

---

Vandahl, Cornelia; Bieske, Karin; Schierz, Christoph; Schlanke, Martin; Kolbe, Oliver;  
Gebhardt, Michael; Kunert, Kathleen

## Untersuchungen zur Optimierung von barrierefreien visuellen Kontrasten

**DOI:** [10.22032/dbt.57496](https://doi.org/10.22032/dbt.57496)

**URN:** [urn:nbn:de:gbv:ilm1-2023200136](https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:gbv:ilm1-2023200136)

---

*Original veröffentlicht in:* LICHT 2023 : 25. Europäischer Lichttechnischer Kongress ; 26-29. März, 2023, Salzburg Congress. – Absdorf : Lichttechnische Gesellschaft Österreichs, 2023, S. 80-91.

*Kongress:* Europäischer Lichtkongress ; 25 (Salzburg) : 2023.03.26-29

*Original veröffentlicht:* 2023-04

*Original URL:* <https://licht2023.at/>

*[Gesehen:* 2023-06-05]

---

© by the Author(s)

# Untersuchungen zur Optimierung von barrierefreien visuellen Kontrasten

*Cornelia Vandahl\*, Karin Bieske\*, Christoph Schierz\*, Martin Schlanke\*\*, Oliver Kolbe\*\*, Michael Gebhardt\*\*, Kathleen Kunert\*\*\**

*\* TU Ilmenau (D-98693 Ilmenau, Prof. Schmidt-Str. 26)*

*\*\* Ernst-Abbe-Hochschule Jena    \*\*\* REGIOMED REHA Klinik Masserberg*

## Zusammenfassung

Die visuelle Barrierefreiheit ist eine Voraussetzung dafür, dass Personen mit Seheinschränkungen selbstständig am öffentlichen Leben teilnehmen können. In Anforderungen und Normen gibt es deshalb Mindestkontraste und Vorgaben für die Reflexionsgrade der Materialien, mit denen die Sehobjekte realisiert werden müssen. Die Anforderungen an die Kontraste sind so groß, dass sie mit vielen Materialien nur schwer erfüllt werden können. Es ist bekannt, dass eine Optimierung der Beleuchtung dazu führt, dass auch weniger hohe Kontraste sicher erkannt werden. Dazu zählen die Erhöhung der Adaptations-Leuchtdichte und die Vermeidung von Blendung. Im Rahmen einer Forschung wurde ein Teststand entwickelt, mit dem die Parameter gezielt variiert werden können und an dem mit Testpersonen Untersuchungen zum Kontrastsehen durchgeführt werden. Es werden das Testkonzept und erste Ergebnisse vorgestellt.

## Einleitung

Visuelle Barrierefreiheit ist eine Voraussetzung dafür, dass Personen mit Seheinschränkungen selbstständig am öffentlichen Leben teilnehmen können. Diese Barrierefreiheit kann durch die Gestaltung der Kontraste der für die Orientierung und Erkennung notwendigen Elemente erreicht werden. In den Anforderungen finden sich daher Mindestkontraste und Vorgaben für die Reflexionseigenschaften der Materialien, mit denen die Sehobjekte realisiert werden müssen. Die Anforderungen an die Kontraste sind so groß, dass diese mit vielen derzeit verwendeten Baumaterialien kaum erfüllt werden können, bspw. bei der Verwendung von Naturstein oder im denkmalgeschützten Bereich.

Es ist bekannt, dass eine Optimierung der Beleuchtungssituation dazu führt, dass auch weniger hohe Kontraste sicher erkannt werden können. Dazu zählen u. a. die Erhöhung der Adaptations-Leuchtdichte und die Vermeidung von Blendung. Diese Möglichkeiten, die Sehbedingungen durch gezielte Optimierung der Beleuchtung zu verbessern, werden bisher kaum genutzt. Die Erweiterung der Normvorgaben setzt allerdings den Nachweis voraus, dass mit einer verbesserten Beleuchtung die Wahrnehmung bei verringerten Kontrasten gesichert ist. Dieser Nachweis soll im Rahmen eines Projektes erbracht werden, das derzeit in Kooperation von der Technischen Universität Ilmenau und der Ernst-Abbe-Hochschule Jena in Zusammenarbeit mit der REGIOMED REHA Klinik Masserberg durchgeführt wird.

## Grundlagen

In den Normen liegt das Hauptaugenmerk darauf, die sichere Wahrnehmung durch hohe Kontraste zu gewährleisten: „Zur Kennzeichnung von Bedienelementen, für Orientierungs-

und Leitsysteme ... ist ein Kontrast von mindestens 0,4 einzuhalten.“ [3]. Der Kontrast benachbarter Felder ist dabei wie folgt definiert:

$$(1) \quad K_M = \frac{L_O - L_U}{L_O + L_U}$$

mit:  $K_M$  Michelson-Kontrast  
 $L_O$  Leuchtdichte des Sehobjektes in  $\text{cd/m}^2$   
 $L_U$  Leuchtdichte des Umfeldes in  $\text{cd/m}^2$

Sehbehinderungen gehen in der Regel nicht nur mit einer Reduktion der zentralen Sehschärfe, sondern auch mit einer Reduktion der Kontrastempfindlichkeit einher. Daher benötigen Betroffene können eine höhere Adaptations-Leuchtdichte und ein blendfreies Umfeld dazu führen, dass die für ein sicheres Erkennen notwendigen Kontraste geringer sind, als sie ohne optimierte Beleuchtung sind.

Erste systematische Untersuchungen zur Abhängigkeit des kleinsten erkennbaren Kontrastes (= Schwellenkontrast) von der Leuchtdichte und der Blendung finden sich in einer Arbeit von HAUCK [4]. Die Erhöhung der Umfeld-Leuchtdichte von 1 auf  $10 \text{ cd/m}^2$  führte zu einer Verringerung des Schwellenkontrastes um 40%. Noch offen ist, ob dies in gleichem Maße auch für die Kontraste in der praktischen Anwendung gilt. Die Anforderung der Normen gilt derzeit unabhängig von der Leuchtdichte und damit von der Beleuchtung.

Ebenso deuten die Ergebnisse des Forschungsprojektes VISKON [5] darauf hin, dass auch bei verringerten Kontrasten eine sichere Wahrnehmung möglich ist, wenn die Leuchtdichten bzw. die Beleuchtungsstärken erhöht werden.

## Forschungsansatz

Ziel ist die Optimierung von Beleuchtungsparametern zur Verbesserung der Wahrnehmbarkeit von visuellen Kontrasten von Leitelementen, um die Barrierefreiheit im öffentlichen Raum für Menschen mit Sehbehinderung zu gewährleisten. Dazu sollen die Anforderungen in den Normen und Planungsempfehlungen um konkrete Vorgaben für die Beleuchtung erweitert werden. Von den Ergebnissen der Forschung können auch ältere Personen profitieren.

Durch Untersuchungen mit sehbehinderten Testpersonen sollen unter anderen die folgenden Fragen beantwortet werden:

1. Wie hängt der erforderliche Kontrast von Sehobjekten von der Leuchtdichte ab?
2. Welchen Einfluss hat die Blendung durch Beleuchtungssysteme auf den erforderlichen Kontrast?

An den Untersuchungen nehmen auch 2 Kontrollgruppen verschiedenen Alters (18 – 45 Jahre und ab 60 Jahre) teil.

## Testaufbau

Die Untersuchungen finden an einem speziell konzipierten Teststand statt. Als Ausgangssituation wurde ein nächtliches Straßenszenario gewählt. Die Szene wird dargeboten, indem die Testperson in einen kugelähnlichen Raum mit einem Durchmesser von 1,80 m hinein-

blickt (Abb. 1 und 2) und dort ein Testfeld mit Sehzeichen betrachtet. Da in realen Orientierungssituationen Kontrastmarkierungen in der Regel bodennah positioniert sind, wurde für eine realitätsnahe Prüfung ein Testfeld mit Sehobjekten in einem 45°-Winkel zum Boden unterhalb der horizontalen Sehachse mit einem Sehabstand von 1,9 m positioniert.

Eine diffuse Beleuchtung sorgt für eine gleichmäßige Beleuchtungsstärke auf der Kugelinnenwand. Der Reflexionsgrad der Wände und des Bodens (nachfolgend als Umgebung bezeichnet) beträgt 14,7%, der Reflexionsgrad der Decke (nachfolgend als Himmel bezeichnet) beträgt 7%. Im Bereich der Sehobjekte (Testfeld) kann die Leuchtdichte durch eine weitere (gerichtete) Lichtquelle zusätzlich erhöht werden. Die Lichtquellen sind weiße Leuchtdioden mit einer ähnlichsten Farbtemperatur von 4500 K. Durch Variation der Beleuchtungsstärken ergeben sich die in Tab. 1 angegebenen einstellbaren Leuchtdichten.

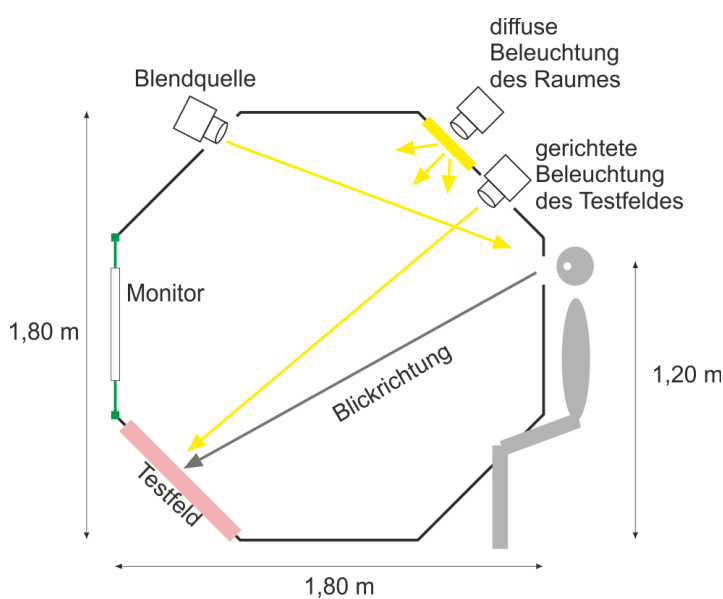


Abb. 1: Schnittdarstellung des Testaufbaus

Gegenüber der Testperson befindet sich eine Blendquelle. Der Blendwinkel zur Blickrichtung beträgt 40° (Abb. 1 und Abb. 2 rechts). Die Beleuchtungsstärke am Auge der Testperson ist so dimensioniert, dass ein TI-Wert von 20% erreicht wird (Abschnitt 7 und Tab. 2).

Die Kugelrückseite lässt sich von außen öffnen. Für die Sehschärfeprüfungen wird in der Öffnung der Monitor des Prüfgerätes positioniert. Bei allen anderen Untersuchungen ist die Öffnung verschlossen und wird nur zum Wechseln der Testfelder kurzzeitig geöffnet.

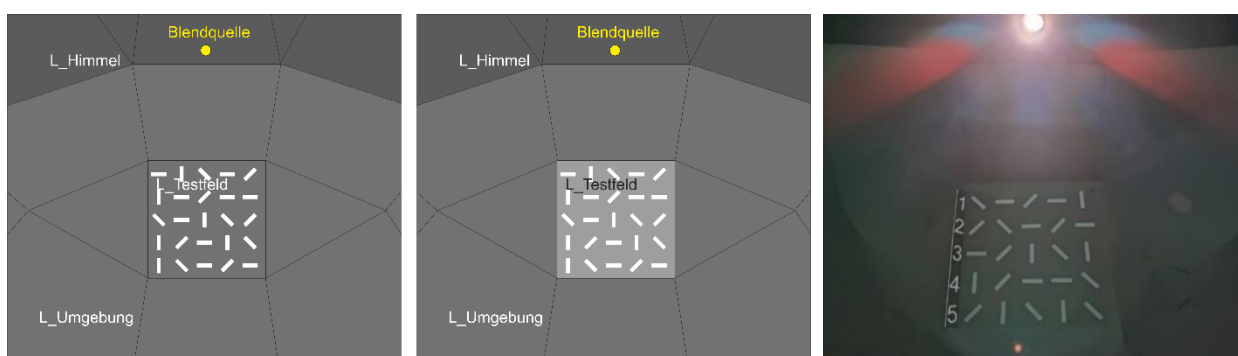


Abb. 2: Sehfeld des Probanden, links: die Leuchtdichte des Testfeldes ist identisch mit der der Umgebung, mittig: das Testfeld ist heller als die Umgebung, rechts: Foto der Situation mit eingeschalteter Blendquelle

## Testobjekte

Als Testobjekte kommen Streifen von 1 und 2 cm Breite zum Einsatz. Diese sind jeweils 10 cm lang und werden in verschiedenen Kontrasten dargeboten. Die logarithmische Reihe

der untersuchten Kontrastwerte ist in Abb. 3 dargestellt. Neben 4 Positivkontrasten wird ein Negativkontrast untersucht. Die Festlegung der Testzeichenform und -größe erfolgte in Anlehnung an realistische Leitelemente, 2 cm entsprechen dabei einer Treppenstufenmarkierung.

Für die objektive Prüfung der korrekten Detektion des Streifens durch die Probanden, wird das Sehobjekt randomisiert in vier Orientierungen ( $0^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $90^\circ$  und  $135^\circ$ ) dargeboten. Auf einem  $75\text{ cm} \times 75\text{ cm}$  großen Testfeld befinden sich 25 Streifen gleichen Kontrastes. Durch Öffnen einer Klappe an der Rückseite der Kugel können die Testfelder ausgetauscht werden.

Die Ermittlung des Schwellenwertes (50-prozentige Wahrnehmungswahrscheinlichkeit) der Leuchtdichte erfolgt anhand der psychometrischen Funktion. Aufgrund der hohen Ratewahrscheinlichkeit von 25%, gilt eine Kontraststufe als erkannt, wenn der Proband die Orientierung von mindestens 4 von 6 Sehobjekten richtig identifiziert. Anschließend wird die Leuchtdichte auf der Fläche weiter erhöht bis 6 von 6 Streifen richtig benannt werden. Die Antwortzeit durch die Probanden wird auf 3 s pro Sehobjekt begrenzt. Spätere Antworten werden als „nicht erkannt“ interpretiert.

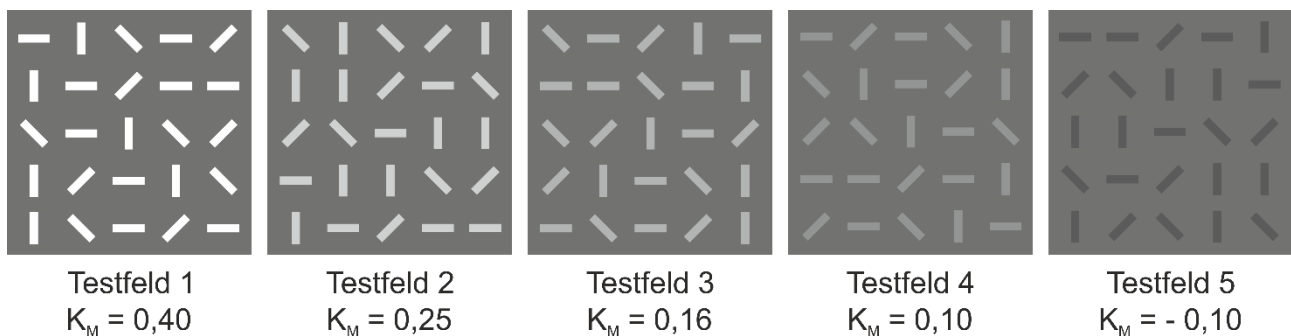


Abb. 3: Testfelder mit verschiedenen Kontrasten  $K_M$ , die Sehzeichen sind entweder 1 oder 2 cm breit und 10 cm lang. Die Größe des Testfeldes beträgt  $75\text{ cm} \times 75\text{ cm}$ .

## Lichttechnische Kennzahlen

Entsprechend der nächtlichen Ausgangssituation werden als Testfeld-Leuchtdichten Werte der DIN EN 13201-2 [2] verwendet. Diese liegen in Stufen im Bereich zwischen  $0,3$  und  $2\text{ cd/m}^2$ . Für die Untersuchungen wurden in gleichbleibender Stufung höhere Leuchtdichtewerte hinzugefügt (Tab. 1).

Als Ausgangssituation diente die Umgebungs-Leuchtdichte von  $0,3\text{ cd/m}^2$ , die im gesamten unteren Bereich („Umgebung“) der Kugel dargeboten wird. Von diesem Wert ausgehend erfolgen Leuchtdichteerhöhungen nur im Bereich des Testfeldes (Abb. 2). Das entspricht in der Praxis der Beleuchtung eines Weges mit der Straßenleuchte, während sich die Leuchtdichte der Umgebung nicht erhöht. Für die Situation mit Blendquelle wird diese so dimensioniert, dass ein TI-Wert von 20% erreicht wird (Blendwinkel  $40^\circ$ , als Umfeld-Leuchtdichte für die Dimensionierung des TI-Wertes nach Formel (5) wird die Testfeld-Leuchtdichte verwendet (Tab. 1).

In Vorversuchen wurde festgestellt, dass eine nicht unerhebliche Anzahl von Testpersonen bereits bei Umgebungs-Leuchtdichten von  $0,3\text{ cd/m}^2$  auch niedrige Kontraste sicher erkennen kann. Daher wurde die Leuchtdichteskala in zwei Schritten bis zu einem Wert von  $0,1\text{ cd/m}^2$  nach unten erweitert. Der TI-Wert für diese beiden zusätzlichen Situationen wurde

auf der Basis einer Umgebungs-Leuchtdichte von  $0,3 \text{ cd/m}^2$  belassen und beträgt für die niedrigeren Werte dann 30% bzw. 50% (Einstellung 1 und 2 in Tab. 1). Diese Situationen entsprechen in der Praxis dem Identifizieren von Sehobjekten außerhalb beleuchteter Bereiche.

Tab. 1: Leuchtdichtewerte der verschiedenen Bereiche nach Abb. 2

Einstellung	L_Umgebung in $\text{cd/m}^2$	L_Testfeld in $\text{cd/m}^2$	L_Himmel in $\text{cd/m}^2$	E_Auge (Blendquelle) in lx	TI (Blendquelle) in %
1	0,1	0,1	0,05	18,8	50
2	0,18	0,18	0,09	18,8	30
3	0,3	0,3	0,15	18,8	20
4	0,3	0,5	0,15	28,3	20
5	0,3	0,75	0,15	39,1	20
6	0,3	1	0,15	49,2	20
7	0,3	1,5	0,15	68,1	20
8	0,3	2	0,15	85,7	20
9	0,3	2,7	0,15	109	20
10	0,3	4	0,15	150	20
11	0,3	5,6	0,15	206	20
12	0,3	8	0,15	299	20
13	0,3	11,2	0,15	426	20
14	0,3	15,9	0,15	615	20
15	0,3	22,3	0,15	780	20

## Physiologische Blendung

Physiologische Blendung führt im Allgemeinen zur Verschlechterung des Sehvermögens, da das Streulicht, das eine Blendquelle im Beobachteraue verursacht den Schwellenkontrast bzw. die Unterschiedsschwelle  $\Delta L$  erhöht. Diese Schwellenerhöhung (Threshold increment TI) dient in der Außenbeleuchtung als Kennzahl für die Stärke der Blendung einer Beleuchtungsanlage und wird nach Norm auf 10 bis 20% begrenzt [2].

Der TI-Wert geht von einer fovealen Betrachtung des Sehobjektes aus. Die auf der Netzhaut durch die Blendung entstehende Schleierleuchtdichte  $L_v$  führt zu einer Änderung der Unterschiedsschwelle. Die Schleierleuchtdichte ist dabei anhängig vom Alter der Person, von der Blendbeleuchtungsstärke am Auge  $E_{\text{Auge}}$  sowie vom Blendwinkel  $\Theta$  zwischen Blendrichtung und Blickrichtung (Abb. 4).

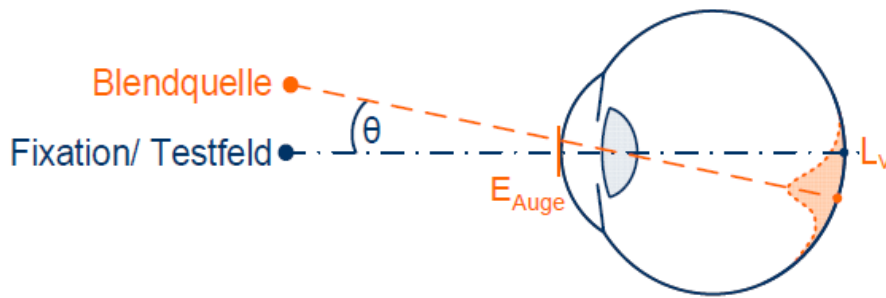


Abb. 4: Definition der Schleierleuchtdichte  $L_V$  nach Formel (2)

$$(2) \quad L_V = k \frac{E_{\text{Auge}}}{\Theta^2}$$

mit:  $L_V$  Schleierleuchtdichte in  $\text{cd/m}^2$   
 $k$  altersabhängige Konstante  
 $E_{\text{Auge}}$  Beleuchtungsstärke am Auge in  $\text{lx}$   
 $\Theta$  Blendwinkel in  $^\circ$  (Grad)

Die Konstante  $k$  wird für eine altersunabhängige Betrachtung der Blendsituation mit einem Wert von  $k = 10$  festgelegt. Allerdings ist bekannt, dass im menschlichen Auge mit zunehmendem Alter bei Blendung mehr Streulicht auftritt. Nach [1] kann der Faktor  $k$  in Formel (2) altersabhängig angegeben werden:

$$(3) \quad k = 10 \left( 1 + \left( \frac{\text{Alter}}{70} \right)^4 \right)$$

Der TI-Wert als prozentuale Schwellenerhöhung ist nach Formel (4) definiert und kann näherungsweise nach Formel (5) berechnet werden.

$$(4) \quad \text{TI} = \left( \frac{\Delta L_{\text{BI}}}{\Delta L_{\text{oBI}}} - 1 \right) \cdot 100 \%$$

mit: TI Threshold Increment (Schwellenerhöhung) in %  
 $\Delta L_{\text{BI}}$  Unterschiedsschwelle mit Blendung  
 $\Delta L_{\text{oBI}}$  Unterschiedsschwelle ohne Blendung

$$(5) \quad \text{TI} = 65 \frac{L_V}{L_U^{0,8}}$$

mit: TI Threshold Increment (Schwellenerhöhung) in %  
 $L_V$  Schleierleuchtdichte in  $\text{cd/m}^2$   
 $L_U$  Umfeldleuchtdichte in  $\text{cd/m}^2$   
 Gültigkeit der Näherungsformel (5) für  $L_U = 0,05 \text{ cd/m}^2 \dots 5 \text{ cd/m}^2$

## Differenzierung der Testpersonen hinsichtlich Blendempfindlichkeit

Vor Beginn der Untersuchung werden die Testpersonen hinsichtlich ihrer Sehschärfe charakterisiert und einer der Testgruppen zugeordnet (Tab. 2). Dabei werden der binokulare Visus und die mesopische Kontrastschwelle eines Landoltrings (Sehwinkel:  $50'$ , Leuchtdichte:  $0,3 \text{ cd/m}^2$ ) ermittelt. Alle Prüfzeichen werden auf einem Monitor präsentiert, der während der Messungen in den Teststand integriert wird (Abb. 5).

Zur Klassifizierung der Blendempfindlichkeit der Probanden wird ein Blend-Test durchgeführt. Dafür wird die mesopische Kontrastschwelle mit Blendung bestimmt und die Schwellenerhöhung gegenüber dem blendfreien Fall ermittelt. Als Blendquellen dienen 8 kreisförmig um den Monitor angeordnete LEDs (Abb. 5), der Winkel zur Beobachtungsrichtung beträgt  $8,7^\circ$ . Die Lichtstärke der LEDs kann über eine Steuereinheit reproduzierbar eingestellt werden. Die Beleuchtungsstärke am Auge wird für jede Testperson (altersabhängig) so dimensioniert ist, dass nach Formel (5) in Verbindung mit den Formeln (2) und (3) eine Schwellenerhöhung von  $TI = 20\%$  zu erwarten ist (das entspricht etwa 0,1 log-Stufe Kontrasterhöhung). Liegt der damit gemessene Schwellenkontrast 0,2 log-Stufen höher als ohne Blendung, wird die Testperson der Gruppe „blendempfindlich“ zugeordnet. Das entspricht einer prozentualen Schwellenerhöhung (TI) von mehr als 58%.

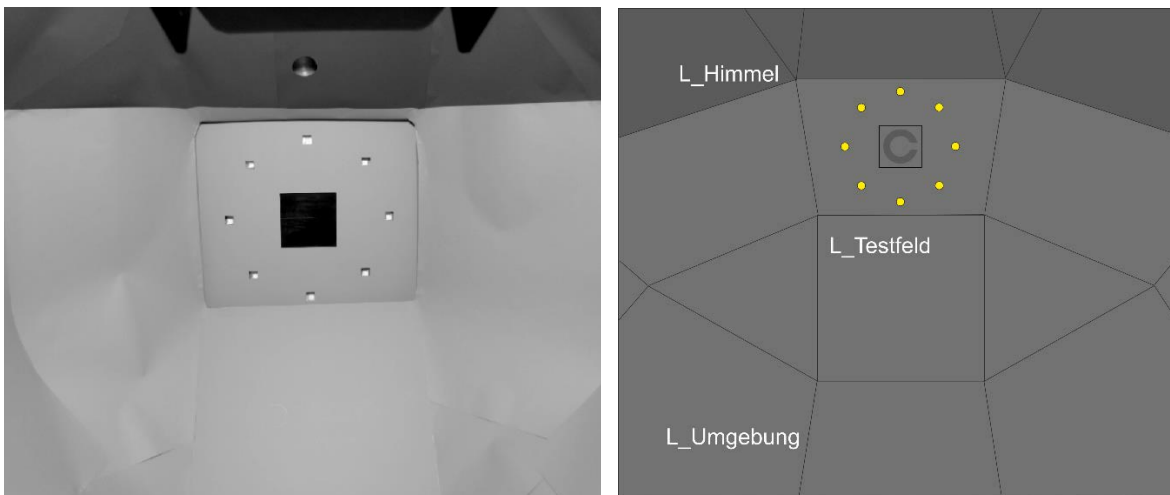


Abb. 5: Blick auf den Ausschnitt eines Monitors zum Bestimmen der Kontrastschwelle. Um den Monitor herum sind 8 Blendquellen kreisförmig angeordnet. Links: der Monitor mit dem Testzeichen ist ausgeschaltet. Rechts: Skizze der Beobachtungsgeometrie: Die Leuchtdichte des Monitors beträgt  $0,3 \text{ cd/m}^2$  und entspricht damit der der Umgebung.

## Testpersonen

Die Untersuchungen finden an der REGIOMED REHA-Klinik Masserberg statt. Die dort in der Rehabilitation befindlichen Sehbehinderten nehmen als Testpersonen an der Untersuchung teil. Als Kontrollgruppe dienen Rehabilitanden anderer Fachrichtungen sowie Mitarbeiter der Klinik und Anwohner des Ortes. Es sind 50 sehbehinderte Testpersonen sowie zwei Kontrollgruppen mit je 37 Testpersonen vorgesehen (Tab. 2). Zum Zeitpunkt dieser Veröffentlichung haben 50 Personen den Test absolviert (Tab. 3).

Tab. 2: Übersicht über die Testgruppen

Gruppe	Sehbehinderte	Kontrollgruppe 1	Kontrollgruppe 2
Alter	Ab 18 Jahre	18 bis 45	Ab 60
binokularer Visus mit Korrektur	0,32 bis 0,05	über 0,8	über 0,5
Geplante Anzahl Personen	50	37	37



Tab. 3: Bisher untersuchte Testpersonen und deren Charakterisierung

Gruppe	Sehbehinderte	Kontrollgruppe 1	Kontrollgruppe 2
Anzahl (m/w)	27 (11/16)	17 (5/12)	6 (3/3)
Alter (MW)	58	31	70
Visus (MW)	0,21	1,80	1,18
Kontrastschwelle ohne Blendung (MW)	0,33	0,02	0,04
Kontrastschwelle mit Blendung (MW)	0,43	0,02	0,07

## Testablauf

Die Testperson nimmt vor dem Teststand Platz und schaut durch die Öffnung hinein. Zu Beginn wird die niedrigste Umgebungs-Leuchtdichte =  $0,1 \text{ cd/m}^2$  eingestellt (Einstellung 1 in Tab. 1) und die Person adaptiert für 6 Minuten.

Ein Testfeld mit Testobjekten (Streifen) unterschiedlicher Orientierung und einem konstanten Kontrastwert von  $K_M = 0,40$  wird eingebracht und die Person wird gebeten, die Ausrichtung bestimmter Streifen zu benennen. Werden die Objekte nicht erkannt, wird die Umgebungs-Leuchtdichte bzw. die Testfeld-Leuchtdichte nach Tab. 1 erhöht. Die Erhöhung erfolgt, bis die Orientierung von 4 von 6 ausgewählten Streifen richtig erkannt wurde. Danach wird die Testfeld-Leuchtdichte weiter erhöht, bis 6 von 6 Sehzeichen erkannt werden.

Anschließend wird derselbe Kontrast bei geringerer Streifenbreite (1 cm) dargeboten und wiederum die erforderliche Testfeld-Leuchtdichte bis zum Erkennen ermittelt. Nach einer kurzen Adaptationsphase auf ein geringeres Leuchtdichteniveau wird der Kontrast auf die nächst-niedrigere Kontraststufe reduziert und die Messung wiederholt, bis alle Kontraststufen und Streifenbreiten betrachtet wurden. Anschließend wird das Prozedere mit eingeschalteter Blendquelle für die 2 cm breiten Sehzeichen wiederholt. Die Antwortzeit durch die Probanden wird auf 3 s pro Sehobjekt begrenzt. Spätere Antworten werden als „nicht erkannt“ interpretiert.

## Erste Testergebnisse

Die Untersuchung ist noch nicht abgeschlossen. Bisher nahmen 50 Personen an den Tests teil. Erste Ergebnisse sind in den Abb. 6 bis 12 zusammengefasst. Dargestellt ist für jede untersuchte Leuchtdichte die relative Häufigkeit, mit der die Gruppen 4 von 6 Sehzeichen richtig erkannt haben.

Während beide Kontrollgruppen auch bei den kleinsten untersuchten Kontrasten und Streifenbreiten die geforderten Sehzeichen bereits bei einer Testzeichen-Leuchtdichte  $0,10 \text{ cd/m}^2$  richtig erkennen, brauchen die Sehbehinderten teilweise deutlich höhere Leuchtdichten. Wie vermutet wurde, steigt der Leuchtdichte-Bedarf bei kleiner werdenden Kontrasten an (Abb. 6 bis 9). Bei zusätzlicher Blendung können einige Testpersonen auch bei hohen Testfeld-Leuchtdichten und hohen Kontrasten die Sehzeichen nicht erkennen (Abb. 6 bis 9 jeweils rechts), während im blendfreien Fall zumindest für die hohen Kontraste ( $K_M = 0,40$  und  $K_M = 0,25$ ) alle Testpersonen die geforderte Sehzeichenanzahl richtig erkennen konnten (Abb. 6 und 7 jeweils links).

In Abb. 10 (rechts) ist erkennbar, dass auch in der Kontrollgruppe 2 (ältere Personen) bei niedrigen Kontrasten, geringen Testfeld-Leuchtdichten und zusätzlicher Blendung nicht alle Sehzeichen erkannt werden.

Eine detaillierte Auswertung der Blendeffekte hinsichtlich der Gruppen „blendempfindlich“ und „nicht blendempfindlich“ (Kap. 8) erfolgte bisher nicht, da die Anzahl der getesteten Personen noch nicht ausreichend ist. Hier sind weitere Erkenntnisse zu erwarten.

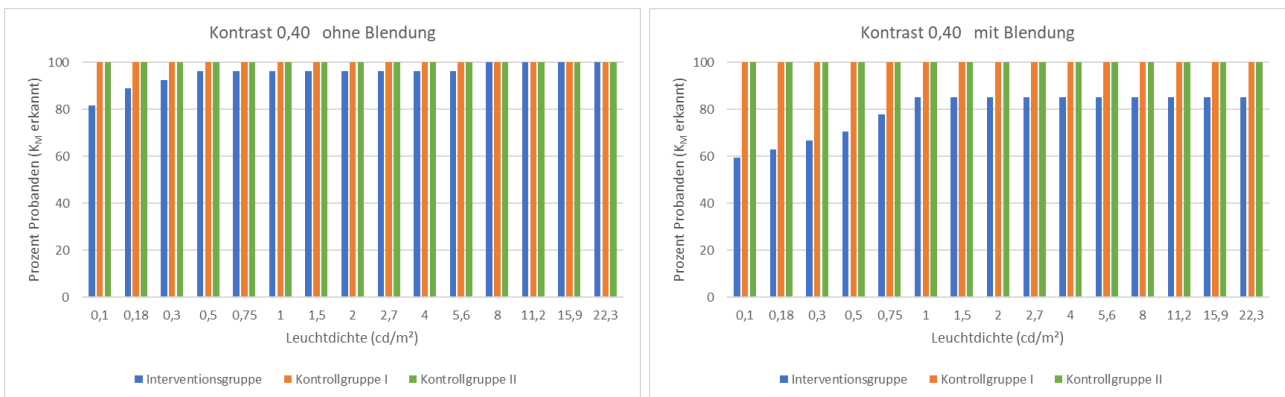


Abb. 6: Anzahl der Probanden, die 4 von 6 Testzeichen mit einem Kontrast von  $K_M=0,40$  (Breite 2 cm) richtig erkannt haben in Abhängigkeit von der Testfeld-Leuchtdichte (links ohne Blendung, rechts mit Blendung)

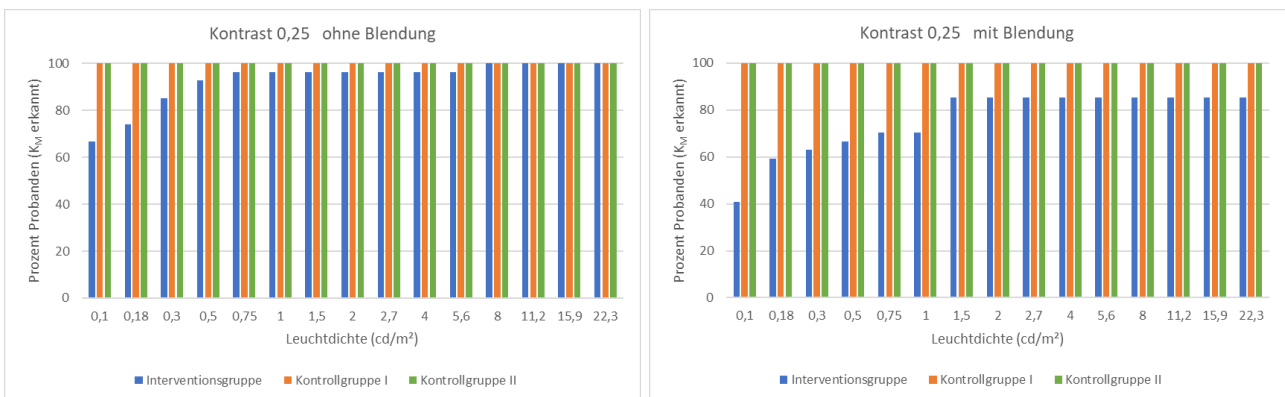


Abb. 7: Anzahl der Probanden, die 4 von 6 Testzeichen mit einem Kontrast von  $K_M=0,25$  (Breite 2 cm) richtig erkannt haben in Abhängigkeit von der Testfeld-Leuchtdichte (links ohne Blendung, rechts mit Blendung)

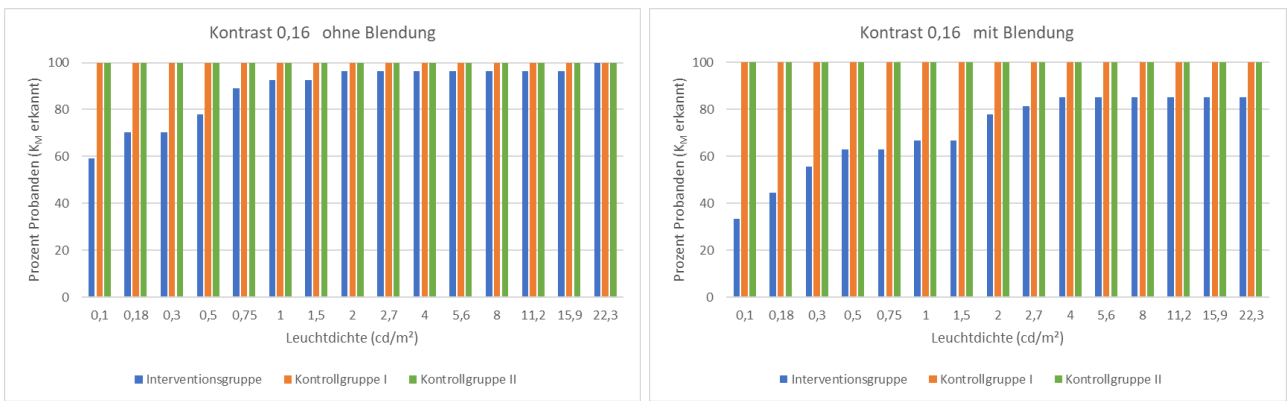


Abb. 8: Anzahl der Probanden, die 4 von 6 Testzeichen mit einem Kontrast von  $K_M=0,16$  (Breite 2 cm) richtig erkannt haben in Abhängigkeit von der Testfeld-Leuchtdichte (links ohne Blending, rechts mit Blending)

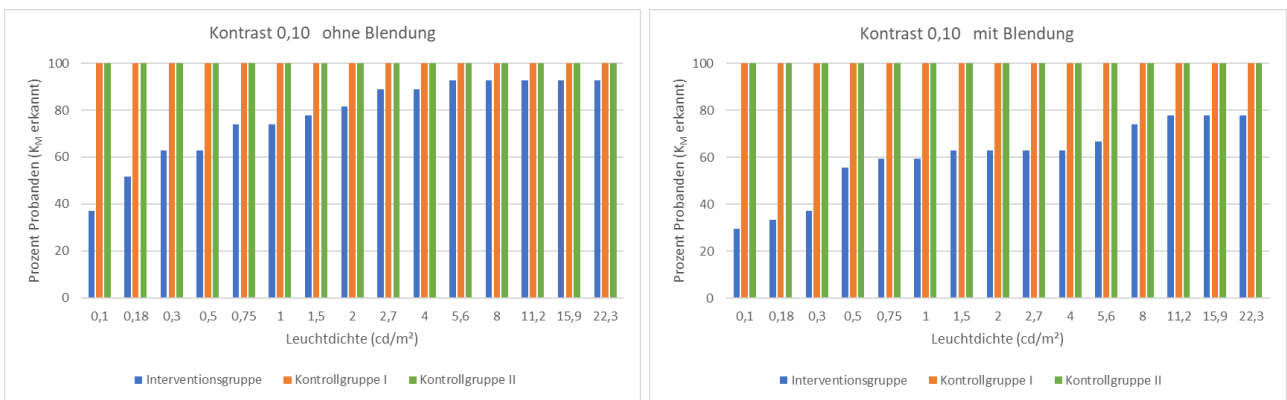


Abb. 9: Anzahl der Probanden, die 4 von 6 Testzeichen mit einem Kontrast von  $K_M=0,10$  (Breite 2 cm) richtig erkannt haben in Abhängigkeit von der Testfeld-Leuchtdichte (links ohne Blending, rechts mit Blending)

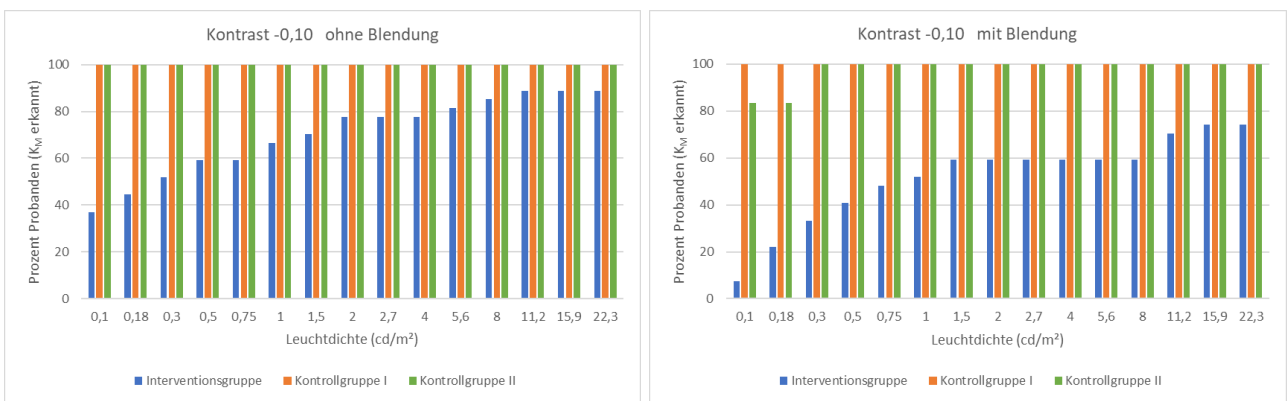


Abb. 10: Anzahl der Probanden, die 4 von 6 Testzeichen mit einem Kontrast von  $K_M=-0,10$  (Breite 2 cm) richtig erkannt haben in Abhängigkeit von der Testfeld-Leuchtdichte (links ohne Blending, rechts mit Blending)

Ein Vergleich der Sehstreifen mit 2 cm und 1 cm Breite zeigt bisher kaum Effekte. Mögliche Unterschiede sind aufgrund der geringen Anzahl von Testpersonen nicht erkennbar (Abb. 11).

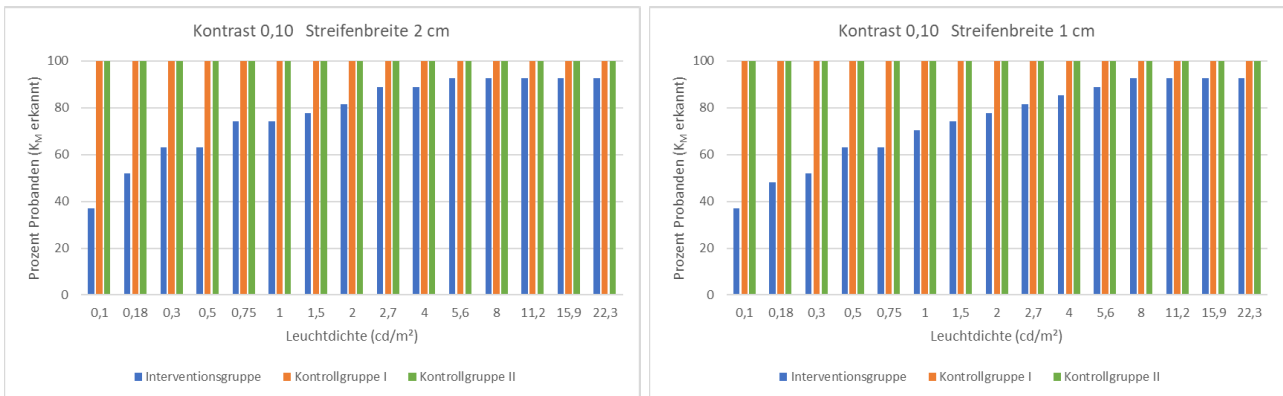


Abb. 11: Anzahl der Probanden, die 4 von 6 Testzeichen mit einem Kontrast von  $K_M=0,10$  richtig erkannt haben in Abhängigkeit von der Testfeld-Leuchtdichte (links Breite 2 cm, rechts Breite 1 cm)

In Abb. 12 sind die Ergebnisse für die Erkennung von 4 von 6 Sehzeichen (aus Abb. 10 rechts) gegenüber der höheren Anforderung der Erkennung von 6 von 6 Sehzeichen dargestellt. Diese erhöhten Anforderungen (6 von 6), die für eine sichere Erkennung gestellt werden müssen, zeigen die gleichen Zusammenhänge wie bei der in Abb. 6 bis 11 dargestellten Schwellenbetrachtung (4 von 6), nur dass vergleichbare Häufigkeiten erst bei etwas größeren Testfeld-Leuchtdichten erreicht werden. Detaillierte Auswertungen liegen noch nicht vor.

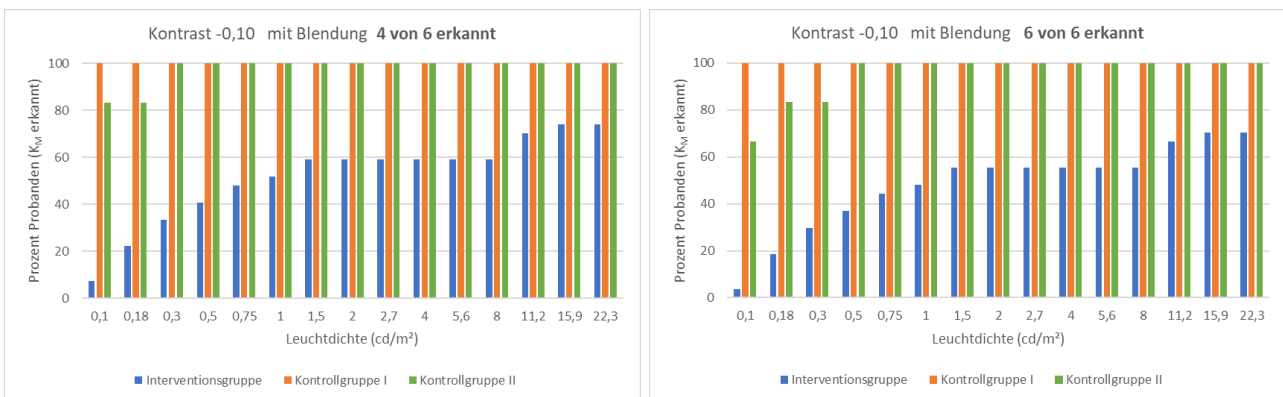


Abb. 12: Anzahl der Probanden, die die Testzeichen mit einem Kontrast von  $K_M=-0,10$  (Breite 2 cm, mit Blendung) richtig erkannt haben in Abhängigkeit von der Testfeld-Leuchtdichte (links 4 von 6 erkannt, rechts 6 von 6 erkannt)

## Zusammenfassung und Ausblick

Auch wenn die Ergebnisse zunächst vorläufig und noch unvollständig sind, ist doch erkennbar, dass die lichttechnischen Parameter Testfeld-Leuchtdichte und Blendung Einfluss auf die erkennbaren Kontraste haben.

Bei dem in der Normung geforderten Kontrast von 0,40 konnten 60% der bisher getesteten Sehbehinderten die Testzeichen erkennen, wenn die Sehsituation einer typischen nächtlichen Szene entspricht (Umgebungs-Leuchtdichte  $\leq 0,3 \text{ cd/m}^2$ , Blendung normgerecht begrenzt:  $Tl = 20$  bis  $50\%$ ). Geringere Kontraste konnten gleichermaßen gesehen werden, wenn die Leuchtdichte erhöht wird und/oder keinerlei Blendung vorhanden war. Höhere Leuchtdichten und die Vermeidung von Blendung führte bei gleichbleibend hohem Kontrast dazu, dass mehr als 60% der Testpersonen die Sehzeichen erkennen konnten.

Die finale, detaillierte und statistische Auswertung sowie eine Betrachtung der Blendempfindlichkeit stehen noch aus.

Die Veröffentlichung der detaillierten Ergebnisse erfolgt nach Abschluss des Projektes auf der Webseite des Forschungsförderers:

<https://www.zukunftbau.de/mediathek/forschungsberichte>

## Literatur

- [1] CIE (2002): CIE Equations for Disability Glare. Technical Report 146.
- [2] DIN EN 13201-2:2016: Straßenbeleuchtung. Teil 2 Gütemerkmale
- [3] DIN 32975:2009: Gestaltung visueller Informationen im öffentlichen Raum zur barrierefreien Nutzung.
- [4] Hauck, Nico: Barrierefreie Beleuchtungslösungen für sehbehinderte Menschen in Innenräumen sowie Entwicklung einer Kontrastbestimmungsmethode. Dissertation TU Wien 2018.
- [5] Lohaus, I.; Meyer, S.; Kreiser, S.; Schulze, C.; Rehberg, K.; Glasow, N.; Vorisková, S. (2018): Visuelle Barrierefreiheit durch die Gestaltung von Kontrasten. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag.

**ZUKUNFT BAU**  
FORSCHUNGSFÖRDERUNG

Die Forschung wurde mit Mitteln der Zukunft Bau Forschungsförderung des Bundesinstitutes für Bau-, Stadt- und Raumforschung im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung gefördert. (Aktenzeichen: SWD-10.08.18.7-20.08)