meyhöfer
103 Seiten, 2002
- M 136: Verkehrssicherheit von ausländischen Arbeitnehmern und ihren Familien**
W. Funk, A. Wiedemann,
B. Rehm, R. Wasilewski,
H. Faßmann, F. Kabakci,
M. Dorsch, St. Klapproth,
St. Ringleb, J. Schmidpott
171 Seiten, 2002
- M 137: Schwerpunkte des Unfallgeschehens von Motorradfahrern**
K. Assing
83 Seiten, 2002
- M 138: Beteiligung, Verhalten und Sicherheit von Kindern und Jugendlichen im Straßenverkehr**
W. Funk, H. Faßmann, G. Büschges, R. Wasilewski, M. Dorsch, A. Ehret, St. Klapproth, E. May, St. Ringleb, G. Schießl, A. Wiedemann, R. Zimmermann
251 Seiten, 2002
- M 139: Verkehrssicherheitsmaßnahmen für Kinder**
Eine Sichtung der Maßnahmenlandschaft
W. Funk, A. Wiedemann,
G. Büschges, R. Wasilewski,
St. Klapproth, St. Ringleb,
G. Schießl
125 Seiten, 2002
- M 140: Optimierung von Rettungseinsätzen**
Praktische und ökonomische Konsequenzen
R. Schmiedel, H. Moecke, H. Behrendt
231 Seiten, 2002
- M 141: Die Bedeutung des Rettungsdienstes bei Verkehrsunfällen mit schädel-hirn-traumatisierten Kindern**
Eine retrospektive Auswertung von Notarzteinsatzprotokollen in Bayern
M. G. Brandt, P. Sefrin
47 Seiten, 2002
- M 142: Rettungsdienst im Großschadensfall**
P. M. Holle, U. Pohl-Meuthen
97 Seiten, 2002
- M 143: Zweite Internationale Konferenz „Junge Fahrer und Fahrerinnen“**
Referate der Zweiten Internationalen Konferenz vom 29. bis 30. Oktober 2001 in Wolfsburg
216 Seiten, 2002
- M 144: Internationale Erfahrungen mit neuen Ansätzen zur Absenkung des Unfallrisikos junger Fahrer und Fahranfänger**
Voraussetzungen einer Übertragbarkeit auf Deutschland
G. Willmes-Lenz
40 Seiten, 2002
- M 145: Drogen im Straßenverkehr**
Fahrsimulationstest, ärztliche und toxikologische Untersuchung bei Cannabis und Amphetaminen
M. Vollrath, H. Sachs, B. Babel, H.-P. Krüger
88 Seiten, 2002
- M 146: Standards der Geschwindigkeitsüberwachung im Verkehr**
Vergleich polizeilicher und kommunaler Überwachungsmaßnahmen
M. Pfeiffer, R. Wiebusch-Wothge
72 Seiten, 2002
- M 147: Leistungen des Rettungsdienstes 2000/01**
Zusammenstellung von Infrastrukturdaten zum Rettungsdienst 2000 und Analyse des Leistungsniveaus im Rettungsdienst für die Jahre 2000 und 2001
R. Schmiedel, H. Behrendt
84 Seiten, 2002
- M 148: Moderne Verkehrssicherheitstechnologie - Fahrdatenspeicher und Junge Fahrer**
H.-J. Heinzmann, F.-D. Schade
66 Seiten, 2003
- M 149: Auswirkungen neuer Informationstechnologien auf das Fahrerverhalten**
B. Färber, B. Färber
108 Seiten, 2003
- M 150: Benzodiazepine: Konzentration, Wirkprofile und Fahrtüchtigkeit**
B. Lutz, P. Stroheck-Kühner, R. Aderjan, R. Mattern
247 Seiten, 2003
- M 151: Aggressionen im Straßenverkehr**
Chr. Maag, H.-P. Krüger,
K. Breuer, A. Benmimoun,
D. Neunzig, D. Ehmanns
166 Seiten, 2003
- M 152: Kongressbericht 2003 der Deutschen Gesellschaft für Verkehrsmedizin e. V.**
32. Jahrestagung
Magdeburg,
20. bis 23. März 2003
204 Seiten, 2003
- M 153: Grundlagen streckenbezogener Unfallanalysen auf Bundesautobahnen**
M. Pöppel-Decker, A. Schepers,
I. Koßmann
61 Seiten, 2003
- M 154: Begleitetes Fahren ab 17**
Vorschlag zu einem fahrpraxisbezogenen Maßnahmenansatz zur Verringerung des Unfallrisikos junger Fahranfängerinnen und Fahranfänger in Deutschland
Projektgruppe „Begleitetes Fahren“
56 Seiten, 2003
- M 155: Prognosemöglichkeiten zur Wirkung von Verkehrssicherheitsmaßnahmen anhand des Verkehrszentralregisters**
F.-D. Schade, H.-J. Heinzmann
127 Seiten, 2004
- M 156: Unfallgeschehen mit schweren Lkw über 12 t**
K. Assing
73 Seiten, 2004
- M 157: Verkehrserziehung in der Sekundarstufe**
H. Weishaupt, M. Berger,
B. Saul, F.-P. Schimunek,
K. Grimm, St. Pleßmann,
I. Zügenrucker
75 Seiten, 2004
- M 158: Sehvermögen von Kraftfahrern und Lichtbedingungen im nächtlichen Straßenverkehr**
H.-J. Schmidt-Clausen,
A. Freiding
44 Seiten, 2004

Die Hefte sind kostenpflichtig. Aus postalischen Gründen werden die Preise in dieser Übersicht nicht aufgeführt.

Auskünfte und Bezug durch:
Wirtschaftsverlag NW
Verlag für neue Wissenschaft GmbH
Postfach 10 11 10
D-27511 Bremerhaven
Telefon: (04 71) 9 45 44 - 0
Telefax: (04 71) 9 45 44 88
Email: vertrieb@nw-verlag.de
Internet: www.nw-verlag.de