



DISSERTATION

Barrierefreie Beleuchtungslösungen für sehbehinderte Menschen in Innenräumen sowie Entwicklung einer Kontrastbestimmungsmethode

**ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades eines
Doktor der technischen Wissenschaften unter der Leitung von**

Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.tech. Ardeshir Mahdavi

Institut für Architekturwissenschaften
Abteilung Bauphysik und Bauökologie E2593

Begutachtung durch

Assoz.Prof. Priv.-Doz. Mag. Dr. Elmar Wilhelm M. Fürst
Prof. Dr.-Ing. Michael Gebhardt

**eingereicht an der Technischen Universität Wien
Fakultät für Architektur und Raumplanung**

von

Dipl.-Ing. (FH) Nico Hauck, MSc.
Matr. Nr.: 1328891
Klosterneuburger Straße 27, 2103 Langenzersdorf

Wien, 20. August 2018

.....

Deutsche Kurzfassung

Einleitung. Sehbehinderte bzw. hochgradig sehbehinderte Personen orientieren sich primär durch ihr vorhandenes Sehvermögen. Ungünstige Beleuchtung kann das bereits reduzierte Sehpotential nochmals herabsetzen. Primäres Ziel dieser Arbeit ist die Erstellung barrierefreier Licht- und Beleuchtungslösungen sowie die Erarbeitung einer Berechnungsmethode für den subjektiv wahrgenommenen Kontrast. Daraus sind resultierende Empfehlungen und Richtlinien für Planer und für die Normierung abgeleitet worden.

Methoden. Für die Überprüfung der Sehleistung bei verschiedenen Lichtbedingungen wurde ein eigener Versuchsaufbau entwickelt, mit dem verschiedene Adaptationsleuchtdichten erzeugt werden konnten. Über einen Helligkeitsverstellbaren Monitor wurden verschiedene Sehtests dargestellt und die Sehleistung in Abhängigkeit von der Adaptationsleuchtdichte sowie Blendung bestimmt. In Form von Interviews wurde zusätzlich das subjektive Empfinden der sehbehinderten Probanden erfragt. Es haben 98 sehbehinderte Menschen und 38 Personen ohne Augenerkrankungen an der Studie teilgenommen.

Ergebnisse. Die Ergebnisse aus den Interviews und den Untersuchungen haben gezeigt, dass die meisten sehbehinderten Personen einen speziellen, individuellen Lichtbedarf haben. Die meisten Betroffenen benötigen höhere Helligkeiten, um ihre maximale (persönliche) Sehleistung zu erreichen. Bei dieser Personengruppe ist der Lichtbedarf in über 50 % der untersuchten Personen erhöht und bei 75 % eine erhöhte Blendempfindlichkeit vorhanden. Ebenso werden Probleme bei der Adaptation und bei ungleichmäßiger Beleuchtung genannt. Sehbehinderte Personen zeigen einen deutlichen Effekt in der Sehleistung bei unterschiedlichen Helligkeiten. Bei Blendung haben die Personen mit Augenerkrankungen eine stark erhöhte Kontrastschwelle und eine höhere subjektive Störepfindung im Vergleich zu normalsehenden Personen. Generell hat die Blendung einen entscheidenden Einfluss auf die Sehleistung sehbehinderter Menschen. Für die Kontrastberechnung unter Berücksichtigung äußerer und physiologischer Einflüsse wurde die Glare-Contrast-Sensitivity und die Kontrastberechnung nach *Hauck* entwickelt.

Schlussfolgerungen. Für die Allgemeinbeleuchtung ist für sehbehinderte Menschen eine vorwiegend indirekte Beleuchtung zu bevorzugen. Für die horizontale Beleuchtungsstärke in allgemein genutzten Räumlichkeiten sind die Werte aus der ÖNorm EN 12464-1 heranzuziehen. Für eine gute visuelle Kommunikation sollte auf eine hohe zylindrische Beleuchtungsstärke geachtet werden. In individuell genutzten Räumen sowie an Sehbehindertearbeitsplätzen sollte der individuelle Helligkeitsbedarf berücksichtigt werden. Blendungen sind generell möglichst gering zu halten. Es ist ein UGR-Wert < 13 anzustreben. Für die Berechnung des photometrischen Kontrasts von Materialien zueinander ist die Anwendung der Michelson-Formel sehr gut anwendbar. Um Kontraste wahrnehmen zu können sind physiologische Aspekte und die Bedingungen im Umfeld zu berücksichtigen. Hier hat die neue Kontrastberechnung nach *Hauck* deutliche Vorteile.

Englische Kurzfassung

Introduction. Visually-impaired or severely visually impaired persons are primarily guided by their existing vision. Unfavorable lighting can further reduce the already reduced visual potential. The primary goal of this work is the creation of barrier-free lighting and lighting solutions as well as the development of a calculation method for the subjectively perceived contrast. From this, the resulting recommendations and guidelines for planners and for standardization have been derived.

Methods. For the examination of the visual performance in different light conditions, a new dedicated experimental setup was developed by which different adaptation lighting densities could be generated. A variety of visual tests were presented by means of a brightness-adjustable monitor and the visual performance was determined as a function of the adaptation luminance as well as glare. In the form of interviews, the subjective feelings of the visually impaired subjects were also surveyed. 98 visually impaired people and 38 normal sighted people participated in the study.

Results. The results of the interviews showed that most of the visually impaired persons have individual light requirements. In this group of people the need for light is increased in more than 50% of the examined persons and in 75% an increased glare sensitivity is present. Problems with adaptation and uneven lighting are also mentioned. Visually impaired persons show a clear effect in the visual performance at different levels of brightness. In the case of glare, the persons with eye diseases have a strongly reduced contrast threshold and a higher subjective disturbance sensation compared to normal eyesight. In general, glare has a decisive influence on the visual performance of visually impaired people. For the contrast calculation taking into account external and physiological influences, the glare-contrast-sensitivity and the contrast calculation according to Hauck were developed.

Conclusions. For general lighting, a predominantly indirect lighting is to be preferred for visually impaired people. For horizontal illuminance in commonly used premises the values from ÖNorm EN 12464-1 are to be used. For a good visual communication attention should be paid to a high cylindrical illuminance. In individually used rooms

as well as in visually impaired workplaces the individual brightness requirement should be considered. Glare should generally be kept as low as possible. A UGR value < 13 should be aimed for. For the calculation of the photometric contrast of materials to each other, the application of the Michelson formula is very well applicable. In order to be able to perceive contrasts, physiological aspects and the surrounding conditions must be considered. Here, the new contrast calculation according to Hauck has clear advantages.

Danksagung

Ich möchte mich bei allen bedanken, die mich bei der Arbeit unterstützt haben.

An erster Stelle gilt mein Dank meinem Doktorvater, Herrn Prof. Mahdavi, für seine wissenschaftliche und methodische Unterstützung während der gesamten Bearbeitungsphase meiner Dissertation und der Erstellung der Publikationen.

Außerdem möchte ich mich bei Christian Zehetgruber bedanken, der diese Arbeit erst möglich machte und mich bei der Bearbeitung stets durch zielführende Diskussionen und anhaltende Hilfestellung begleitet und unterstützt hat.

Fritz Buser danke ich für die zahlreichen fachlichen Gespräche, Ratschläge und Anmerkungen, die mich auf dem Weg zur fertigen Arbeit immer wieder neue Aspekte und Ansätze entdecken ließen. Auch die vielen nicht-wissenschaftlichen und motivierenden Gespräche haben meine Arbeit unterstützt.

Besonders möchte ich an dieser Stelle meiner Familie und vor allem meiner Frau Christiane für die unermüdliche Stärkung und Motivierung danken, das stets offene Ohr für meine Gedanken sowie wir die Schaffung der zusätzlich zeitlichen Freiräume, die für die Bearbeitung notwendig waren.

Vorwort

Diese Dissertation wurde im Rahmen des Projekts „BaLiA - Barrierefreies Licht für Alle“ von der Österreichischen Forschungsförderungsgesellschaft- FFG (FFG-Projekt-Nr.: 844320, Programm Talente, Ausschreibung: Dissertationen MdZ 2013) und dem Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie (bmvit) gefördert.



Ohne diese Förderung wäre das Projekt nicht möglich gewesen.

Parallel wurde das Projekt ViDeA zusätzlich gefördert. Durch Synergien aus beiden Projekten war es möglich das Thema nachträglich zu erweitern und umfangreicher zu bearbeiten.

Sowohl der ViDeA-Endbericht als auch diese Dissertation wurden nahezu zeitgleich erstellt. Für den inhaltlichen Endbericht von „ViDeA“ sind Texte und Abbildungen an den Antragsteller (WU Wien) übermittelt, welche ich für beide Projekte (ViDeA und BaLiA) erstellt habe. Daher sind im ViDeA-Endbericht u.U. einige Textstellen und Abbildungen in ähnlicher oder identischer Form zu finden. Es handelt sich dabei nicht um eine Kopie im Sinne eines Plagiats.

Die Schriftart und die Zeilenabstände wurden für sehbeeinträchtigte Personen in einer leichter lesbaren Form ausgewählt.

Gender Erklärung. Aus Gründen der besseren Lesbarkeit wird in dieser Dissertation die Sprachform des generischen Maskulinums angewendet. Es wird an dieser Stelle darauf hingewiesen, dass die ausschließliche Verwendung der männlichen Form geschlechtsunabhängig verstanden werden soll.

Abbildungen und Tabellen ohne Referenzierung sind eigene Darstellungen.

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis	XII
1 Einleitung	1
1.1 Motivation	1
1.2 Problemstellungen	2
1.3 Ziele und Aufgabenstellungen	4
2 Grundlagen	5
2.1 Relevante Gesetze, Normen und Richtlinien	5
2.1.1 Bundes-Behindertengleichstellungsgesetz	5
2.1.2 CIE 196:2011 CIE Guide to increasing in light and lighting	6
2.1.3 ÖNorm B 1600: Barrierefreies Bauen - Planungsgrundlagen	9
2.1.4 ÖNorm V 2102: Technische Hilfen für sehbehinderte und blinde Menschen - Taktile Bodeninformationen	13
2.1.5 ÖNorm EN 12464-1 Licht und Beleuchtung an Arbeitsstätten im Innenraum	14
2.1.6 DIN 32975 Gestaltung visueller Informationen im öffentlichen Raum zur barrierefreien Nutzung	15
2.2 Was ist eine Sehbehinderung?	16
2.3 Sehschärfe	18
2.4 Gesichtsfeld und -ausfälle	20
2.5 Adaptation	22
2.6 Licht und Beleuchtung	24
2.6.1 Lichttechnische Größen	24
2.6.2 Arten von Beleuchtung - Abstrahlcharakteristiken	29
2.7 Blendung	32
2.7.1 Blendungsbewertung	35
2.7.2 Messverfahren zur Überprüfung des Kontrastsehens bei Blendung	39

2.7.3	Blendempfindlichkeit und Klassifizierung der Blendempfindlichkeit	39
2.8	Kontrast	41
2.8.1	Photometrischer Kontrast	42
2.8.2	Physiologischer Kontrast	42
2.8.3	Derzeitige Kontrastbestimmung	42
2.8.4	Kontrastempfindlichkeit und -funktion	47
2.8.5	Kontrastierende Elemente eines Leitsystems	51
3	Methoden	54
3.1	Interviews	54
3.2	Versuchsaufbau für standardisierte lichtabhängige Sehtests	55
3.3	Sehtests unter standardisierten Lichtbedingungen	58
3.3.1	Durchführung der Sehtests	58
3.3.2	Visustest	59
3.3.3	Kontrastschwellentest	63
3.3.4	Test zur Bestimmung der Kontrastempfindlichkeitsfunktion mittels Logatomen	65
3.3.5	Blendungstest	66
3.3.6	Subjektive Blendempfindung	67
3.4	Probanden	68
3.5	Feldversuche / Use Cases	69
3.5.1	Lichtplanungen	69
3.5.2	Leuchtenerprobung vor Ort	70
3.5.3	Lichttechnische Messungen	73
3.6	Statistische Methoden	73
4	Ergebnisse	76
4.1	Ergebnisse der Interviews	76
4.1.1	Subjektiver Licht- und Helligkeitsbedarf	76
4.1.2	Subjektive Blendempfindlichkeit und Reflexblendungen	76
4.1.3	Gleichmäßigkeit der Beleuchtung und Helligkeitswechsel	78
4.2	Ergebnisse der Sehtests	79
4.2.1	Visus in Abhängigkeit von der Adapationsleuchtdichte	79
4.2.2	Kontrastschwelle in Abhängigkeit von der Adaptationsleuchtdichte	84
4.2.3	Erkennung von Logatomen in Abhängigkeit vom Kontrast	90
4.2.4	Kontrastschwelle in Abhängigkeit vom UGR Blendwert	96
4.2.5	Subjektive Störempfindung durch Blendung	98

4.2.6	Statistische Auswertungen	102
4.3	Ergebnisse der Use Cases und Feldversuche	103
4.4	Glare-Contrast-Sensitivity nach <i>Hauck</i>	104
4.4.1	Berechnungsformel - Glare-Contrast-Sensitivity	105
4.4.2	Mittelwerte für die Glare-Contrast-Sensitivity	107
4.4.3	Glare-Contrast-Sensitivity in Abhängigkeit vom UGR-Wert	107
4.4.4	Klassifizierung für die Glare-Contrast-Sensitivity	107
4.5	Kontrastbestimmung nach <i>Hauck</i>	109
4.5.1	Grundsätzliche Überlegungen	109
4.5.2	Kontrastdefinition nach <i>Hauck</i>	113
4.5.3	Vor- und Nachteile der Kontrastdefinitionen nach <i>Hauck</i>	115
4.5.4	Kontrastberechnung bei der Planung im Vorfeld	116
4.5.5	Kontrastberechnungen bei verschiedenen Bedingungen	122
5	Schlussfolgerungen und Diskussion	129
5.1	Beleuchtung für Menschen mit Sehbehinderungen	129
5.1.1	Helligkeitsbedarf	129
5.1.2	Kontrastempfindlichkeit und Kontrastbedarf	130
5.1.3	Blendung und Blendempfindlichkeit	130
5.1.4	Handlungsempfehlungen für eine sehbehindertengerechte Beleuchtung	133
5.1.5	Direkt- vs. Indirektbeleuchtung für sehbehinderte Menschen	137
5.2	Kontrastbestimmung	142
5.2.1	Kontrastempfindung und Kontrastbedarf	142
5.2.2	Berechnung des subjektiv wahrgenommenen Kontrasts	142
5.2.3	Kontrast nach <i>Michelson</i> oder <i>Hauck</i> ? Welche Berechnungsmethode ist wann sinnvoll?	143
5.2.4	Was ist für sehbehinderte Menschen ein visuell hoher, mittlerer oder geringer Kontrast?	145
5.2.5	Hinterleuchtete Objekte und Beschriftungen	147
5.2.6	Subjektive Kontrasterhöhung durch Annäherung bzw. Abschattung	147
5.2.7	Kontrast-Wartungswert	148
5.2.8	Kontrast-Messunsicherheiten oder „Von der Unmöglichkeit Kontraste genau bestimmen zu können“	150
5.3	Fehlerbetrachtung	155

6	Empfehlungen und Vorschläge	156
6.1	Empfehlungen für eine sehbehindertengerechte Sehleistungsbestimmung in der Low Vision Rehabilitation	156
6.1.1	Versuchsaufbau	156
6.1.2	Visus	156
6.1.3	Kontrastempfindlichkeit	157
6.1.4	Vergrößerungsbedarf	158
6.1.5	Gesichtsfeld	159
6.1.6	Blendempfindlichkeit	160
6.1.7	Licht- bzw. Helligkeitsbedarf	160
6.1.8	Negativkontrast	161
6.1.9	Farbsehen	162
6.1.10	Auswertung und Klassifizierung	163
6.2	Vorschläge für eine sehbehindertengerechte Beleuchtung	166
6.2.1	Räume mit allgemeiner Nutzung	166
6.2.2	Räume mit individueller Nutzung und am Sehbehindertenarbeits- platz:	166
6.3	Vorschläge zur Normierung - Beleuchtung	167
6.4	Vorschläge zur Normierung - Kontrast	169
7	Zusammenfassung	174
	Literaturverzeichnis	179
	Abbildungsverzeichnis	184
	Tabellenverzeichnis	191
	Formelverzeichnis	194
	Anhang	196
	Anhang A - Kalibrierung Monitor	197
	Anhang B - Kalibrierung Lichtbox	211
	Anhang C - Verwendete lichttechnische Messtechnik	220
	Anhang D - Use Cases	223
	Anhang E - Best Practice Beispiele	251
	Anhang F - Statistische Auswertungen	258
	Anhang G - Probanden	277

Anhang H - Lebenslauf des Autors 283

Abkürzungsverzeichnis

cd	Candela; Einheit der Lichtstärke
cd/m ²	Candela pro Quadratmeter; Einheit der Leuchtdichte L
GBE	Grad der Blendempfindlichkeit nach <i>Hauck</i>
GCS	Glare Contrast Sensitivity nach <i>Hauck</i>
GLB	Grad des Lichtbedarfs nach <i>Hauck</i>
E	Beleuchtungsstärke; Einheit: lx
I	Lichtstärke; Einheit: cd
K _{BS}	Kontrast nach <i>Bowmann</i> und <i>Sapolski</i>
K _{Hauck}	Kontrast nach <i>Hauck</i>
K _{LRV}	LRV-Kontrast nach ÖNorm B 1600
K _M	Kontrast nach <i>Michelson</i>
K _{St}	Raum-Kontrast nach <i>Stütz</i>
K _W	Kontrast nach <i>Weber</i>
lm	Lumen: Einheit des Lichtstroms ϕ
lx	Lux; Einheit der Beleuchtungsstärke E
L	Leuchtdichte; Einheit: cd/m ²
L _{Max}	maximale Leuchtdichte
L _{Min}	minimale Leuchtdichte
L _{GF}	Mittlere Leuchtdichte im Gesichtsfeld
LCS	Low Contrast Sensitivity
sr	Steradian; Einheit des Raumwinkels
ϕ	Lichtstrom; Einheit: lm

1 Einleitung

1.1 Motivation

Der Autor arbeitet seit zwölf Jahren in seinem beruflichen Alltag mit sehbehinderten Menschen. Meist ist eine Augenerkrankung oder ein Unfall Ursache der reduzierten Sehleistung. Daraus resultieren unterschiedliche visuelle Probleme der Betroffenen. Neben der reduzierten Sehschärfe ist häufig eine verringerte Kontrastempfindlichkeit vorhanden. Das Gesichtsfeld und Farbsehen können ebenfalls beeinträchtigt sein. Darüber hinaus wird sehr häufig über eine erhöhte Empfindlichkeit gegenüber Blendungen berichtet. In den Gesprächen mit den Betroffenen wird meist ein spezieller Lichtbedarf angegeben, d.h. bestimmte Lichtsituationen haben deutlichen Einfluss auf die Sehleistung und somit auch auf die Mobilität.

Als zertifizierter Lichttechniker wurde der Autor wiederholt gefragt, welche Empfehlungen er bzgl. optimaler Beleuchtung für sehbehinderte Menschen geben kann. Bisher waren dies hauptsächlich Erfahrungswerte, welche diesbezüglich weitergegeben wurden. Die aktuellen Richtlinien und Standards (CIE-International Commission on Illumination, 2011a), (Austrian Standards Institute, 2011), (Austrian Standards Institute, 2013) berücksichtigen teilweise altersbedingte Effekte. Zum Thema barrierefreie Beleuchtung für sehbeeinträchtigte Menschen (vor allem im Bereich der Blendung/Blendempfindlichkeit) sind nur allgemeine Empfehlungen (CIE-International Commission on Illumination, 2011a, S. 9) zu finden und sind damit wenig konkret.

Für die Bestimmung des Kontrasts werden, wird meist der photometrische Kontrast nach *Michelson* (Deutsches Institut für Normung, 2009c) (Schweizerischer Normund Architektenverein, 2009) oder *Weber* (CIE-International Commission on Illumination, 2011a) berechnet. In Österreich (Austrian Standards Institute, 2011) wird zur Berechnung des Kontrast die Differenz der LRV-Werte der zu beurteilenden Flächen herangezogen. Für bestimmte Nutzungen sind jeweils in den Normen Grenzwerte für den Mindestkontrast definiert. Ein photometrischer Kontrast kann jedoch nur dann wahrgenommen werden,

wenn dies physiologisch möglich ist. Die eigene Kontrastempfindlichkeit, Blendempfindlichkeit sowie die Helligkeiten/Leuchtdichten im (peripheren) Gesichtsfeld werden nicht berücksichtigt. Es ist daher möglich, dass der subjektiv wahrgenommene Kontrast vom berechneten photometrischen Kontrast, vor allem bei sehbehinderten Menschen, voneinander abweicht.

Trotz reduzierter Sehleistung orientieren sich sehbehinderte bzw. hochgradig sehbehinderte Personen (Österreich: ca. 318.000 Personen¹) in ihrer Umwelt primär durch ihr vorhandenes Sehvermögen. Uneingeschränkte Mobilität bedeutet für diese Menschen nicht nur das barrierefreie Nutzen des öffentlichen Verkehrs bis zum Wunschort/-gebäude, sondern auch die sichere Orientierung und Navigation durch das Gebäude bis zum Ziel. Ungünstige Innenbeleuchtung und/oder eine ungünstige Farb- und Materialwahl (Spiegelungen, Reflektionen) können das bereits reduzierte Sehpotential nochmals drastisch herabsetzen und dadurch die Orientierung/Mobilität verringern. Störende Reflexionen, auf Böden und Glasflächen, werden oftmals fehlinterpretiert und bedeuten eine zusätzliche Belastung und Gefährdung von Menschen mit Sehbehinderungen in der Mobilität innerhalb von Gebäuden. Das Anliegen des Autors ist es, die Situation der Betroffenen weiter zu verbessern und damit die Lebensqualität zu steigern.

Eine optimale Beleuchtung ist die nachhaltigste Maßnahme in der Low Vision Rehabilitation, um das vorhandene (reduzierte) Sehpotential auszunutzen. Mehr noch, auch bei einer abnehmenden Sehleistung bleibt die optimierte Beleuchtung immer eine gute Maßnahme. (Buser u. Hauck, 2012)

Gesamtgesellschaftlich gesehen, sind Verbesserungen nicht nur ein Zugewinn für Personen mit Seheinschränkungen, sondern bedeuten zugleich auch Komfortgewinn für alle Nutzer.

1.2 Problemstellungen

Die Ausgestaltung barrierefreier Architektur wird in Österreich von einer Reihe von ÖNormen und internationalen Standards (z.B. ÖNorm B 1600, EN 12464-1/2, CIE 196:2011 etc.) im Sinne eines Empfehlungscharakters geregelt. Detaillierte Richtlinien und Grenzwerte, die Bedürfnisse von sehbehinderten Personen berücksichtigen, wie z.B. empfoh-

¹<http://www.blindenverband.at/home/wissen/sehen/977?help=1>; Datengrundlage ist die laut Mikrozensus-Zusatzfragen im 4. Quartal 2007 durchgeführte Befragung der Statistik Austria

lene Beleuchtungsstärken, die zulässige Blendung, die Licht- und Leuchtdichte-
verteilung, etc., sind derzeit unterrepräsentiert bzw. nicht berücksichtigt.

Die aussagekräftigste Richtlinie erscheint dabei die CIE 196:2011 (CIE-International
Comission on Illumination, 2011a). Im Vorwort und im Punkt 5.8 „Data on Low
Vision“ wird deutlich, dass auch in dieser Richtlinie vor allem für die Bedürfnisse
von Menschen mit Behinderung noch nicht genügend Informationen bereit stehen
und weiteres Datenmaterial fortlaufend erarbeitet werden sollte. (CIE-International
Comission on Illumination, 2011a, S. 1, 29)

(...)„Inevitably, due to the wide range of issues involved in accessible design,
information is still missing, particularly on persons with disabilities. The
information contained in this document is not exhaustive, and the collection
of data and design considerations is ongoing.“ (CIE-International Comission
on Illumination, 2011a, S. 1)

Ziel der Forschung war es anfänglich, ausschließlich Licht- und Beleuchtungslösungen
für sehbehinderte Menschen zu erarbeiten. Seit In-Kraft-Treten der ÖNorm B 1600 2013
wurde der Autor regelmäßig mit Problemen in der Umsetzung der Kontrastanforderun-
gen konfrontiert. Nach einer Einarbeitung in diesen Abschnitt der Norm erschien die
Berechnungs- und Bestimmungsmethode sowie die dazugehörigen Grenzwerte „das
Problem“ darzustellen. Aus diesem Grund wurde nach Absprache mit dem Hochschul-
betreuer das zu bearbeitende Thema erweitert und die Kontrastwahrnehmung zusätzlich
untersucht.

Die Einschätzung der Sehleistung sehbehinderter Personen wird derzeit meist unter Be-
rücksichtigung von Sehschärfe/Visus und Gesichtsfeld vorgenommen. Aus beruflichen
Erfahrungen ist diese zweifelsohne die wichtigsten Größen. Jedoch ist für die umfang-
reiche Beurteilung des Sehvermögens die Beurteilung weiterer Parameter zu diskutieren
(siehe auch Kap. 2.2 „Was ist eine Sehbehinderung?“ ab Seite 16).

Es wurde der Bedarf erkannt, die derzeit geltenden Richtlinien und Standards im Bereich
der Beleuchtung und der Kontrastberechnung/-wahrnehmung unter der Berücksichti-
gung der physiologischen Einflüsse verschiedener Sehbehinderungen wissenschaftlich
und inhaltlich zu ergänzen.

1.3 Ziele und Aufgabenstellungen

Primäres Ziel dieser Arbeit ist die Erarbeitung barrierefreier Licht- und Beleuchtungslösungen, um die Situation von Personen mit verschiedensten Seheinschränkungen zu verbessern. Die daraus resultierenden Empfehlungen und Richtlinien sollen Planern und Architekten helfen Beleuchtung, Farb- und Materialkombinationen bei neuen Projekten bzw. bei der Sanierung vorhandener Gebäude effizient und barrierefrei abstimmen zu können.

Als Grundlage soll die Sehleistung von sehbehinderten und normalsehenden Personen in verschiedenen Lichtsituationen untersucht werden. Die Bestimmung der Sehschärfe und Kontrastempfindlichkeit in Abhängigkeit von der Adaptationsleuchtdichte sowie die Blendempfindlichkeit stehen dabei im Vordergrund. In Form von Interviews soll zusätzlich das subjektive Empfinden der sehbehinderten Probanden erfragt werden.

Angestrebte Ergebnisse und Erkenntnisse:

- Entwicklung eines standardisierten Verfahrens zur Bestimmung des Lichtbedarfs und der Blendempfindlichkeit normalsehender und sehbehinderter Menschen
- Empfehlungen für eine sehbehindertengerechte Sehleistungsbestimmung
- Vorliegen wissenschaftlicher Erkenntnisse zur Sehleistung sehbehinderter Menschen in Abhängigkeit von der Lichtsituation
- Erstellung von Gütekriterien visuell barrierefreier Lichtlösungen
- Entwicklung einer Berechnungsmethode für den empfundenen/wahrgenommenen Kontrast
- Erarbeitung eines Vorschlags einer praxistauglichen Kontrastmess- und Bestimmungsmethode unter Laborbedingungen und im Feld
- Klärung des Zusammenhangs zwischen Kontrastempfindung und Beleuchtungssituation
- Empfehlungen für Richtlinien bzw. eines Normungsvorschlags für visuell barrierefreie Licht- und Kontrastlösungen

2 Grundlagen

2.1 Relevante Gesetze, Normen und Richtlinien

2.1.1 Bundes-Behindertengleichstellungsgesetz

Die Sicherung der Teilhabe von Menschen mit Behinderungen am gesellschaftlichen Leben in all seinen Facetten hat an Bedeutung gewonnen.

Dies liegt an der Wechselwirkung von einerseits einem gesellschaftlich-geschärften Bewusstsein für die Belange benachteiligter Menschen und andererseits an gesetzlichen Vorgaben, wie etwa dem allgemeinen Bundes-Behindertengleichstellungsgesetz oder der UN-Behindertenrechtskonvention, die das Kriterium der Benachteiligung nicht wie früher allein auf die Merkmale von Behinderung reduzieren.

Auszug aus dem Bundes-Behindertengleichstellungsgesetz:

„1. Abschnitt

Schutz vor Diskriminierung

Gesetzesziel

§1

Ziel dieses Bundesgesetzes ist es, die Diskriminierung von Menschen mit Behinderungen zu beseitigen oder zu verhindern und damit die gleichberechtigte Teilhabe von Menschen mit Behinderungen am Leben in der Gesellschaft zu gewährleisten und ihnen eine selbstbestimmte Lebensführung zu ermöglichen.

Geltungsbereich

§2

(1) Die Bestimmungen dieses Bundesgesetzes gelten für die Verwaltung des Bundes einschließlich der von ihm zu beaufsichtigenden Selbstverwaltung und einschließlich dessen Tätigkeit als Träger von Privatrechten.

(2) Die Bestimmungen dieses Bundesgesetzes gelten weiters für Rechtsverhältnisse einschließlich deren Anbahnung und Begründung sowie für die Inanspruchnahme oder Geltendmachung von Leistungen außerhalb eines Rechtsverhältnisses, soweit es jeweils um den Zugang zu und die Versorgung mit Gütern und Dienstleistungen geht, die der Öffentlichkeit zur Verfügung stehen, und die unmittelbare Regelungskompetenz des Bundes gegeben ist.

(3) Ausgenommen vom Geltungsbereich dieses Bundesgesetzes ist der in § 7a des Behinderteneinstellungsgesetzes (BEinstG), geregelte Schutz vor Diskriminierung in der Arbeitswelt. (...)“ (Bundeskanzleramt, 2005)

Begriffe wie Inklusion oder Barrierefreiheit, die aus aktuellen gesellschaftlichen Debatten kaum noch wegzudenken sind, definieren ein Anforderungsprofil für staatliches und privat-wirtschaftliches Agieren.

2.1.2 CIE 196:2011 CIE Guide to increasing in light and lighting

Die CIE 196 wurde im Jahr 2011 als Leitfaden für Lichtplaner, Ingenieure und Wissenschaftler im Bereich Licht, Farbe und Sehen veröffentlicht, um die Bedürfnisse älterer Menschen und von Menschen mit Behinderungen zu berücksichtigen. Dieser Leitfaden wurde eingeführt, um eine behindertengerechte Planung im Bereich Licht und Beleuchtung einzuführen. (CIE-International Commission on Illumination, 2011a, S. V)

Der Leitfaden wurde in Übereinstimmung folgender weiterer Richtlinien erstellt:

- ISO IEC Guide 71:2001 „Guidelines for standards developers to address the needs of older persons and persons with disabilities“ (ISO, 2001)
- CIE 123-1997 „Low Vision - Lighting Needs for the Partially Sighted (CIE-International Commission on Illumination, 1997)

Bei der Erstellung wurde mit den Arbeitsgruppen „TC 1-54 - Age-related change of visual response“ (CIE-International Commission on Illumination, 2011b) und „TC 3-44 - Lighting for the elderly“ (CIE-International Commission on Illumination, 2017) zusammengearbeitet (CIE-International Commission on Illumination, 2011a, S. V)

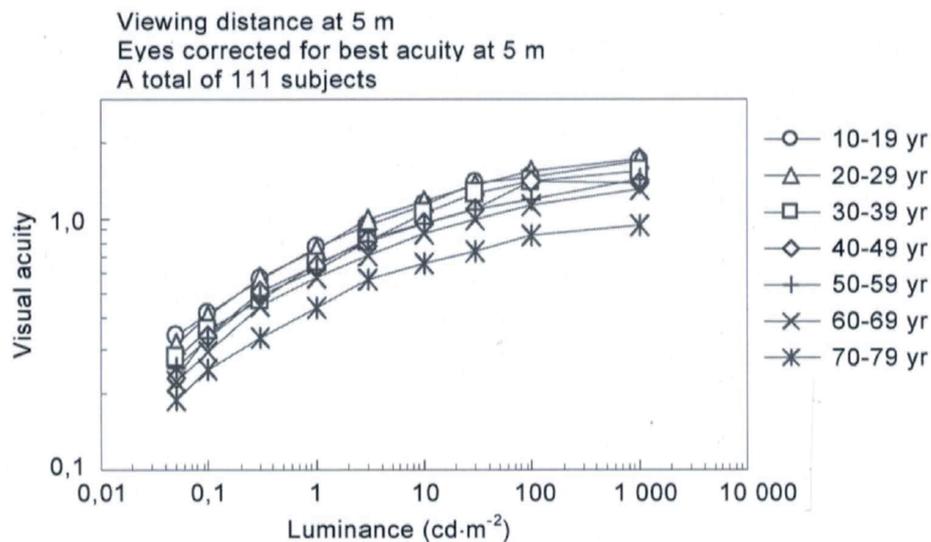


Abbildung 2: Visual acuity as a function of luminance for 7 different age groups from 10 to 79 years old
(CIE-International Commission on Illumination, 2011a, S. 20)

Hinweise zum Helligkeitsniveau

Es wird empfohlen die visuelle Empfindlichkeit bei der Planung des Helligkeitsniveaus zu berücksichtigen. Für viele Personen sind höhere Helligkeit sinnvoll. Der Helligkeitsbedarf kann vor allem bei Menschen mit Sehbehinderungen, je nach Erkrankung, variieren. Es wird beschrieben, dass es bei manchen Augenerkrankungen schwierig ist in sehr hellen Umgebungen zu sehen. Das Helligkeitslevel sollte für die Betroffenen möglichst kontrollierbar sein. (CIE-International Commission on Illumination, 2011a, S. 8)

Für ältere Personen sind Diagramme (Abb. 2) zu Sehschärfe in Abhängigkeit vom Alter und von der Leuchtdichte zu finden. (CIE-International Commission on Illumination, 2011a, S. 20, 27)

Hinweise zur Blendung

Bezüglich Blendung wird beschrieben, dass die Blendempfindlichkeit bei älteren Menschen und Menschen mit Seheinschränkungen (im Vergleich zu normalsehenden jungen Personen) zunimmt. Die Sehschärfe kann bei Blendung herabgesetzt sein. (Haegerstrom-Portnoy u. a., 2000), (CIE-International Commission on Illumination, 2011a, S. 9)

Für die Begrenzung der Blendung an Arbeitsplätzen wird an das UGR-Verfahren verwiesen, welches man in der CIE S 008 (CIE-International Commission on Illumination, 2002b) und weiteren Normen, wie der EN 12464-1 (Austrian Standards Institute, 2011) findet. Empfehlungen für UGR-Werte je nach Lebensalter oder UGR-Werte für sehbehinderte Menschen sind nicht dokumentiert.

Altersabhängige Korrekturfaktoren für die Physiologische Blendung (disability glare) sind aus der CIE 146:2002 (CIE-International Commission on Illumination, 2002a) übernommen worden. (CIE-International Commission on Illumination, 2011a, S. 28). Daten zu Personen mit Sehbehinderungen sind nicht vorhanden.

Zur Minimierung der Blendung werden allgemeine Hinweise und Beispiele gegeben, welche aus den LRC Guidelines „Lighting the way: A key to independence“ (USA) Figueiro (2001) entstammen. Dieses Dokument ist jedoch ausschließlich auf die Belange älterer Menschen bezogen.

(...)This publication answers common questions about vision and lighting posed by older adults, and offers practical solutions (...) (Figueiro, 2001, S. 2)

Es geht nicht hervor ob diese Hinweise auch für Menschen mit Sehbehinderungen vorteilhaft sind.

Hinweise zur Gleichmäßigkeit und Oberflächenbeschaffenheit

Es wird empfohlen an allen relevanten Stellen eine gleichmäßige Beleuchtung zu schaffen und starke Schattenbildungen zu vermeiden. Materialien mit stark diffus reflektieren Eigenschaften unterstützen dabei einen gleichmäßigen Helligkeitseindruck. Die Beleuchtung sollte wenig Reflexe und Spiegelungen auf Monitoren und Böden verursachen, um Schleierleuchtdichten zu vermeiden. (CIE-International Commission on Illumination, 2011a, S. 8), (Society of light and lighting, 2006), (Bright, 1999)

Hinweise zum Kontrast

Der Leuchtdichtekontrast ist eine der wichtigsten Komponenten für die Erkennbarkeit. Die Kontrastempfindung reduziert sich mit dem Alter. Personen mit Sehbehinderung können im Vergleich zu älteren Menschen zusätzlich eine deutlich niedrigere Kontrastempfindung haben. (CIE-International Commission on Illumination, 2011a, S. 4)

Es ist eine altersabhängige Kontrastberechnung dargestellt. Grundlage sind altersabhängige $V(\lambda)$ -Kurven. Aus den Darstellungen wird sichtbar, dass mit steigendem Alter die Helligkeitsempfindung sich vor allem im kurzwelligen Bereich reduziert. Für die Berechnung des Kontrasts ist es notwendig die Spektren der Materialien zu kennen. (ISO, 2011), (CIE-International Commission on Illumination, 2011a, S. 11–12). Diese Methode erscheint sehr aufwendig und für wissenschaftliche Zwecke sinnvoll. Es wird die Weber-Kontrastformel als Grundlage verwendet.

2.1.3 ÖNorm B 1600: Barrierefreies Bauen - Planungsgrundlagen

In der ÖNorm B 1600 Barrierefreies Bauen - Planungsgrundlagen werden bauliche Maßnahmen beschrieben, welche es Menschen mit physischen Einschränkungen (körperliche und Sinnesbehinderungen) ermöglicht, Bauwerke ohne Barrieren zu nutzen:

Auszug aus der ÖNorm B 1600:

"Die vorliegende ÖNORM legt Standards für die barrierefreie Gestaltung der gebauten Umwelt fest und gibt Planungshinweise für die Umsetzung. Es liegt im Verantwortungsbereich des Anwenders (z.B. Bauherr, Auftraggeber) bzw. des Gesetzgebers festzulegen, wann und in welchem Umfang diese ÖNORM anzuwenden ist." (Austrian Standards Institute, 2013, S. 4)

In der ÖNorm B 1600 wird der gesetzliche Bezug auf nationaler, europäischer und internationaler Ebene beschrieben.

Auszug aus dem Vorwort der ÖNorm B 1600:

"Bereits 1995 hat die Europäische Kommission eine „Entschließung zu den Menschenrechten behinderter Menschen“ des Rates verabschiedet, die fordert: „Die Staaten sollten Aktionsprogramme einleiten, um die natürliche Umgebung zugänglich zu machen.“ (...)“ (Austrian Standards Institute, 2013, S. 4)

Ziel dieser Norm ist es, Menschen mit Behinderungen einen gleichberechtigten Zugang zu (öffentlichen) Gebäuden und Bauwerken zu ermöglichen. Dieser Zugang sollte weitestgehend ohne fremde Hilfe erfolgen können.

Auszug aus ÖNorm B 1600:

"Die in dieser ÖNORM beschriebenen Planungsgrundsätze umfassen bauliche Maßnahmen, Einrichtungen und Ausstattungen sowie Kennzeichnungen, die notwendig sind, um die unterschiedlichen physischen Möglichkeiten von Menschen berücksichtigen zu können.

Die angeführten Maßnahmen ermöglichen behinderten Menschen und vorübergehend bewegungs- oder sinnesbehinderten Menschen die sichere Nutzung von Gebäuden und Anlagen weitgehend ohne fremde Hilfe.(...)" (Austrian Standards Institute, 2013, S. 4–5)

In den letzten beiden Absätzen des obigen Zitats ist der zusätzliche Nutzen durch Erleichterung und Komfortsteigerung für Menschen ohne Behinderung ersichtlich. Der gesellschaftliche Mehrwert durch barrierefreies Bauen wird im Vorwort deutlich hervorgehoben.

Daraus ergeben sich Maßnahmen im Außen- und Innenbereich von Bauwerken. Im speziellen werden Empfehlungen für die Einhaltung bestimmter Abmaße und Neigungen/Winkel je nach Anwendungsfall gegeben.

Die Beleuchtung und Kontrastierung für sehbehinderte Menschen ist im Kapitel 8.2 dieser Norm zusammengefasst.

ÖNorm B 1600 - Abschnitt 8.2 Orientierungssysteme und Beleuchtung - aktuelle Formulierung aus 2013:

"8.2. Orientierungssysteme und Beleuchtung

Zur Optimierung der Orientierung und Nutzungssicherheit ist ein Farb- und Materialkonzept zu erstellen. Die Auswahl der Materialien hat in Zusammenhang mit der natürlichen Belichtung und der künstlichen Beleuchtung zu erfolgen.

Als Mindestanforderung für die Beleuchtungsstärken gelten die Werte gemäß ÖNORM EN 12464-1 und ÖNORM EN 12464-2. Diese gelten auch für vergleichbare Nutzungsbereiche. Für Arbeitsplätze von Menschen mit Sehbehinderungen ist eine regulierbare Zusatzbeleuchtung bis zur Verdopplung der in ÖNORM EN 12464-1 angegebenen Beleuchtungsstärken vorzusehen.

8.2.1 Horizontale Beleuchtungsstärke Physiologische und Reflexblendungen müssen vermieden werden. Kontrastierende und gemusterte Flächen sollten nicht zu visuellen Täuschungen führen.

In weitläufigen Baulichkeiten müssen Orientierungssysteme gemäß ÖNORM A 3012 abgestimmt auf einen $\text{Visus} \leq 0,1$ und taktile oder akustische Orientierungssysteme nach dem 2-Sinne-Prinzip vorgesehen werden." (Austrian Standards Institute, 2013, S. 26)

ÖNorm B 1600 - Abschnitt „Kontrastierende Kennzeichnungen“ - aktuelle Formulierung aus 2013:

“8.2.1 Kontrastierende Kennzeichnung

Für Menschen mit Sehbehinderungen müssen farblich kontrastierende visuelle Informationen zur Sicherheit, Warnung, Führung, Orientierung und Beschriftung vorgesehen werden.

Die kontrastierende Kennzeichnung ist für die wesentlichen Bauteile und Ausstattungselemente (gemäß Tabelle 1) sowie für Fixmöblierungen mit dem Orientierungssystem abzustimmen.

ANMERKUNG Helligkeits- und Farbkontraste von Gebäudeteilen und Sicherheitsmarkierungen unterstützen die Sicherheit und Orientierung von Personen bei natürlicher Belichtung und künstlicher Beleuchtung.

Für Warnung, Sicherheit und Beschriftung ist die Kontraststufe I mit einem Kontrast von $K \geq 50$ gemäß Tabelle 1 zu berücksichtigen. Um die Orientierung und Führung zu unterstützen, ist die Kontraststufe II mit einem Kontrast von $K \geq 30$ gemäß Tabelle 1 einzuhalten.

Wesentliche Raumelemente für das Farb- und Materialkonzept sind Boden/Wand, Türen/Türrahmen, Türdrücker, Ganzglastüren, Handläufe, Haltegriffe, Stufen, Rampen, Taster/Schalter. Boden, Wände und Türen müssen sich jeweils vom angrenzenden Bauteil kontrastierend abheben, zB helle Wand/dunkler Türrahmen, helles Türblatt/dunkle Wand, helle Wand/dunkler Boden.

Rot-Grün-Kombinationen dürfen nicht verwendet werden. Helle Schrift auf dunklem Grund ist bevorzugt zu verwenden.

Tabelle 1: Funktionsabhängige Mindestwerte für den Helligkeitskontrast lt. ÖNorm B1600 (Austrian Standards Institute, 2013, S. 27)

Kontraststufe	Funktion	Kontrast K zwischen dem Lichtreflexionsgrad ^a LRV von zwei Oberflächen $K = LRV_1 - LRV_2$	Beispiele																								
I	Warnung, Sicherheit, Beschriftung: Potentielle Gefahren und Hindernisse (zB Stufen, Poller, Glasflächen), Information (zB Beschilderung, Leitsystem)	$K \geq 50$	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="4">Kontraststufe I</th> </tr> <tr> <th>LRV_1</th> <th>LRV_2</th> <th>LRV_1</th> <th>LRV_2</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>60</td> <td>10</td> <td>67</td> <td>16</td> </tr> <tr> <td colspan="2">$K = 50$</td> <td colspan="2">$K = 51$</td> </tr> <tr> <td>66</td> <td>14</td> <td>59</td> <td>9</td> </tr> <tr> <td colspan="2">$K = 52$</td> <td colspan="2">$K = 50$</td> </tr> </tbody> </table>	Kontraststufe I				LRV_1	LRV_2	LRV_1	LRV_2	60	10	67	16	$K = 50$		$K = 51$		66	14	59	9	$K = 52$		$K = 50$	
Kontraststufe I																											
LRV_1	LRV_2	LRV_1	LRV_2																								
60	10	67	16																								
$K = 50$		$K = 51$																									
66	14	59	9																								
$K = 52$		$K = 50$																									
II	Orientierung, Führung: Große Oberflächen (zB Wände, Fußboden, Türen, Decke), Elemente und Bauteile, welche die Orientierung erleichtern (zB Handlauf, Schalter und Taster, Panikstangen, Türdrücker)	$K \geq 30$	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="4">Kontraststufe II</th> </tr> <tr> <th>LRV_1</th> <th>LRV_2</th> <th>LRV_1</th> <th>LRV_2</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>60</td> <td>22</td> <td>67</td> <td>29</td> </tr> <tr> <td colspan="2">$K = 38$</td> <td colspan="2">$K = 38$</td> </tr> <tr> <td>66</td> <td>33</td> <td>59</td> <td>22</td> </tr> <tr> <td colspan="2">$K = 33$</td> <td colspan="2">$K = 37$</td> </tr> </tbody> </table>	Kontraststufe II				LRV_1	LRV_2	LRV_1	LRV_2	60	22	67	29	$K = 38$		$K = 38$		66	33	59	22	$K = 33$		$K = 37$	
Kontraststufe II																											
LRV_1	LRV_2	LRV_1	LRV_2																								
60	22	67	29																								
$K = 38$		$K = 38$																									
66	33	59	22																								
$K = 33$		$K = 37$																									
^a Die Messung des LRV (Light Reflectance Value) erfolgt mittels Spectrophotometer. LRV -Werte zwischen 0 (schwarz) und 100 (weiß) werden von Herstellern von Farben und Oberflächenmaterialien ermittelt und zur Verfügung gestellt (zB RAL 7016 Anthrazitgrau entspricht LRV 8, RAL 9016 Verkehrsweiß entspricht LRV 87). LRV -Werte gelten für eine Mindestbeleuchtungsstärke von 100 Lux. Die LRV -Werte dürfen auch annähernd über den Grauwert einer Farbe bestimmt werden.																											

ANMERKUNG Die jeweiligen Kontraste können mittels Referenzfarbkarten nachgewiesen werden.

Bevorzugte Farbkombinationen für Beschriftungen und Symbole sind weiß auf schwarzem, gelb auf schwarzem, schwarz auf gelbem, weiß auf dunkelblauem und schwarz auf weißem Hintergrund. Bevorzugte Farbkombinationen für Stufenmarkierungen sind gelb auf dunklem Untergrund. Bevorzugte Farbkombinationen für Markierungen von Hindernissen (gemäß 3.2.2) sind rot-weiß-rot oder schwarz-gelb-schwarz.

Der Kontrast muss entsprechend seiner Funktion die Mindestwerte gemäß Tabelle 1 erfüllen.“ (Austrian Standards Institute, 2013, S. 26)

2.1.4 ÖNorm V 2102: Technische Hilfen für sehbehinderte und blinde Menschen - Taktile Bodeninformationen

In der ÖNorm V 2102 - Teil 1 werden taktile Bodeninformationen für sehbehinderte und blinde Menschen normativ geregelt. Neben den Abmaßen und Anbringungshinweisen findet man zusätzlich Informationen zu empfohlenen Eigenschaften von Materialien und zum Helligkeitskontrast.

Auszug aus S. 23 der ÖNorm V 2102 - 1:

“Die Verlegung der taktilen Bodeninformationen muss so erfolgen, dass für andere Verkehrsteilnehmer keine neuen Barrieren und kein zusätzliches Unfallrisiko entstehen.“

“Bei erhabenen Bodeninformationen wird durch die vorgesehene Abschrägung an den Rändern und durch das deutliche Abheben zur Umgebungsfläche durch den Hell-Dunkel-Kontrast eine mögliche Stolpergefahr vermieden. Die Farbe der taktilen Bodeninformationen hat vorzugsweise weiß bzw. zum Hintergrund kontrastierend zu sein. Die Kombinationen der Farben grün auf rot (oder umgekehrt) dürfen nicht verwendet werden.“

“Der Unterschied zwischen den Leuchtdichtefaktoren der zu messenden Oberflächen (Kontrast) sollte mindestens 30 % des Schwarz-Weiß-Kontrastes (100 %) betragen.“

“Die taktilen Indikatoren können mit Hilfe von Steinen, Fliesen, Keramik sowie aus Metall, Hartgummi, Kunststoff, Bodenmarkierungsfarbe, Bodenmarkierungsfolie u.dgl. ausgeführt werden. Es sollten bevorzugt taktile Indikatoren aus beständigen Materialien, wie Betonsteinen, Granit u.dgl. verwendet werden. Die Reibwerte der Indikatoren aus Bodenmarkierungsfarbe oder -folie müssen der Bodenmarkierungsverordnung (BGBl. Nr. 848/1995) entsprechen.“

“Die verwendeten Materialien müssen witterungsbeständig, rutsch- und abriebfest sein. Sie müssen entweder selbst UVbeständig sein bzw. muss die erforderliche UV-Beständigkeit durch einen entsprechenden Anstrich sichergestellt werden.“(...) (Austrian Standards Institute, 2003, S. 23)“

Konkrete Wartungsmaßnahmen oder ein Wertungswert (ähnlich des Wertungswertes in der Beleuchtungstechnik) sind nicht definiert. Es sind eher allgemeingültige Aussagen zu finden.

Zitat:

""6.3 Instandhaltung taktiler Bodeninformationen

Die Nutzung taktiler Bodeninformationen ist nur dann sichergestellt, wenn sie mit Langstock, Stock und/oder Füßen gut ertastet werden können und der erforderliche Farbkontrast gemäß 6.2.1 vorhanden ist. Taktile Bodeninformationen sind daher regelmäßig zu überprüfen. Da die taktilen Bodeninformationen verstärkt schmutzanfällig sind, müssen sie kontinuierlich und sorgfältig gereinigt werden. Dies trifft besonders für die Entfernung von nicht mehr benötigten Streumaterial und eventuellem Pflanzenbewuchs zu. Bei Verminderung der Höhe der Systembausteine um mehr als 30% der ursprünglichen Höhe ist die Funktionstüchtigkeit taktiler Bodeninformationen nicht mehr sichergestellt. Der ursprüngliche Zustand ist so rasch als möglich herzustellen.“ (...) (Austrian Standards Institute, 2003, S. 23)

Ein Bezug oder Hinweise zur Beleuchtung sind in der ÖNorm V 2102 - 1 nicht zu finden.

2.1.5 ÖNorm EN 12464-1 Licht und Beleuchtung an Arbeitsstätten im Innenraum

Die ÖNorm EN 12464 Teil 1 regelt die Beleuchtung an Arbeitsstätten in Innenräumen. Im Teil 2 dieser Norm ist analog die Beleuchtung an Arbeitsstätten im Freien definiert. Neben einem einleitenden Teil sind lichttechnische Grundbegriffe und Definitionen von Arbeitsbereichen erläutert.

In Tabellenform sind Grenzwerte für die mittlere Beleuchtungsstärke, UGR Blendung, Farbwiedergabe sowie Gleichmäßigkeit der Beleuchtungsstärke je nach Tätigkeit aufgelistet. In diesen Tabellen sind die lichttechnischen Anforderungen an allgemein genutzte Bereiche, wie Flure und Warteräume zu finden.

Diese Norm bezieht sich ausschließlich auf die Anforderungen von normalsehenden Personen. Personen mit Augenerkrankungen, welche eine Sehbehinderung nach sich ziehen, sind in dieser Norm nicht berücksichtigt.

Zitat:

"Diese Europäische Norm legt Anforderungen an die Beleuchtung von Arbeitsstätten in Innenräumen fest, die den Erfordernissen für Sehkomfort und Sehleistung für Menschen mit normalem Sehvermögen gerecht werden. Alle üblichen Sehaufgaben, einschließlich derjenigen am Bildschirm, werden berücksichtigt." (Austrian Standards Institute, 2011, S. 6)

Eine Definition oder nähere Erklärung zu „normalem Sehvermögen“ ist in dieser Norm nicht zu finden.

2.1.6 DIN 32975 Gestaltung visueller Informationen im öffentlichen Raum zur barrierefreien Nutzung

Die DIN 32975 regelt die Gestaltung visueller Informationen im öffentlichen Raum, um die Sicherheit, Orientierung und Mobilität sehbehinderter Personen und älterer Menschen zu verbessern. (Deutsches Institut für Normung, 2009c, S. 4)

Für den Abschnitt Beleuchtung werden allgemeine Hinweise gegeben. Konkrete Werte für Beleuchtungsstärke oder für die Blendung werden nicht gegeben:

“Um Kontraste gut wahrnehmen zu können, ist u. a. eine der Sehaufgabe angemessene Beleuchtung erforderlich. Ebenso wie eine zu geringe Beleuchtung kann eine zu intensive Beleuchtung (Blendung oder gar spiegelnde Reflexion) dazu führen, dass physikalisch gegebene Kontraste vom Auge nicht entsprechend aufgenommen werden können. Blendungen oder Schattenbildungen sind zu vermeiden. Eine gleichmäßige und blendfreie Grundbeleuchtung mit akzentuierter Beleuchtung wichtiger Bereiche (z. B. Treppen) und möglicher Ziele (z. B. Informationstafeln) ist zu gewährleisten. Es ist eine Beleuchtung anzustreben, die Farben nicht verfälscht und die geforderten Kontraste ermöglicht (z. B. ist Licht mit engem Spektrum zu vermeiden).“ (Deutsches Institut für Normung, 2009c, S. 8)

Für die Berechnung des Kontrasts wird die Formel nach *Michelson* verwendet. Für die Berechnung sind Leuchtdichtewerte (keine LRV-Werte) vorgesehen. Dies wird damit begründet, dass die Beleuchtung für die Erkennung sehr wichtig ist:

“Einer optimierten Beleuchtung (ausreichende Intensität bei gleichmäßiger Ausleuchtung) kommt eine hohe Bedeutung zu; sie wird in dieser Norm über

die Leuchtdichte der Sehobjekt-Umfeld-Kombination definiert.“ (Deutsches Institut für Normung, 2009c, S. 7)

Aus Sicht des Autors ist diese Variante die Beleuchtung mit einfließen zu lassen nur bedingt möglich, da auch zwei geringe Leuchtdichtewerte (z.B. 1 und 0,1 cd/m²) eine hohen Kontrast von $K=0,82$ ergeben

Hinweis: Weitere Ausführungen zu dieser Problemstellung sind ab Kap. 2.8.3 ab Seite 42 zu finden.

2.2 Was ist eine Sehbehinderung?

“Starke Einschränkung des Sehvermögens. Juristisch gelten Personen als sehbehindert, wenn ihre Sehschärfe kleiner als 0,3 ist, als hochgradig sehbehindert, wenn ihre Sehschärfe kleiner als 0,05 ist und (gesetzlich) als blind, wenn ihre Sehschärfe kleiner als 0,02 ist oder wenn aufgrund einer sehr starken Einschränkung des Gesichtsfeldes in fremder Umgebung nicht orientieren können.“ (Goersch, 1996, S. 255)

Laut WHO gilt die Einteilung (Tab. 2, S. 16) je nach Sehschärfe/Visus. Es wird deutlich,

Tabelle 2: WHO Einteilung Sehbehinderung (World Health Organization u. DIMDI, 2017, S.284)

WHO Stufe/Einteilung	Sehschärfe
0 - leichte oder keine Sehbeeinträchtigung	$> 0,3$
1 - mittelschwere Sehbeeinträchtigung	$> 0,1 \leq 0,3$
2 - schwere Sehbeeinträchtigung	$> 0,05 \leq 0,1$
3 - hochgradige Sehbehinderung	$> 0,02 \leq 0,05$
4 - Blindheit	Lichtwahrnehmung $\leq 0,02$
5 - Blindheit	keine Lichtwahrnehmung

dass sich die Klassifizierung der Sehbehinderung ausschließlich auf die Sehschärfe und das Gesichtsfeld beziehen (Bundeskanzleramt, 2005), (BGB1, 2018, S. 70-73). Für die Einstufung des diagnosebezogenen Pflegegeldes in Österreich werden ausschließlich diese beiden Parameter herangezogen. Für eine bessere Beschreibung der Sehleistung ist die Betrachtung zusätzlicher Einflussgrößen ergänzend überlegenswert.

Zusammengefasst ergeben sich folgende Sehleistungsparameter:

- Sehschärfe
- Gesichtsfeld
- Kontrastempfindlichkeit
- Blendempfindlichkeit
- Farbsehen
- Adaptationsfähigkeit

Aus diesen Parametern ergibt sich ein (spezieller) Bedarf:

- Vergrößerungsbedarf
- Kontrastbedarf
- Lichtbedarf
- Lichtschutzbedarf
- Orientierungsbedarf
- Farberkennungsbedarf

An dieser Stelle stellt sich die Frage, ob die bestehende Definition und die Einteilung nach WHO für die Klassifizierung ausreichend sind. In der modernen Low Vision Rehabilitation wird auch das Kontrastsehen oftmals überprüft und mit in die weiterführenden Maßnahmen mit einbezogen. Der Autor ist selbst der Meinung, dass auch die Blendempfindlichkeit berücksichtigt werden sollte.

In der Low Vision Rehabilitation gilt eine Person als sehbehindert, wenn Zeitungsdruck bei guter Beleuchtung und optimaler optischer Korrektur aus einer Entfernung von 40cm nicht gelesen werden kann oder sich in unbekannter Umgebung nicht selbstständig (ohne fremde Hilfe) orientieren kann. (Buser, 2007)

In der Praxis hat sich die Bestimmung des Vergrößerungsbedarfs sehr bewährt. Hier wird festgestellt, wie hoch die Vergrößerung eines optischen oder elektronischen Hilfsmittels sein muss, damit ein Zeitungstext gelesen werden kann.

2.3 Sehschärfe

Die Sehschärfe wird durch den kleinsten Sehwinkel definiert, unter dem ein Objekt erscheinen muss, damit dessen Form oder Eigenschaften erkannt werden kann. Dabei können die Objekte verschiedene Formen aufweisen. Bei der Sehschäfeprüfung, die üblicherweise Buchstaben oder Zahlen verwendet, bestimmt man die Erkennungssehschärfe. Des Weiteren spielen auch psychische Faktoren eine Rolle, etwa die Fähigkeit Formen erkennen zu können. Bei gutachterlichen Sehschärfebestimmungen (nach DIN 85220 Teil 3) wird die Erkennung der Stellungen des Landolt-Ringes geprüft. Der Zahlenwert ist der Reziprokwert des in Winkelminuten angegebenen Sehwinkels, unter dem die Lücke des Landolt-Ringes dargeboten wird (Abb. 3). Die Sehschärfe ergibt sich aus dem Verhältnis des Normsehwinkels, unter dem das kleinste Sehzeichen gerade noch erkannt wird (Gleichung (1)). Der Normsehwinkel wurde zu einer Winkelminute ($1'$) festgelegt. Die Sehschärfe ist eine dimensionslose Größe. (Wesemann u. a., 2010, S. 821–826), (Methling, 1996, S. 40–44), (Paliaga, 1993, S. 24–31), (Hauck, 2004, S. 6–7)

Es sollten Visusstufen zwischen 0,05 und 1,25 dargeboten werden können. (Deutsches Institut für Normung, 2009b) Für die Prüfung der Sehschärfe bei Sehbehinderten Personen sind zusätzlich Visusstufen zwischen 0,02 und 0,05 notwendig. (Lachenmayr, 2008), (Paliaga, 1993)

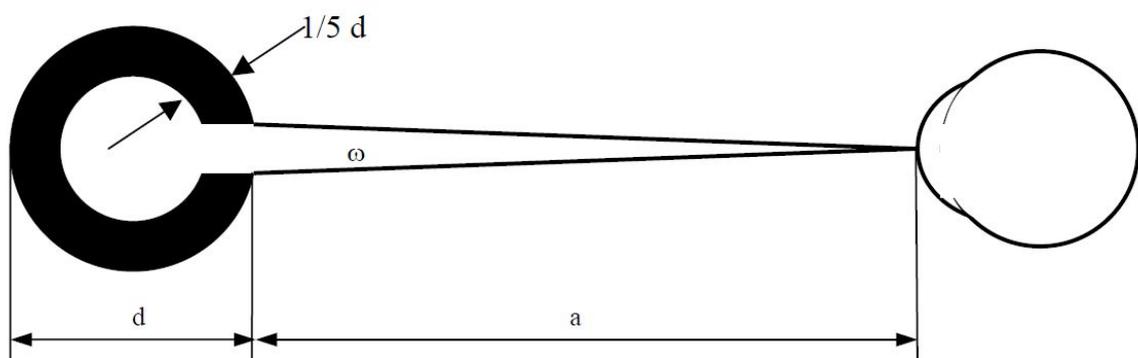


Abbildung 3: Beziehung zwischen Sehwinkel ω und Objektweite a (Hauck, 2004, S. 7)

$$Visus = \frac{w_0}{w} \quad (1)$$

Der Sehwinkel ω steht in einem definierten Verhältnis zur Detailgröße $d/5$ und zur Beobachtungsentfernung a (Abb. 3). So ergibt sich die Beziehung (Paliaga, 1993):

$$\tan \omega = \frac{d/5}{a} \quad (2)$$

$d/5$Detailgröße

a Beobachtungsentfernung

Bei Angaben für Sehschwache (und in den USA) ist auch eine Bruchschreibweise gebräuchlich. Dabei wird die erkannte Entfernung mit der Sollentfernung, die einem Visus von 1 entspricht, ins Verhältnis gesetzt. (Wesemann u. a., 2010, S. 821–826) Der Sehschärfewert ergibt sich aus:

$$\text{Visus} = \frac{\text{Testentfernung}}{\text{Sollentfernung}} \quad (3)$$

Die Sehschärfe wird in der Regel bei hohem Kontrast gemessen. Der Visus des Einzelauges ist oftmals geringer als die binokulare Sehschärfe, aufgrund der binokularen Summation. (Methling, 1996, S. 40–44) (Paliaga, 1993, S. 24–31) (Hauck, 2004, S. 7)



(a) Normale Sehschärfe

(b) Reduzierte Sehschärfe

(c) Stark reduzierte Sehschärfe

Abbildung 4: Simulation einer reduzierten Sehschärfe

2.4 Gesichtsfeld und -ausfälle

"Gesamtheit aller Punkte im Außenraum die bei unbewegtem Kopf und Primärstellung der Augen gleichzeitig wahrgenommen werden ." (Goersch, 1996, S. 112)

Ein intaktes/vollständiges Gesichtsfeld ist vor allem für die Orientierung wichtig. Je nach Augenerkrankung können Ausfälle im Gesichtsfeld (sog. Skotome) vorliegen. Häufiger vorkommende Gesichtsfeldausfälle werden in den Kap. 2.4 bis 2.4 näher beschrieben.

Zentrale Gesichtsfeldausfälle

Der Ausfall des zentralen Gesichtsfeldes, Zentralskotom genannt, ist eine häufige Gesichtsfeldeinschränkung bei älteren sehbehinderten Personen. Der Ausfall ist meist absolut. Sehr oft erklären die Betroffenen diesen Ausfall so: „Alles was ich anschauere ist weg“. (Buser, 2007)

Schwierigkeiten im Alltag sind das Lesen und das Erkennen kleiner Details, da i.d.R. die (zentrale) Sehschärfe reduziert ist. Die Abb. 5 zeigt eine Simulation zum Zentralskotom.



(a) Normales Sehen

(b) Sehen mit Zentralskotom

Abbildung 5: Simulation eines Zentralskotoms

Röhrenförmig eingeschränktes Gesichtsfeld

Die Sehschärfe gibt nur bedingt Auskunft darüber, wie viel sehbehinderte Menschen in der Mobilität mit ihrer Sehleistung anfangen können. So kann eine Person mit einem stark eingeschränkten Gesichtsfeld unter Umständen kleine Details erkennen, hat aber

starke Einschränkungen in der Orientierung (z. Bsp.: Mühe eine Anzeigentafel zu finden und sich darauf zurechtzufinden). Ein röhrenförmig eingeschränktes Gesichtsfeld tritt vor allem bei Retinopathia Pigmentosa (RP) auf. Mit fortschreitender Erkrankung engt sich das Gesichtsfeld zunehmend ein und erschwert immer mehr die Orientierung. (Buser, 2007)



(a) Normales Sehen

(b) Sehen mit Röhrengesichtsfeld

Abbildung 6: Simulation eines Röhrengesichtsfelds

Ringförmig eingeschränktes Gesichtsfeld

Die Probleme beim Sehen mit einem ringförmigen Skotom sind sehr speziell. Eine Person kommt z.B. von links, verschwindet und ist plötzlich wieder da (Abb. 8, S. 22) Das macht Fußgängern Probleme und ist für Autofahrer gefährlich. Solche Gesichtsfeldausfälle werden oft nicht selber bemerkt und gelegentlich beim Augenarzt gar nicht diagnostiziert. (Buser, 2007)



(a) Normales Sehen

(b) Sehen mit Ringskotom

Abbildung 7: Simulation eines Ringskotoms



Abbildung 8: Simulation eines Ringskotoms bei bewegtem Objekt

2.5 Adaptation

Die Adaptation beschreibt die Anpassung des visuellen Systems an veränderte Sehbedingungen. Im Allgemeinen wird die Adaptation jedoch als Anpassung des Auges an verschiedene Leuchtdichteniveaus verstanden. (Goersch, 1996, S. 9)

Die Adaptation kann durch unterschiedliche Mechanismen erfolgen. Durch eine Veränderung der Pupillenöffnung von ca. 2 bis 8 mm im Durchmesser in jungen Lebensjahren kann der (in das Auge) eintretende Lichtstrom variiert werden. Eine lineare Änderung des Pupillendurchmessers hat eine quadratische Änderung des einfallenden Lichtstroms zur Folge. Die Eigenschaft die Pupille weit zu öffnen, lässt jedoch mit zunehmendem Alter nach (Altersmyosis, Abb. 9). (I.E.Loewenfeld, H.S.Thomson et al. eds, 1979) (Methling, 1996, S. 373)

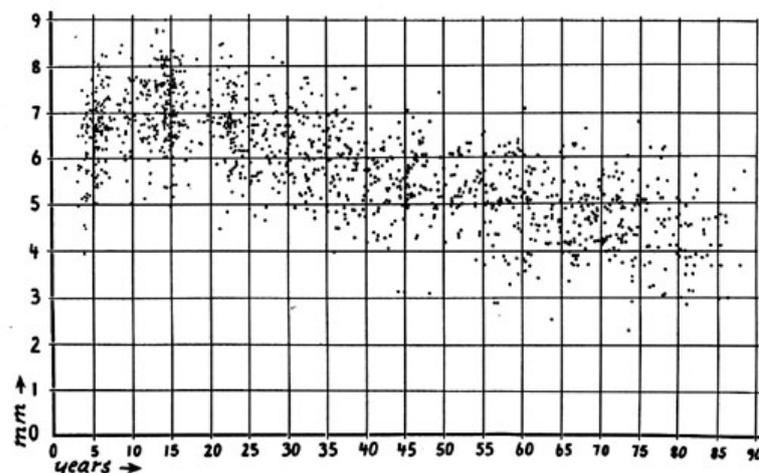


Abbildung 9: Pupillendurchmesser in Abhängigkeit vom Alter
(I.E.Loewenfeld, H.S.Thomson et al. eds, 1979)

Der Hauptmechanismus des visuellen Systems sich auf verändernde Leuchtdichteverhältnisse einzustellen, besteht im Vorhandensein von zwei verschiedenen Rezeptoren auf der Netzhaut, Stäbchen und Zapfen. Diese sind für unterschiedliche Leuchtdichte-

niveaus (Stäbchen für geringe und Zapfen für hohe Leuchtdichten) empfindlich. Diese beiden Rezeptoren der Retina können ihre eigene Empfindlichkeit an verschiedene Leuchtdichten in einem gewissen Bereich anpassen. Dies stellt die dritte Möglichkeit der Adaptation dar. Die Möglichkeit der Empfindlichkeitsänderung der Zapfen beträgt etwa 1:50 und der Stäbchen etwa 1:1000. (Goersch, 1996, S. 171) (Hauck, 2004, S. 8)

Bei Leuchtdichteveränderungen kann man in Hell- und Dunkeladaptation unterscheiden. Die Helladaptation von niedriger zu hoher Leuchtdichte ist, nach einer wenige Sekunden dauernden Sofortadaptation, innerhalb von ca. 6 Minuten vollständig abgeschlossen. Bei der Anpassung von hoher zu geringer Leuchtdichte, der Dunkeladaptation, dauert der gesamte Prozess deutlich länger (etwa 35 Minuten). Diesen Anpassungsprozess kann man in Sofort- und Daueradaptation unterteilen. Die zuerst eintretende Sofortadaptation beinhaltet die Empfindlichkeitsänderung der Zapfen in den ersten 5 Minuten. Danach erfolgt ein Übergang, auch Kohlrausch'ser Knick genannt, vom Zapfen- zum Stäbchensehen. (Abb. 6). Diese Phase vollzieht sich innerhalb von ca. 30 Minuten. (Methling, 1996, S. 362)

Es können drei Adaptationszustände unterschieden werden. Das photopische Sehen (Helladaptation) findet bei einer Leuchtdichte von $> 10 \text{ cd/m}^2$ statt. Zwischen 10^{-3} und 10 cd/m^2 erfolgt das mesopische Sehen (Dämmerungssehen). Bei einer Leuchtdichte von kleiner als 10^{-3} cd/m^2 ist unser Auge dunkeladaptiert, auch skotopisches Sehen genannt. Die dafür verantwortliche Leuchtdichte im Außenraum ist die Adaptationsleuchtdichte. Die Adaptation verläuft mit zunehmendem Alter, bei Ermüdung und Erkrankung langsamer und weniger stark ausgeprägt. (Methling, 1996, S. 8, 129, 362, 373, 379), (Paliaga, 1993, S. 24–31), (Röhler, 1995, S. 40–44)

Sehbehinderte Personen haben daher große Schwierigkeiten bei sehr stark unterschiedlichen Leuchtdichten im Gesichtsfeld. Für diese Personen ist zudem der rasche Wechsel von unterschiedlichen Helligkeiten problematisch.

Hat sich das Auge an die geringe Helligkeit (z.B. in einer U-Bahnstation) adaptiert, ist es beim Austritt ins Freie geblendet. Dieser Vorgang der Helladaptation kann bei sehbehinderten und älteren Personen verlangsamt sein. Auf Lichtverhältnisse im Freien eingestellt, entsteht (z.B. beim Begehen einer U-Bahnstation) zunächst die Empfindung großer Dunkelheit (Abb. 10 auf S. 24).



(a) An die Helligkeit der Unterführung adaptiert



(b) Die Helligkeit übersteigt (kurzfristig) die Adaptationsfähigkeit



(c) An die Tageslichthelligkeit adaptiert



(d) Die reduzierte Helligkeit übersteigt die Adaptationsfähigkeit beim Gang in die Unterführung

Abbildung 10: Simulation von Adaptationsproblemen beim Übergang von verschiedenen Helligkeitsverhältnissen

2.6 Licht und Beleuchtung

2.6.1 Lichttechnische Größen

Lichtstrom ϕ

Die von einer Lichtquelle ausgestrahlte Leistung - bewertet nach dem spektralen Hellempfindlichkeitsgrad des Auges - wird als Lichtstrom bezeichnet. (Goersch, 1996, S. 171), (Baer, 1996, S. 18)

$$\Phi = K_m \int_{380}^{780} \Phi_{e\lambda} \cdot V_\lambda \cdot d\lambda \quad (4)$$

$k_m=683 \text{ lm/W}$ - Photometrisches Strahlungsäquivalent

Lichtstärke I

Die Lichtstärke gibt die Eigenschaften der Leuchte bezüglich ihrer Abstrahlcharakteristik wieder, indem sie die Größe des von der Lichtquelle emittierten Lichtstromes zum durchstrahlten Raumwinkel angibt. (Goersch, 1996, S. 171), (Baer, 1996, S. 18)

$$I = \frac{\Phi}{\Omega} \quad (5)$$

Ω ...Raumwinkel

Beleuchtungsstärke E

Mit der Angabe der Beleuchtungsstärke wird die Beleuchtungsintensität (auftreffender Lichtstrom) im Verhältnis zur Fläche beschrieben. Die Beleuchtungsstärke ist von der Lichtstärke der Leuchte, von der Entfernung Leuchte - beleuchtete Fläche und von Einfallswinkel abhängig. (Goersch, 1996, S. 35), (Baer, 1996, S. 20)

$$E = \frac{\Phi}{A} \quad (6)$$

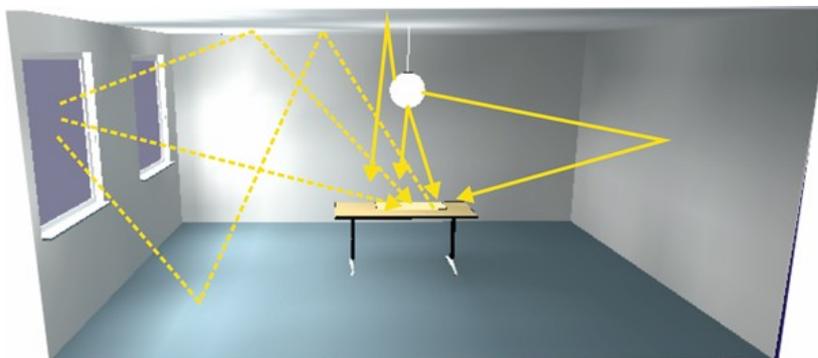


Abbildung 11: Schematische Darstellung der Beleuchtungsstärke (Buser u. Hauck, 2012)

Zylindrische Beleuchtungsstärke E_{Zyl}

"Die zylindrische Beleuchtungsstärke E_{RZ} ist als die mittlere Beleuchtungsstärke auf einer Mantelfläche eines vertikal stehenden Zylinders mit gegen Null gehenden Abmessungen definiert" (Baer, 1996, S. 122)

Eine gute, hohe zylindrische Beleuchtungsstärke ist für eine positive visuelle Kommunikation wichtig. (Austrian Standards Institute, 2011, S. 16) Vor allem hör-/sehingeschränkte Menschen verwenden Mimik und Gestik zur Unterstützung in der Kommunikation oder Lesen von den Lippen ab.

Eine vereinfachte Darstellung zur zylindrischen Beleuchtungsstärke ist in Abb. 12 auf S. 26 zu sehen.

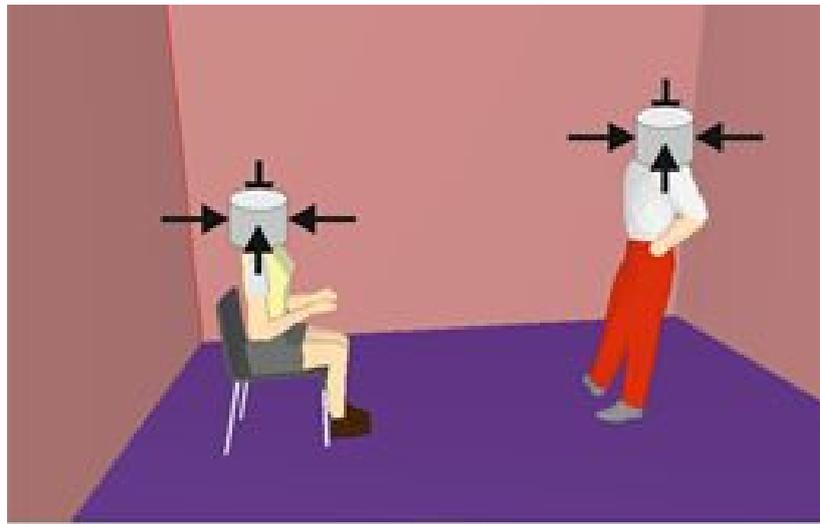


Abbildung 12: Schematische Darstellung zylindrische Beleuchtungsstärke (Buser u. Hauck, 2012)

Leuchtdichte L

Die Leuchtdichte stellt die einzige lichttechnische Größe dar, die tatsächlich wahrgenommen wird. Daher ist sie das Maß für den Helligkeitseindruck von selbstleuchtenden oder beleuchteten Flächen. Sie stellt das Verhältnis der von einer Fläche abgestrahlten Lichtstärke I zur Größe A dieser Fläche dar. Diese erscheint bei Beobachtung unter dem Winkel ϵ zur Flächennormalen verkleinert. (Goersch, 1996, S. 167), (Baer, 1996, S. 22)

$$L = \frac{I}{A \cdot \cos \epsilon} \quad (7)$$

Reflexionsgrad ρ

Der Reflexionsgrad gibt Auskunft darüber wie viel Licht eine Fläche mit bestimmten Materialeigenschaften zurück reflektiert. (Baer, 1996, S. 24), (Goersch, 1996, S. 237–238) Der Reflexionsgrad wird manchmal auch als LRV-Wert (light reflection value) bezeichnet und wird in Zahlenwerten von 0 bis 100 (%) angegeben.

Um den gleichen Helligkeitseindruck zu erzeugen benötigen dunkle Flächen (mit geringem Reflexionsgrad) eine höhere Beleuchtungsstärke im Vergleich zu hellen Flächen (mit höherem Reflexionsgrad).

Je nach Material und Oberflächenbeschaffenheit sind von vollständig diffuser Reflektion bis stark gerichtete Reflektion auch „Zwischenstufen“ möglich, welche hauptsächlich in der Praxis vorkommen.

Görsch definiert den Reflexionsgrad so:

" Verhältnis der an einer Grenzfläche reflektierten Strahlungsleistung Φ_ρ zur auftreffenden Strahlungsleistung Φ :" (Goersch, 1996, S. 237), (Baer, 1996, S. 24,30)

$$\rho = \frac{\Phi_\rho}{\Phi} \quad (8)$$

Für diffuse Flächen gilt folgender Zusammenhang:

$$L = \frac{E \cdot \rho}{\Pi} \quad (9)$$

Die lichttechnischen Größen im Überblick:

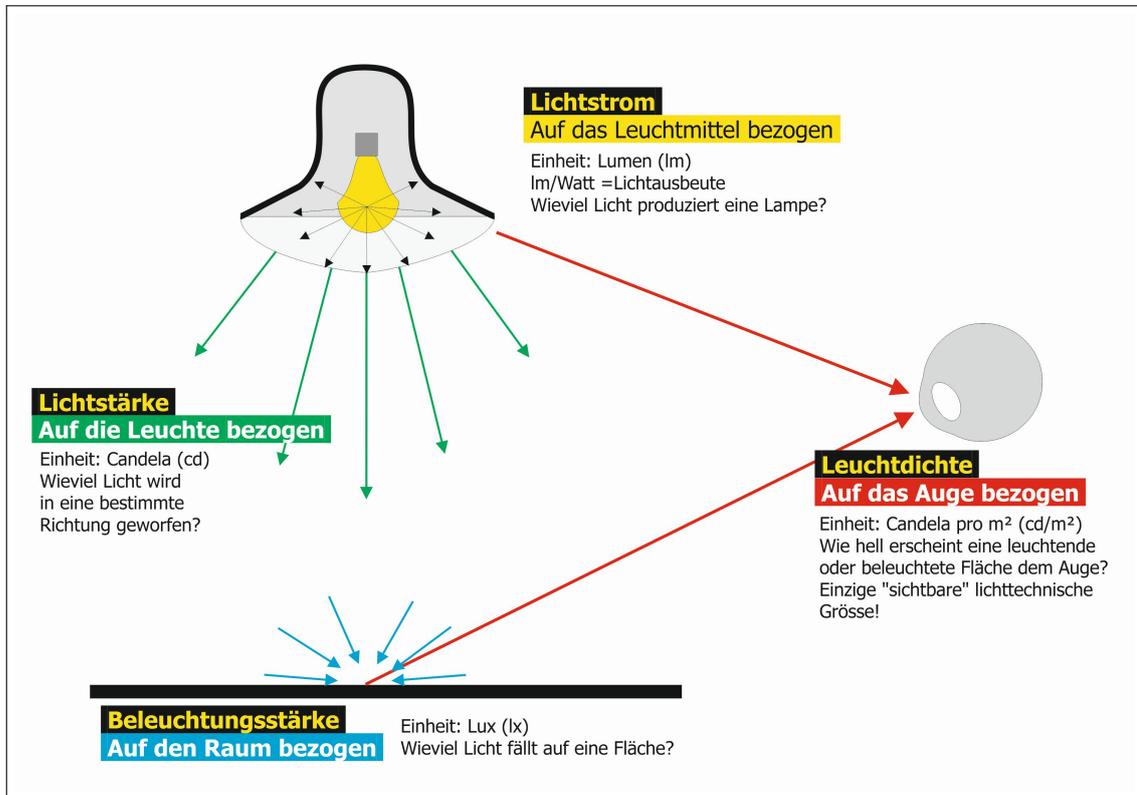


Abbildung 13: Vereinfachtes Modell der lichttechnischen Größen
(Buser, 2007, S. 10–21)

2.6.2 Arten von Beleuchtung - Abstrahlcharakteristiken

Direktbeleuchtung

Direktbeleuchtung bezeichnet man, wenn von den installierten Leuchten das Licht direkt auf eine Fläche (Nutzebene) abgestrahlt wird. Das Licht wird i.d.R. ausschließlich nach unten abgestrahlt. Eine Lichtstärke nach oben ist nicht oder kaum vorhanden (Abb. 14). Vorteilhaft ist die höhere Beleuchtungsstärke gegenüber einer Indirektbeleuchtung. (LTG - Lichttechnische Gesellschaft Österreich, 2010)

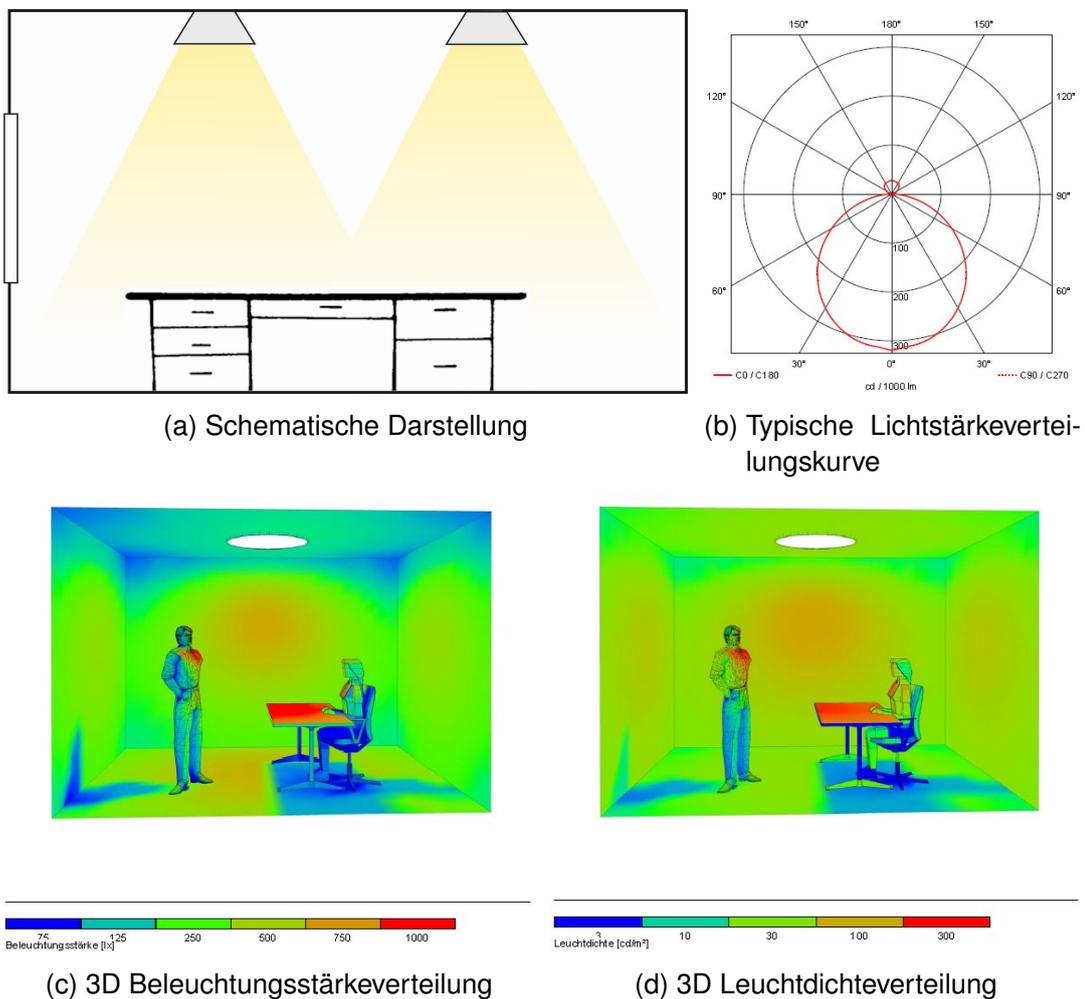


Abbildung 14: Schematische Darstellungen und Lichtstärkeverteilung bei Direktbeleuchtung

(Buser u. Hauck, 2012)

Nachteilig für sehbehinderte Menschen ist die meist höhere Blendung, ungleichmäßigere Leuchtdichtenverteilung im Raum (Decke bleibt dunkel) sowie die stärkere Schattenbildung.

Indirektbeleuchtung

Eine Beleuchtung wird vorwiegend indirekt bezeichnet, wenn das von den Leuchten abgestrahlte Licht zum großen Teil (>60%) über die Decke oder Wände abgestrahlt. Ein direkter Lichtanteil ist nicht oder kaum vorhanden (Abb. 15). (LTG - Lichttechnische Gesellschaft Österreich, 2010)

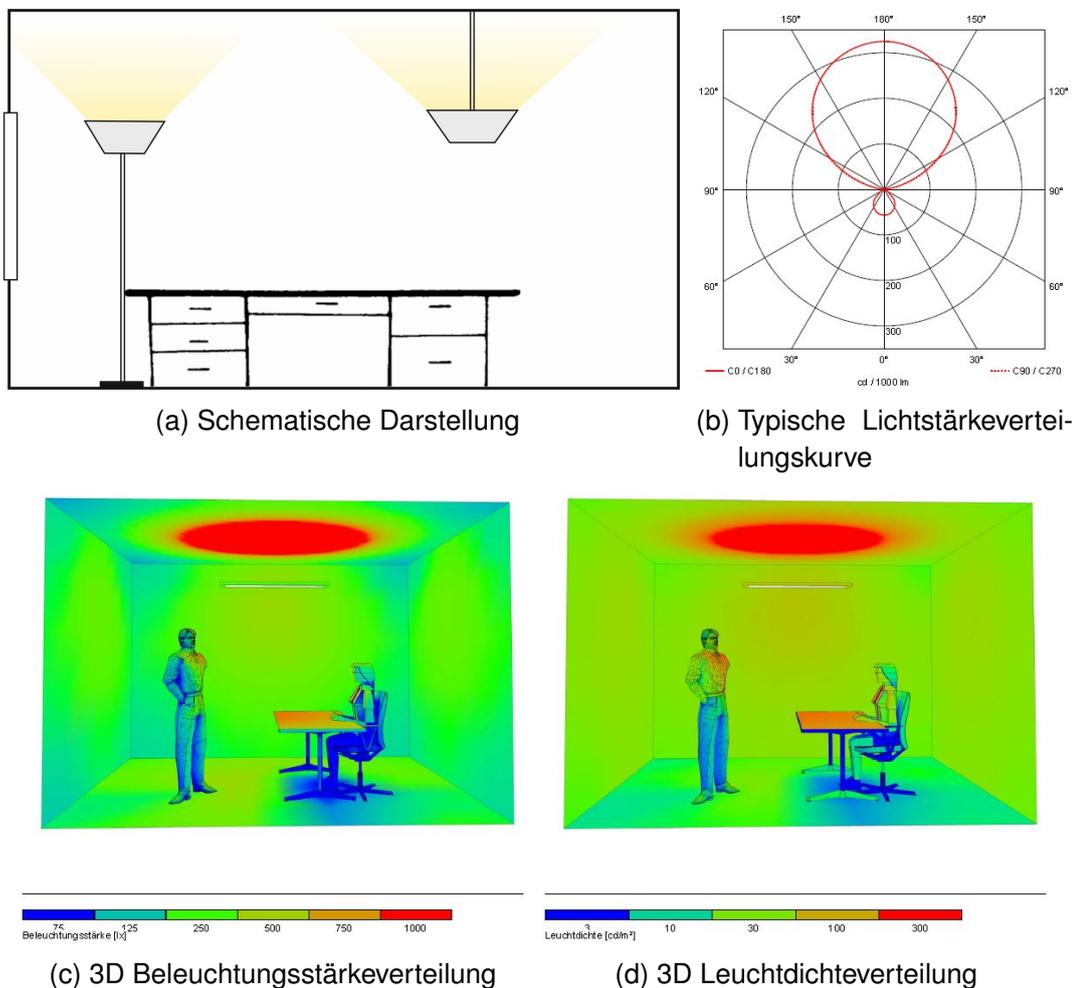


Abbildung 15: Schematische Darstellung und Lichtstärkeverteilung bei Indirektbeleuchtung

(Buser u. Hauck, 2012)

Nachteilig ist die geringere Beleuchtungsstärke auf der Nutzebene.

Vorteilhaft ist die sehr geringe Blendung, gleichmäßige Leuchtdichteverteilung im Raum sowie eine geringe Schattenbildung. Sehbehinderte Menschen haben bei einer vorwiegend indirekten Raumbelichtung i.d.R. eine bessere Sehleistung.

Direkt-/Indirektbeleuchtung

Bei einer Direkt-/Indirektbeleuchtung wird das Licht von den Leuchten sowohl direkt (nach unten) als auch indirekt (nach oben) abgestrahlt (Abb. 16). (LTG - Lichttechnische Gesellschaft Österreich, 2010) Somit werden die Vorteile von Direkt- und Indirekt-

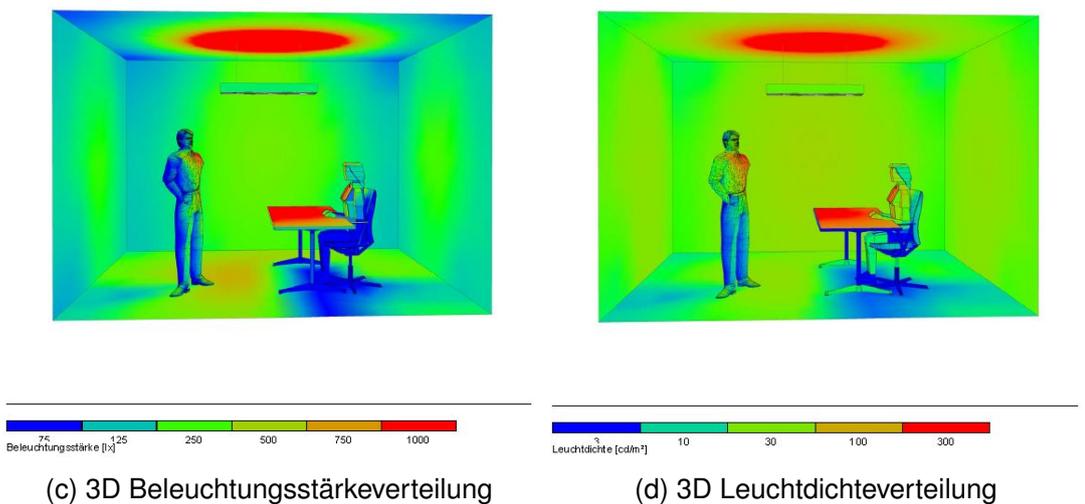
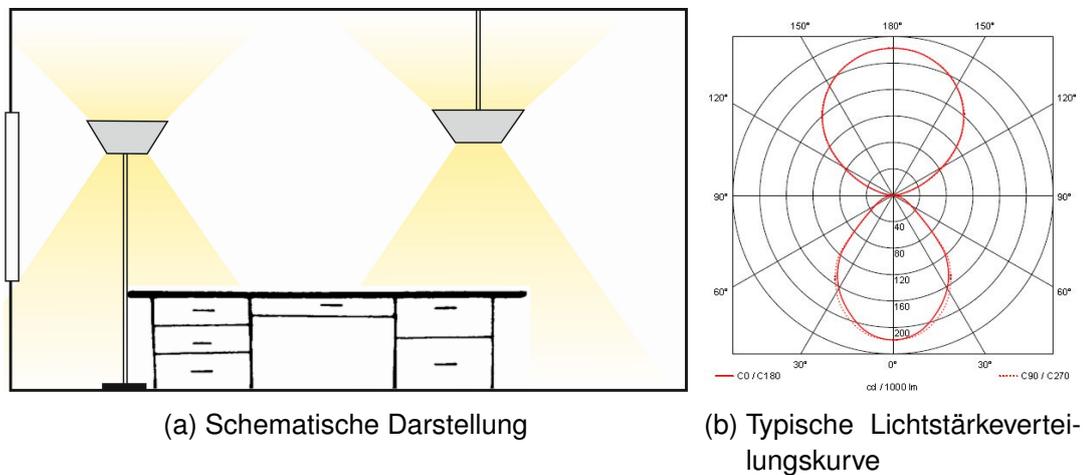


Abbildung 16: Schematische Darstellung und Lichtstärkeverteilung bei Indirekt-/Direktbeleuchtung (Buser u. Hauck, 2012)

beleuchtung miteinander vereint. Nennenswerte Nachteile gibt es nicht.

Für sehbehinderte Menschen wird ein Indirektanteil von ca. 60% bis 90% sehr angenehm empfunden und bevorzugt für eine Raumbelichtung ausgewählt.¹

2.7 Blendung

Den Begriff „Blendung“ assoziiert man mit etwas Störendem oder Unangenehmen (z.B. grelles Sonnenlicht), sodass eine Person verschiedene Dinge oder Sachverhalte nicht mehr erkennen kann.

Die DIN EN 12665 aus dem Jahr 2011 definiert Blendung so:

"Sehzustand, der als unangenehm empfunden wird oder eine Herabsetzung der Sehfunktion zur Folge hat, verursacht durch eine ungünstige Leuchtdichteverteilung oder durch zu hohe Kontraste" (Deutsches Institut für Normung, 2011)

Blendung wird durch unterschiedliche Leuchtdichten hervorgerufen und stört das visuelle System. Je nach Blendungsart kann dieser Störfaktor die Sehfunktionen nachweisbar reduzieren.

Fritz Buser definiert Blendung so:

„Blendung ist eine Situation, die die Adaptationsfähigkeit des visuellen Systems übersteigt.“ (Buser u. Hauck, 2012)

Sehbehinderte und ältere Personen leiden besonders unter Blendung. Blendung kann den Sehkomfort einschränken. Wir sprechen in diesem Fall von Unbehaglichkeitsblendung oder psychologischer Blendung. Bei stärkerer Blendung kann es zu einer Beeinträchtigung der Sehleistung kommen, hier liegt eine physiologische Blendung vor.

"Psychologische Blendung: Blendung, bei der ein unangenehmes Gefühl hervorgerufen wird, ohne dass damit eine merkbare Herabsetzung des Sehvermögens verbunden sein muss." (Deutsches Institut für Normung, 2011, S. 11)

Durch Trübungen brechender Medien im Auge und eine verminderte Leistungsfähigkeit der Netzhaut ist bei sehbehinderten Personen die Adaptation beeinträchtigt, was zu einer erhöhten Blendung führt. Blendung entsteht, wenn das Auge nicht in der Lage

¹Erfahrungswerte des Autors

ist, sich an die zeitliche und örtliche Helligkeitssituation anzupassen. Vor allem bei Innenraumbeleuchtung gilt folgende Aussage:

„Blendung entsteht meist nicht durch zu viel, sondern durch falsches Licht.“ (Buser u. Hauck, 2012)

In diesem Fall sprechen wir dann von Relativblendung.

Sehbehinderte Menschen leiden besonders unter Blendung. Einerseits kann Blendung den Sehkomfort (Unbehaglichkeitsblendung/ Psychologische Blendung) einschränken, andererseits kann es bei stärkerer Blendung zu einer Beeinträchtigung der Sehleistung kommen (physiologische Blendung).

Blendung kann auch nach der Ursache definiert werden: (Buser u. Hauck, 2012)

- Zu einer Absolutblendung kommt es, wenn die Leuchtdichte die Adaptationsfähigkeit des Auges überschreitet.
- Eine Relativblendung entsteht dann, wenn der Leuchtdichteunterschied im Gesichtsfeld zu groß ist.
- Eine Adaptationsblendung ist die Folge von zu schnell wechselnden Helligkeitssituationen.
- Streulichtblendung wird durch starke Lichtquellen verursacht, da Lichtstrahlen im Auge gestreut werden.
- Bei störenden Reflexbildern am Boden, an Wänden oder in Monitoren wird von Reflexblendung gesprochen.

Folgende Blendungsarten können unterschieden werden: (Goersch, 1996)

- **Direktblendung:** Ursache sind Leuchtdichten, die sich direkt im Gesichtsfeld befinden
- **Indirektblendung:** Entstehung durch Reflexionen von Lichtquellen an einer Oberfläche, wobei diese außerhalb des Gesichtsfeldes liegt
- **Absolutblendung:** intensive Blendungsform durch hohe Leuchtdichten, sodass keine Adaptation möglich ist und das visuelle Wahrnehmungsvermögen auch nach der Blendung für eine bestimmte Zeit beeinträchtigt bleibt
- **Adaptationsblendung:** kurzfristige Blendungserscheinung verursacht durch Leuchtdichten, auf die sich das visuelle System durch Adaptation einstellen kann

- **Simultan-/ Relativblendung:** Blendung aufgrund örtlich ungleicher aber zeitlich konstanter Leuchtdichten
- **Sukzessivblendung:** Blendung aufgrund zeitlich sich erhöhender Leuchtdichten
- **Infeldblendung:** Simultanblendung verursacht durch Flächen hoher Leuchtdichte, die sich im zentralen Gesichtsfeld befinden
- **Umfeldblendung:** Simultanblendung verursacht durch Flächen hoher Leuchtdichte, die sich im peripheren Gesichtsfeld befinden

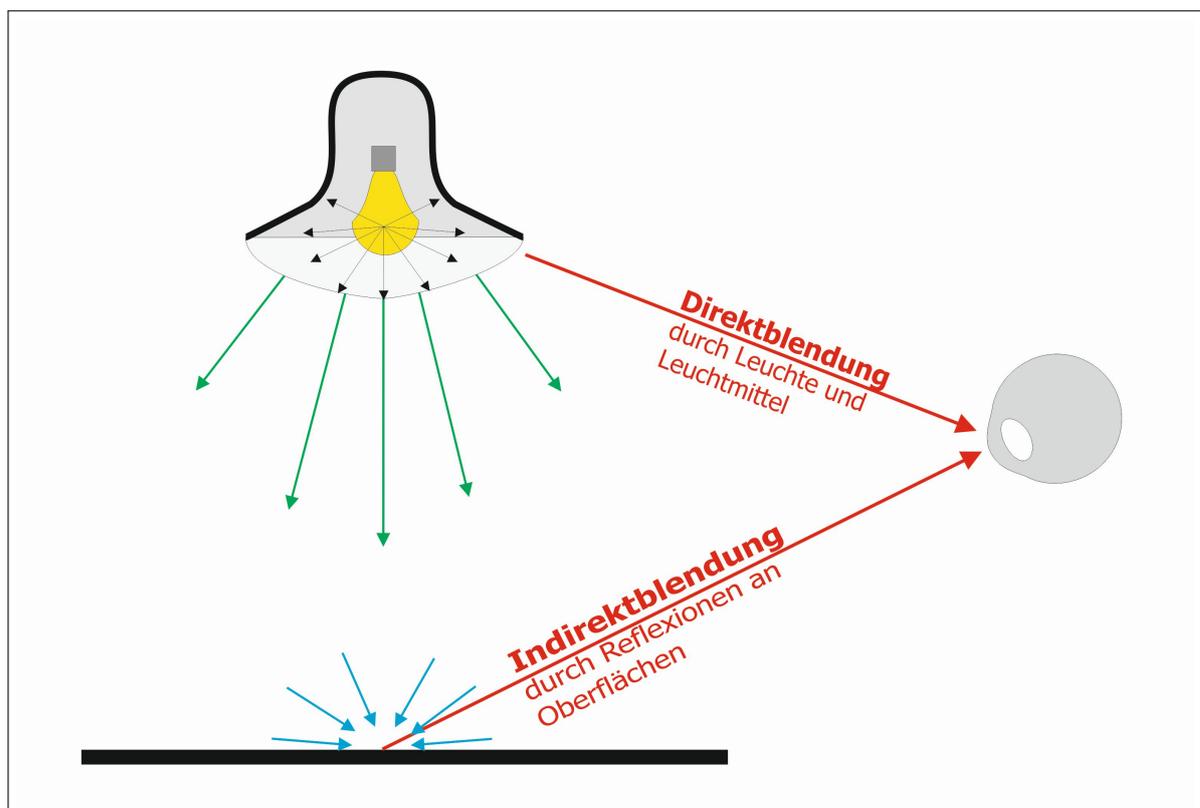


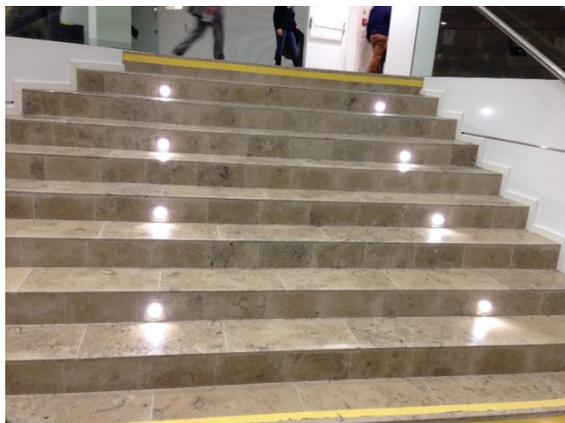
Abbildung 17: Schematische Darstellung: Blendung und lichttechnische Größen (Buser u. Hauck, 2012)

Meist liegt bei einer Blendungssituation in der Praxis mehrere der genannten Blendungsarten gleichzeitig vor (Abb.18).



(a) Adaptationsblending

(b) Direkt-, Indirekt- und Relativblending



(c) Direkt- und Relativblending



(d) Direkt-, Absolut- und Relativblending

Abbildung 18: Verschiedene Blendungsarten

2.7.1 Blendungsbewertung

Physiologische Blendung

Die physiologische Blendung ist die Blendungsbewertung unter dem Gesichtspunkt der Minderung von Sehfunktionen. (Baer, 1996, S. 62)

Der Blendungsgrad gibt dabei das Verhältnis der Kontrastschwelle ohne Blendung zu Kontrastschwelle mit Blendung an.

Die relative Erhöhung der Kontrastschwelle bei Blendung T_{bl} wird nach DIN 5340 beschrieben.

$$T_{bl} = \frac{K_{bl} - K_o}{K_o} \quad (10)$$

K_{bl} . . . Kontrastschwelle mit Blendung

K_o . . . Kontrastschwelle ohne Blendung

Die oben genannten Formeln beziehen sich auf normalsehende Personen. Ein Vermerk, ob diese Gesetzmäßigkeiten auch bei sehgeschwachen Personen uneingeschränkt Gültigkeit haben, wurde nicht herausgefunden. (Hauck, 2009, S. 18–19)

Ein Verfahren, welches große Sehzeichen verwendet, die für sehbehinderte Menschen geeignet ist, wurde von Hauck (2009) entwickelt.

Die Kontrastschwelle beträgt für kleine bis mittlere Gegenstände nach BLACKWELL ca. 1 %. (Blackwell, 1946).

Anstiege der Kontrastschwelle durch eine Blendlichtquelle müssen einen Wert von ca. 2% überschreiten, damit sie zu einer signifikanten physiologischen Blendung führen. (Schmidt-Clausen, 1974)

Psychologische Blendung - UGR-Verfahren

Unter psychologischer Blendung versteht man eine Blendungsbewertung allein unter dem Gesichtspunkt der Störempfindung. (Deutsches Institut für Normung, 2011, S. 11) Heutzutage wird fast ausschließlich das UGR-Verfahren für die Bewertung der Blendung in Innenräumen angewendet. Das Verfahren hat sich international als ein praxisorientiertes Bewertungsverfahren für die psychologische Blendung durchgesetzt.

Für die Ermittlung der psychologischen Blendung nach UGR wird die Leuchtdichte der Blendquelle (L_s) und die Hintergrundleuchtdichte (L_u) bestimmt. Weiterhin spielen die Größe(n) der Blendquelle(n) (ω) und deren Position im Gesichtsfeld bzw. Position zur Blickrichtung (p) eine entscheidende Rolle. Durch die logarithmische Berechnung der UGR-Werte ist das Weber-Fechnersche-Gesetz berücksichtigt. (CIE-International Commission on Illumination, 1995)

$$UGR = 8 \log \cdot \frac{0,25}{L_u} \cdot \sum \frac{L_s^2 \cdot \omega}{p^2} \quad (11)$$

Der Positionsindex P wird durch Interpolation der Tabelle (Abb. 3 auf S. 37) gewonnen. Dies sind T/R und H/R, wobei R, T, H ein Koordinatensystem mit dem Beobachteraue als Mittelpunkt bilden. R ist der auf die horizontale Blickrichtung projizierte Abstand zum Lichtschwerpunkt, T der horizontale Abstand des Lichtschwerpunkts zur Blickrichtung und H ihre Höhe des Lichtschwerpunkts über dem Beobachteraue.

Tabelle 3: „Positionsindex für die UGR Blendungsbewertung“ (CIE-International Commission on Illumination, 1995)

		T/R															
		0	0,2	0,4	0,6	0,8	1	1,2	1,4	1,6	1,8	2	2,2	2,4	2,6	2,8	3
H/R	1,9						16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
	1,8			16	15,4	15,1	15	15	15	15,1	15,1	15,1	15,2	15,2	15,3	15,3	15,3
	1,7	16,2	15,7	14,6	14,1	14	14	14	14,1	14,2	14,2	14,3	14,4	14,5	14,5	14,5	14,5
	1,6	14,7	14	13,2	13	12,8	13	13,1	13,3	13,4	13,5	13,6	13,7	13,8	13,8	13,8	13,8
	1,5	13,2	12,7	11,9	11,7	11,8	11,9	12,1	12,4	12,6	12,8	12,9	12,9	13	13	13	13
	1,4	11,7	11,2	10,6	10,5	10,6	10,8	11	11,4	11,8	11,9	12	12,1	12,3	12,3	12,4	12,4
	1,3	10,4	9,9	9,4	9,4	9,5	9,8	10	10,4	10,8	11	11,1	11,3	11,5	11,6	11,7	11,7
	1,2	9,3	8,8	8,3	8,4	8,6	8,8	9,2	9,5	9,8	10,1	10,4	10,6	10,8	10,9	11	11
	1,1	8,1	7,6	7,3	7,4	7,5	7,9	8,3	8,7	9	9,4	9,6	9,9	10	10,1	10,2	10,2
	1	7	6,5	6,4	6,4	6,6	7	7,5	8	8,4	8,7	8,9	9,2	9,4	9,6	9,7	9,7
	0,9	6	5,5	5,4	5,5	5,8	6,2	6,7	7,3	7,7	8	8,3	8,6	8,8	9	9,1	9,1
	0,8	5	4,6	4,6	4,8	5,1	5,6	6,1	6,5	7	7,4	7,7	8	8,2	8,4	8,5	8,6
	0,7	4,2	3,9	3,9	4,1	4,5	5	5,5	5,9	6,3	6,8	7,1	7,4	7,5	7,7	7,7	7,8
	0,6	3,5	3,2	3,3	3,6	3,9	4,4	4,9	5,4	5,8	6,1	6,4	6,7	6,9	7	7,1	7,2
	0,5	2,9	2,7	2,8	3,1	3,5	3,9	4,4	4,9	5,2	5,6	5,8	6,1	6,3	6,5	6,6	6,6
	0,4	2,4	2,2	2,4	2,7	3,1	3,5	3,9	4,4	4,8	5,1	5,4	5,6	5,8	6	6,1	6,1
	0,3	1,9	1,8	2	2,3	2,7	3,1	3,5	3,9	4,3	4,7	4,9	5,2	5,4	5,5	5,6	5,7
0,2	1,5	1,5	1,7	2	2,3	2,8	3,1	3,5	3,8	4,2	4,5	4,7	4,9	5,1	5,2	5,2	
0,1	1,3	1,3	1,5	1,7	2	2,4	2,8	3,1	3,4	3,7	4	4,3	4,4	4,6	4,6	4,7	
0	1	1,1	1,3	1,6	1,8	2,1	2,4	2,7	3	3,3	3,5	3,8	4	4,1	4,2	4,2	

Der für die Praxis relevante UGR-Wertebereich befindet sich im Intervall zwischen 10 und 28. Sowohl bei normalsichtigen als auch bei sehbehinderten Menschen erzeugen Leuchten mit UGR kleiner 10 keine merkbare psychologische Blendung. Für einen merklichen Empfindungsunterschied müssen die Zahlenwerte um mindestens 3 UGR-Einheiten differieren (Abb. 4. Typische Grenzwerte aus der Lichttechnik sind in Abb. 5 auf S. 38 dargestellt. CIE-International Commission on Illumination (1995) (Baer, 1996, S. 64–67) (Hauck, 2009, S. 15–17)

Tabelle 4: „Einteilung und Bewertung der psychologischen Blendung nach der Be-Boer-Skala“ (IFA - Institut für Arbeitsschutz, 2010, S. 9)

Grad	Psychologische Empfindung/Bewertung	Originalbezeichnung bzw. in anderen Publikationen verwendet	Bedeutung
1	Unerträglich	Unbearable	Bad
2			
3	Störend	Distracting/disturbing*	Inadequate
4			
5	Gerade akzeptabel	Just acceptable/just admissible*	Fair
6			
7	Zufriedenstellend	Satisfactory/acceptable	Good
8			
9	Gerade bemerkbar	Unnoticeable/just noticeable/ noticeable*	Excellent

Tabelle 5: UGR Grenzwerte aus der Lichttechnik je visuellem Anspruch der Sehaufgabe (Austrian Standards Institute, 2011)

Typische Tätigkeiten	UGR – Grenzwert
sehr anspruchsvolle Sehaufgaben z.B.: Technisches Zeichnen	≤ 16
Aufgaben mit hohem visuellen Anspruch: z.B.: Lesen, Schreiben, Unterrichtsräume	≤ 19
Aufgaben mit mittlerem visuellen Anspruch z.B.: Arbeiten in Industrie und Handwerk, Empfang	≤ 22
Aufgaben mit niedrigem visuellen Anspruch z.B.: grobes Arbeiten, Treppen	≤ 25
nicht ständig besetzte Arbeitsplätze – Aufgaben mit niedrigem visuellen Anspruch z.B.: Flure, Verkehrswege	≤ 28

2.7.2 Messverfahren zur Überprüfung des Kontrastsehens bei Blendung

In der DIN 58220, Teil 7 wird das mesopische Kontrastsehen ohne und mit Blendung definiert. Es wird mit *Landolt*tringen vom Visuswert 0,1 getestet welche in 4 Kontraststufen dargeboten werden. (Deutsches Institut für Normung, 2009a) Dieses Verfahren ist für sehbehinderte Personen nicht geeignet, da die *Landolt*tringe für diese Zielgruppe deutlich zu klein sind.

2009 wurde vom Autor (aufgrund fehlender geeigneter Testverfahren zur Bestimmung des Kontrastsehens sehbehinderter Menschen bei Blendung) die Kontrastschwelle (mittels Freiburg-Contrast-Test mit einer zusätzlichen Blendquelle (Ringlicht) für Untersuchungen mit sehbehinderten Probanden erfolgreich eingesetzt. Es konnten verschiedenen Blendungen, welche bestimmten UGR-Blendwerten entsprachen, dargeboten werden. (Hauck, 2009, S. 26–29)

2.7.3 Blendempfindlichkeit und Klassifizierung der Blendempfindlichkeit

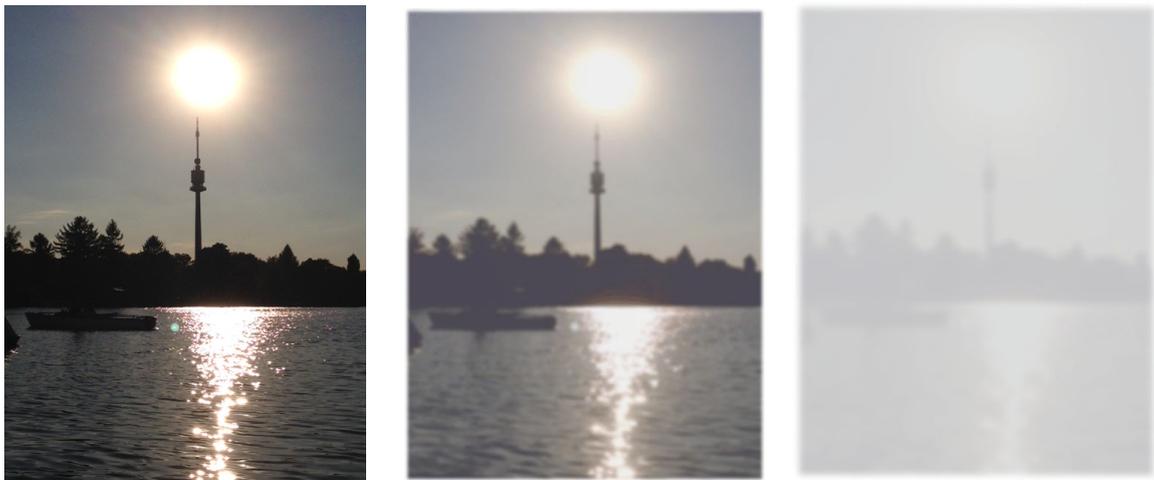
Die Blendungsempfindlichkeit wird als

"Nicht näher definiertes Maß für die Reaktion beim Erreichen der Blendungsleuchtdichte." (Goersch, 1996, S. 45)

definiert.

Im Allgemeinen wird die Blendempfindlichkeit als Maß für die Störempfindung oder Beeinträchtigung der Sehleistung durch sehr hohe Helligkeiten/Leuchtdichten (Absolutblendung) oder durch stark unterschiedliche Helligkeiten/Leuchtdichten im Gesichtsfeld (Relativblendung) verstanden.

Ein Großteil der sehbehinderten Menschen haben eine erhöhte Blendempfindlichkeit (Hauck, 2009) (siehe auch Kap. 4.1.2, 4.2.4 und 4.2.5).



(a) Normales Sehen ohne erhöhte Blendempfindlichkeit (b) Sehen bei erhöhter Blendempfindlichkeit (c) Sehen bei stark erhöhter Blendempfindlichkeit

Abbildung 19: Simulation Blendempfindlichkeit

Grad der Blendempfindlichkeit nach *Hauck* - (GBE_{Hauck})

Mit dem Grad der Blendempfindlichkeit nach *Hauck* (GBE_{Hauck}) ist es möglich, die Blendempfindlichkeit von normalsehenden und sehbehinderten Menschen zu klassifizieren. Dieses Verfahren ist im Rahmen der Masterarbeit des Autors im Jahr 2009 entstanden.

Als Maßzahl für die Blendung wurde der Blendwert nach *Hauck* (BLW_{Hauck}) eingeführt. Dieser Wert wird mit Gleichung (12) berechnet. Hierfür wird die relative Erhöhung der Kontrastschwelle (T_{bl}) mit der Differenz aus $K_{bl} - K_o$ multipliziert. Der daraus entstehende Zahlenwert ist ein Maß für die physiologische Blendung. Je höher diese Zahl ist, desto höher ist die physiologische Blendung.

$$BLW_{Hauck} = T_{bl} \cdot (K_{bl} - K_o) = \frac{K_{bl} - K_o}{K_o} \cdot (K_{bl} - K_o) \quad (12)$$

K_{bl} ... Kontrastschwelle mit Blendung

K_o ... Kontrastschwelle ohne Blendung

Anmerkung: Kontrast nach Michelson; Alle Kontrastwerte sind in Prozentwerten in die Formel einzusetzen

Um den „Grad der Blendempfindlichkeit“ einzuschätzen, wurde eine Klassifizierung erarbeitet (Abb.6), welche es ermöglicht die Blendempfindlichkeit anschaulich darzustellen. (Hauck, 2009)

Tabelle 6: Einteilung Grad der Blendempfindlichkeit nach Hauck (Hauck, 2009, S. 42)

Grad der Blendempfindlichkeit nach Hauck GBE_{Hauck}	Blendwert nach Hauck BLW_{Hauck}	Bedeutung
Grad 0	≤ 1	keine erhöhte Blendempfindlichkeit
Grad 1	$> 1 \leq 5$	gering erhöhte Blendempfindlichkeit
Grad 2	$> 5 \leq 10$	erhöhte Blendempfindlichkeit
Grad 3	$> 10 \leq 20$	hohe Blendempfindlichkeit
Grad 4	> 20	sehr hohe Blendempfindlichkeit

2.8 Kontrast

Unterschiedsschwelle/Leuchtdichteunterschiedsschwelle

“Die Unterschiedsschwelle ist der kleinste wahrnehmbare Unterschied zweier gleichartiger Empfindungen. Die Unterschiedsschwelle wird durch diejenige Reizänderung gekennzeichnet, die nötig ist, um den Reiz im Vergleich zum Ausgangsreiz als größer oder kleiner zu empfinden. Die Leuchtdichteunterschiedsschwelle ist der kleinste, unter gegebenen Bedingungen, wahrnehmbare Leuchtdichteunterschied (Gleichung (13)). Die Kehrwerte beschreiben jeweils die dazugehörige Empfindlichkeit. Die Leuchtdichteunterschiedsschwelle ΔL wird wesentlich durch die Leuchtdichte des Umfeldes bestimmt und hat ihr Minimum ΔL_{\min} , wenn die Umfeldleuchtdichte ungefähr dem Mittelwert zwischen L_{\max} und L_{\min} entspricht“ (Goersch, 1996, S. 167,168; S. 297)

$$\Delta L = L_{\max} - L_{\min} \quad (13)$$

2.8.1 Photometrischer Kontrast

"Definierte Beziehung zwischen örtlich oder zeitlich unterschiedlichen Leuchtdichten im Gesichtsfeld. Die Definition richtet sich nach dem Anwendungszweck. Zur Anwendung kommen unter anderem der *Michelson*-Kontrast, der *Weber*-Kontrast und das Verhältnis K von höchster Leuchtdichte L_{\max} zu niedrigster Leuchtdichte L_{\min} (...)" (Goersch, 1996, S. 153)

Weitere Berechnungsmethoden und Kontrastbestimmungsmöglichkeiten sind im Kapitel 2.8.3 „Derzeitige Kontrastbestimmung“ ab Seite 42 dargestellt.

2.8.2 Physiologischer Kontrast

"Der physiologische Kontrast ist ein durch die Reizverteilung bedingtes Phänomen, das beim Betrachten von Feldern ungleicher Helligkeit oder Farbart auftritt. Diese Art des Kontrastes unterliegt nicht der örtlichen und zeitlichen Reizverteilung der Netzhaut.

Nach der Art der Empfindung sind zu unterscheiden: Helligkeitskontrast und Farbkontrast, nach der örtlichen und zeitlichen Zuordnung der Reize: Metakontrast, Simultankontrast und Sukzessivkontrast." (Goersch, 1996, S. 153)

2.8.3 Derzeitige Kontrastbestimmung

Der photometrische Kontrast kann mittels Kontrastformel bestimmt und berechnet werden. Es sind mehrere Kontrastformeln bekannt, die unterschiedliche Ergebnisse für die gleiche Situation liefern können. Jedoch berücksichtigt keine dieser Formeln den Adaptationszustand des Auges und die Leuchtdichtenverhältnisse im Gesichtsfeld, was für die Wahrnehmung des Kontrasts eine entscheidende Bedeutung hat. Nachfolgend werden die momentan häufig zur Anwendung kommenden Formeln zur Berechnung des Kontrasts vorgestellt.

Die Michelson-Formel

Diese Kontrastdefinition (14) findet in der Praxis häufig Anwendung. Vor allem bei Streifenmustern sollte diese Formel verwendet werden. Von Vorteil ist, dass man sowohl Leuchtdichtewerte als auch den Reflexionsgrad von Materialien einsetzen kann. Die Ergebnisse liegen immer zwischen 0 und 1. Nachteilig ist diese Formel bei sehr geringen Reflexionsgraden (z.B. 1% vs. 5% - beide sind de facto schwarz), da ein (zu) hoher Kontrast berechnet wird, welcher mit dem subjektiven Eindruck nicht übereinstimmt. (Methling, 1996, S. 297)

Michelson-Kontrast:

$$K_M = \frac{L_{\text{Max}} - L_{\text{Min}}}{L_{\text{Max}} + L_{\text{Min}}} \quad (14)$$

Die Weber-Formel

Die Kontrastdefinition nach *Weber* (15) wird dann angewendet, wenn man eindeutig nach In- und Umfeld unterscheiden kann. Auch hier werden (analog zur *Michelson*-Formel (14)) zu hohe Kontrastwerte bei geringen Leuchtdichten im einem Umfeld mit Leuchtdichten im photopischen Bereich ermittelt. Es existieren verschiedene Interpretationen dieser Formel, daher wird in dieser Arbeit eine allgemeine Variante verwendet. (Methling, 1996, S. 296)

Weber-Kontrast:

$$K_W = \frac{L_{\text{Max}} - L_{\text{Min}}}{L_{\text{Max}}} \quad (15)$$

Die Bowmann-Sapolinski-Formel

Die Grundlage dieser Kontrastdefinition (16) ist die Kontrast-Formel nach *Bowmann*. Die Basis bilden Versuche mittels verschiedener Kontrasttafeln. (Sapolinski, 2008)

Die Werte können von 0% bis 200% Kontrast annehmen. Im deutschsprachigen Raum ist ein Kontrastwert von über 100% eher nicht gebräuchlich.

Für die Berechnung sind Reflexionswerte in die Formel einzusetzen. Leuchtdichtewerte für die Berechnung des Kontrasts, sind scheinbar nicht in die Formel einsetzbar. Daher

könnten Kontraste auf transparenten, teiltransparenten und selbstleuchtenden Flächen nicht mit dieser Variante bestimmt werden.

Weiterhin bleibt unklar, unter welchen lichttechnischen Bedingungen die Untersuchungen von *J. Sapolinski* durchgeführt wurden. (Sapolinski, 2008)

Bowmann-Sapolinski-Kontrast:

$$K_{BS} = \frac{250 \cdot |Y_2 - Y_1|}{Y_1 + Y_2 + 25} \quad (16)$$

Die LRV-Differenz-Formel

Die „LRV-Differenz-Formel“² (17) ist in der aktuellen ÖNorm für barrierefreies Bauen (ÖNorm B 1600) und ISO-Norm 21542 zu finden. Hier werden LRV-Werte (= Reflexionsgrad) von Materialien subtrahiert. Die Ergebnisse liegen immer zwischen 0% und 100% Kontrast. (Austrian Standards Institute, 2013)

LRV-Kontrast:

$$K_{LRV\text{Differenz}} = LRV_1 - LRV_2 \quad (17)$$

Ob diese Art der Berechnung sinnvoll ist, gilt zu hinterfragen. A. Stütz beschreibt den Kontrast als Leuchtdichteverhältnis.

"Die reine Differenz der Leuchtdichten (L1 - L2) gibt keine sinnvolle Maßzahl, sie muss in Relation zur allgemeinen Leuchtdichte im Gesichtsfeld, nach der sich die Adaption des Auges richtet, gebracht werden" (Stütz, 2010, S. 16)

In der ÖNorm sind Kontrastwerte von 30 % und 50 % als typische Grenzwerte definiert. Dies hat den Nachteil, dass Farben mit LRV von ca. 50 (wie z.B. gelb) bei einem Grenzwert von K=50 % faktisch nicht zur Anwendung kommen, da die Kontrastwerte in der Praxis kaum erreicht werden können.

Ein weiterer Nachteil ist, dass ausschließlich LRV-Werte in die Formel eingesetzt werden können (Leuchtdichtewerte sind nicht möglich). Daher können Kontraste auf transparenten, teiltransparenten und selbstleuchtenden Flächen nicht mit dieser Variante bestimmt

²Die Formel wurde vom Autor so genannt, da keine spezielle Bezeichnung für diese Formel recherchiert werden konnte

werden. Eine alternative Berechnungsmethode ist in der aktuellen ÖNorm B 1600 (2013) nicht definiert.

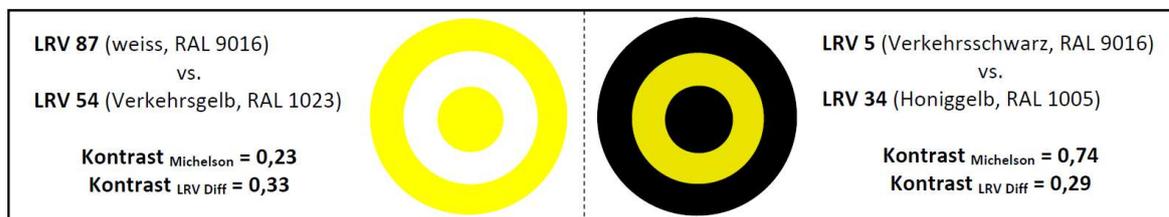


Abbildung 20: Beispiel für LRV-Werte zur Kontrastberechnung

Tabelle 7: Vergleich der Kontrastwerte am Beispiel Abb. 20

Kontrast	Abb. 20 links	Abb. 20 rechts
LRV-Differenz	0,33	0,29
Michelson-Kontrast	0,23	0,74

Diese Berechnungsmethode suggeriert bei hohen LRV-Werten unter Umständen zu hohe Kontrastwerte. Man stelle sich hierzu ein Verkehrsweiß (LRV ca. 87) und ein Verkehrsgelb (LRV ca. 54) vor. Nach der Berechnung ist hier ein Kontrast von 33% zu erwarten und könnte lt. Norm für Kontrastierungen mit dem Grenzwert von 30% eingesetzt werden. In der Praxis stellt ein „Weiß“ auf „Gelb“ für sehbehinderte Menschen keinen guten Kontrast dar (Abb. 20 links).³

Bei geringen LRV-Werten der Testflächen (z.B. LRV1 = 5 und LRV2 = 34) ergibt sich ein LRV-Kontrast von 29%. Vergleichend zum vorhergehenden Beispiel ist hier der subjektive Kontrast höher (Abb. 20 rechts). Lt. ÖNorm B1600 könnte man diese Kontrastvariante nicht einsetzen.

In Feldversuchen mit sehbehinderten Personen wurde ein Kontrast von Gelb auf dunklem Hintergrund positiv bewertet. (Vogelauer u. a., 2016)

Raumkontrast nach Stütz

“Der Raumkontrast nach *Stütz* (18) bezieht erstmals die Leuchtdichte im Gesichtsfeld in die Kontrastberechnung mit ein. Der Messwinkel für die Leucht-

³Es ist grundsätzlich schwierig, korrekte LRV Werte und Farben mittels Standard-Computersoftware zu erzeugen. Die Darstellung basiert auf CMYK-Farbwerten lt. Recherche aus dem Internet (<http://rgb.to>). Je nach PC-Bildschirm oder Blickwinkel können unterschiedliche Farb- und Helligkeitseindrücke entstehen. In der Druckversion können Abweichungen durch die Druckqualität je nach Art des Druckers/Drucksystems auftreten.

dichte im Gesichtsfeld wird zwischen 0,1 sr und 1 sr empfohlen.“ (Stütz, 2010, S. 18)

Der Kontrast kann Werte zwischen 0 und bis zu 10 (in Extremfällen auch über 100) annehmen. Werte über 1,0 sind ungewohnt und wenig gebräuchlich.

Der empfohlene Messwinkelbereich für die Leuchtdichte im Gesichtsfeld ist relativ groß. Der Messbereich vom 0,1 bis 1 sr ergibt umgerechnet einen Öffnungswinkel von ca. 20° bis 65°. Eine Begründung für diesen Messbereich konnte in der Literatur nicht gefunden werden. Für Berechnung des Kontrasts müssen ausschließlich Leuchtdichtewerte verwendet werden. (Stütz, 2010)

Raumkontrast nach Stütz:

$$K_{\text{St}} = \frac{L_{\text{Max}} - L_{\text{Min}}}{L_{\text{Raum}}} \quad (18)$$

Zusammenfassung bestehende Kontrastdefinitionen

Die Formeln (14) bis (17) beschreiben einen „Materialkontrast“ bzw. „Objektkontrast“. Die Leuchtdichte im Umfeld/Umgebung spielt keine Rolle. Einige Probleme in der Praxis können damit nicht hinreichend beschrieben werden.

Der Raumkontrast nach *Stütz* (18) bezieht erstmals die Leuchtdichte im Gesichtsfeld mit in die Kontrastberechnung ein. Die fehlende Erklärung zum Messbereich der Leuchtdichte im Gesichtsfeld sowie ungewohnte Ergebnisse größer 1,0 machen die Anwendung „unsicher“.

In Summe erscheint die *Michelson*-Kontrastformel die sinnvollsten Ergebnisse der bekannten Kontrastdefinitionen zu liefern. Zudem können Leuchtdichte- und Reflexionswerte in die Formel eingesetzt werden. Diese Definition ist international verbreitet und findet häufig ihre Anwendung auch in diversen Normen (DIN 32975 (Deutsches Institut für Normung, 2009c, S. 7) und SIA 500 (Schweizerischer NormundArchitektenverein, 2009)].

Nachteilig ist, dass diese Formel bei sehr geringen Reflexionsgraden (z. Bsp. 1 % vs. 5 % (beide sind de facto schwarz) ergeben ein $K_M = 67\%$) ein zu hoher Kontrast berechnet wird, welcher mit dem subjektiven Eindruck nicht übereinstimmt. Dieser Umstand lässt sich durch die Festlegung eines Minimalwertes für den Reflektionsgrad der helleren Fläche kompensieren. Diese Art der Anwendung wurde z.B. bei der Schweizer Norm

SIA 500 (Schweizerischer Normund Architektenverein, 2009, S.36) und DIN 32975 (Deutsches Institut für Normung, 2009c, S. 8) umgesetzt.

2.8.4 Kontrastempfindlichkeit und -funktion

Die Kontrastempfindlichkeit wird durch den Kehrwert der Kontrastschwelle (geringster wahrnehmbarer Leuchtdichteunterschied) beschrieben. Je nachdem welche Leuchtdichteverhältnisse vorliegen, bezieht sich die Kontrastempfindlichkeit auf den Weber- oder Michelsonkontrast. In der Praxis kommt häufig der Michelsonkontrast zur Anwendung. Die Kontrastempfindlichkeit ist umso höher, je niedriger der notwendige Kontrast ist, um ein Gittermuster aufzulösen oder ein Sehzeichen richtig zu erkennen.

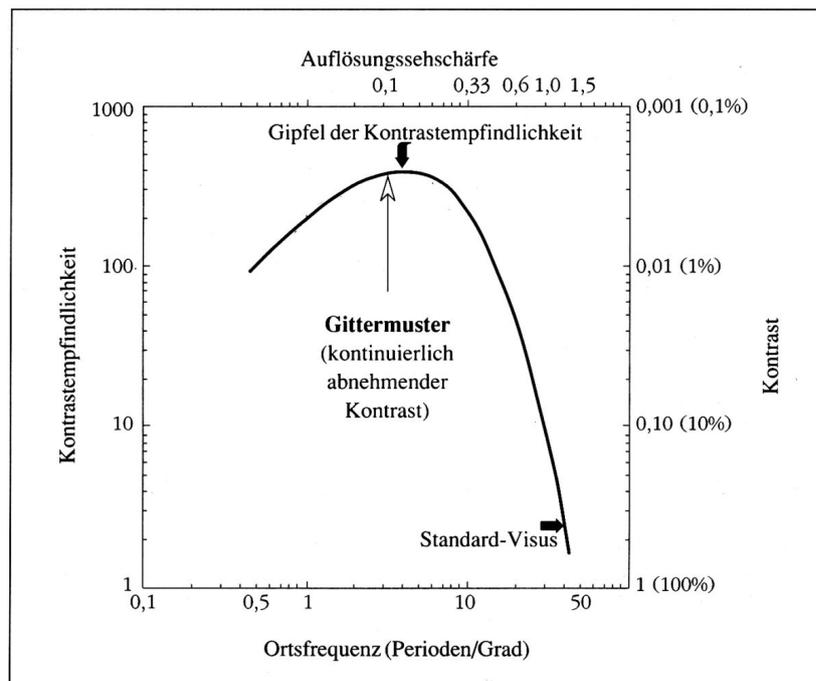


Abbildung 21: Typische Kontrastempfindlichkeitsfunktion einer normalsehenden Person (Paliaga, 1993)

Die Kontrastempfindlichkeitsfunktion (Ortskurve) ergibt sich, indem man jeweils die Kontrastschwelle von Gittermustern unterschiedlicher Ortsfrequenz ermittelt. Dabei werden Sinusgitter mit verschiedenen Ortsfrequenzen dargeboten. Für jede Ortsfrequenz wird jener Kontrastwert bestimmt, der gerade ausreicht, um das Sinusgitter zu erkennen.

Alternativ ist auch die Prüfung der Erkennbarkeit von Optotypen bei unterschiedlichem Kontrast möglich. Die Ergebnisse und die Kurve der Kontrastempfindlichkeitsfunktion

weichen jedoch zu der Bestimmung mit Sinusgittern aufgrund der physiologischen Kontrastverstärkung an Kanten vor allem bei geringen Ortsfrequenzen ab.

Die Kontrastempfindlichkeitsfunktion kann individuell unterschiedlich verlaufen. Abbildung 21 (S. 47) zeigt die Ortskurve einer Person mit normalem Kontrastsehvermögen. Die maximale Kontrastempfindlichkeit liegt bei einer Auflösungssehstärke von 0,1 bis 0,2.⁴ Oberhalb und unterhalb dieser Werte nimmt die Empfindlichkeit für Kontraste ab.

Mit steigender Ortsfrequenz muss der Kontrast immer mehr zunehmen, damit das Gittermuster erkannt wird. Aus den obigen Betrachtungen und dem Verlauf der Kontrastempfindlichkeitskurve werden zwei charakteristische Punkte ersichtlich. Zum einen ist dies das Maximum der Kontrastempfindlichkeit. Zum anderen ist es das höchste Auflösungsvermögen bei maximalem Kontrast. (Quellen zum Kap. 2.8.4: (Methling, 1996), (Paliaga, 1993), (Hauck, 2004))

Bestimmung der Kontrastempfindlichkeit

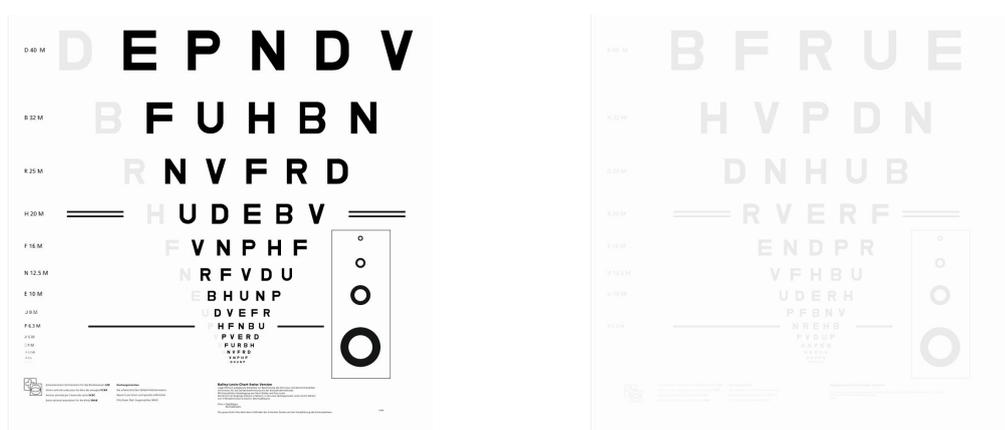
Zur Bestimmung der Kontrastempfindlichkeit können verschiedene Test- und Auswerteverfahren zur Anwendung kommen. Die in der Low Vision Rehabilitation häufig eingesetzten Verfahren vergleichen entweder die Sehschärfe im hohen Kontrast ($K_M \geq 0,9$) gegenüber der Sehschärfe im niedrigen Kontrast ($K_M = 0,1$) oder bestimmen die Kontrastschwelle (kleinster gerade noch wahrnehmbarer Kontrast).

Kontrasttests unter Beurteilung der Sehschärfe im hohen und niedrigen Kontrast:

- SZB-LCS Test nach Buser (Abb.22)
- Bailey Lovie Chart (Abb.23)

Bei den Tests mit Sehschärfevergleich wird die Differenz in log-Stufen zwischen Sehschärfe im hohen und niedrigen Kontrast notiert.

⁴Die Ortsfrequenz geteilt durch 30 ergibt die Auflösungssehstärke/Visus. (Paliaga, 1993)

Abbildung 22: SZB-LCS-Test nach *Buser*

(a) Tafel mit hohem Kontrast

(b) Tafel mit Kontrast 0,1

Abbildung 23: Bailey-Lovie-Chart Swiss Version nach *Buser*
(Buser, 2007)

Für die Einschätzung gilt folgendes Schema:

- 0 bis 3 log-Stufen \Rightarrow Kontrastempfindlichkeit nicht eingeschränkt
- 4 bis 6 log-Stufen \Rightarrow Kontrastempfindlichkeit eingeschränkt
- größer 6 log-Stufen \Rightarrow Kontrastempfindlichkeit stark eingeschränkt

Ein großer Vorteil der Tests ist die gleichzeitige Bestimmung des Visus.

Kontrasttests zur Bestimmung der Kontrastschwelle: Eine weitere bewährte Methode ist die Bestimmung der Kontrastschwelle. Vorteilhaft ist die schnelle Durchführung und Auswertung der Tests. Der Standard-Visus kann dabei nicht bestimmt werden.

Folgende Kontrasttests zur Bestimmung der Kontrastschwelle sind in der Low Vision Rehabilitation gebräuchlich:

- Landoltring Tafel nach *Dießner* (Abb.93c)
- Lea Contrast Tafel (Abb.24b)
- Pelli-Robson Chart (Abb.24c)

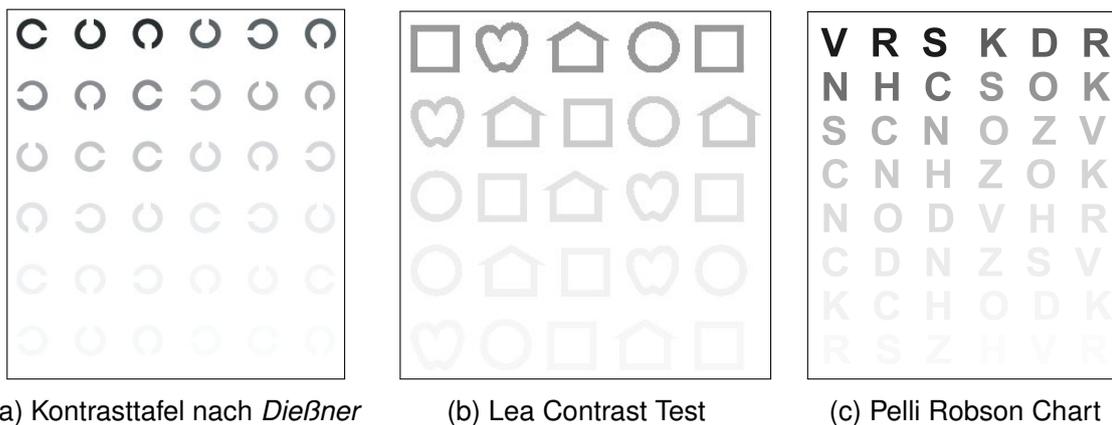


Abbildung 24: Sehproben zur Bestimmung der Kontrastschwelle

Bei Tests zur Bestimmung der Kontrastschwelle (*Michelson*Kontrast) wird die niedrigste Kontraststufe, die gerade noch richtig erkannt wurde, notiert. Für die Auswertung hat sich die Methode nach *Dießner* als sehr zweckmäßig und praxistauglich herausgestellt: (Dießner, 2004, S. 53–54)

- Kontrastschwelle $K_M < 0,02 \Rightarrow$ Kontrastempfindlichkeit nicht eingeschränkt
- Kontrastschwelle $K_M \geq 0,02$ und $\leq 0,08 \Rightarrow$ Kontrastempfindlichkeit eingeschränkt
- Kontrastschwelle $K_M > 0,08 \Rightarrow$ Kontrastempfindlichkeit stark eingeschränkt

Als Optotypen werden *Landolt*Ringe (SZB-LCS-Test nach *Buser*, *Landolt*Ringtafel nach *Dießner*), Buchstaben (Bailey-Charts, Pelli-Robson-Chart) oder auch Kindersehzeichen (Kontrastsehtests nach *Lea Hyvärinen*) verwendet.

2.8.5 Kontrastierende Elemente eines Leitsystems

Taktile und kontrastierende Bodenleitsysteme

Taktile Bodenleitsysteme erleichtern die Mobilität vor allem blinder Menschen in öffentlichen oder/und in Verkehrsgebäuden, in dem sie sich i.d.R. mit dem Langstock daran orientieren. Austrian Standards Institute (2003)

Wenn diese Bodenleitsysteme zusätzlich kontrastierend (= taktil-visuell) ausgeführt sind, erhöht sich die Anzahl der Nutzer sehr stark (in Österreich ca. um den Faktor 100)⁵, da nun auch sehbehinderte Menschen diese Art des Leitsystems mit zur Orientierung nutzen können. Dies verdeutlicht die Wichtigkeit, dass taktile Bodenleitsysteme auch kontrastierend ausgeführt werden sollten.



(a) Taktiles Bodenleitsystem mit Kontraststreifen



(b) Einzelne Rippen für die Verlegung eines taktilen Bodenleitsystems in verschiedenen Farben



(c) Taktiles Bodenleitsystem im Außenbereich



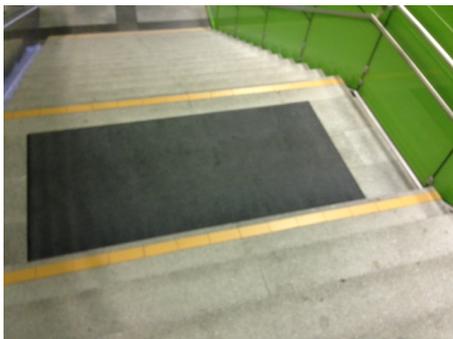
(d) Gefräßtes Bodenleitsystem im Innenbereich

Abbildung 25: Verschiedene taktile Bodenleitsysteme

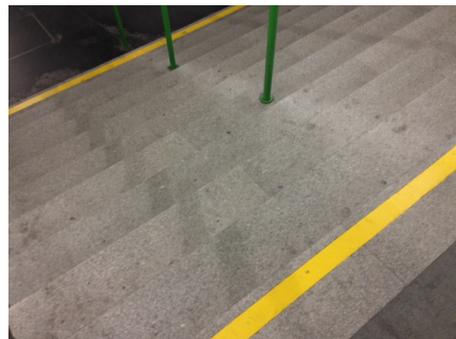
⁵Grundlage sind die Zahlen aus: <http://www.blindenverband.at/home/wissen/sehen/977?help=1>

Kontrastierende Markierungen

Kontrastierende Markierung weisen meist auf Gefahrenstellen (Stufen, Glasflächen, Hindernisse,...) hin, um Unfälle in der Mobilität zu vermeiden. Für die Wahrnehmung einer Markierung ist die Auffälligkeit sowie die Erkennbarkeit entscheidend. Daher sollten Markierungen sich in Farbe oder/und Helligkeit sowie Kontrast vom Umfeld abheben sowie eine Mindestgröße besitzen.



(a) Stufenmarkierung mit Podestkontrast



(b) Stufenmarkierung gelb



(c) Tritt- und Setzstufenmarkierung



(d) geflieste gelbe Markierung mit zusätzlichem schwarzen Kontraststreifen

Abbildung 26: Verschiedene Stufenmarkierungen

Taktile und kontrastierende Beschriftungen und Piktogramme

Beschriftungen und Piktogramme sind wichtige Informationselemente für die Orientierung und Mobilität aller Menschen. Die Erkennbarkeit für sehbeeinträchtigte Personen hängt vorrangig von der Größe, dem Kontrast zum Hintergrund & Umfeld und der Schriftart ab. (Austrian Standards Institute, 1994)

Innerhalb eines Leitsystems sollte die Beschilderung eine gute Auffälligkeit besitzen, so dass es als Element des Leitsystems wahrgenommen werden kann. Vor allem bei Piktogrammen ist zusätzlich eine gute Verständlichkeit wichtig.

Beschriftungen und Piktogramme können auch in taktiler Schwarzschrift und/oder zusätzlicher taktiler Brailleschrift ausgeführt werden. Aus der Erfahrung des Autors wird vor allem die taktile Schwarzschrift sehr selten taktil genutzt.



(a) Taktile Schwarzschrift mit zusätzlicher Brailleschrift



(b) Kontrastierende Schwarzschrift

Abbildung 27: Taktile und kontrastierende Beschriftungen

3 Methoden

Es kamen verschiedene Untersuchungsmethoden zum Einsatz:

- Interviews mit sehbehinderten Probanden
- verschiedene Sehtests unter standardisierten Lichtbedingungen mit normalsehenden und sehbehinderten Probanden
- Use Cases und Feldversuche
- lichttechnische Untersuchungen und Messungen

3.1 Interviews

In Form von Interviews wurden die subjektiven Eindrücke zur persönlichen Sehleistung in verschiedenen Lichtsituationen erfragt. Es wurde zunächst die jeweilige Frage gestellt und dazu jeweils ein Praxisbeispiel zur besseren Verdeutlichung genannt. Die Einschätzung sollte dabei im Vergleich zur Situation vor der Erkrankung (bei erworbenen Sehbehinderungen) oder im Vergleich zu anderen normalsehenden und sehbehinderten Personen (bei angeborenen Sehbehinderungen) erfolgen.

Folgende Fragen wurden den sehbehinderten Probanden gestellt:

- Wie beurteilen Sie Ihren persönlichen Helligkeitsbedarf?
- Wie schätzen Sie Ihre persönliche Blendempfindlichkeit ein?
- In welcher Situation tritt die Blendempfindlichkeit auf?
- Wie wirkt sich ungleichmäßige Beleuchtung auf Ihre visuelle Wahrnehmung aus?
- Haben Sie zusätzliche Probleme bei starkem, schnellem Helligkeitswechsel?
- Wie wirken sich Reflexe auf Glanzflächen/Glanzböden aus?

3.2 Versuchsaufbau für standardisierte lichtabhängige Sehtests

Für die Bestimmung der lichtabhängigen Sehleistung wurde ein spezielles Testverfahren entwickelt. Es wurde ein Versuchsaufbau erstellt, mit dem es möglich war, verschiedene Helligkeiten im Gesichtsfeld (Adaptationsleuchtdichte) zu erzeugen. Die Umgebung wurde in Zusammenarbeit mit der Fa. „Licht- & Design“, 2540 Grimmenstein erstellt. Gemeinsam wurde ein lichttechnischer Aufbau entwickelt, um Flächen mit gleichmäßiger Leuchtdichte zu erhalten. Als Leuchtmittel wurden LED mit der Lichtfarbe 4500K verwendet. Mit Hilfe der „Easy“ Steuerung der Fa. Osram konnte die Helligkeit von $0,1 \text{ cd/m}^2$ bis 450 cd/m^2 stufenlos variiert werden.

Es wurden Sehtests erstellt, die für normalsehende und sehbehinderte Menschen geeignet waren. Die Sehtests wurden auf einem hochwertigen TFT-Monitor der Firma Eizo dargestellt und bei optimaler optischer Korrektur durchgeführt. Der Monitor zeichnet sich durch eine gleichmäßige Leuchtdichtenverteilung, einen großen Einstellbereich der Hintergrundleuchtdichte aus.

Die Anordnung (Bildschirm und Umgebung) wurde durch die Prüf-, Überwachungs- und Zertifizierungsstelle der Stadt Wien (MA 39) lichttechnisch für folgende Werte kalibriert (Prüfbericht siehe Anhang A ab Seite 197):

Leuchtdichtewerte von Bildschirm und Umgebung:

- $0,1 \text{ cd/m}^2$
- $0,32 \text{ cd/m}^2$
- 1 cd/m^2
- $3,2 \text{ cd/m}^2$
- 10 cd/m^2
- 32 cd/m^2
- 100 cd/m^2
- 320 cd/m^2

Diese Abstufung entspricht halblogarithmischen Sprüngen. Nach dem Gesetz von Stevens nimmt somit die subjektiv empfundene Helligkeit von Stufe zu Stufe um 50 % zu bzw. ab. (Goersch, 1996, S. 297)

Ein Sprung um 3 UGR-Werte entspricht subjektiv ein Sprung um 1 Blendungsstufe.

"Die empfohlenen UGR-Grenzwerte bilden eine Reihe, deren Stufen eine merkliche Änderung der Blendung darstellen. Die Folge der UGR-Werte ist: 10, 13, 16, 19, 22, 25, 28." (Austrian Standards Institute, 2011)

Folgende psychologischen Blendungen nach dem UGR Blendverfahren wurden bei Durchführung des Blendungstests erzeugt (bei 10 cd/m² Test- und Umfeldleuchtdichte):

- UGR 7
- UGR 10
- UGR 13
- UGR 16
- UGR 19
- UGR 22
- UGR 25
- UGR 28

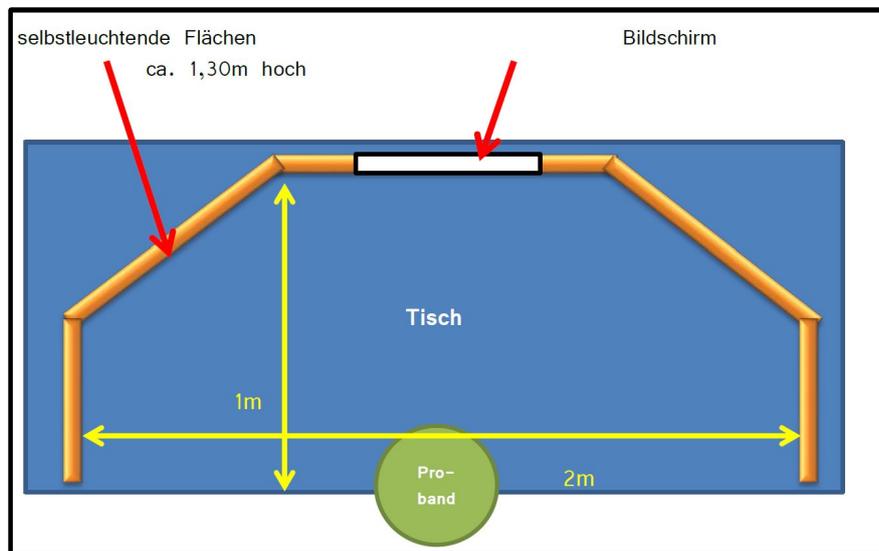


Abbildung 28: Schematische Darstellung (Skizze, Draufsicht) des Versuchsaufbaus für die beleuchtungsabhängigen Sehtests

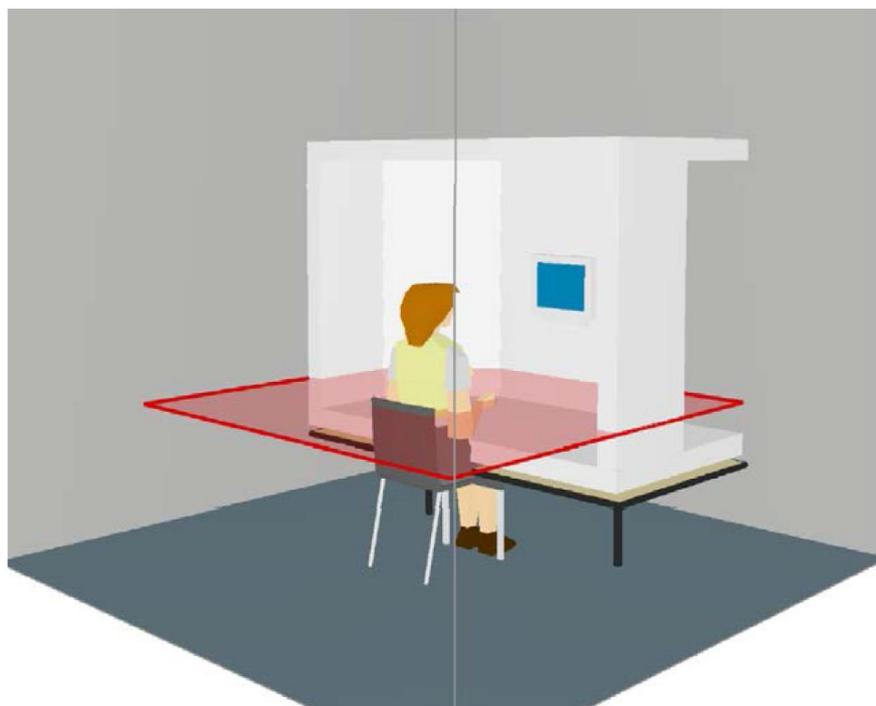


Abbildung 29: Schematische 3D-Darstellung des Versuchsaufbaus für die beleuchtungsabhängigen Sehtests



Abbildung 30: Original Versuchsaufbau für die beleuchtungsabhängigen Sehtests

3.3 Sehtests unter standardisierten Lichtbedingungen

Für die Versuche wurden standardisierte Bedingungen geschaffen, welche es ermöglicht haben bei gleichbleibenden Verhältnissen die Sehtests durchzuführen.

3.3.1 Durchführung der Sehtests

Ort und Dauer

Die Probandenstudien wurden mittels beschriebenen Versuchsaufbau im Keller der Hilfsgemeinschaft der Blinden und Sehschwachen Österreichs durchgeführt. Dieser Raum hatte keinerlei Fenster und war somit frei von Tageslichteinflüssen.

Die Gesamtdauer für die einzelnen Bestimmungen betrug ca. 45 Minuten, um den Effekt von Ermüdungserscheinungen möglichst klein zu halten. Die Reihenfolge der Sehtests wurde so gewählt, dass sich eine möglichst kurze Belastungszeit resultiert. Alle Sehtests wurden in einem Beobachtungsabstand von 1m durchgeführt.

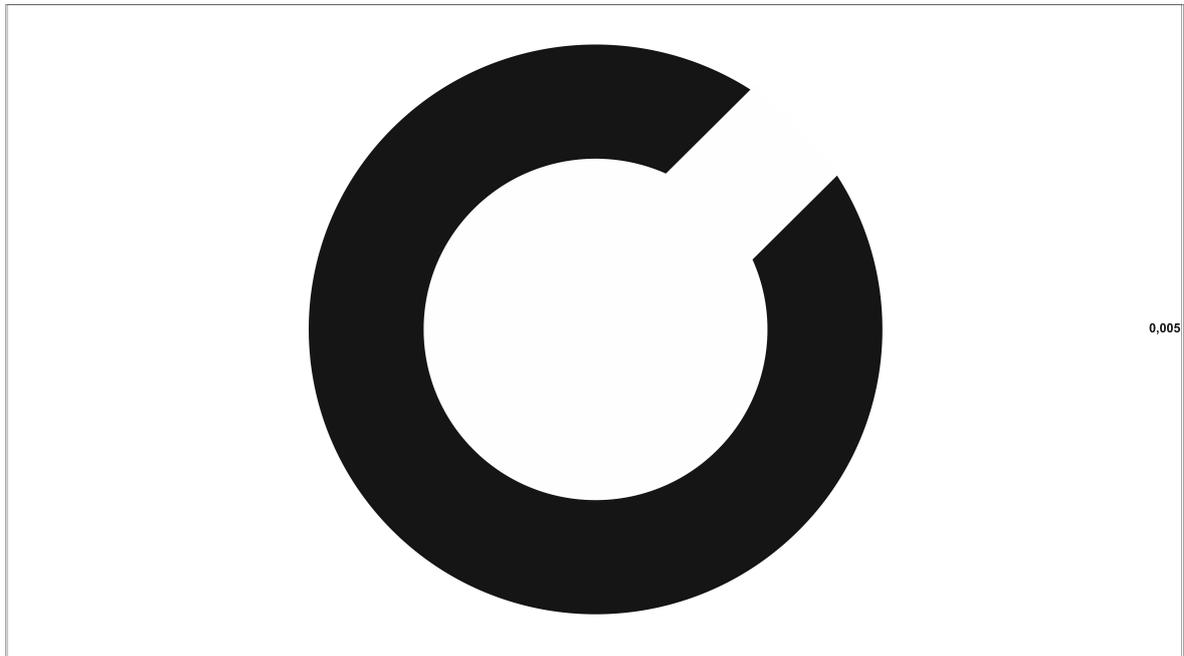


Abbildung 31: Landoltring als Sehzeichen für die Visusbestimmung

Adaptationsleuchtdichten

Der Visustest und der Kontrastschwellentest wurden bei folgenden Adaptationsleuchtdichten durchgeführt: 0,1; 0,32; 1; 3,2; 10; 32; 100; 320 cd/m^2 . Der Logatomentest wurde bei einer Adaptationsleuchtdichte von 1; 10; 100 cd/m^2 durchgeführt.

3.3.2 Visustest

Die Sehschärfe der Probanden wurde mittels *Landolt*-Ringen ($K_{\text{Michelson}} = 0,98$; Abb. 31) unterschiedlicher Größe bestimmt. Die Darbietung erfolgte von groß nach klein. Die Größenabstufung war gemäß dem Weber-Fechnerschen-Gesetz ¹ logarithmisch. Die Größe der *Landolt*-Ringe konnte in einem Bereich von Visus 0,005 bis 2,0 dargestellt werden. Beispiele je Visusstufe sind in den Abb. 32 auf Seite 60 bis Abb. 37 auf Seite 62 dargestellt². Damit eine Visusstufe als Richtung erkannt galt, mussten mindestens 3 von 5 Öffnungen der *Landolt*-Ringe richtig erkannt werden. Die Position der Öffnungen konnte in jeder darstellbaren Größe variiert werden.

¹Kernaussage Weber-Fechnersches-Gesetz: Eine logarithmische Reizänderung bewirkt eine lineare Empfindungsänderung.

²Die dargestellten Größe entsprechen nicht der Originalgröße und dienen lediglich der Visualisierung der Sehzeichen.

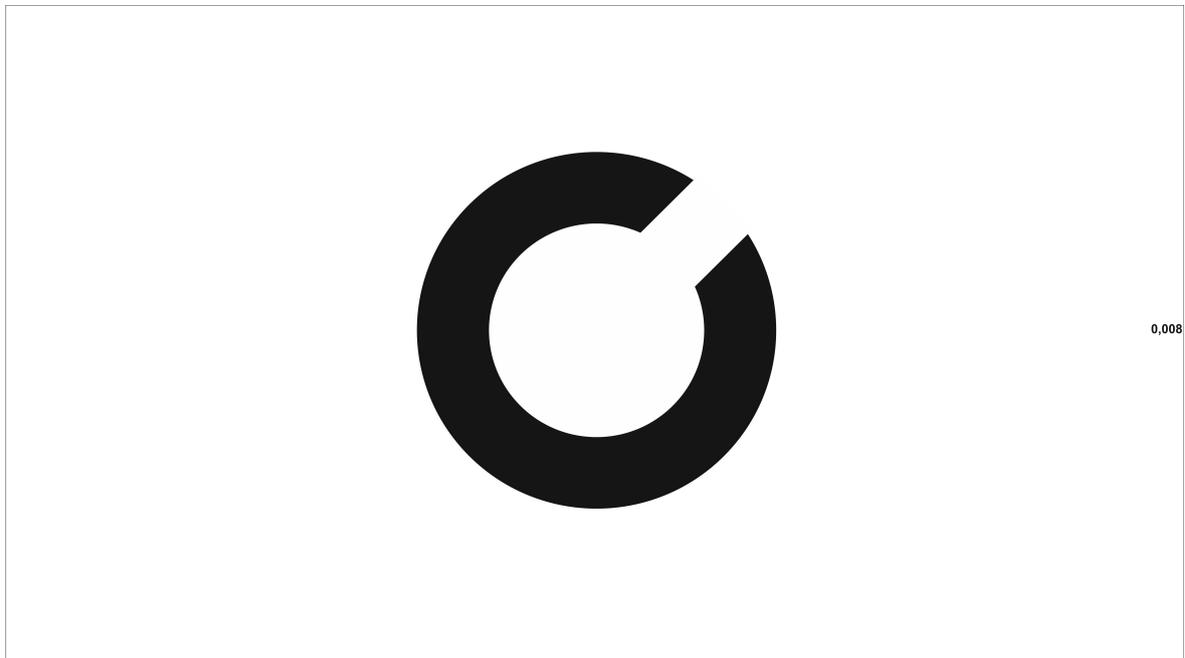


Abbildung 32: Landoltring für Visus 0,005 bis 0,008

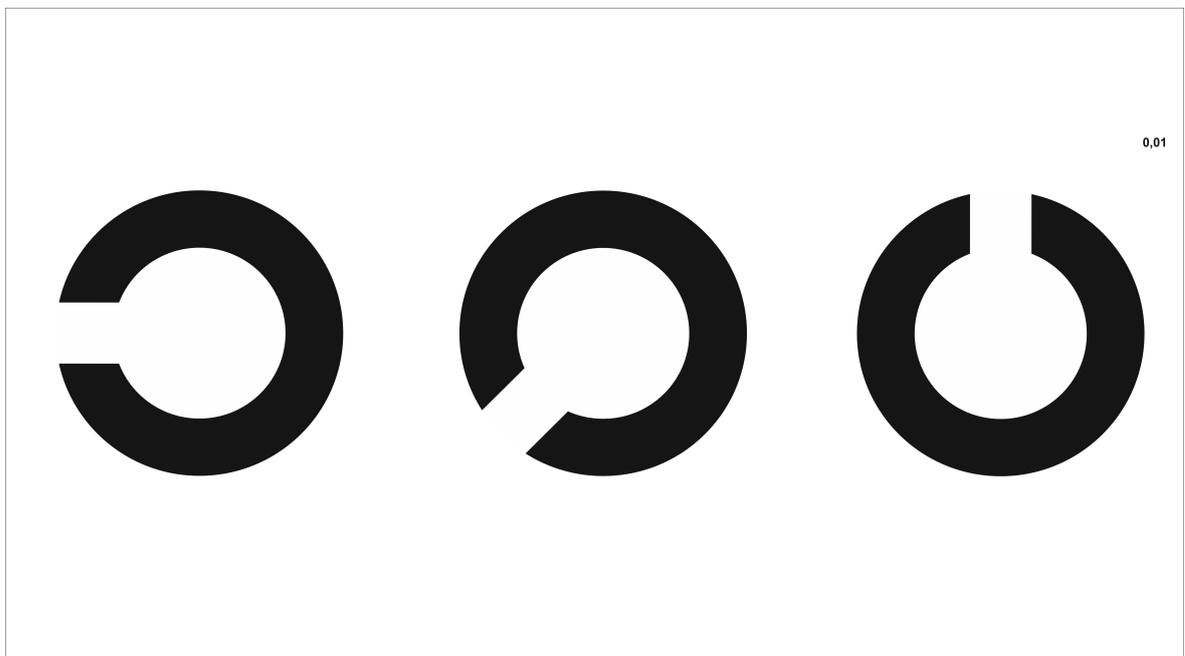


Abbildung 33: Landoltringe für Visus 0,01

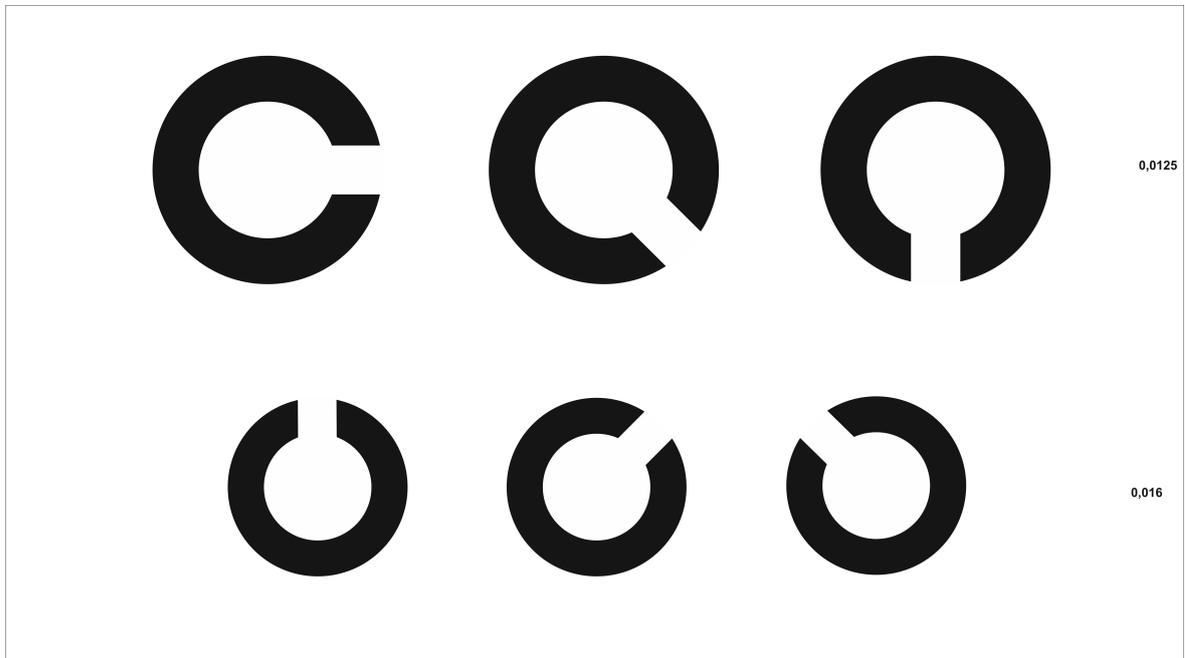


Abbildung 34: Landoltringe für Visus 0,012 bis 0,016

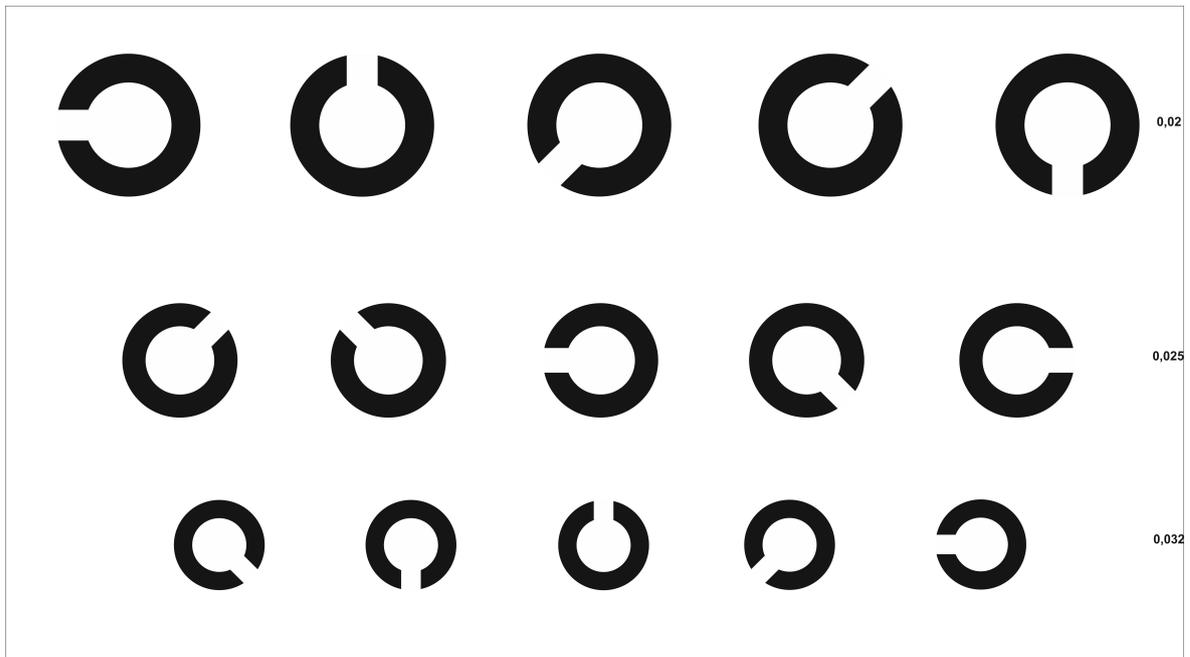


Abbildung 35: Landoltringe für Visus 0,02 bis 0,032

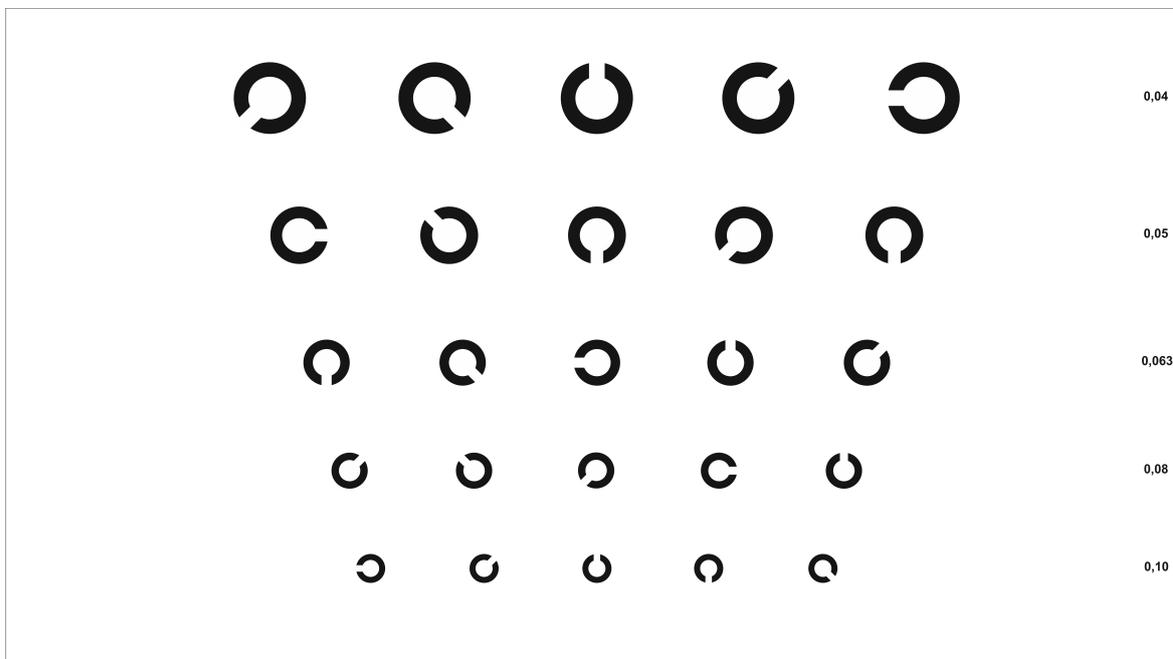


Abbildung 36: Landoltringe für Visus 0,04 bis 0,1

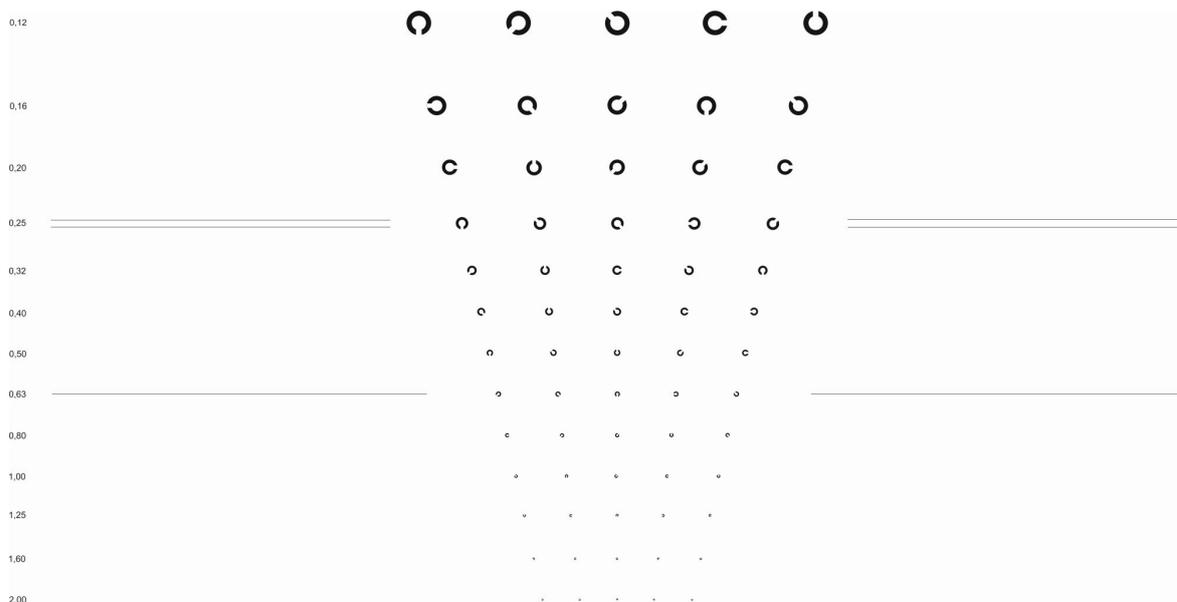


Abbildung 37: Landoltringe für Visus 0,12 bis 2,0

3.3.3 Kontrastschwellentest

Die Kontrastschwelle wurde mittels *Landolt*-Ringen gleicher Größe (entsprach Visus 0,02) und unterschiedlichen Kontrasts bestimmt. Der Kontrast wurde so lange in logarithmischen Stufen reduziert, bis die Lücke des Landoltrings nicht mehr erkannt wurde. Damit ein Kontrast als richtig erkannt galt, mussten pro Kontraststufe 3 von 5 Sehzeichen richtig erkannt werden. Es konnte ein Kontrast von 0,98 bis 0,005 (nach *Michelson*) dargestellt werden. Folgende Abstufungen der Kontrastwerte ergaben sich: Einige Beispiele sind in den Abb. 38a auf Seite 63 bis Abb. 39h auf Seite 64 dargestellt.

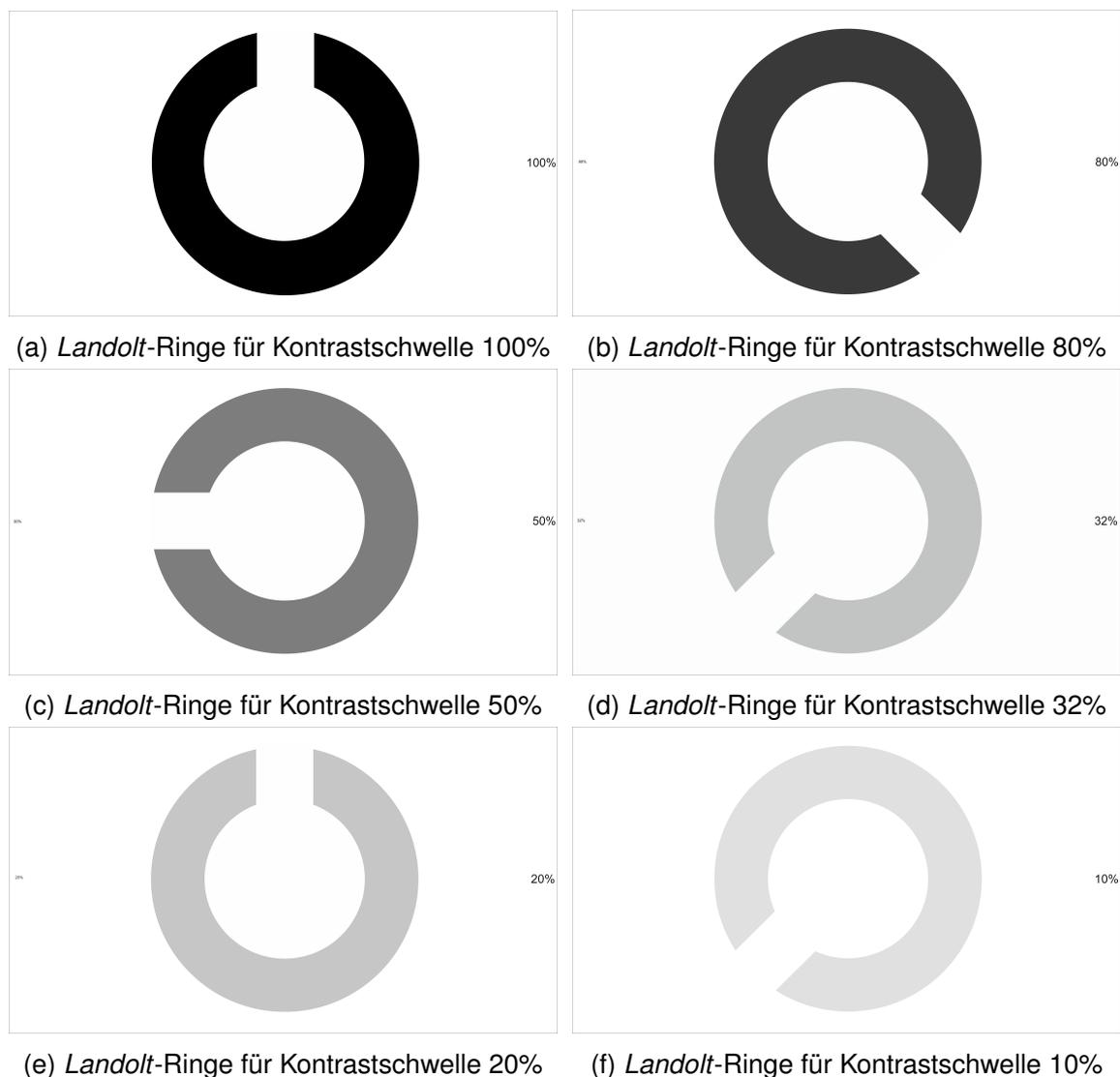
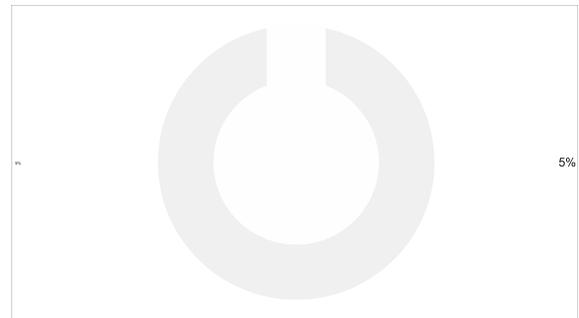


Abbildung 38: *Landolt*-Ringe für Kontrastschwelle (K_M) 100% bis 10%



(a) Landolt-Ringe für Kontrastschwelle 7%



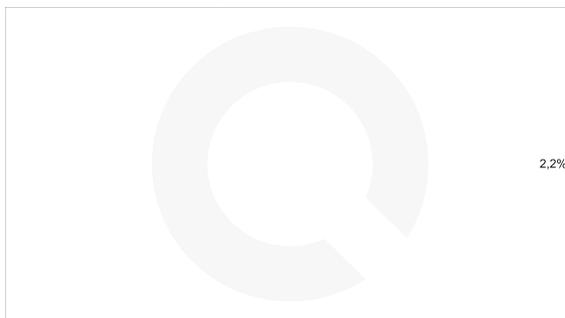
(b) Landolt-Ringe für Kontrastschwelle 5%



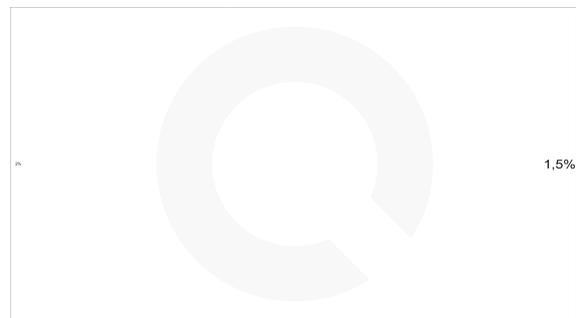
(c) Landolt-Ringe für Kontrastschwelle 4%



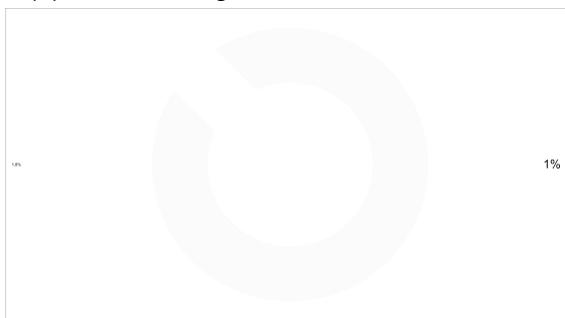
(d) Landolt-Ringe für Kontrastschwelle 3%



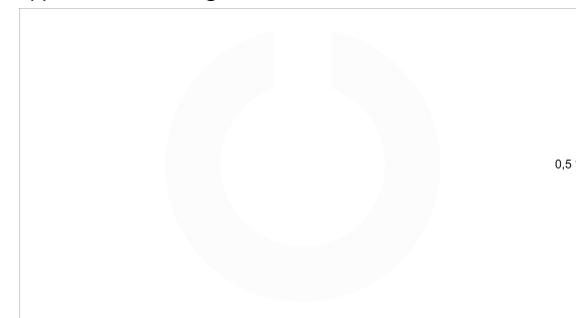
(e) Landolt-Ringe für Kontrastschwelle 2%



(f) Landolt-Ringe für Kontrastschwelle 1,5%



(g) Landolt-Ringe für Kontrastschwelle 1%



(h) Landolt-Ringe für Kontrastschwelle 0,7%

Abbildung 39: Landolt-Ringe für Kontrastschwellen (K_M) 7% bis 0,7%

3.3.4 Test zur Bestimmung der Kontrastempfindlichkeitsfunktion mittels Logatomen

Logatome kommen aus dem Bereich der Audiologie. Es handelt sich um Kunstwörter, die zwar ausgesprochen werden können, aber keinen Sinn ergeben. Da diese Wörter keinen Sinn ergeben und nicht bekannt sein können, muss jeder einzelne Buchstaben tatsächlich richtig erkannt werden, um das Wort korrekt vorlesen zu können. Diese Testart hat sich sehr bewährt, da die Engrammbildung/Wortbildererkennung unterbunden wird. Dies bedeutet, dass es sich um völlig unbekannte Buchstabenkombinationen handelt, für die keine Erinnerungen bestehen. Ein zufälliges Erkennen ist praktisch ausgeschlossen. So könnte SOPEVI ebenso gut SOPAVI, SUPAVI, SEPOVI, SAPUVI etc. heißen. Im Vergleich zu Landoltringen (als Einzelsehzeichen) wird hier die Sehaufgabe „Lesen“ besser dargeboten.

Hierzu einige Beispiele:

BUSCHO	GARUWO	MISENO
XUCHOL	TUGABO	NOGIWA
EDURAX	GARUWO	GUWOBA
TIPORN	ZUPASI	IFESAM
XENOBI	GARUWO	TABORE

Es wurden in der Regel Logatome mit sechs Buchstaben verwendet. Dies war bis zu einem Visus von 0,032 möglich. Bei Visus 0,025 und 0,02 waren es vier Buchstaben und bei 0.016 drei Buchstaben.

Die Logatome wurden in folgenden Kontraststufen (K_M) angeboten:

80 %; 50 %; 30 %; 20 %; 10 %; 5 %; 3 %; 1,6 %; 1,0 %

Die Visusstufe galt als erreicht, wenn zwei von drei Logatomen richtig erkannt wurden. Die Abbildung 40 auf Seite 66 zeigt Logatome unterschiedlicher Größe und unterschied-

lichen Kontrasts. Der Test wurde dabei so ausgeführt, dass nur jeweils ein Logatom am Bildschirm sichtbar war.

		PERGO	CHLAB	ALURR	PERGO	CHLAB	AZERUM	NUGAVI
		WUBRO	WUBRO	SUGAZO	HOBLEK	EMAZUR	ONULIK	ZEROPI
		MAFTEL	DUKIRO	KARSTO	FOGWAR	WISAGO	BIVEKO	XILRUP
		WASIGO	WASIGO	EDURAX	LIVENZ	ICHAFO	FATEXO	UKAXIM
		BAZELU	EROSEM	ILAZUK	VULERZ	MEFULZ	WUGOZA	IFESAM
		HOFELB	RUDOXE	NEFDUP	PIMERK	VENIGO	DANIFE	XENOBI
		EMAR	ODAT	ONEX	MAXE	ZOGA	NAWO	TABU
		UGA	ZIV	KAL	KAV	VOZ	ZUN	DAF
		DX	SM	BN	AM	OS	KR	DN

Abbildung 40: Sehtests mit Logatomen; abgebildet ist ein Auszug von insgesamt vier verschiedenen Tafeln (Darstellung entspricht nicht der Originalgröße)

3.3.5 Blendungstest

Für den Blendungstest wurde die Kontrastschwelle analog zu Kap. 3.3.3 (Kontrast-schwellentest) mit zusätzlicher zentraler, quadratischer Blendquelle der Größe 7 x 7 cm bestimmt. Der Test wurde bei einer Adaptationsleuchtdichte von 10 cd/m² durchgeführt. Die Helligkeit der Blendquelle wurde so gewählt, dass die jeweils gewünschte Blendung resultiert.

Folgende Blendungen wurden lt. UGR-Blendbewertung erzeugt:

UGR 7; 10; 13; 16; 19; 22; 25; 28.

Es wurde bei jeder Blendstufe die Kontrastschwelle bestimmt. Dieser Versuchsaufbau wurde durch die Prüf-, Überwachungs- und Zertifizierungsstelle der Stadt Wien (MA 39) kalibriert (Prüfbericht im Anhang B ab Seite A211).

Bei jeder Blendstufe (angefangen bei der höchsten Blendung und von Stufe zu Stufe immer geringer werdend³) wurde jeweils die Kontrastschwelle bestimmt. Das Vorgehen war bei jedem Probanden identisch.



Abbildung 41: Schematische Darstellung für die Anordnung des Blendungstests

3.3.6 Subjektive Blendempfindung

Die im Blendungstest (Kap. 3.3.5) dargestellten Blendungen wurden im Anschluss nochmals dargeboten und hinsichtlich der Störimpfindung von den Probanden bewertet. Hierfür wurde ein 10er Score (Tabelle 8 auf Seite 67) für die Einschätzung der Blendwirkung verwendet.

Tabelle 8: Score für subjektive Blendbewertung

Bewertung	subjektive Empfindung
1	keine Blendung merkbar
2	gerade wahrnehmbar
3	zufriedenstellend
4	merkbar, aber akzeptabel
5	deutlich merkbar
6	unangenehm
7	sehr unangenehm, störend
8	sehr störend
9	extrem störend
10	unerträglich, schmerzhaft

³Die Reihenfolge wurde bewusst so gewählt, um das Worst Case Szenario in der Praxis nachzustellen

3.4 Probanden

Es wurden mit dem beschriebenen Testverfahren drei Personengruppen untersucht:

- a) Testgruppe: Personen mit Augenerkrankungen (N=98; Durchschnittsalter: 53 Jahre)
- b) Kontrollgruppe 1: normalsehende, jüngere Personen ohne Augenerkrankung (N=22; < 50 Jahre; Durchschnittsalter: 29 Jahre)
- c) Kontrollgruppe 2: normalsehende, ältere Personen ohne Augenerkrankung (N=16; > 50 Jahre; Durchschnittsalter: 67 Jahre)

Die Altersverteilung je Probandengruppe ist in Abb. 42 dargestellt. Eine Liste der Pro-

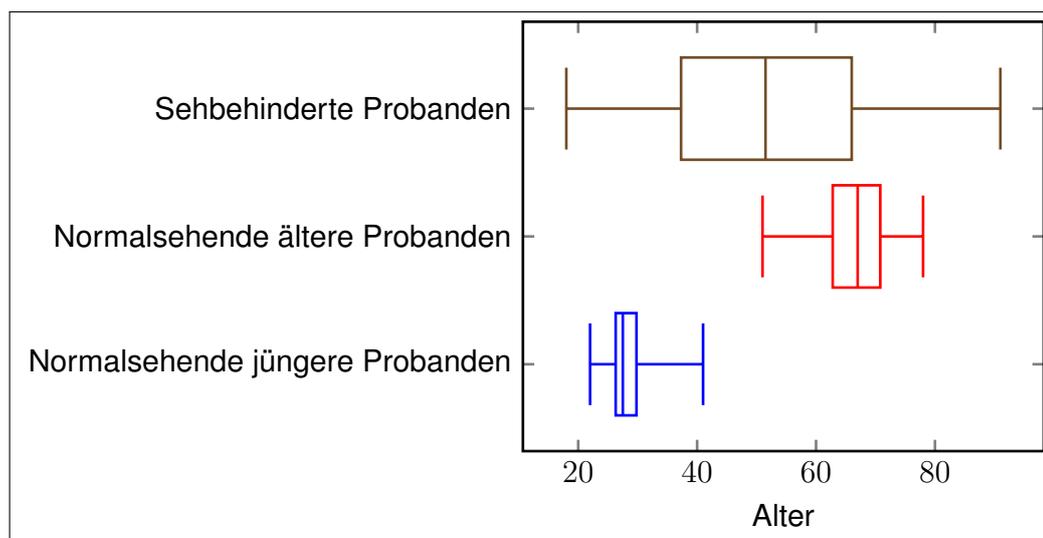


Abbildung 42: Probanden - Altersverteilung (Median, 1. und 3. Quartil, minimaler und maximaler Wert)

banden ist je Probandengruppe im Anhang G ab Seite 278 dargestellt. Bei zwei sehbehinderten Probanden konnten keine Sehtests durchgeführt werden, da die funktionelle Sehleistung zu gering war. Diese zwei Personen wurden bei den Auswertungen nicht berücksichtigt. Somit konnten effektiv die Ergebnisse von 96 sehbehinderten Probanden ausgewertet werden. Bei den normalsehenden Probanden gab es bei der Durchführung der Sehtests keinen Ausschluss.

Sieben der 98 sehbehinderten Probanden haben kein Interview gegeben.

3.5 Feldversuche / Use Cases

Ergänzend zu den Untersuchungen unter standardisierten Bedingungen wurden Use Cases bearbeitet. Die Erkenntnisse aus den Probandentests konnten in diese Praxisbeispiele mit einfließen. Durch die Verwendung von Simulationstools werden beim Betreiber mittels Lichtplanung Möglichkeiten zur Verbesserung der Beleuchtung zur visuellen Barrierefreiheit dargestellt. Teilweise wurden die Use Cases im Privatbereich durch Erprobung geeigneter Leuchten vor Ort durchgeführt.

Folgende Use Cases wurden bearbeitet:

- Pflegestation der Waldpension, Hohegg, Niederösterreich
- Pflege- und Seniorenhaus Odilien-Institut, Graz, Steiermark
- Klassenraum eines sehbehinderten Kindes, Volksschule, Wien
- Kindergarten eines sehbehinderten Kindes, Mödling, Niederösterreich
- Lichtberatungen für diverse private Wohnungen und Häuser sehbehinderter Menschen in Wien und Umgebung
- Beratungsstelle und Arbeitsplätze für sehbehinderte Menschen, Hilfsgemeinschaft der Blinden und Sehschwachen, Wien
- Entwicklung von sehbehindertengerechten Leuchten

3.5.1 Lichtplanungen

Die durchgeführten Lichtplanungen wurden mit der kostenfreien Lichtberechnungssoftware „Relux Pro“ erstellt. Mit diesem Programm ist es möglich, Räume virtuell zu erstellen und in verschiedenen Ansichten darzustellen. Ausgewählte Leuchten können in den Raum an gewünschter Stelle eingefügt werden. Das Programm berechnet anhand der eingegebenen Daten und eingesetzten Leuchten die Lichtverhältnisse im Raum. Auf entsprechenden Messflächen können verschiedene Parameter wie Beleuchtungsstärke, Leuchtdichte, Gleichmäßigkeit und die Blendung in Form von einer Ergebnisübersicht, konkreten Zahlenwerten oder auch als Falschfarbendarstellung (Abb. 43) ausgegeben werden.⁴

⁴Weitere Informationen unter: www.relux.ch; Alternativ zu Relux Pro ist das Lichtberechnungsprogramm „Dialux“ verwendbar

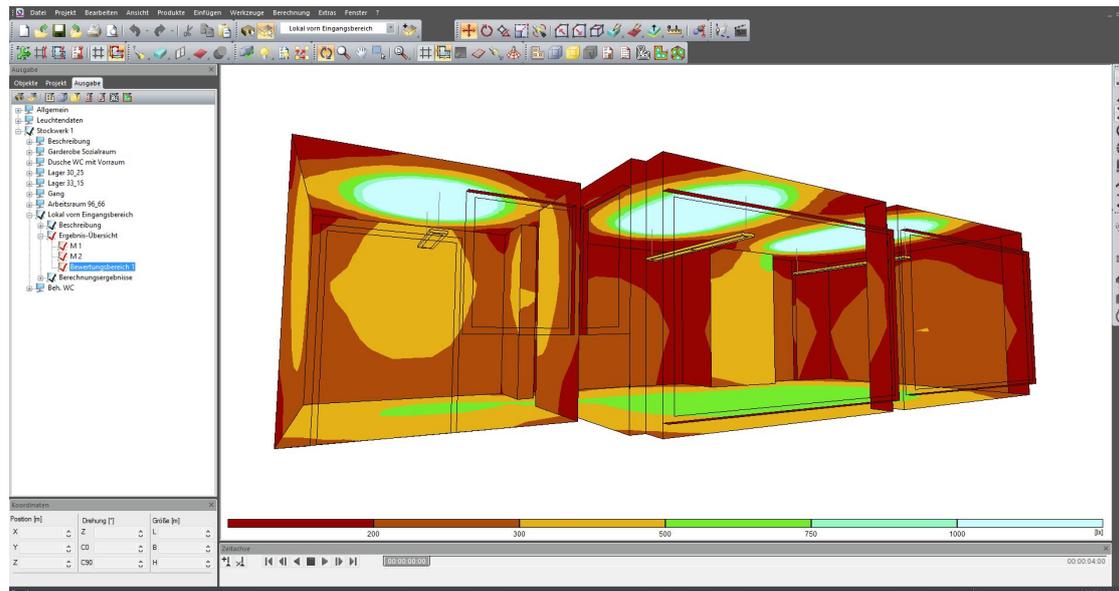


Abbildung 43: Screenshot Relux Pro - 3D Falschfarbendarstellung

3.5.2 Leuchtenerprobung vor Ort

Neben der computergestützten Lichtplanung mit Relux gibt es Möglichkeiten, auch ohne Berechnungsprogramm ein gutes Resultat zu erhalten. Diese Methode ist vor allem in Privathaushalten sehr gut einsetzbar. Lichttechnische Normen ähnlich am Arbeitsplatz (bzgl. Beleuchtungsstärke, Blendung, Gleichmäßigkeit,...) sind nebensächlich und müssen nicht zwingend eingehalten werden.

Der direkte Vergleich von Musterleuchte zur bestehenden Beleuchtung ist sehr vorteilhaft, da die lichttechnischen Veränderungen direkt sichtbar sind. (Fotobeispiele siehe Abb. 44) Auch erste „Sofortmaßnahmen“, wie der Ersatz der vorhandenen Leuchtmittel, sind sofort möglich.

Die Voraussetzung zur Durchführung dieser Methode ist das Vorhandensein von geeigneten Musterleuchten und Erfahrung seitens des Beraters. Der Nutzer des Raumes/der Räume müssen für die Beurteilung zwingend anwesend sein.



Abbildung 44: Erprobung einer Pendelleuchte vor Ort

Vereinfachte Berechnungen und Beleuchtungsstärkenmodelle

Diese einfachen Faustregeln ermöglichen es, für eine bestimmte Raumfläche lichttechnischen Größen abzuschätzen. Diese Schätzformel können bei normaler Raumhöhe von 2,50 m bis 3,20 m angewendet werden. (Buser u. Hauck, 2012, S. 9-1)

1) Für die ungefähre mittlere Beleuchtungsstärke bei Einsatz einer bestimmten Leuchte mit bekanntem Lichtstrom bei vorgegebener Raumfläche:

$$E \text{ (lux)} = \frac{\text{Lichtstrom aller Leuchten}}{\text{Raumgrösse (m}^2\text{)}} \cdot \text{Faktor} \quad (19)$$

oder

2) Für die Abschätzung des notwendigen Gesamt-Lichtstroms der Leuchten bei vorgegebener Beleuchtungsstärke:

$$\Phi \text{ (Lumen)} = \frac{\text{Raumgrösse (m}^2\text{)} \cdot \text{Beleuchtungsstärke}}{\text{Faktor}} \quad (20)$$

Für einen normalen Raum wird üblicherweise ein Faktor von 0,4 verwendet. Bei dunklen Wänden oder einer Indirektbeleuchtung ein solcher von 0,3. (Buser u. Hauck, 2012, S. 9-1)

Entwicklung und Anfertigung von Musterleuchten

Für die Feldversuche wurden Leuchten nach den Erfahrungen und Messwerten aus den Laborversuchen entwickelt bzw. adaptiert und extern hergestellt. Auf diesem Weg sind unterschiedliche Leuchten erarbeitet worden (Detailliertere Informationen zu den Leuchten sind im Anhang D ab Seite 235 zu finden.):

- dimmbare Stehleuchte mit veränderbaren Lichtfarben mit Leuchtstofflampentechnik
- dimmbare LED Stehleuchte mit Stoffentblendung
- Pendelleuchte mit verschiedenen Stoffblenden, frei wählbare Lichtleistung und Lichtfarbe
- Wandleuchte mit verschiedenen Stoffblenden
- dimmbare, röhrenförmige Plexiglas-Pendelleuchte mit Leuchtstofflampen oder LED, frei wählbare Lichtleistung und Lichtfarbe



(a) Pendelleuchte mit Stoffentblendung



(b) Wandleuchte mit verschiedenen Stoffblenden

Abbildung 45: Auswahl von Musterleuchten, Entwicklung und Design Nico Hauck, Entwicklung und Anfertigung Fa. Licht & Design

3.5.3 Lichttechnische Messungen

Für die Untersuchungen in Feld wurden zahlreiche lichttechnische Messungen durchgeführt. Folgende lichttechnischen Größen wurden bestimmt:

- horizontale und vertikale Beleuchtungsstärke
- Leuchtdichte von Leuchten und Räumen
- Blendung nach dem UGR-Blendbewertungsverfahren
- Lichtfarbe
- Farbwiedergabe
- spektrale Zusammensetzung der Beleuchtung

Die eingesetzte Messtechnik sind im Anhang C ab Seite 220 dargestellt.

3.6 Statistische Methoden

Mittelwerte

Die Mittelwerte der Sehleistungsparameter wurden aufgrund der logarithmischen Empfindung geometrisch gemittelt. (Bartsch, 1999, S. 581–582)

$$\lg \hat{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \lg x_i \quad (21)$$

Alle übrigen Mittelwerte wurden arithmetisch gemittelt.

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (22)$$

x_i ...Messwerte

n ...Stichprobenumfang

Median und Quartile

Für die Ergebnisdarstellung wurden für einige Parameter zusätzlich der Median und die Quartile bestimmt. Gegenüber dem geom. und arithm. Mittelwert ist der Median weniger anfällig gegenüber Ausreißern. (Bartsch, 1999, S. 584)

wenn n ungerade:

$$x_y = x_{(n+1)/2} \quad (23)$$

wenn n gerade:

$$x_y = \frac{x_{(n/2)} + x_{(n/2+1)}}{2} \quad (24)$$

$y = 0,5$... Median

$y = 0,25$... 1. Quartil

$y = 0,75$... 3. Quartil

Standardabweichung

Erwartungsgetreue Schätzung für die Streuung einer Grundgesamtheit. Die Standardabweichung kann berechnet werden, wenn von Normalverteilungen ausgegangen werden kann. (Bartsch, 1999, S. 585)

$$s_X = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} = \sqrt{\frac{1}{n} (x_1 - \bar{x})^2 + \dots + (x_n - \bar{x})^2} \quad (25)$$

Tests auf Normalverteilung

Die Tests auf Normalverteilung wurden mittels der Statistik-Software SPSS⁵ durchgeführt. Das Programm wählt dabei teilweise die statistischen Verfahren automatisiert aus. Es wurden je nach Stichprobenumfang der Kolmogorov-Smirnov-Test oder der Chi-Quadrat-Test angewendet.

⁵<https://www.ibm.com/analytics/at/de/technology/spss/>

Zweistichproben-t-Test bei normalverteilten Datensätzen

Mit dem Zweistichproben-t-Test können Mittelwerte zweier unabhängiger Stichproben geprüft werden (Verhalten der Mittelwerte zueinander). Dabei wird vorausgesetzt, dass die Daten der Stichproben einer normalverteilten Grundgesamtheit entstammen bzw. genügend große Stichprobenumfänge vorliegen. Dieser Test setzt zusätzlich voraus, dass beide Stichproben aus Grundgesamtheiten mit gleicher Varianz entstammen.

Mann-Whitney-Test bei nicht normalverteilten Datensätzen

Der Mann-Whitney-Test (auch U-Test genannt) ist ein parameterfreier statistischer Homogenitätstest und dient zur Überprüfung der Signifikanz der Übereinstimmung zweier Verteilungen. Es wird geprüft, ob zwei Verteilungen A und B zu derselben Grundgesamtheit gehören bzw. ob zwei unverbundene Verteilungen A und B signifikante Unterschiede aufweisen. Dieser Rangsummentest kann als Alternative zum t-Test angewendet werden, wenn die Variablen bzw. Messungen sich als nicht annähernd normalverteilt erweisen. Für die Berechnung werden den Messwerten (unabhängig von der Gruppenzugehörigkeit) Ränge vergeben. Kommt ein Messwert mehrfach vor, wird ein Mittelwert für den Rang vergeben. Folgend werden Rangsummen für jede Gruppe, die Teststatistik U und die Signifikanz z berechnet und mit den kritischen Werten verglichen. (Mann u. Whitney, 1947)

Wilcoxon-Test bei nicht normalverteilten Datensätzen und verbundenen Stichproben

Der Wilcoxon-Test (auch Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test genannt) überprüft die zentralen Tendenzen zweier abhängiger Stichproben. Dieser Test kommt zur Anwendung, wenn der t-Test aufgrund von nicht normalverteilten Datensätzen nicht angewendet werden kann. Es wird mittels Rängen (negative und positive Ränge, sowie Bindungen) geprüft, ob die Nullhypothese (Nullhypothese=keine Veränderungen zwischen den Stichproben) beibehalten oder abgelehnt wird. Für die Bewertung werden die Teststatistik und die Signifikanz berechnet und mit den kritischen Werten verglichen. (Wilcoxon, 1945)

Alle statistischen Berechnungen wurden mittels der Statistik-Software SPSS durchgeführt.

4 Ergebnisse

4.1 Ergebnisse der Interviews

4.1.1 Subjektiver Licht- und Helligkeitsbedarf

Ein Großteil (53 %) der sehbehinderten Probanden schätzen Ihren Lichtbedarf als erhöht oder hoch ein und geben subjektiv an, mit mehr Licht eine bessere Sehleistung zu haben. Hingegen bewerten ca. ein Viertel (27 %) der Befragten ihren Lichtbedarf als gering oder sehr gering und hatten eine bessere visuelle Leistung bei niedrigeren Helligkeiten. In 19 % der Fälle wurde der Lichtbedarf als normal eingeschätzt. (Abb. 46)

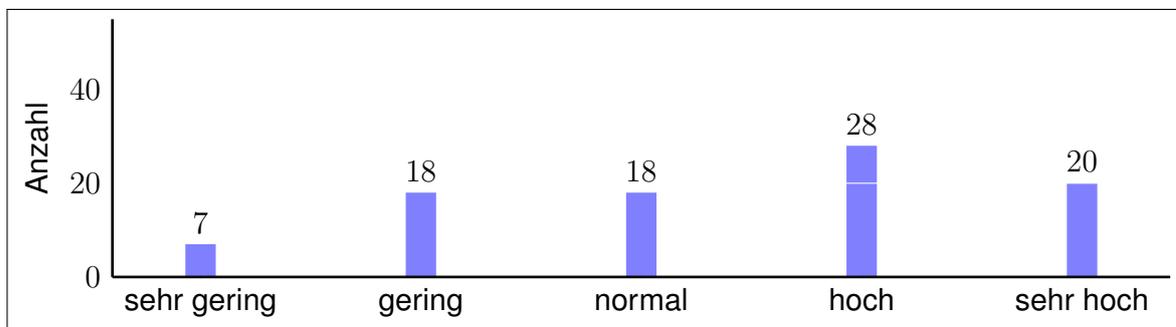


Abbildung 46: Subjektiver Helligkeitsbedarf der sehbehinderten Probanden (n=91)

4.1.2 Subjektive Blendempfindlichkeit und Reflexblendungen

Ein Großteil der befragten, sehbehinderten Menschen beschrieben verschiedenste Probleme mit Blendungen. Etwa Dreiviertel schätzten ihre Blendempfindlichkeit als hoch bzw. sehr hoch ein (Abb. 47 auf Seite 77). Nur ca. 10 % sehbehinderten Probanden gaben an keine erhöhte, sondern eine „normale“ Blendempfindlichkeit zu haben.

Bei knapp Dreiviertel der blendempfindlichen Personen traten die Probleme durch Blendungen sowohl bei Kunst- als auch bei Tageslicht auf. Ein Drittel dieser Personen gab an

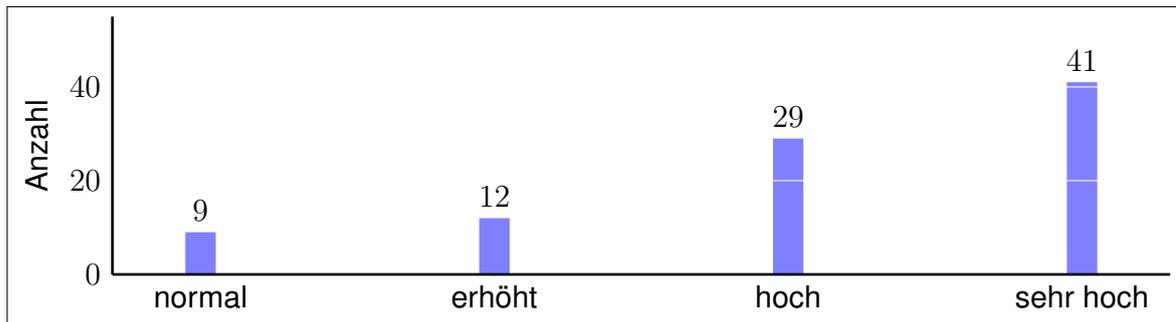


Abbildung 47: Subjektive Blendempfindlichkeit der sehbehinderten Probanden (n=91)

ausschließlich bei Tageslicht Probleme mit Blendungen zu haben (Abb. 48 auf Seite 77). Reflexblendungen können einen Einfluss auf die visuelle Wahrnehmung haben. Zirka

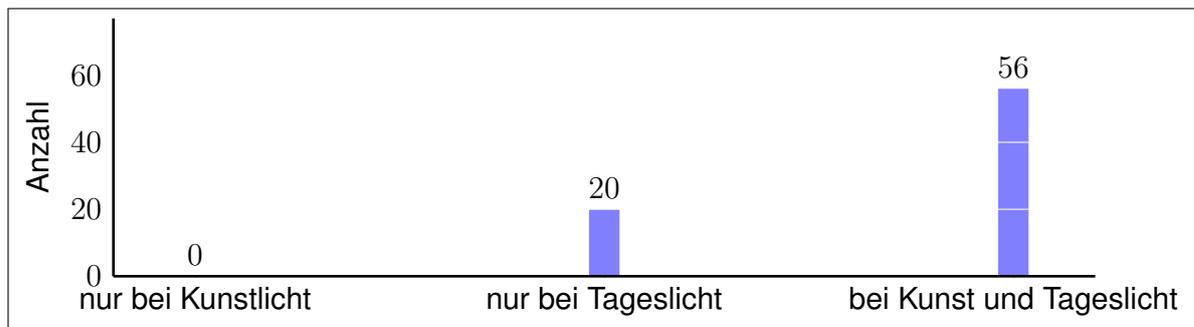


Abbildung 48: Situationen, bei denen Blendungen typischerweise auftreten (Personen mit mind. erhöhter Blendempfindlichkeit) (n=76)

Dreiviertel der befragten, sehbehinderten Personen bewerteten Reflexblendungen (z.B. auf Hochglanzböden) als störend bzw. sehr störend (Abb. 49 auf Seite 78). Diese Reflexe können sehr hohe Leuchtdichten annehmen. Fehlinterpretationen und eine zusätzlich herabgesetzte Sehleistung (v.a. eine herabgesetzte Kontrastempfindlichkeit) können die Folge sein.

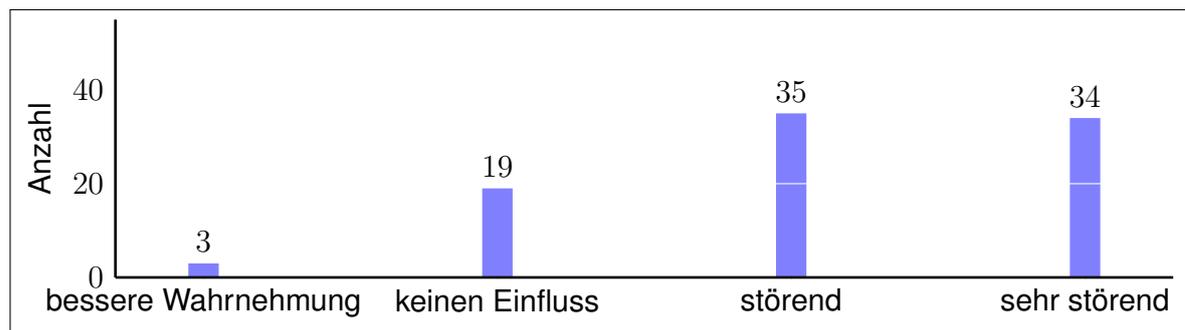


Abbildung 49: Einfluss von Reflexblendungen auf die visuelle Wahrnehmung der sehbehinderten Probanden (n=91)

4.1.3 Gleichmäßigkeit der Beleuchtung und Helligkeitswechsel

Ungleichmäßige Lichtsituationen werden von sehbehinderten Menschen regelmäßig als Problem beschrieben. Dies liegt vor allem an der eingeschränkten Adaptationsfähigkeit des visuellen Systems. Man könnte auch sagen, dass der „Dynamikbereich“ im Vergleich zu normalsehenden Personen reduziert ist. Zirka Zweidrittel der befragten, sehbehinderten Personen gaben an, dass eine ungleichmäßige Beleuchtung sich störend bzw. sehr störend auf ihre visuelle Wahrnehmung auswirkt (Abb. 50 auf Seite 78).

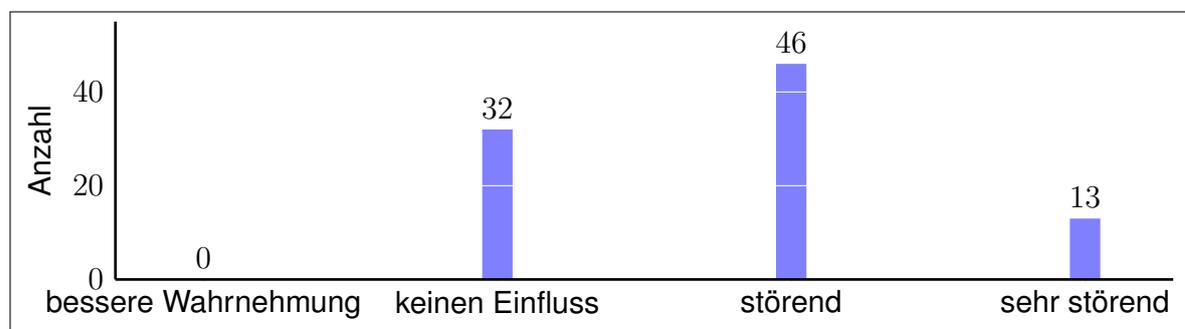


Abbildung 50: Einfluss sehr ungleichmäßiger Beleuchtung auf die visuelle Wahrnehmung (n=91)

Bei schnellen Helligkeitswechseln (z.B. Wechsel vom Inneren eines Gebäudes ins Freie bei hellem Tag bzw. umgekehrt) werden von den sehbehinderten Probanden verlangsamte Adaptationsvorgänge beschrieben. Die größte Gruppe hat dabei Probleme beim Helligkeitswechsel sowohl nach hell als auch nach dunkel (Abb. 51 auf Seite 79).

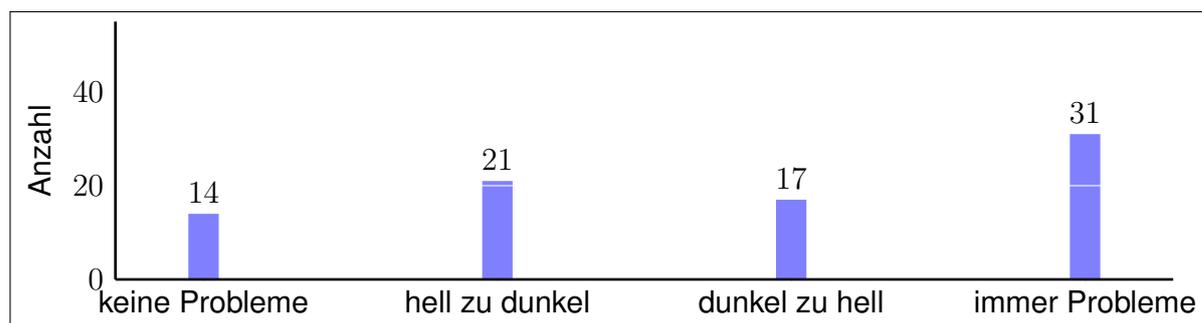


Abbildung 51: Adaptationsproblematik der sehbehinderten Probanden bei verschiedenen, zeitlich schnellen Helligkeitsänderungen (n=91)

4.2 Ergebnisse der Sehtests

Die Sehtests wurden, wie im Kap. 3.3 beschrieben, durchgeführt.

4.2.1 Visus in Abhängigkeit von der Adaptationsleuchtdichte

Die normalsehenden, jungen Probanden erzielten im Vergleich zu den weiteren Testgruppen die höchste Sehschärfe. Der Visus der älteren, normalsehenden Personen war vor allem bei geringeren Helligkeiten zu den jüngeren Personen geringer (Vergleich der Mittelwerte und Mediane, Abb. 52 und 53). Bei höheren Helligkeiten (vor allem bei 320 cd/m²) war dieser Effekt weniger stark ausgeprägt.

Bei den sehbehinderten Personen war der Visus grundsätzlich stark reduziert. Da die Werte dieser Gruppe eine hohe Spannweite aufweisen, wurde zusätzlich in Personen mit hohem und niedrigem Lichtbedarf unterteilt (Abb. 55)

Die Probanden mit hohem Lichtbedarf hatten eine starke Zunahme der Sehschärfe mit steigender Adaptationsleuchtdichte. Bei geringen Helligkeiten konnte hingegen teilweise keine Sehschärfe (Visus = 0) bestimmt werden.

Die sehbehinderten Probanden mit geringem Lichtbedarf hatten die maximale Sehschärfe bei Helligkeiten von 10 cd/m² bis 32 cd/m². Bei hohen Helligkeiten ist die Sehschärfe wieder abgefallen.

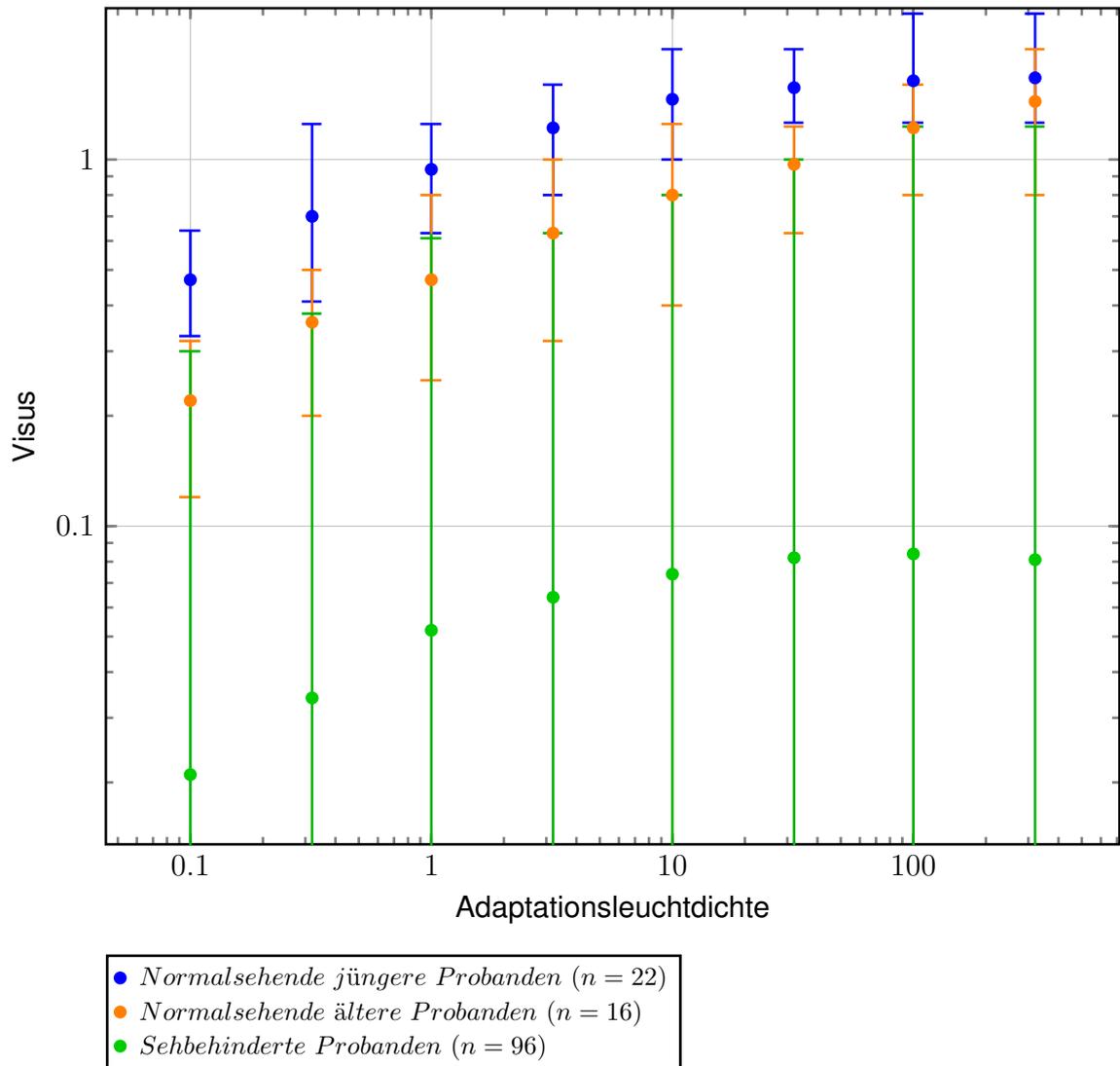


Abbildung 52: Visus in Abhängigkeit von der Adaptationsleuchtdichte - Geometrische Mittelwerte und Spannweite

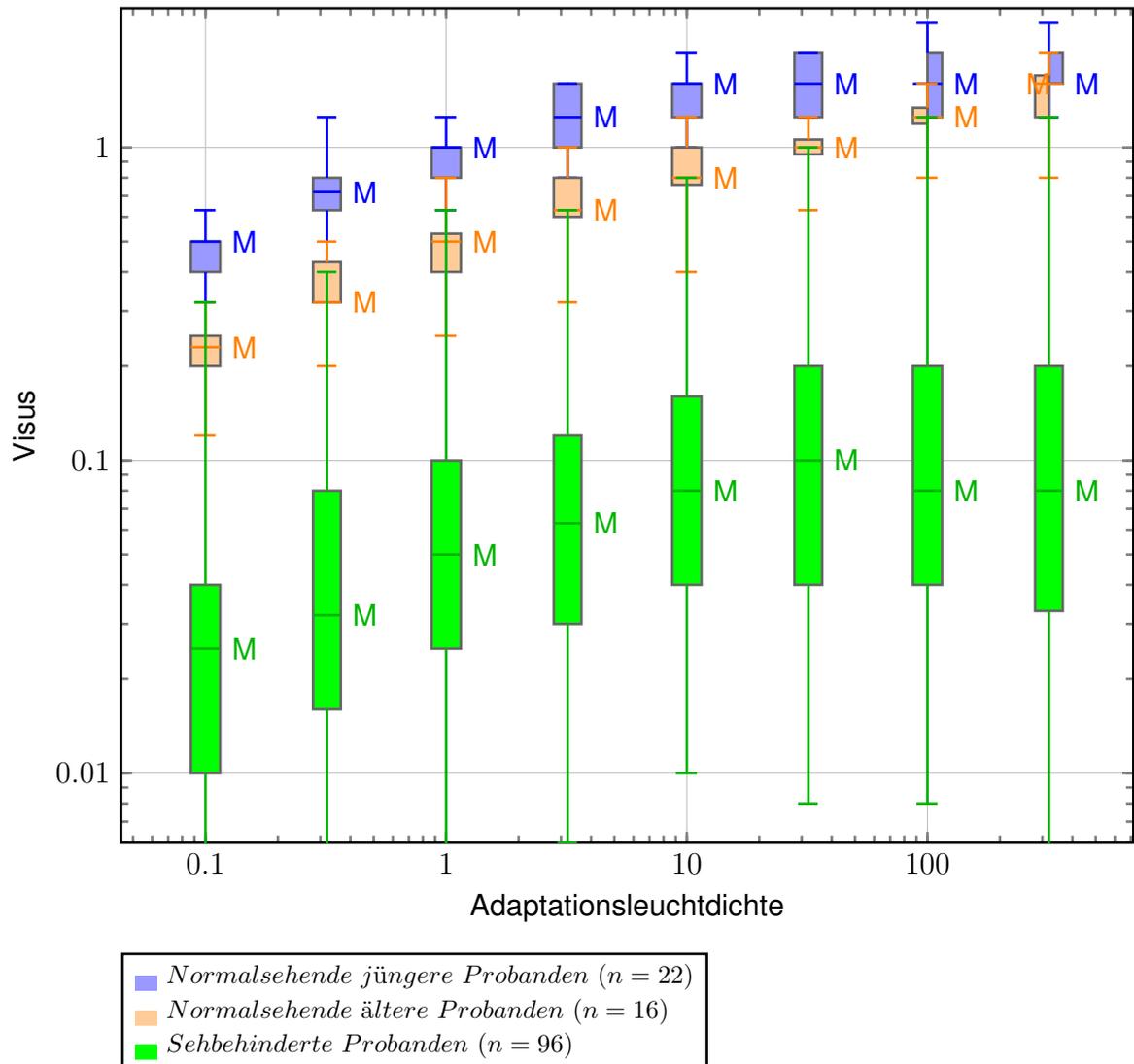


Abbildung 53: Visus in Abhängigkeit von der Adaptationsleuchtdichte - Median (M), 1. und 3. Quartil, minimaler und maximaler Wert

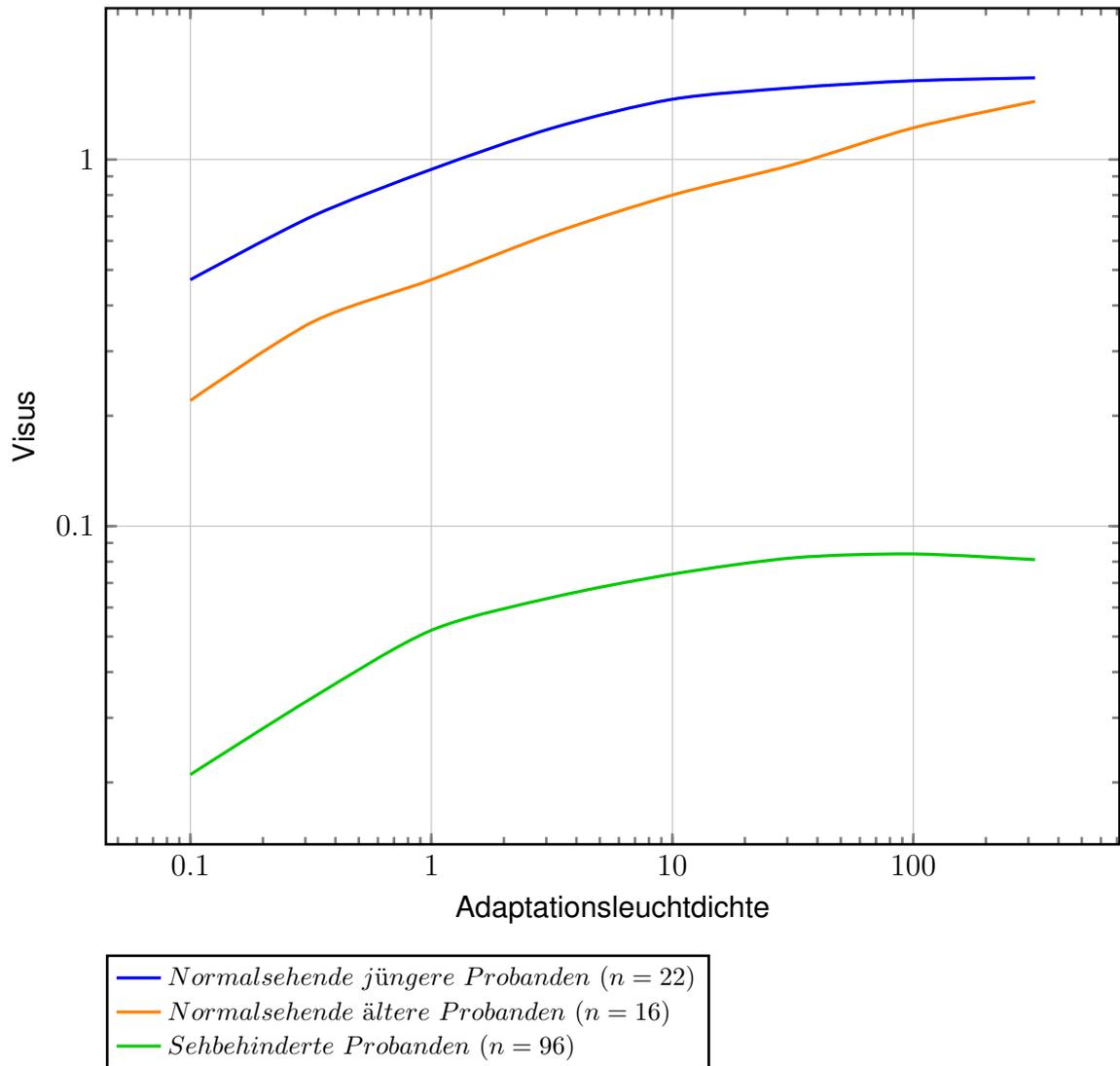


Abbildung 54: Visus in Abhängigkeit von der Adaptationsleuchtdichte (auf Basis der geometrischen Mittelwerte)

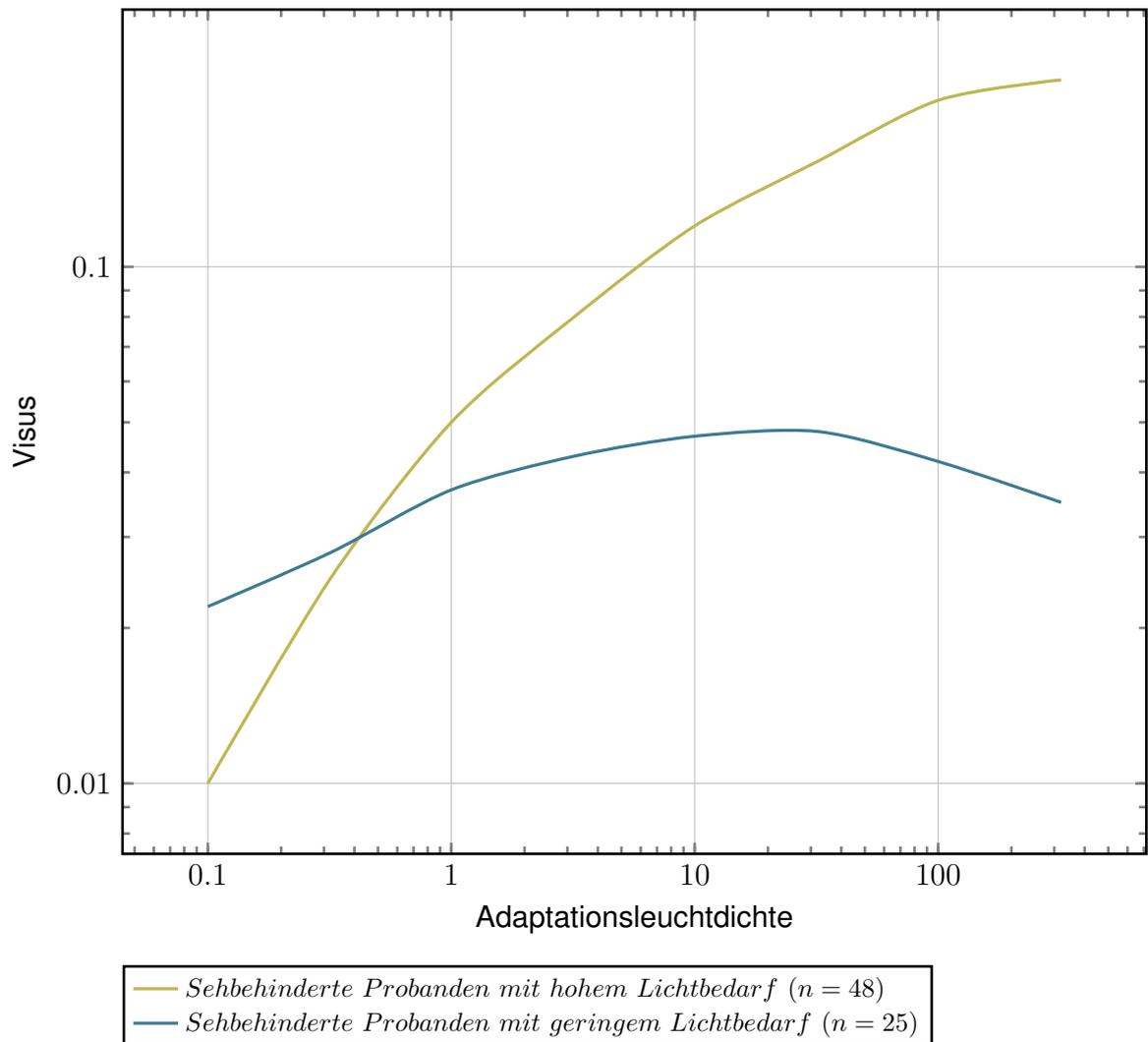


Abbildung 55: Visus in Abhängigkeit von der Adaptationsleuchtdichte der sehbehinderten Personen mit geringem und hohem Lichtbedarf (auf Basis der geometrischen Mittelwerte)

4.2.2 Kontrastschwelle in Abhängigkeit von der Adaptationsleuchtdichte

Die Kontrastschwelle der jüngeren, normalsehenden Personen war am geringsten (= höchste Kontrastempfindlichkeit). Bereits bei geringen Helligkeiten wurde eine niedrige Kontrastschwelle ermittelt. Ab einer Adaptationsleuchtdichte von $3,2 \text{ cd/m}^2$ änderte sich die Kontrastschwelle nur noch geringfügig. Die Mittelwerte zwischen $3,2$ und 320 cd/m^2 lagen innerhalb einer log-Stufe.

Die älteren Normalsehenden hatten im Vergleich eine ähnliche, aber etwas geringere Kontrastempfindlichkeit. Ein deutlicher Unterschied bei geringen Helligkeiten (wie bei der Prüfung der Sehschärfe/Visus) war nicht vorhanden. Ab einer Adaptationsleuchtdichte von 10 cd/m^2 lagen die Mittelwerte innerhalb einer log-Stufe und änderten sich nicht mehr praxisrelevant.

Ein Großteil der sehbehinderten Personen hat bei höheren Helligkeiten eine bessere Kontrastempfindung in Abb. 59 auf Seite 88). Ein deutlicher Anstieg der Kontrastempfindung ist im Bereich der Adaptationsleuchtdichte von $0,1 \text{ cd/m}^2$ bis 10 cd/m^2 zu erkennen. Ab einer Adaptationsleuchtdichte von 10 cd/m^2 sind die Veränderungen sehr gering (innerhalb 1 log-Stufe).

Die sehbehinderten Probanden wurden analog zu Kap. 4.2.1 wieder in 2 Untergruppen unterteilt. Die Auswertung/Beurteilung in einer einzigen Gruppe würde die Aussagekraft aufgrund der hohen Spannweite der Ergebnisse beeinträchtigen (Abb. 60 auf Seite 89).

Die Gruppe mit geringem Lichtbedarf hat bereits ab einer Helligkeit von 32 cd/m^2 einen Abfall der Kontrastempfindung. Durch die erzeugten Helligkeiten ab 100 cd/m^2 kam es in dieser Gruppe häufig zu Absolutblendung, was zu einem Abfall in der Kontrastwahrnehmung führte. Das Maximum der Kontrastempfindlichkeit wurde bei Helligkeiten zwischen $3,2$ und 10 cd/m^2 erreicht.

Die sehbehinderten Probanden mit hohem Lichtbedarf haben mit ansteigender der Adaptationsleuchtdichte eine höhere Kontrastempfindlichkeit. Vor allem im Bereich von $0,1 \text{ cd/m}^2$ bis 10 cd/m^2 hat die Kurve einen steilen Verlauf. Das Maximum liegt bei einer Adaptationsleuchtdichte von 100 cd/m^2 . Bei der Adaptationsleuchtdichte von 320 cd/m^2 fällt die Kurve leicht ab.

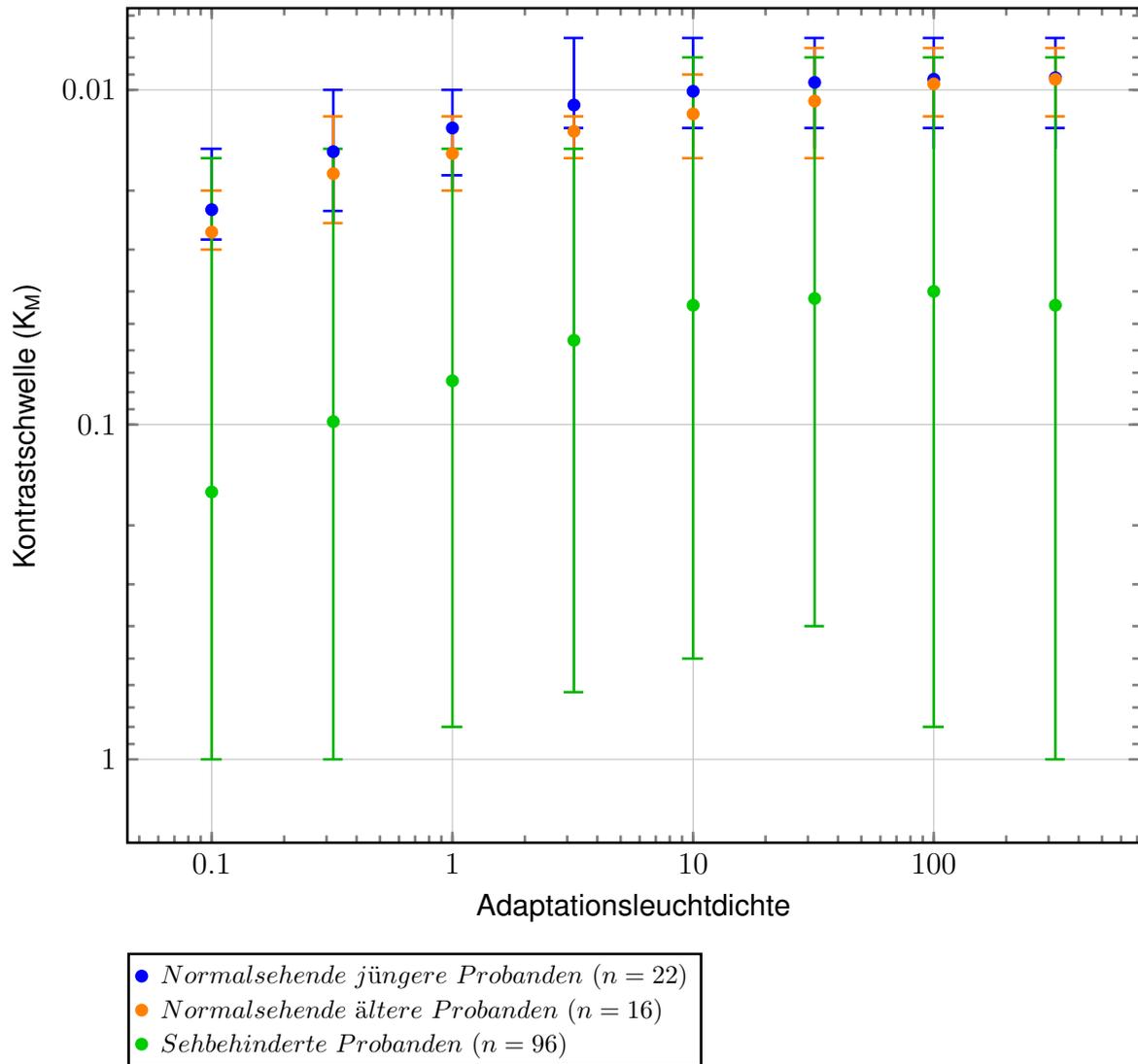


Abbildung 56: Kontrastschwelle in Abhängigkeit von der Adaptationsleuchtdichte - Geometrische Mittelwerte und Spannweite

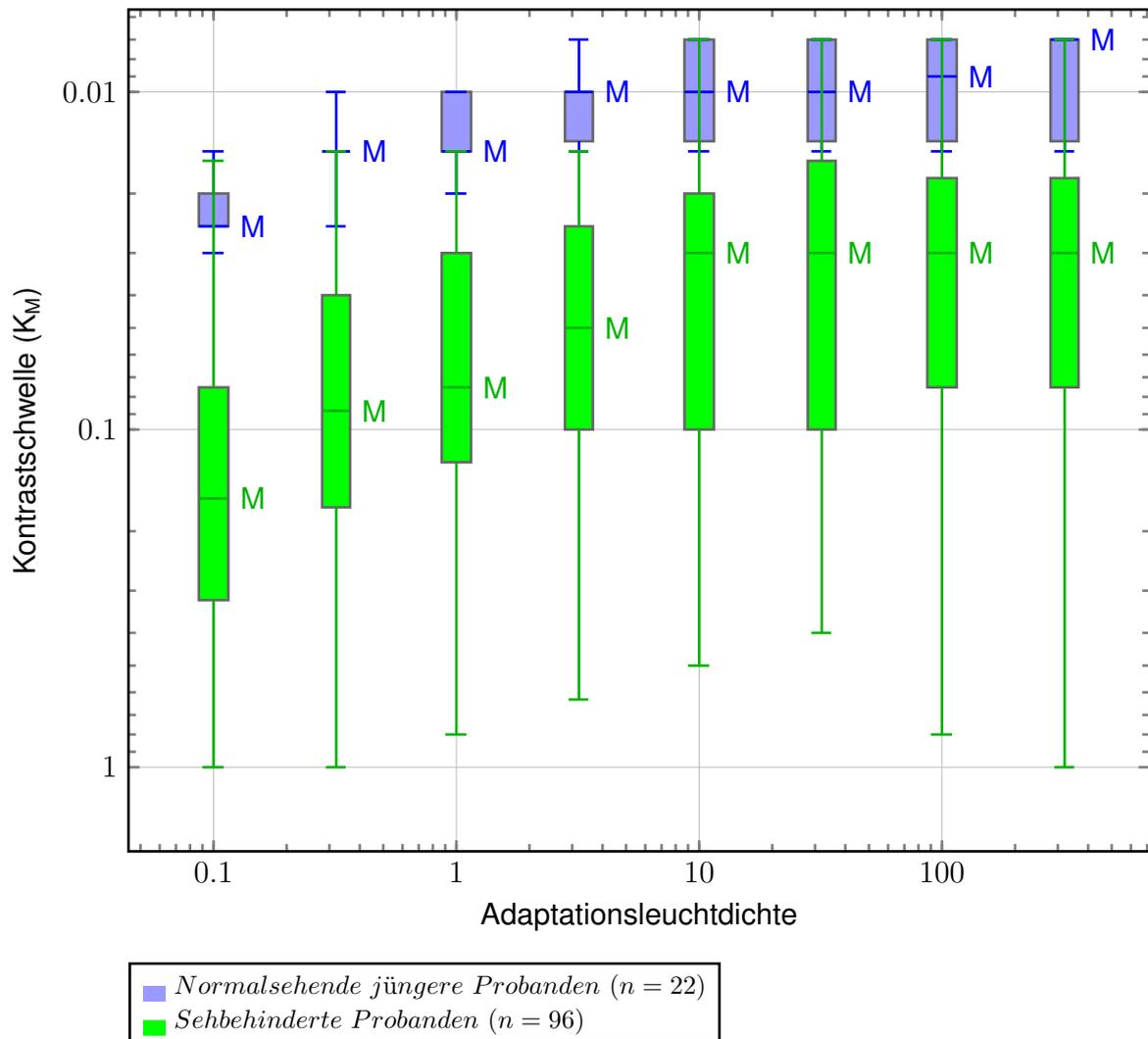


Abbildung 57: Kontrastschwelle in Abhängigkeit von der Adaptationsleuchtdichte - Median (M), 1. und 3. Quartil, minimaler und maximaler Wert (normalsehende jüngere und sehbehinderte Probanden)

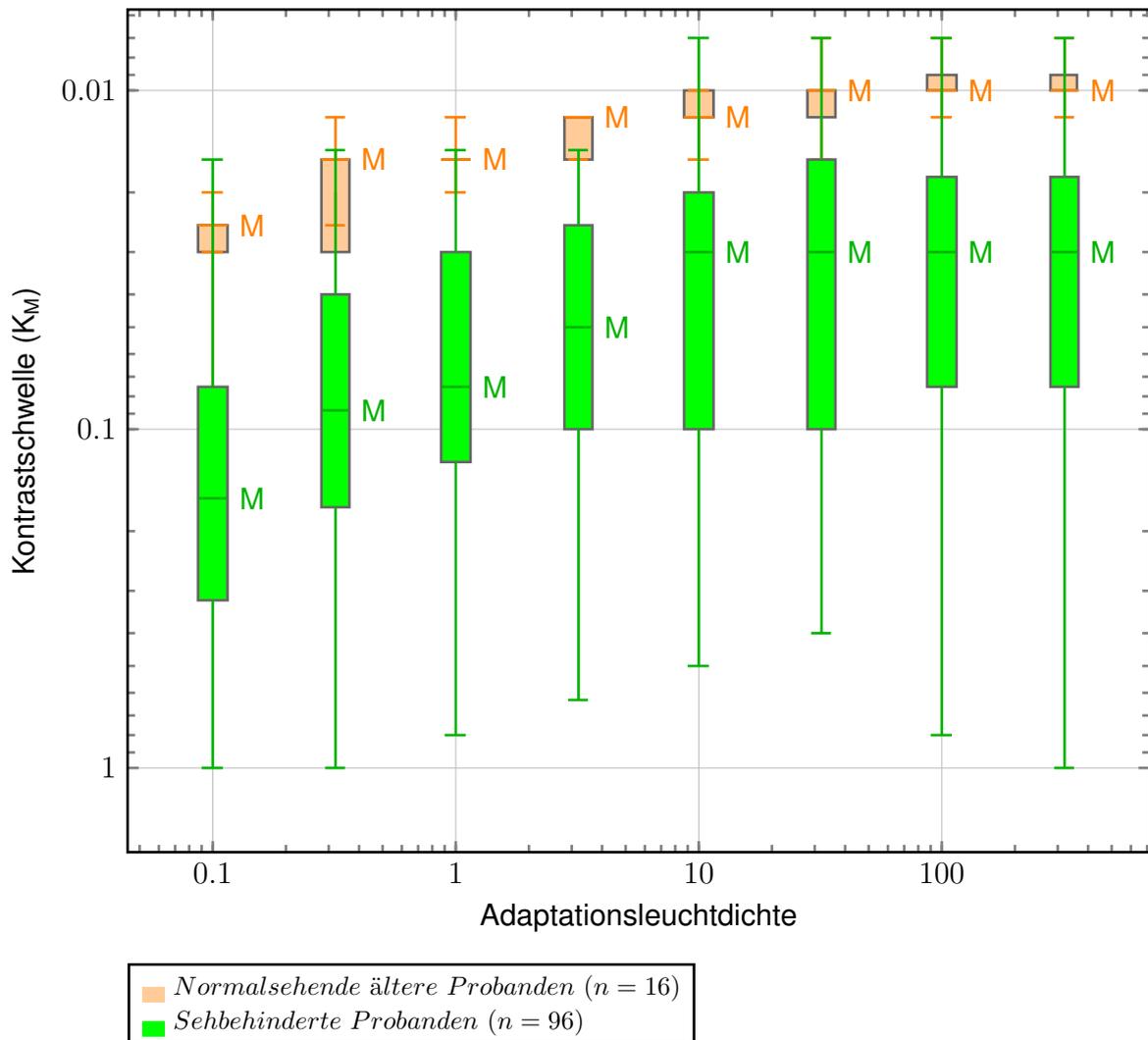


Abbildung 58: Kontrastschwelle in Abhängigkeit von der Adaptationsleuchtdichte - Median (M), 1. und 3. Quartil, minimaler und maximaler Wert (normalsehende ältere und sehbehinderte Probanden)

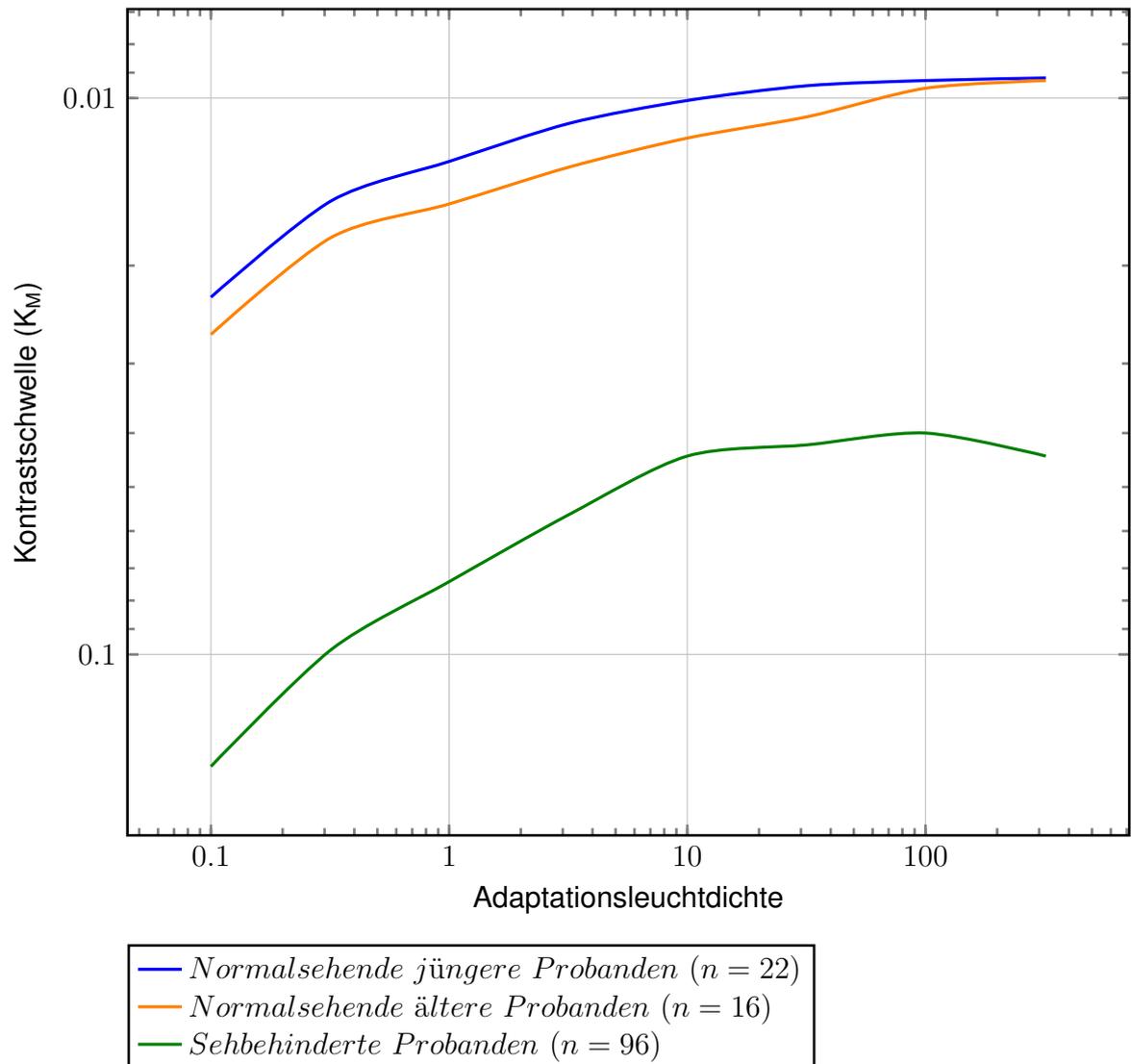


Abbildung 59: Kontrastsschwelle in Abhängigkeit von der Adaptationsleuchtdichte (auf Basis der geometrischen Mittelwerte)

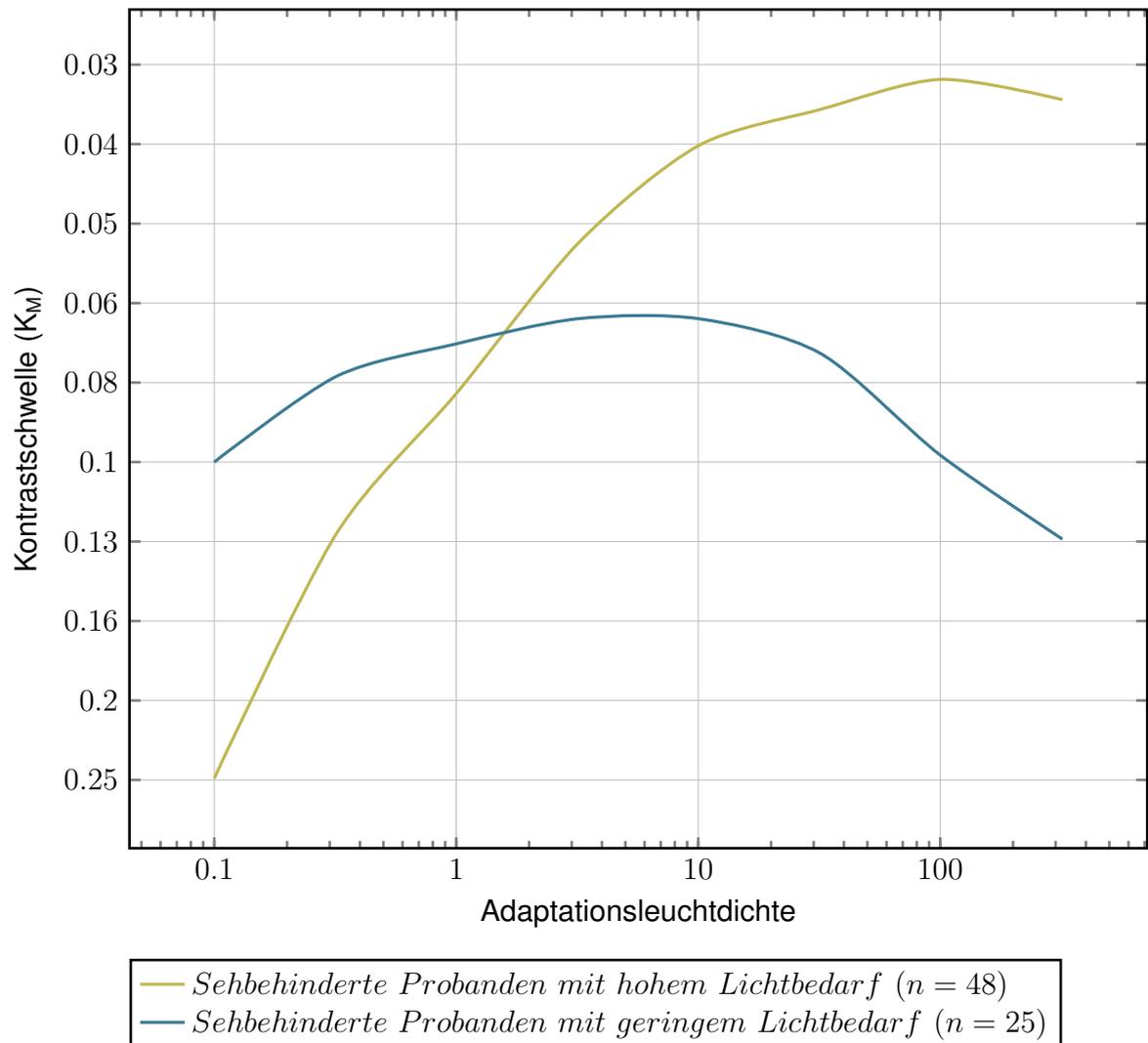


Abbildung 60: Kontrastsschwelle in Abhängigkeit von der Adaptationsleuchtdichte der sehbehinderten Probanden mit geringem und hohem Lichtbedarf (auf Basis der geometrischen Mittelwerte)

4.2.3 Erkennung von Logatomen in Abhängigkeit vom Kontrast

Mit dem „Logatomentest“ wurde die Kontrastempfindlichkeitsfunktion bei 0,1; 1; 10 und 100 cd/m² bestimmt. Die Trendlinien der normalsehenden Probanden sind in Abb. 61 auf Seite 92 dargestellt. Alle Kurven haben einen ähnlichen Verlauf. Mit steigender Adaptationsleuchtdichte nehmen sowohl Visus als auch die Kontrastempfindlichkeit zu.

Aus den den Kurven der normalsehenden Probanden kann man erkennen, dass die Kontrastschwelle bei den jüngeren normalsehenden Probanden ab einer Adaptationsleuchtdichte von 10 cd/m² nur noch gering ansteigt. Im Bereich des hohen Kontrasts (Bereich der klassischen Visusmessung) erkennt man deutlich, dass die älteren Personen bis zu 10mal höhere Adaptationsleuchtdichte benötigen, um eine ähnliche Sehschärfe wie die jüngeren normalsehenden Probanden zu erreichen.

Die Kurven der sehbehinderten Probanden sind individuell sehr unterschiedlich. Daher ist es nicht möglich und sinnvoll Normkurven für die sehbehinderten Probanden darzustellen. Generell sind die Kurven im Vergleich zu den normalsehenden Personen zum Teil deutlich reduziert (in Sehschärfe und Kontrastempfindlichkeit).

Stellvertretend für die Kontrastempfindlichkeitsfunktionen der sehbehinderten Probanden sind drei Beispiele für verschiedene Augenerkrankungen mit unterschiedlichen individuellen Kurveverläufen (Abb. 62 auf S. 95 bis Abb.62 auf S. 95) dargestellt.

Tabelle 9: Sehschärfen bei verschiedenen Adaptationsleuchtdichten und unterschiedlichem *Michelson*-Kontrast ermittelt mit dem Logatomentest (geom. Mittelwerte)

	K_M 0,8	K_M 0,5	K_M 0,3	K_M 0,2	K_M 0,1	K_M 0,05	K_M 0,03	K_M 0,016	K_M 0,01
0,1 cd/m²									
Normalsehend jünger	0,44	0,46	0,34	0,28	0,19	0,10	0,04	-	-
Normalsehend älter	0,26	0,23	0,21	0,17	0,11	0,04	0,02	-	-
Sehbehinderte Probanden	0,05	0,05	0,04	0,03	0,02	-	-	-	-
1 cd/m²									
Normalsehende jünger	0,81	0,77	0,67	0,57	0,43	0,30	0,21	0,08	-
Normalsehend älter	0,52	0,50	0,45	0,37	0,27	0,17	0,12	0,03	-
Sehbehinderte Probanden	0,08	0,08	0,07	0,06	0,04	0,03	-	-	-
10 cd/m²									
Normalsehend jünger	1,21	1,14	1,00	0,91	0,77	0,60	0,42	0,18	-
Normalsehend älter	0,84	0,73	0,71	0,65	0,52	0,39	0,28	0,12	-
Sehbehinderte Probanden	0,11	0,11	0,10	0,09	0,06	0,05	0,04	-	-
100 cd/m²									
Normalsehend jünger	1,50	1,41	1,36	1,17	1,05	0,81	0,52	0,38	0,27
Normalsehend älter	1,20	1,16	1,00	0,93	0,86	0,66	0,45	0,30	0,05
Sehbehinderte Probanden	0,12	0,12	0,11	0,09	0,07	0,06	0,04	-	-

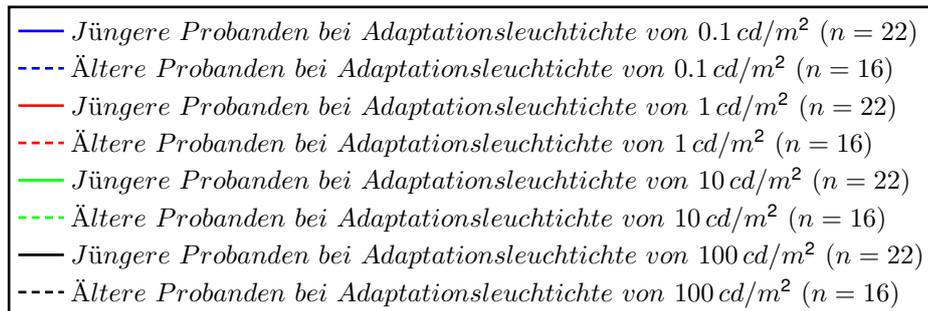
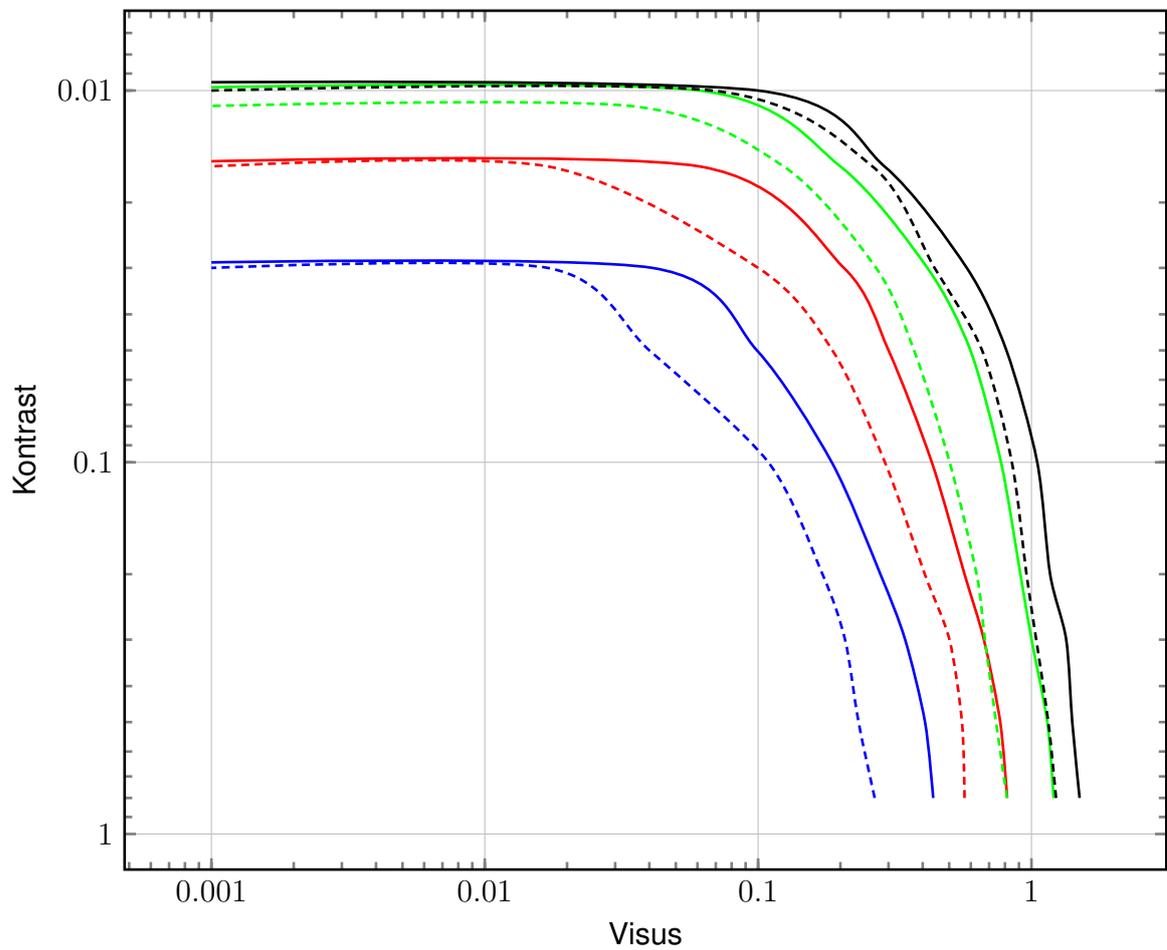


Abbildung 61: Kontrastempfindlichkeitsfunktionen der normalsehenden Probanden bei verschiedenen Leuchtdichten

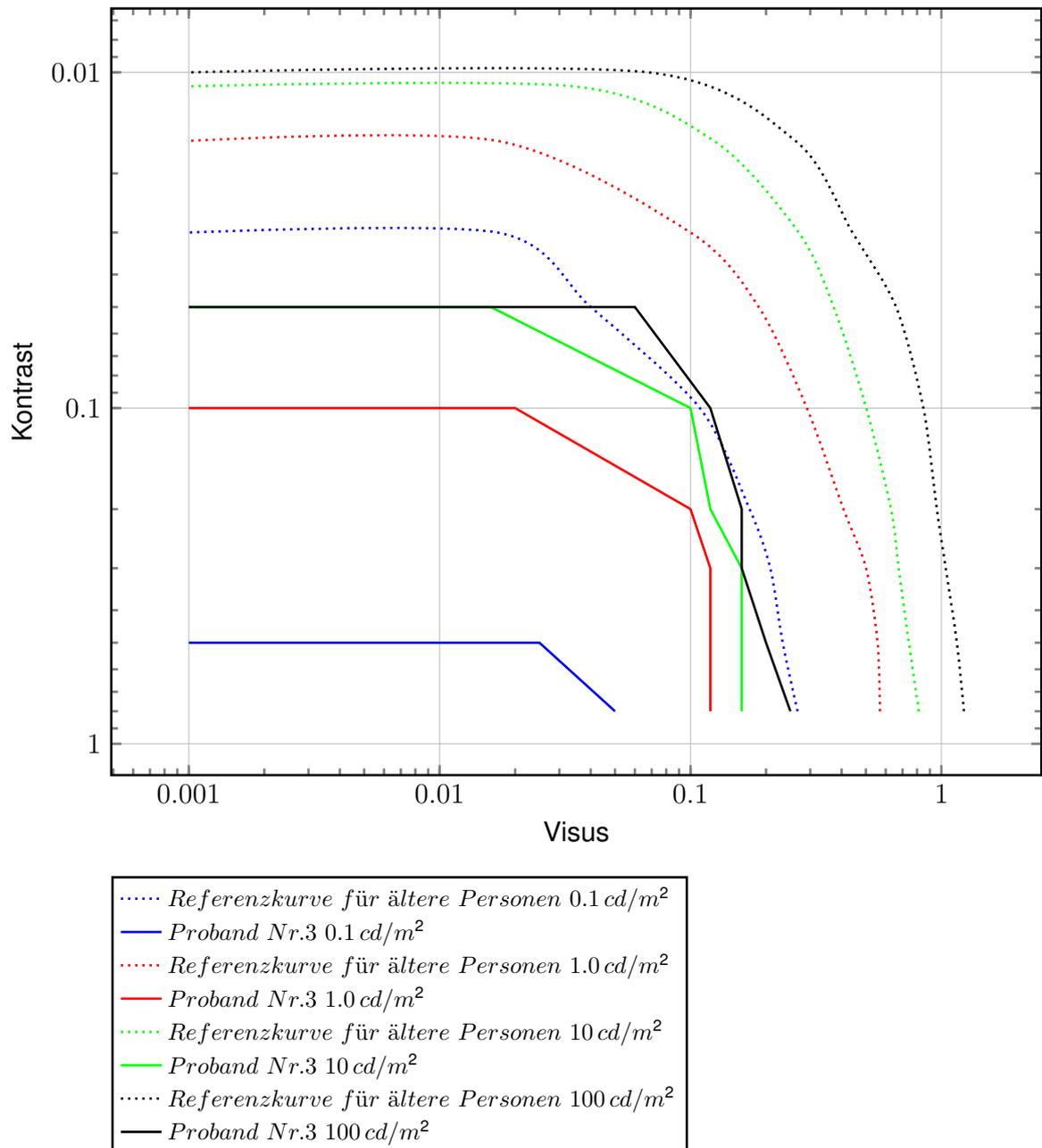


Abbildung 62: Kontrastempfindlichkeitsfunktionen bei verschiedenen Adaptationsleuchtdichten; Proband Nr.3 mit der Augenerkrankung Hemioparese, männlich, Alter: 55 Jahre

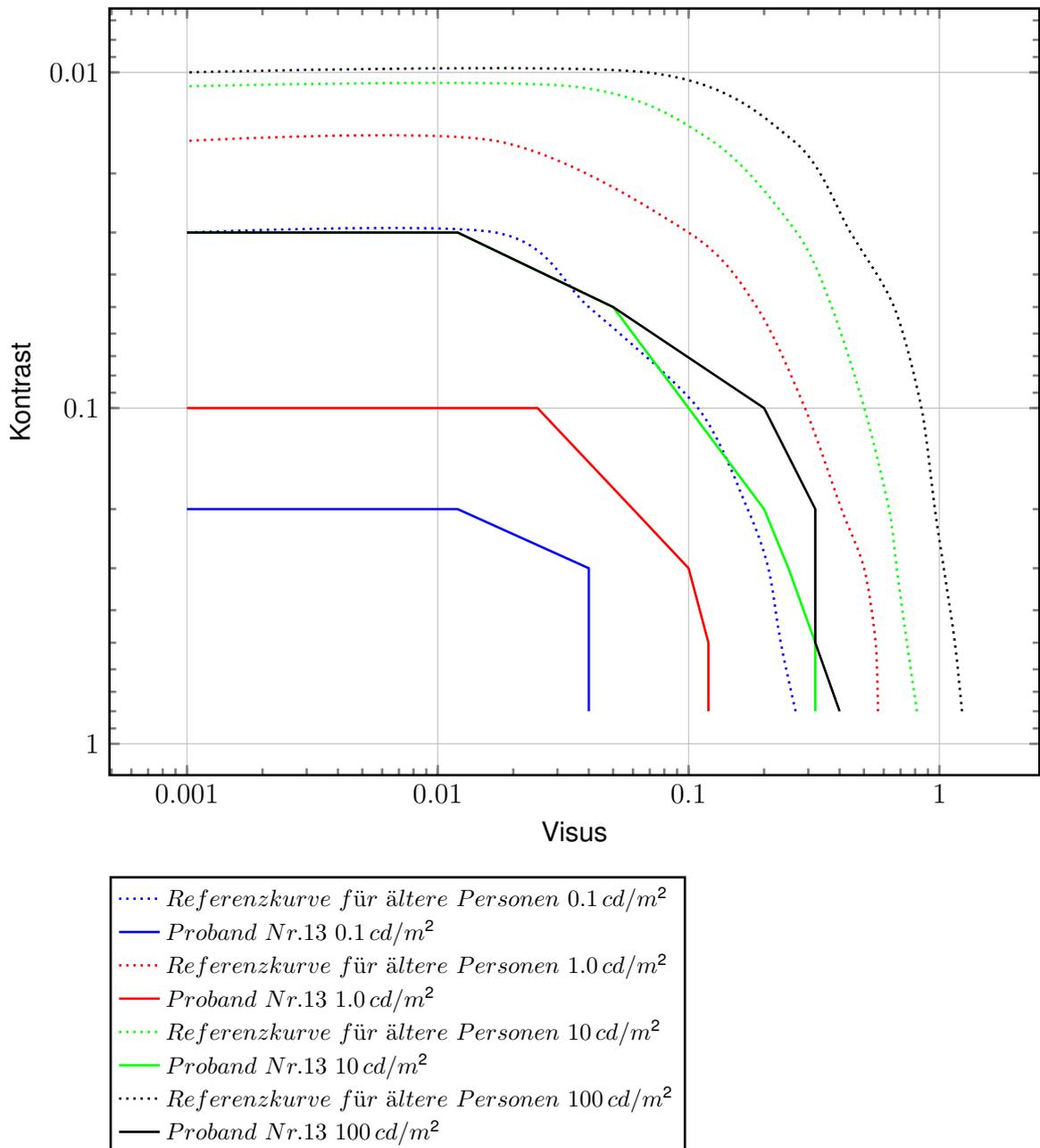


Abbildung 63: Kontrastempfindlichkeitsfunktionen bei verschiedenen Adaptationsleuchtdichten; Proband Nr.13 mit der Augenerkrankung Myopische Makuladegeneration, weiblich, Alter: 57 Jahre

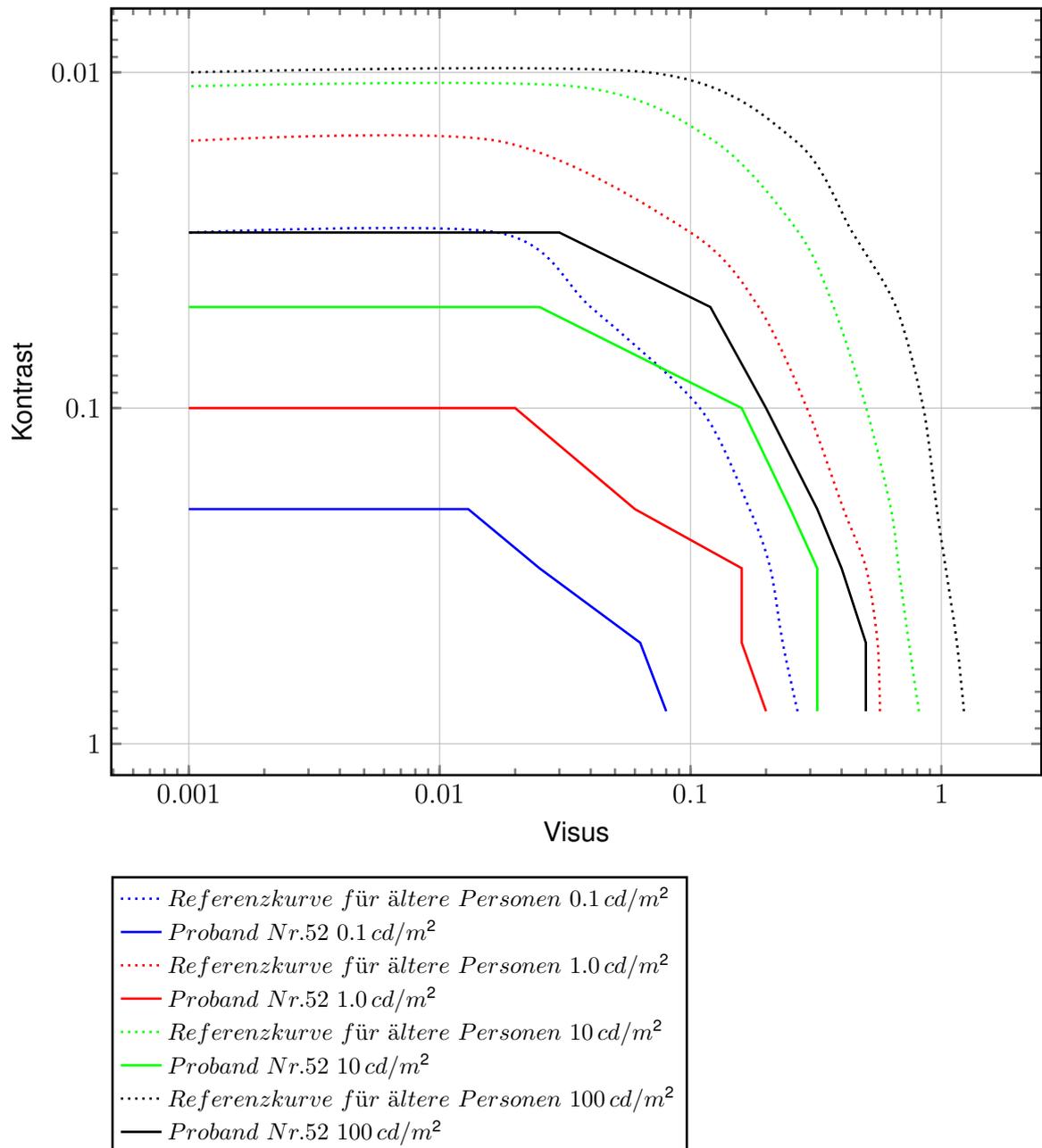


Abbildung 64: Kontrastempfindlichkeitsfunktionen bei verschiedenen Adaptationsleuchtdichten; Proband Nr.52 mit der Augenerkrankung Altersbedingte Makuladegeneration im Anfangsstadium, weiblich, Alter: 81 Jahre

4.2.4 Kontrastschwelle in Abhängigkeit vom UGR Blendwert

Der Test zur Bestimmung der Kontrastschwelle wurde mit einer zusätzlichen zentralen Blendquelle bei einer Adaptationsleuchtdichte von 10 cd/m^2 durchgeführt (siehe Kap. 3.3.5 ab S. 66). Abb. 65 auf Seite 97 zeigt die Kontrastschwelle in Abhängigkeit von der Blendung (UGR-Blendbewertung). Es sind je Probandengruppe die Mittelwerte sowie die lineare Regression dargestellt.

Die normalsehenden Probanden konnten fallweise sehr geringe Kontraste, unabhängig von der Stärke der Blendung, wahrnehmen. Tendenziell nimmt die Kontrastwahrnehmung mit steigender Blendung etwas ab. In der Praxis ist dieser Abfall (Zitat: „Anstiege der Kontrastschwelle durch eine Blendlichtquelle müssen einen Wert von ca. 2% überschreiten, damit sie zu einer signifikanten physiologischen Blendung führen.“ Schmidt-Clausen (1974)) kaum relevant.

Dieser Effekt ist bei älteren Personen etwas stärker ausgeprägt. Ab einer Blendung von UGR 25 und höher kommt es zu einer (geringen) physiologischen Blendung, welche sich in der Praxis (gering) auswirken könnte. In log-Stufen ausgedrückt, ist die Erhöhung der Kontrastschwelle größer als 2 log-Kontraststufen (Tab. 10).

Im Vergleich deutlich abfallend ist die Kontrastempfindlichkeit der getesteten, sehbehinderten Probanden mit steigender Blendung (siehe Tab. 10). Im Einzelfall war bei hohen Blendungen ausschließlich ein hoher Schwarz/Weiß-Kontrast bestimmbar. Diese Personen waren in dieser Situation praktisch blind.

Tabelle 10: Anstieg der Kontrastschwelle in log-Stufen in Abhängigkeit vom UGR-Blendwert (Ausgangswert ist jeweils die Kontrastschwelle ohne Blendung)

UGR-Wert	Normalsehende junge Probanden	Normalsehende ältere Probanden	Sehbehinderte Probanden
07	0	0	1
10	0	0,5	1,5
13	0	1	2
16	1	1	3
19	1	1	4
22	1	1,5	5
25	1	2	6
28	2	3	8

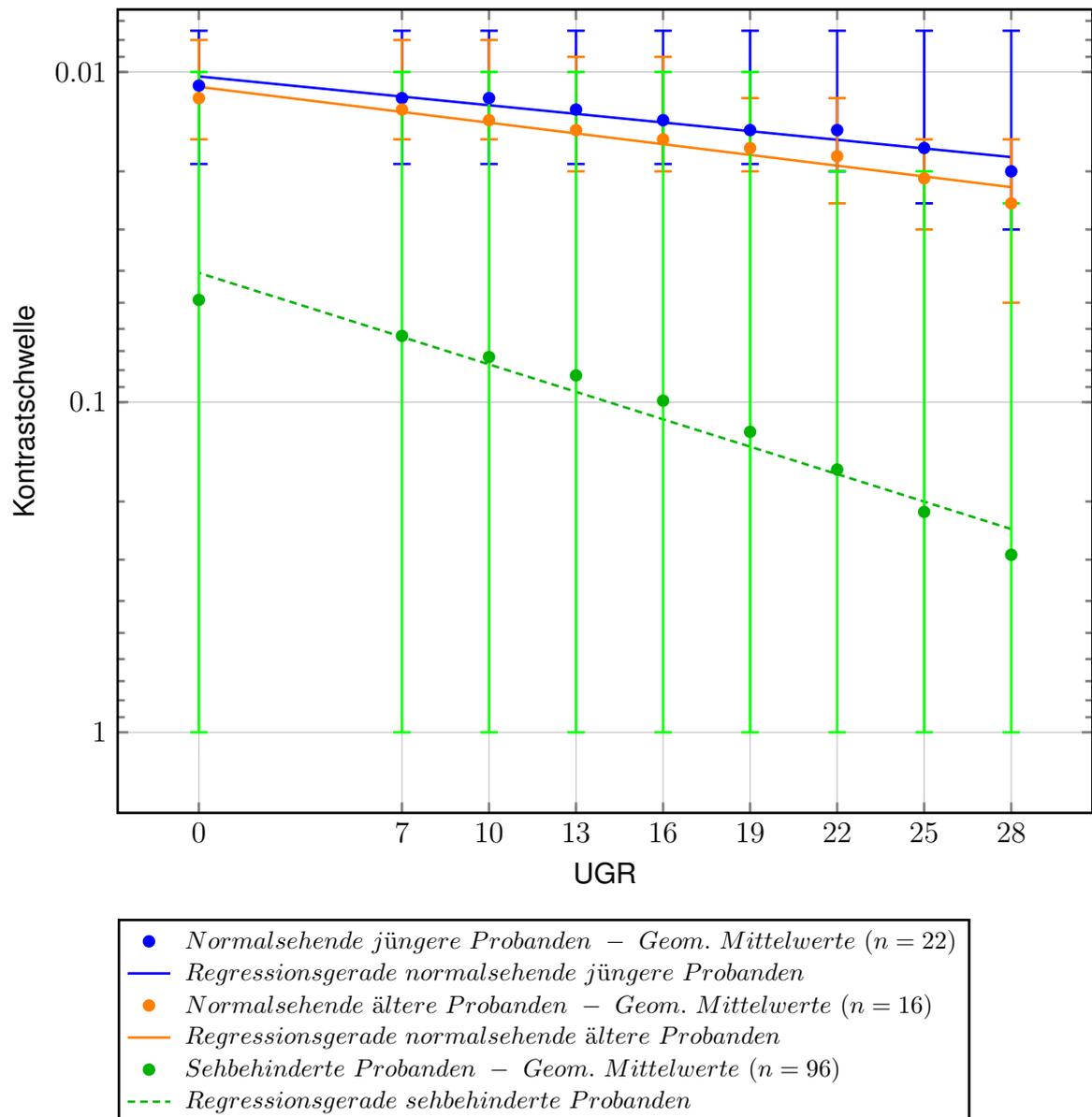


Abbildung 65: Kontrastschwelle in Abhängigkeit vom UGR-Blendwert - Geometrische Mittelwerte, Spannweite und Regressionsgerade

4.2.5 Subjektive Störempfindung durch Blendung

Die Störempfindung der getesteten Gruppen ist in Abb. 66 auf Seite 99 dargestellt. Die geringste Störempfindung hatten die jungen, normalsehenden Probanden. Bei älteren Normalsehenden nimmt die Störempfindung leicht zu. Am unangenehmsten war die Blendung für die sehbehinderten Probanden. Diese war im Vergleich zu den normalsehenden Personen deutlich höher (Abb. 67 auf S. 100 und Abb. 68 auf S. 101).

In der Tabelle 11 sind erstmals UGR-Werte für sehbehinderte Menschen im Vergleich zu normalsehenden Personen dargestellt. Die Tabelle ist so zu verstehen: Wenn beispielsweise in einer Norm (z.B. EN 12464-1) ein UGR-Wert von 19 vorgesehen ist, so sollte man für die Bedürfnisse sehbehinderter Menschen einen UGR-Wert von 10 anstreben.

Tabelle 11: UGR Vergleichswerte für (jüngere) normalsehende und sehbehinderte Personen

UGR Wert für normalsehende junge Personen	UGR Wert für sehbehinderte Personen
13	< 7
16	7,3
19	10,6
22	13,9
25	17,3
28	20,5

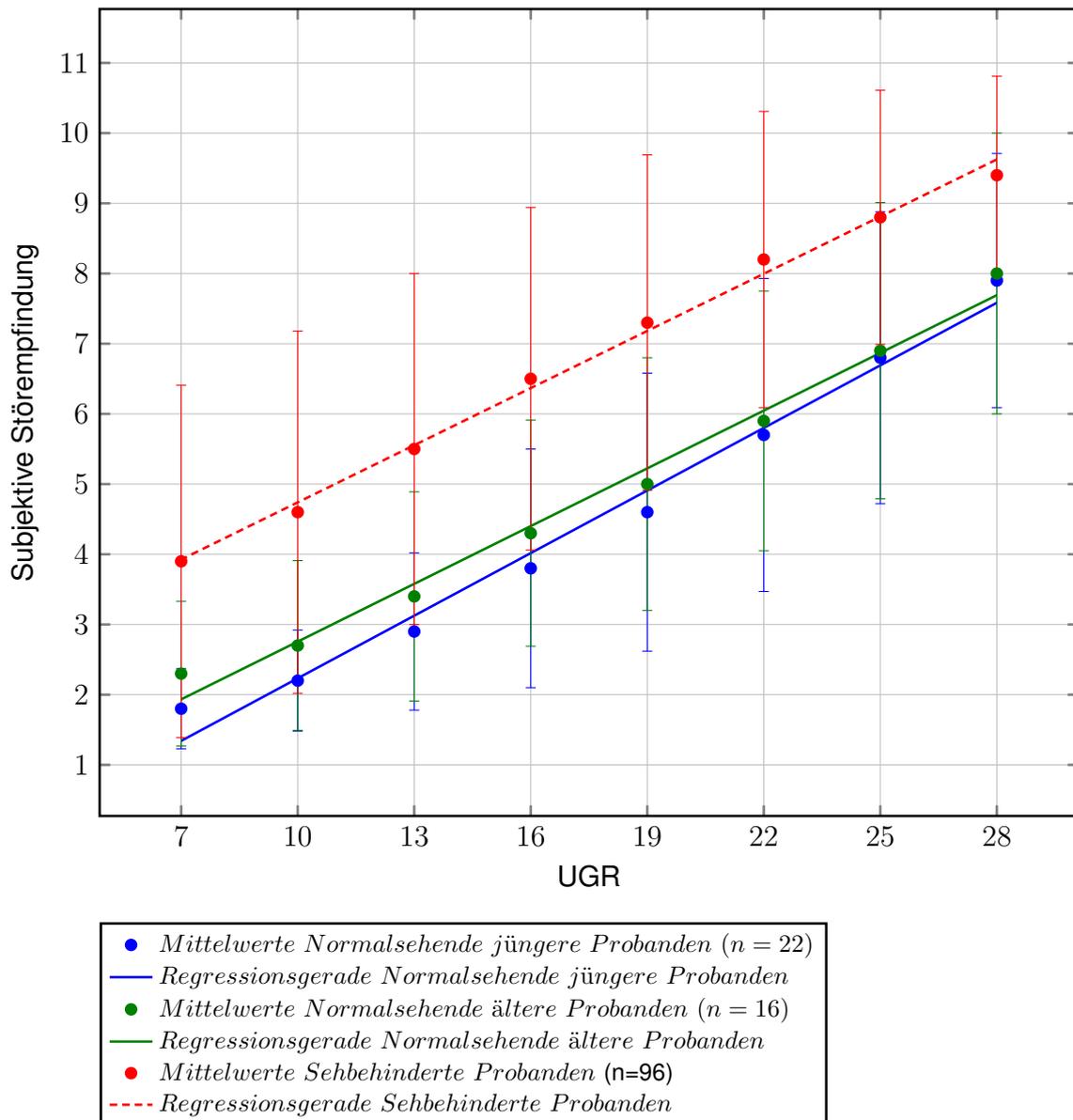


Abbildung 66: Subjektive Störempfindung in Abhängigkeit vom UGR-Blendwert bei einer Adaptationsleuchtdichte von 10 cd/m^2 - Arithm. Mittelwerte, Spannbreite und lineare Regression

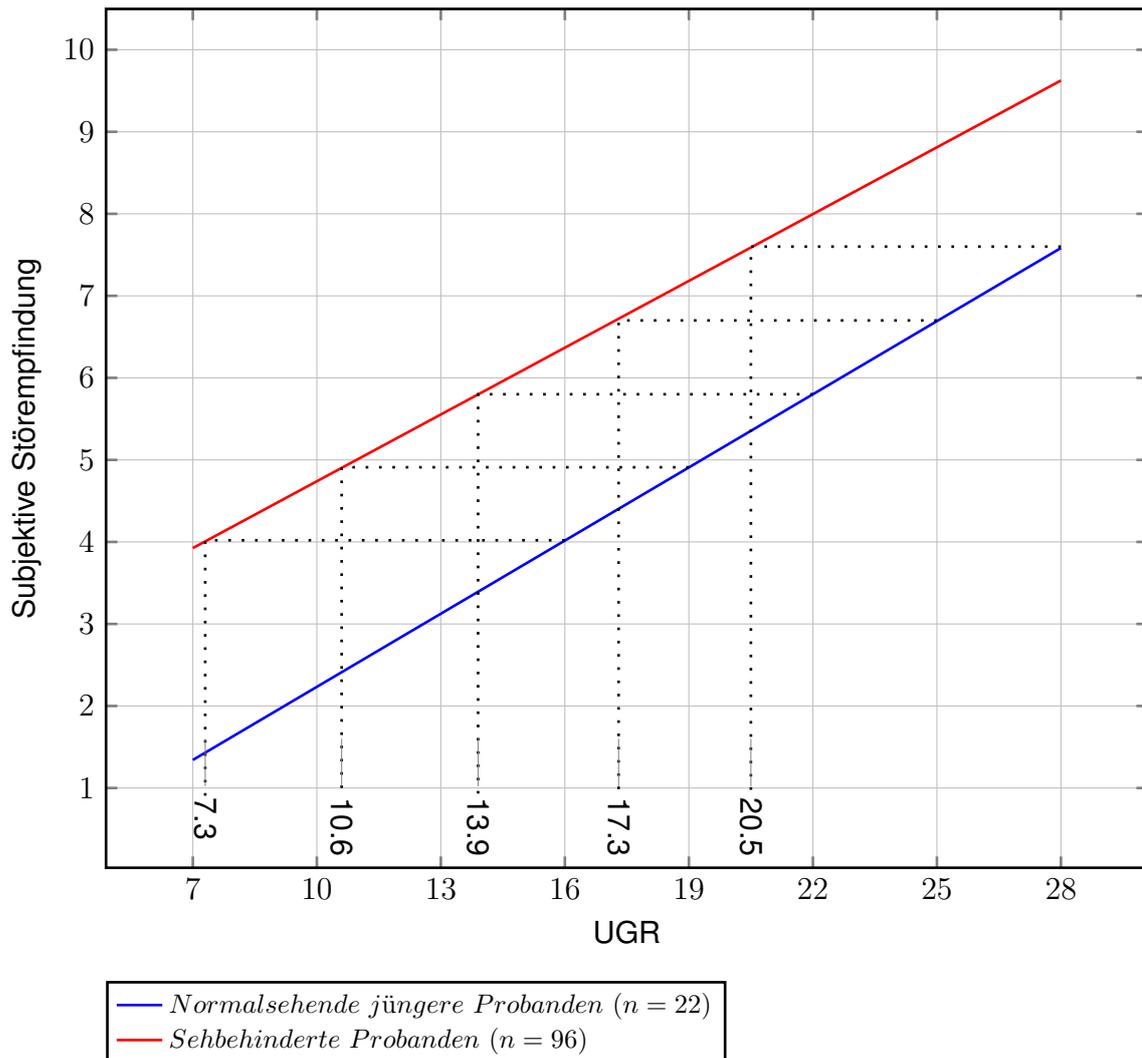


Abbildung 67: Vergleich der Störeffindungen zwischen normalsehenden **jüngeren** Probanden und sehbehinderten Probanden

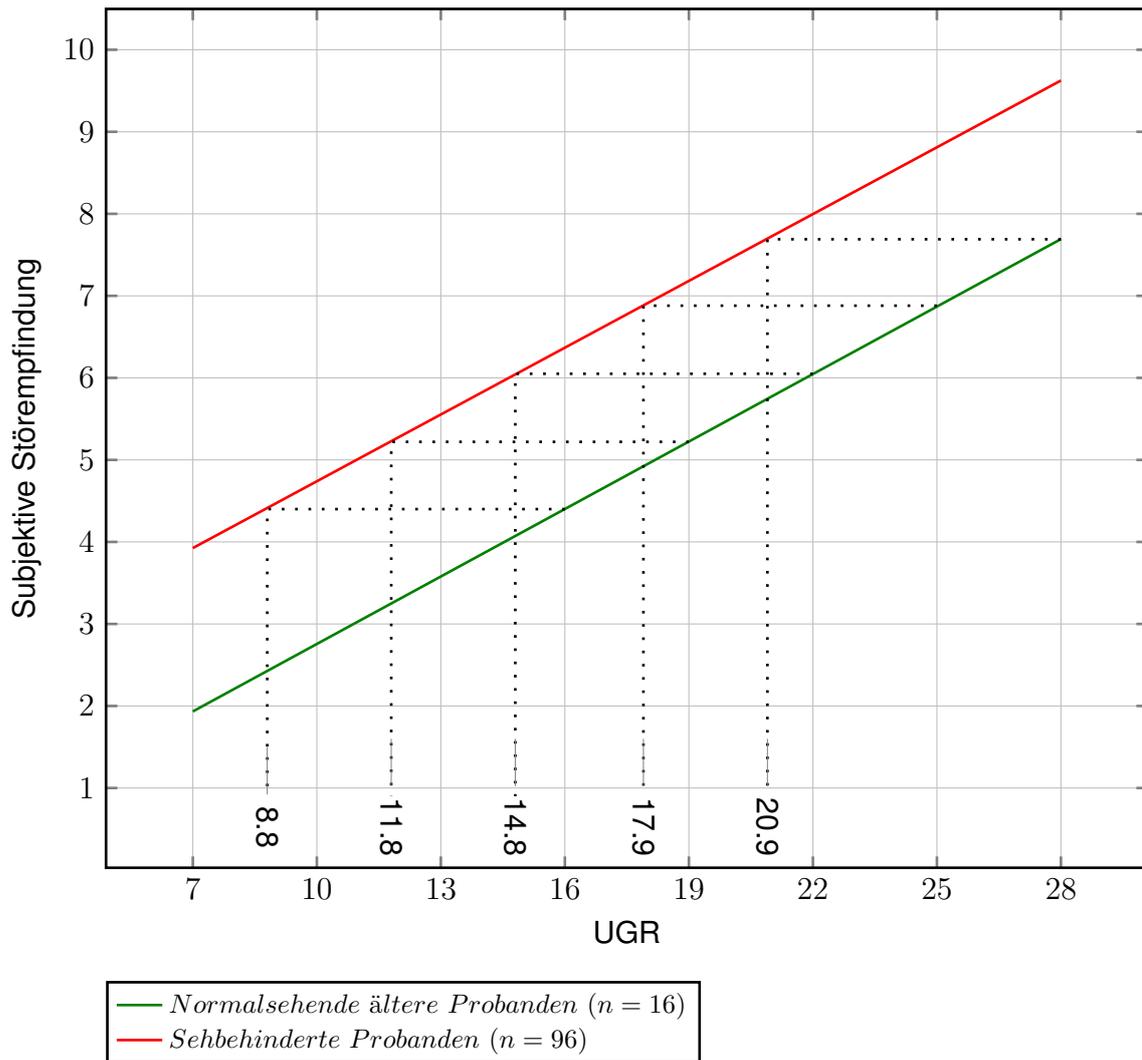


Abbildung 68: Vergleich der Störempfungen zwischen normalsehenden **älteren** Probanden und sehbehinderten Probanden

4.2.6 Statistische Auswertungen

Prüfung auf Normalverteilung

Alle Datensätze wurden auf Normalverteilung mittels beschriebenen statistischen Testverfahren (siehe Kap. 3.6 ab S. 73) untersucht. Das Signifikanzniveau betrug bei den Berechnungen 0,95 ($\alpha = 0,05$). Ein Großteil der Datensätze weist keine Normalverteilung auf (Tab. 12). Die detaillierten statistischen Auswertungen des Statistik-Programms „SPSS“ sind im Anhang F ab Seite 261 zu finden.

Tabelle 12: Testergebnisse auf Normalverteilung - liegt NV vor: ja/nein

Probandengruppen	Visus	Kontrast-schwelle	Kontrast-schwelle bei Blend-ung	Subjektive Störemp-findung bei Blendung
Normalsehende jüngere Probanden	nein	nein	nein	ja
Normalsehende ältere Probanden	nein	nein	nein	ja
Sehbehinderte Probanden	nein	nein	nein	nein

Vergleich der Stichproben mittels Mann-Whitney-Test

Da bei den ermittelten Datensätzen nicht gesichert von Normalverteilung ausgegangen werden kann, wurde der Mann-Whitney-Test als Alternative zum t-Test durchgeführt. Dieser Test kann bei nicht normalverteilten Datensätzen angewendet werden. Die zentrale Fragestellung ist: Unterscheiden sich die zentralen Tendenzen zweier unabhängiger Stichproben? Alle Werte wurden mit der Software SPSS berechnet. Es liegt ein beidseitiges Signifikanzniveau von 0,95 zugrunde.

In den Tabellen 50 bis 53 im Anhang F ab Seite 273 sind die Werte für die asymptotische Signifikanz dargestellt. Dabei symbolisieren fett gedruckte Werte keinen signifikanten Unterschied und nicht fett gedruckte Werte einen signifikanten Unterschied der Stichproben.¹

¹Die Stichproben wurden zusätzlich mit dem t-Test geprüft (mit der Software SPSS). Bei diesem Test wurden die Aussagen des Mann-Whitney-Tests ebenfalls bestätigt.

Generell ist festzuhalten, dass sich alle Stichproben der sehbehinderten Probanden signifikant von den Stichproben der beiden Kontrollgruppen (jüngere und ältere normalsehende Probanden) unterscheiden.

Vergleich der Visus-Stichproben Die Stichproben für den Visus unterscheiden sich vergleichend über alle Probandengruppen und alle getesteten Adaptationsleuchtdichten signifikant. Als einzige Ausnahme wurden die Stichproben der normalsehenden jüngeren und älteren Personen bei einer Adaptationsleuchtdichte von 320 cd/m^2 nicht unterschiedlich bewertet (= kein signifikanter Unterschied).

Vergleich der Kontrastschwellen-Stichproben Ab einer Adaptationsleuchtdichte von 10 bis 320 cd/m^2 ist kein signifikanter Unterschied der Stichproben zwischen den beiden normalsehenden Kontrollgruppen vorhanden. Bei geringeren Helligkeiten unterscheiden sich die Stichproben zwischen diesen beiden Gruppen. Die Stichproben der sehbehinderten Probanden unterscheiden sich zu beiden Kontrollgruppen (unabhängig von der Adaptationsleuchtdichte) signifikant.

Vergleich der Kontrastschwellen-Stichproben bei Blendung Nur bei geringen Blendungen von UGR 7 und UGR 10 unterscheiden sich die Stichproben der normalsehenden Kontrollgruppen nicht. Alle anderen Stichproben unterscheiden sich signifikant.

Vergleich der Stichproben für die Störimpfindung bei Blendung Die Stichproben für die Störimpfindung unterscheiden sich bei den beiden normalsehenden Kontrollgruppen bei UGR 16, 19, 22, 25 und 28 nicht signifikant. Alle anderen Stichproben unterscheiden sich hingegen.

4.3 Ergebnisse der Use Cases und Feldversuche

Während der Projektphase wurden mehrere Lichtplanungen und Beleuchtungsberatungen durchgeführt. Die durchgeführten Use Cases sind als Ergänzung und Überprüfung der Ergebnisse/Empfehlungen zur Beleuchtung in der Praxis durchgeführt worden. Stellvertretend sind im Anhang D ab Seite 223 ausgewählte Projekte dargestellt.

4.4 Glare-Contrast-Sensitivity nach Hauck

Viele Klienten des Autors berichten immer wieder von einer erhöhten „Lichtempfindlichkeit“. Durch gezieltes Nachfragen und durch Aussagen, wie „*Die Lichtverhältnisse müssen für mich optimal passen, damit ich gut sehen kann.*“ oder „*Wenn mich die Beleuchtung zu sehr blendet, dann sehe ich deutlich schlechter.*“, dass zu hohe Leuchtdichtenunterschiede im Gesichtsfeld (Blendung!) problematisch sein können. Die Adaptation des visuellen Systems ist „überfordert“.

Die wichtigste Einflussgröße hierfür sind Blendungen. Wie stark sich diese negativ auf die Sehleistung auswirken, ist von der individuellen Blendempfindlichkeit abhängig. Je höher die Blendung und die Blendempfindlichkeit sind, desto geringer die Sehleistung.

Am deutlichsten und schnellsten wird die Sehleistungsreduktion durch Blendungen bei der Kontrastwahrnehmung wirksam. Sehbehinderte Menschen haben oft bereits ohne Blendungen eine eingeschränkte Kontrastempfindlichkeit, welche durch störende Blendlichtquellen zusätzlich reduziert werden kann.

Aus den Versuchen und Messergebnissen wurde ein Zahlenwert bzw. eine Klassifikation für die beschriebene „Lichtempfindlichkeit“ erarbeitet, die „Glare-Contrast-Sensitivity“ oder kurz GCS.

Für die Kontrastwahrnehmung ist die Kontrastempfindlichkeit selbst und die Blendempfindlichkeit besonders bedeutsam. Zur Berechnung der „**Glare-Contrast-Sensitivity**“ werden daher diese beiden Größen herangezogen.

Mit der Glare-Contrast-Sensitivity ist es möglich, die zusätzliche Minderung/Reduktion der Kontrastempfindlichkeit je nach Blendungssituation zu beschreiben und zu klassifizieren. Dieser Wert wird als Korrekturwert für die Berechnung des wahrgenommenen Kontrasts nach *Hauck*² mit einbezogen.

²Weitere Ausführung zur Kontrastberechnung nach *Hauck* sind ab Seite 109 zu finden

4.4.1 Berechnungsformel - Glare-Contrast-Sensitivity

Die GCS ist die Summe aus der Kontrastschwelle (KS in %) und dem Grad der Blendempfindung (GBE)³ nach *Hauck*.

$$GCS = KS + GBE \quad (26)$$

GCS... Glare-Contrast-Sensitivity

KS... Kontrastschwelle (kleinster wahrnehmbarer Kontrast)

GBE... Grad der Blendempfindlichkeit

Bei der Berechnung des GCS wurde auf die Berücksichtigung der individuellen Adaptionsfähigkeit verzichtet, da dieser Wert bereits beim Grad der Blendempfindung (GBE) indirekt mit berücksichtigt ist. Je höher der Grad der Blendempfindung, desto geringer ist die Adaptionsfähigkeit des visuellen Systems.

Falls keinerlei Blendungen im Gesichtsfeld vorliegen ist der Grad der Blendempfindlichkeit automatisch gleich null. In diesem Fall ist die Glare-Contrast-Sensitivity gleich die Kontrastschwelle (GCS = KS).

Der GCS kann individuell bestimmt werden. Hierzu je drei praktische Beispiele:

Beispiel 1 (typisch für einen jungen, normalsehenden Menschen):

Messwerte:

- Kontrastschwelle ohne Blendung (KS): 0,7%

- Kontrastschwelle mit Blendung (KS_{BI}): 1,0%

$$BLW_{\text{Hauck}} = \frac{1,0 - 0,7}{0,7} \cdot (1,0 - 0,7) = 0,13 \quad \Rightarrow \quad GBE = 0$$

KS = 0,7

GBE = 0

GCS = KS + GBE = 0,7 + 0 = 0,7

³Details zum Grad der Blendempfindlichkeit im Kap.2.7.3 „Grad der Blendempfindlichkeit nach *Hauck* - (GBE_{Hauck})“ ab Seite 40 dokumentiert.

Beispiel 2 (typisch für einen älteren, normalsehenden Menschen mit erhöhter Blendempfindlichkeit):

Messwerte:

- Kontrastschwelle ohne Blendung: 1,25%
- Kontrastschwelle mit Blendung: 3,0%

$$BLW_{\text{Hauck}} = \frac{3,0 - 1,25}{1,25} \cdot (3,0 - 1,25) = 2,45 \quad \Rightarrow \quad GBE = 1$$

$$KS = 1,25$$

$$GBE = 1$$

$$GCS = KS + GBE = 1,25 + 1 = 2,25$$

Beispiel 3 (typisch für einen Menschen mit Sehbehinderung):

Messwerte:

- Kontrastschwelle ohne Blendung: 4%
- Kontrastschwelle mit Blendung: 10%

$$BLW_{\text{Hauck}} = \frac{10 - 4}{4} \cdot (10 - 4) = 9 \quad \Rightarrow \quad GBE = 2$$

$$KS = 4$$

$$GBE = 2$$

$$GCS = KS + GBE = 4 + 2 = 6$$

4.4.2 Mittelwerte für die Glare-Contrast-Sensitivity

Bei unbekanntem GCS bzw. in der Planung können für die GCS die ermittelten gerundeten Mittelwerte je nach Zielgruppe verwendet werden.

Aus den Messwerten wurden Mittelwerte für die Kontrastschwelle (KS), der Grad der Blendempfindlichkeit (GBE) und resultierend für die Glare-Contrast-Sensitivity (GCS) gebildet (Tab. 13). Die Mittelwerte der Kontrastschwelle wurden aus einer praxisrelevanten

Tabelle 13: Mittelwerte für Kontrastschwelle in %, Grad der Blendempfindung (GBE) und Glare-Contrast-Sensitivity (GCS) für die untersuchten Probandengruppen

Probandengruppe	KS (%)	GBE	GCS	GCS sinnvoll gerundet
Normalsehende jüngere Personen	0,97	0,04	1,01	1
Normalsehende ältere Personen	1,03	0,31	1,34	1,5
Sehbehinderte Personen	4,14	2,67	6,81	7

Bereich der zwischen 10 und 100 cd/m² ermittelt.

Für die Mittelwerte des Grades der Blendempfindung wurden je Zielgruppe die Messwerte von UGR 16, 19, 22, 25 und 28 gemittelt. Diese Werte wurden bewusst so gewählt, da in der ÖNorm EN 12464-1 ausschließlich diese Werte in den Tabellen verwendet werden und somit in der Praxis regelmäßig Anwendung finden.

4.4.3 Glare-Contrast-Sensitivity in Abhängigkeit vom UGR-Wert

Für eine noch genauere Berechnung des Kontrasts kann der GCS auch in Abhängigkeit vom UGR-Wert zur Kontrastberechnung herangezogen werden. In Tabelle 14 auf S. 108 sind die detaillierten Werte je Probandengruppe und UGR Wert dargestellt.

4.4.4 Klassifizierung für die Glare-Contrast-Sensitivity

Anhand der Messwerte und der subjektiven Einschätzung der Probanden konnte eine Klassifizierung (Tab. 15) für die Glare-Contrast-Sensitivity (GCS) erstellt werden.

Tabelle 14: Mittelwerte für Kontrastschwelle (KS), Grad der Blendempfindung (GBE) je UGR-Wert und resultierender Glare-Contrast-Sensitivity (GCS) für die untersuchten Probandengruppen

Probandengruppe	KS	UGR	GBE	GCS _{UGR}	GCS _{UGR} gerundet
Normalsehende, jüngere Probanden	0,97	07	0,00	0,97	1
		10	0,00	0,97	1
		13	0,00	0,97	1
		16	0,00	0,97	1
		19	0,04	1,01	1
		22	0,04	1,01	1
		25	0,04	1,01	1
		28	0,08	1,05	1
Normalsehende, ältere Probanden	1,03	07	0,00	1,03	1
		10	0,00	1,03	1
		13	0,00	1,03	1
		16	0,04	1,07	1
		19	0,06	1,09	1
		22	0,13	1,16	1
		25	0,38	1,41	1,5
		28	1,00	2,03	2
Sehbehinderte Probanden	4,14	07	0,47	4,51	4,5
		10	0,88	5,02	5
		13	1,22	5,36	5,5
		16	1,66	5,80	6
		19	2,24	6,38	6,5
		22	2,75	6,89	7
		25	3,20	7,34	7,5
		28	3,65	7,79	8

Tabelle 15: Klassifizierung für Glare-Contrast-Sensitivity

GCS	Grad	Klassifizierung
< 1,25	0	nicht erhöht - normal
≥ 1,25 bis < 2,5	1	leicht erhöht
≥ 2,5 bis < 5	2	erhöht
≥ 5 bis < 10	3	stark erhöht
> 10	4	sehr stark erhöht

4.5 Kontrastbestimmung nach Hauck

4.5.1 Grundsätzliche Überlegungen

Die Kontrastwerte der Kontrastdefinitionen nach *Michelson* (14) und *Weber* (15) gehen davon aus, dass das visuelle System keinen zusätzlichen Einflüssen ausgesetzt ist.

Die Versuche im Rahmen des Projekts ViDeA haben gezeigt, dass der wahrgenommene Kontrast durch die Kontrastempfindlichkeit, Blendung und Adaptationsfähigkeit für stark unterschiedliche Leuchtdichten im Gesichtsfeld beeinflusst wird. (Vogelauer u. a., 2016)

Wenn einer dieser Faktoren nicht gewährleistet ist, kommt es zu einer reduzierten Kontrastwahrnehmung. Der wahrgenommene Kontrast ist in diesem Fall geringer, als mit (14) und (15) berechnet.

Leuchtdichteunterschiedsschwelle

„Die Leuchtdichteunterschiedsschwelle ΔL wird wesentlich durch die verantwortliche Leuchtdichte des Umfeldes bestimmt und hat ihr Minimum ΔL_{\min} , wenn die Umfeldleuchtdichte ungefähr dem Mittelwert zwischen L_{\max} und L_{\min} entspricht“ (Goersch, 1996, S. 168)

Da die Helligkeitsempfindung nicht linear, sondern logarithmisch nach dem (Gesetz von *Stevens*) verläuft (Goersch, 1996, S. 273), ist zu vermuten, dass die Helligkeit zwischen L_{\max} und L_{\min} nicht bei dem arithmetischen sondern beim geometrischen Mittelwert liegt.

Hierzu ein Beispiel:

$$L_{\min} = 10 \text{ cd/m}^2$$

$$L_{\max} = 100 \text{ cd/m}^2$$

$$L_{\text{mittel}} = 32 \text{ cd/m}^2 \text{ (und nicht } 50 \text{ cd/m}^2\text{)}$$

Im Fall in Abb. 69 ergibt sich eine gleichmäßige Leuchtdichte im Gesichtsfeld. Die Adaptation kann daher „zielgerichtet“ auf diese Leuchtdichte erfolgen.

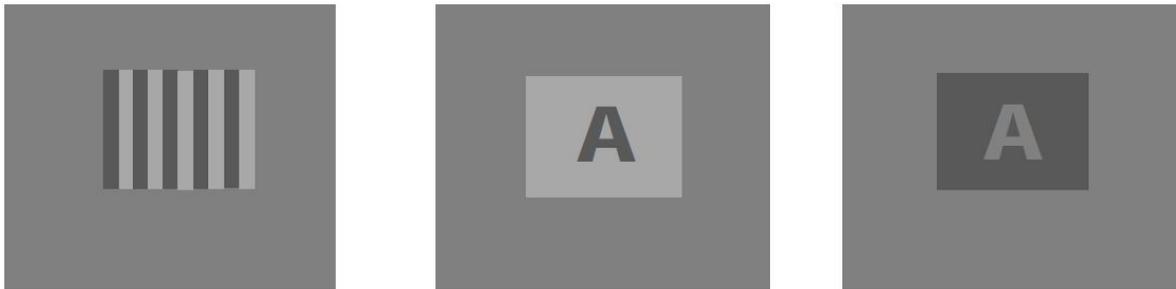


Abbildung 69: Beispiel für eine geringe Leuchtdichteunterschiedsschwelle (die graue periphere Fläche ist das Umfeld und liegt von der Helligkeit zwischen den Testflächen/-objekten)

Kontrast, Blendung und Umfeldleuchtdichte

Ein hoher Kontrast entsteht, ebenso wie eine Relativblendung, durch große Leuchtdichteunterschiede. Bei relativer Blendung ist es durch Adaptationsvorgänge des Auges nicht möglich (die zu hohen) Leuchtdichteunterschiede von 2 verschiedenen rezeptiven Feldern zu verarbeiten. Bei Hochkontrast ist ein großer Leuchtdichteunterschied an einer Kante eines Sehobjekts innerhalb eines rezeptiven Feldes vorhanden. Der wahrgenommene Kontrast ist zusätzlich von der Leuchtdichte im Gesichtsfeld (Adaptationsleuchtdichte) abhängig. Problematisch sind hier vor allem eine zu hohe mittlere Leuchtdichte im Gesichtsfeld im Vergleich zur Leuchtdichte des (zentralen) Sehobjekts. Wenn der Beobachter nicht auf die Leuchtdichte der Sehaufgabe adaptieren kann, sinkt die Kontrastempfindlichkeit ab. (Stütz, 2010, S. 13)

Schwarzschwelle in Abhängigkeit von der Umfeldleuchtdichte In der Abb. 70 ist unter anderem die Schwarzschwelle in Abhängigkeit von der Umfeldleuchtdichte dargestellt. Je höher die Umfeldleuchtdichte, desto höher ist die Leuchtdichte, welche wir als schwarz empfinden.

In der Praxis sind Monitore im Freien hierfür ein gutes Beispiel. Nachts sind diese i.d.R. sehr gut lesbar; der Kontrast ist sehr hoch. An einem hellen Tag im Sommer mit hoher Umfeldleuchtdichte, wirkt der Monitor sehr dunkel und hat subjektiv kaum noch Kontrast (Abb. 71 auf S. 111).

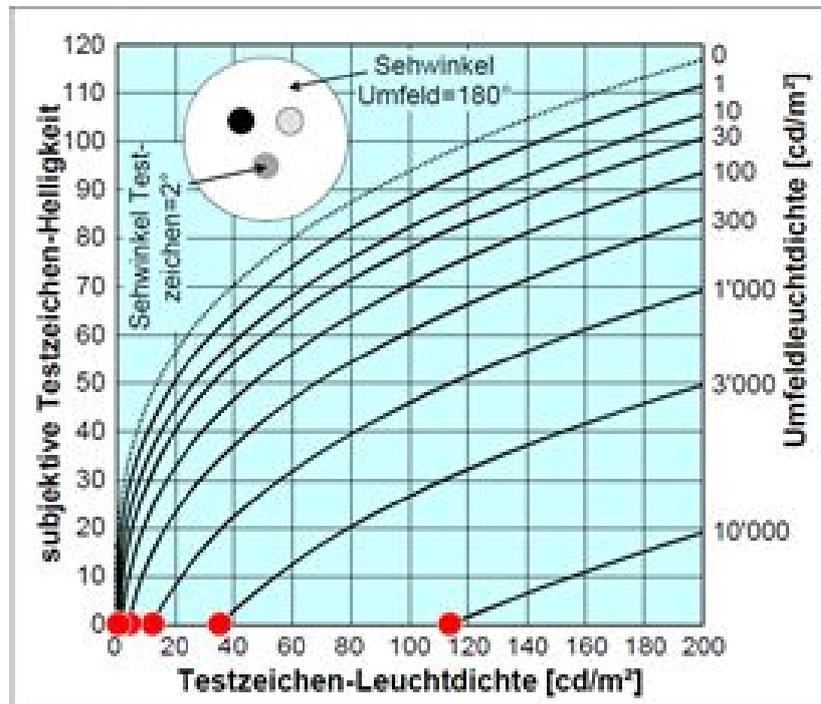


Abbildung 70: „Subjektiv wahrgenommene Helligkeit des unteren Testzeichens in Abhängigkeit von der Testzeichen-Leuchtdichte und der Umfeldleuchtdichte, die auch der Adaptationsleuchtdichte entspricht (nach P.Haubner 1977). Die Punkte auf der Abszisse stellen die Schwarzschwelle dar.“ (Schierz, 2007, S. 6)



Abbildung 71: ÖBB Monitor unter Tageslichteinfluss; Der Kontrast und somit die Erkennbarkeit sind deutlich reduziert

Adaptationsleuchtdichte und Gesichtsfeldleuchtdichte

Für die nachfolgenden Betrachtungen wird die mittlere Leuchtdichte im Gesichtsfeld (L_{gf}) verwendet.

“Welcher Teil des Gesichtsfeldes die Adaptationsleuchtdichte bestimmt, ist bisher noch nicht vollständig geklärt. Es ist jedoch anzunehmen, dass der Einfluss zur Peripherie hin abnimmt.“ (Schierz, 2007, S. 5)

Für die weiteren Betrachtungen wird ein (zentrales) Gesichtsfeld von 60° horizontal und 40° vertikal zu Grunde gelegt.

Aus dem Zitat von Schierz (2007) und aus den Ausführungen von Stütz (2010)

“(empfohlener Messwinkel zwischen $0,1\text{sr}$ und 1sr)“ (Stütz, 2010, S. 18)

sowie aus messtechnischer Sicht ist dieser Öffnungswinkel zweckmäßig, da die aktuellen Objektive von Leuchtdichtemesskameras diesen Winkel gut abbilden können.

Für die in den Versuchen verwendete Leuchtdichtemesskamera (Abb. 101 auf Seite 221) entspricht dieser Öffnungswinkel einer Brennweite von 19 mm des Objektivs.

4.5.2 Kontrastdefinition nach Hauck

Nach den Überlegungen aus Abschnitt 4.5 kann die Michelson-Formel mit der „Glare Contrast Sensitivity“ (GCS) und der mittleren Leuchtdichte im Gesichtsfeld ergänzt werden.

Die Berechnungsergebnisse können als Maß für den resultierenden bzw. wahrgenommenen Kontrast angesehen werden.

Kontrast-Formel unter Verwendung von Leuchtdichtewerten

Wahrgenommener Kontrast nach Hauck :

$$K_{Hauck} = \frac{L_{Max} - L_{Min}}{L_{Max} + L_{Min} + GCS \cdot \frac{L_{mittel, Gesichtsfeld}}{L_{Max} - L_{Min}}} \quad (27)$$

L_{Max}maximale Leuchtdichte der Referenzflächen

L_{Min}minimale Leuchtdichte der Referenzflächen

$L_{mittel, Gesichtsfeld}$mittlere Leuchtdichte im parazentralen Gesichtsfeld (60° x 40°)

GCSGlare Contrast Sensitivity nach Hauck ⁴

Kontrast-Formel unter Verwendung von Reflektionsgrad-Werten (ρ), LRV-Werten und Hellbezugswerten (Y)

Mit der Beziehung für diffus reflektierende Flächen (Baer, 1996, S. 30) (Gleichung (9) auf S. 27) kann der Reflektionsgrad bei gegebener Beleuchtungsstärke in Leuchtdichtewerte umgerechnet werden. Die berechneten Leuchtdichtewerte können in die Gleichung (27) eingesetzt werden.

⁴Bei unbekanntem GCS sind die durchschnittlichen Werte je nach Zielgruppe einzusetzen: Bei jungen normalsehenden Personen der Wert 1; bei älteren normalsehenden Personen der Wert 1,5 und bei sehbehinderten Personen der Wert 7. Vor allem bei sehbehinderten Personen kann sich der Wert durch Blendungen verändern (siehe Tab. 14 auf S.108).

$$L = \frac{E \cdot \rho}{\Pi} \quad \text{mit} \left(\rho = \frac{LRV}{100} \right) \text{ bzw. } \left(\rho = \frac{Y}{100} \right)$$

L ...Leuchtdichte

E ...mittlere Beleuchtungsstärke

ρReflektionsgrad

LRVLight Reflectance Value

Y ...Hellbezugswert

Achtung! Diese Bestimmungsmethode ist ausschließlich für diffus reflektierende Flächen anzuwenden! (Baer, 1996, S. 30)

Kontrast-Formel unter Verwendung von LRV- und Hellbezugswerten direkt in der Formel

Näherungsweise kann der Kontrast auch mit Hilfe von LRV-Werten (Reflexionsgrad) bestimmt werden.

Achtung! Für die Kontrastberechnung mit LRV-Werten direkt in der Formel ist eine Adaptationsleuchtdichte $\geq 10 \text{ cd/m}^2$ erforderlich. Erfahrungsgemäß wird dieser Wert bei einer Beleuchtungsstärke von $E_{\text{mittel}} > 200 \text{ lx}$ erreicht.

$$K_{\text{Hauck}} = \frac{LRV_{\text{Max}} - LRV_{\text{Min}}}{LRV_{\text{Max}} + LRV_{\text{Min}} + GCS \cdot \frac{LRV_{\text{mittel, Gesichtsfeld}}}{LRV_{\text{Max}} - LRV_{\text{Min}}}} \quad (28)$$

LRV_{Max}maximaler Light Reflection Value der Referenzflächen

LRV_{Min}minimaler Light Reflection Value der Referenzflächen

$LRV_{\text{mittel, Gesichtsfeld}}$mittlerer Light Reflection Value im parazentralen Gesichtsfeld ($60^\circ \times 40^\circ$)

GCSGlare Contrast Sensitivity nach *Hauck* ⁵

⁵Bei unbekanntem GCS sind die durchschnittlichen Werte je nach Zielgruppe einzusetzen: Bei jungen normalsehenden Personen der Wert 1; bei älteren normalsehenden Personen der Wert 1,5 und bei sehbehinderten Personen der Wert 7. Bei sehbehinderten Personen kann sich der Wert je nach Blendungen verändern (siehe Tab. 14 auf S.108).

Kontrast-Formel unter Verwendung von UGR-Blendwerten

Für die Glare-Contrast Sensitivity können (alternativ zu den Mittelwerten je Probandengruppe) auch Werte unter Berücksichtigung des UGR-Blendwertes je nach Probandengruppe verwendet werden. Diese sind in Tab. 14 auf S. 108 abzulesen.

$$K_{Hauck} = \frac{L_{Max} - L_{Min}}{L_{Max} + L_{Min} + GCS_{UGR} \cdot \frac{L_{mittel, Gesichtsfeld}}{L_{Max} - L_{Min}}} \quad (29)$$

4.5.3 Vor- und Nachteile der Kontrastdefinitionen nach Hauck

Die Vorteile:

- Die Umgebungshelligkeit bzw. mittlere Leuchtdichte im Gesichtsfeld wird mit berücksichtigt.
- Die Kontrastempfindlichkeit ist berücksichtigt.
- Die Blendempfindlichkeit ist mit berücksichtigt (im Wert GCS ist der Grad der Blendempfindlichkeit integriert).
- Eine Festlegung von Mindestwerten für den Reflexionsgrad zur Vermeidung eines hohen *Michelson*-Kontrasts bei „hellschwarz“ und „dunkelschwarz“ Kombinationen sind nicht (mehr) notwendig.
- Es erfolgt eine Korrektur des *Michelson*-Kontrasts durch die Einbeziehung von Gesichtsfeldleuchtdichte, Kontrastempfindlichkeit und Blendempfindlichkeit.
- Es entstehen praxisnahe Kontrastwerte anhand der realen Kontrastwahrnehmung je Probandengruppe.
- Probleme sehbehinderter Menschen können durch Zahlenwerte besser dargestellt werden (auch für Laien).
- Die bekannte *Michelson*-Kontrastformel wird entsprechend erweitert. Dadurch ergeben sich weniger Verständnisschwierigkeiten bei den Anwendern.
- Man erhält gebräuchliche Ergebnisse für den Kontrast zwischen 0 und 1.
- Es können mittels GCS Korrekturwerte für verschiedene Zielgruppen in die Formel eingesetzt werden.

Die Nachteile:

- Es wird die Streuung der Leuchtdichte im Gesichtsfeld nicht berücksichtigt.⁶
- Messungen im Feld erfordern entsprechende Messtechnik und geschultes Personal und kann von Laien derzeit nur bedingt durchgeführt werden.⁷

4.5.4 Kontrastberechnung bei der Planung im Vorfeld**Kontrastberechnung mit ρ -, LRV- und Y-Werten**

Bei Planungen neuer Bauvorhaben sind normgerechte Kontrastierungen zu beachten. Die neue Kontrastdefinition nach *Hauck* erlaubt den Einsatz von Reflektionsgrad (ρ), LRV- und Hellbezugswerten (Y) für die Berechnung des resultierenden Kontrasts.

Die Werte (vor allem die mittlere Leuchtdichte im Gesichtsfeld) sind nicht immer einfach im Planungsstadium ermittelbar. Statt der mittleren Leuchtdichte im Gesichtsfeld wird in den entsprechenden Formeln der mittlere Reflektionsgrad der Flächen parazentralen im Gesichtsfeld eingesetzt.

Sinnvoll einsetzbar ist diese Methode bei der Kontrastberechnung von Bodenmarkierungen, da hier bei Blick Richtung Boden der LRV-Wert der Umgebung häufig der LRV-Wert des Bodens selbst ist.⁸ Daher kann als Wert für die Glare-Contrast Sensitivity der Mittelwert für die Kontrastschwelle verwendet werden, da beim Blick Richtung Boden (45°) die Beleuchtung nicht mehr im Gesichtsfeld erscheint und nicht mehr blenden kann.

Achtung! Die Berechnung im Vorfeld ist nur dann realistisch, wenn ausschließlich diffus reflektierende Oberflächen zum Einsatz kommen. Bei glänzenden Oberflächen können die Leuchtdichten der Testflächen sich (deutlich) verändern und die Kontrast-Vorausberechnung von den Werten in der Realität abweichend sein. Dieser Effekt ist von der Berechnungsmethode unabhängig. Die lichttechnische ÖNorm EN 12464 sollte

⁶Dieser Nachteil existiert auch bei Messungen und Auswertungen der anderen genannten Kontrastdefinitionen

⁷Dieser Umstand existiert auch bei Messungen und Auswertungen nach den anderen genannten Kontrastdefinitionen; eine einfache alternative Messmethode wäre wünschenswert (z.B. Handy mit geeigneter App und hinreichender Genauigkeit)

⁸Sehbehinderte Menschen haben in ihrer Mobilität häufig steilere Blickwinkel Richtung Boden im Vergleich zu normalsehenden Personen. Dadurch ist eine an der Decke angebrachte Beleuchtung resp. der Himmel im Außenbereich nur am äußersten Rand des Gesichtsfeldes vorhanden bzw. nicht mehr innerhalb des Gesichtsfeldes.

dabei ebenfalls erfüllt sein. Zusätzlich sollte auf Blendung besonderen Wert gelegt werden.

Hierzu ein Beispiel für eine hellere Bodenmarkierung auf dunklerem Boden (jeweils matte Oberflächen):

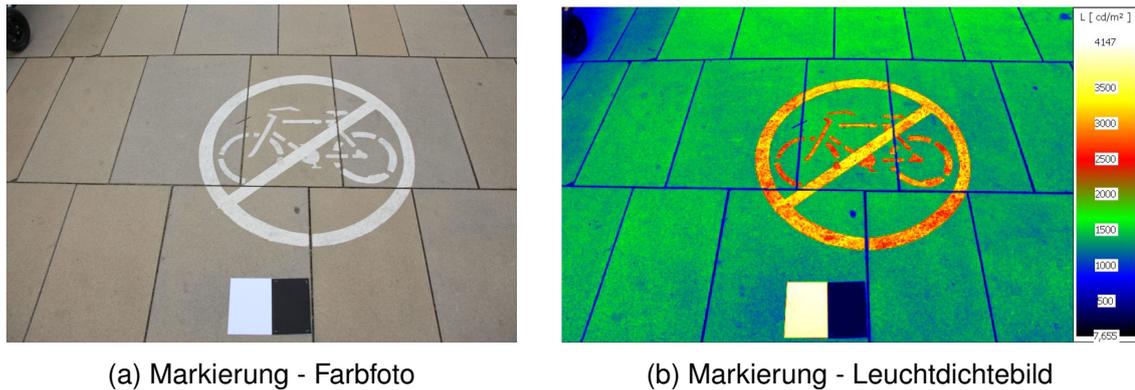


Abbildung 72: Markierung für das ausgewählte Berechnungsbeispiel

$$LRV_{\text{Boden}} = 30$$

$$LRV_{\text{Markierung}} = 65$$

$$LRV_{\text{mittel, Gesichtsfeld}} = \text{Boden} = 30$$

$$GCS_{\text{sehbehindert}} = 4$$

Es ergibt sich folgende Rechnung:

$$K_{\text{Hauck}} = \frac{LRV_{\text{Max}} - LRV_{\text{Min}}}{LRV_{\text{Max}} + LRV_{\text{Min}} + GCS \cdot \frac{LRV_{\text{mittel, Gesichtsfeld}}}{LRV_{\text{Max}} - LRV_{\text{Min}}}}$$

$$K_{\text{Hauck}} = \frac{65 - 30}{65 + 30 + 4 \cdot \frac{30}{65 - 30}} = \mathbf{0,36}$$

Zum Vergleich: *Michelson*-Kontrast für dieses Beispiel liegt bei $K_{\text{Michelson}} = \mathbf{0,37}$

Anmerkung: Die LRV-Werte wurden aus dem Leuchtdichtebild mittels Referenzfläche

ermittelt. Zu Kontrolle wurde der Kontrast auch aus dem Leuchtdichtebild bestimmt. Für die Berechnungsvariante mittels Leuchtdichten lag der Kontrast bei $K_{Hauck} = 0,37$ und $K_{Michleson} = 0,38$.

Kontrastberechnung mit UGR-Werten

Es ist möglich, den Kontrast nach *Hauck* auch unter Berücksichtigung des UGR-Blendwertes zu berechnen. Diese Methode ist dann anzuwenden, wenn die Beleuchtung sich im relevanten Gesichtsfeld befindet. Ein gutes Beispiel sind Überkopf-Beschilderungen in (direkter) Nähe von der installierten Beleuchtung.

$$K_{Hauck} = \frac{L_{Max} - L_{Min}}{L_{Max} + L_{Min} + GCS_{UGR} \cdot \frac{L_{mittel, Gesichtsfeld}}{L_{Max} - L_{Min}}}$$

Tabelle 16: Auszug aus Tab. 14 auf Seite 108: Glare-Contrast Sensitivity (GCS) in Abhängigkeit vom UGR-Wert für normalsehende und sehbehinderte Menschen

UGR	GCS _{UGR} , normalsehend, jung	GCS _{UGR} , sehbehindert
07	1	4,5
10	1	5
13	1	5,5
16	1	6
19	1	6,5
22	1	7
25	1	7,5
28	1	8

Beispiel 1 für eine Kontrastberechnung mit UGR-Wert:

Für die Berechnung des Kontrast nach *Hauck* soll ein Beispiel aus der Praxis dienen. In Abb. 73 auf S. 119 ist ein Leuchtdichtebildes eines U4 Stationsschildes in Wien-Schottenring zu sehen. Folgende Werte wurden ermittelt:

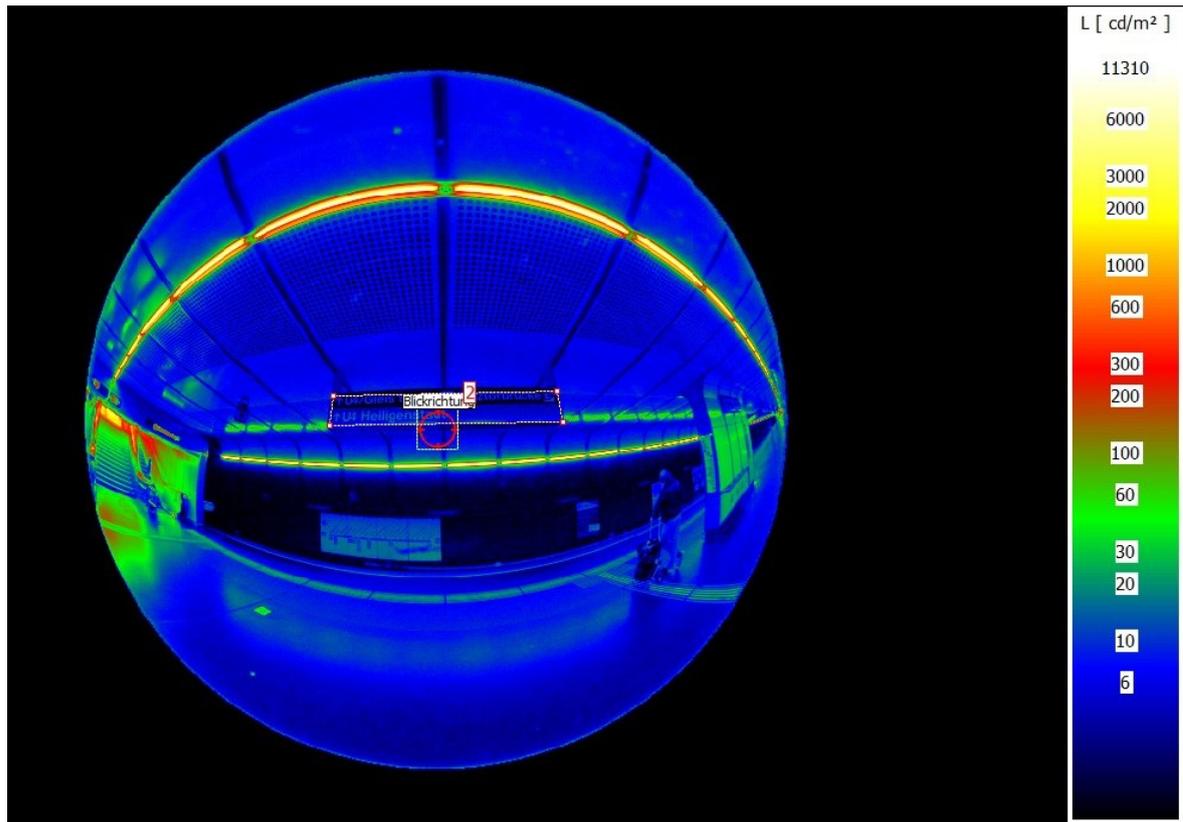


Abbildung 73: Leuchtdichtebild eines Stationsschild der U4-Schottenring in Wien

Leuchtdichte der Schrift (L_{\max}): **17 cd/m²**

Leuchtdichte Untergrund Schild (L_{\min}): **7 cd/m²**

Gesichtsfeldleuchtdichte ($L_{\text{Gesichtsfeld}}$): **45 cd/m²**

UGR-Blendwert bei Blick auf die Schrift aus 3m Entfernung: **29**

$GCS_{UGR\ 28}$ für normalsehende junge Menschen (lt. Tab. 14 auf S. 108): **1**

$GCS_{UGR\ 28}$ für normalsehende ältere Menschen (lt. Tab. 14 auf S. 108): **2**

$GCS_{UGR\ 28}$ für sehbehinderte junge Menschen (lt. Tab. 14 auf S. 108): **8**

Lt. Formel (28) auf Seite 114 ergibt sich folgende Berechnung:

$$K_{Hauck} = \frac{L_{Max} - L_{Min}}{L_{Max} + L_{Min} + GCS_{UGR 28} \cdot \frac{L_{Gesichtsfeld}}{L_{Max} - L_{Min}}}$$

$$K_{Hauck, \text{ normalsehend jung}} = \frac{17 - 7}{17 + 7 + 1 \cdot \frac{45}{17 - 7}} = \mathbf{0,35}$$

$$K_{Hauck, \text{ normalsehend älter}} = \frac{17 - 7}{17 + 7 + 2 \cdot \frac{45}{17 - 7}} = \mathbf{0,30}$$

$$K_{Hauck, \text{ sehbehindert}} = \frac{17 - 7}{17 + 7 + 8 \cdot \frac{45}{17 - 7}} = \mathbf{0,17}$$

Zum Vergleich: *Michelson*-Kontrast für dieses Beispiel liegt bei $K_M = 0,42$

Zusammenfassung der Berechnungsergebnisse:

Tabelle 17: Kontrast-Berechnungsergebnisse für Beispiel U4 Station Schottenring-Schild (nicht hinterleuchtet) für verschiedene Zielgruppen

Berechnungsformel	Kontrast
$K_{Michelson}$	0,42
$K_{Hauck, \text{ normalsehend, jung}}$	0,35
$K_{Hauck, \text{ normalsehend, älter}}$	0,30
$K_{Hauck, \text{ sehbehindert}}$	0,17

Der Kontrast der Beschriftung verringert sich durch die äußeren Bedingungen deutlich. Am geringsten ist der resultierende Kontrast für die Gruppe der sehbehinderten Menschen.

Beispiel 2 für eine Kontrastberechnung mit UGR-Wert:

Für dieses Beispiel dient eine weitere Beschilderung aus der Praxis. In Abb. 74 auf S. 121 sind ein Leuchtdichtebilder eines Stationsschildes in Wien-Praterstern zu sehen. Bei einem der Schilder ist die Hinterleuchtung ausgefallen. Mit dem Kontrast nach *Hauck* können die wahrgenommenen Kontrastunterschiede gut dargestellt werden.

Messwerte:

UGR-Wert für diese Situation: 16

$$L_{\max, \text{linkes Schild}} = 340 \text{ cd/m}^2$$

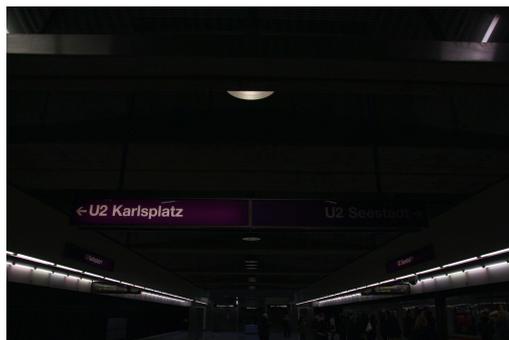
$$L_{\max, \text{rechtes Schild}} = 8 \text{ cd/m}^2$$

$$L_{\min, \text{linkes Schild}} = 12,5 \text{ cd/m}^2$$

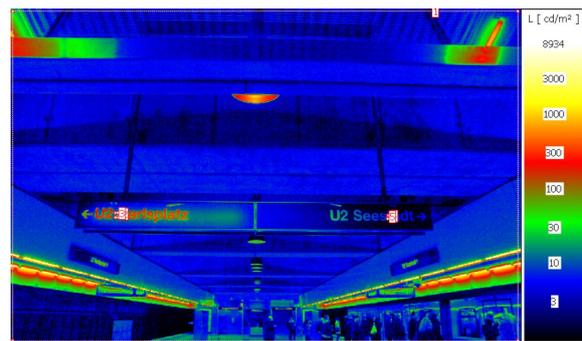
$$L_{\min, \text{rechtes Schild}} = 1 \text{ cd/m}^2$$

$$L_{\text{mittel, Gesichtsfeld}} = 30 \text{ cd/m}^2$$

$$GCS_{\text{sehbehindert, UGR 19}} = 6$$



(a) Farbfoto



(b) Leuchtdichtebild

Abbildung 74: U-Bahn Schild (U2 Station Praterstern) mit und ohne Hinterleuchtung für das ausgewählte Berechnungsbeispiel

Es ergibt sich folgende Rechnung:

Linkes Schild (hinterleuchtet):

$$K_{\text{Hauck, sehbehindert}} = \frac{340 - 12,5}{340 + 12,5 + 6 \cdot \frac{30}{340 - 12,5}} = \mathbf{0,93}$$

Zum Vergleich: *Michelson*-Kontrast für dieses Beispiel liegt bei $K_{\text{Michelson}} = \mathbf{0,93}$

Rechtes Schild (nicht hinterleuchtet):

$$K_{\text{Hauck, sehbehindert}} = \frac{8 - 1}{8 + 1 + 6 \cdot \frac{30}{8 - 1}} = \mathbf{0,20}$$

Zum Vergleich: *Michelson*-Kontrast für dieses Beispiel liegt bei $K_{\text{Michelson}} = \mathbf{0,78}$

Zusammenfassung der Berechnungsergebnisse:

Tabelle 18: Kontrast-Berechnungsergebnisse für Beispiel U2 Schild für verschiedene Zielgruppen

Berechnungsformel	Kontrast Schild links, hinterleuchtet	Kontrast Schild rechts, nicht hinterleuchtet
$K_{\text{Michelson}}$	0,93	0,78
$K_{\text{Hauck, normalsehend, jung}}$	0,93	0,53
$K_{\text{Hauck, normalsehend, älter}}$	0,93	0,53
$K_{\text{Hauck, sehbehindert}}$	0,93	0,20

Am Beispiel des rechtes Schildes ohne Hinterleuchtung (Abb. 74) wird deutlich, dass ein hoher *Michelson*-Kontrast in der Praxis subjektiv schlechter wahrgenommen werden kann, als berechnet. Hier scheint die Berechnungsmethode nach *Hauck* vorteilhaft zu sein und praxisnahe Ergebnisse zu liefern.

Das linke Schild mit Hinterleuchtung hingegen hat, unabhängig von der Zielgruppe, einen sehr hohen Kontrast. Es zeigt sich, dass eine Hinterleuchtung deutliche Vorteile hervorbringt.

4.5.5 Kontrastberechnungen bei verschiedenen Bedingungen

Kontrast bei ansteigender Umfeldleuchtdichte

Bei gleichbleibenden Leuchtdichten der Testfelder/-objekte und stetig steigender Umfeldleuchtdichte sinkt der wahrgenommene Kontrast ab. Somit beeinflussen die Leuchtdichteverhältnisse im Gesichtsfeld die subjektive Kontrastwahrnehmung.

Aus der Abbildung 76 auf S.124 geht hervor, dass sich bei normalsehenden Probanden bis zur doppelten Umfeldleuchtdichte (im Vergleich zur L_{max} der Sehaufgabe) kein praxisrelevanter Einfluss auf die Kontrastwahrnehmung ergibt. Das heißt, dass der Kontrast nach *Michelson* (schwarze Kurve) annähernd gleich dem Kontrast nach *Hauck*

für normalsehende Personen (blaue und grüne Kurve) ist. In diesem Beispiel sind diese Kurvenverläufe bis 200 cd/m^2 (doppelte Umfeldleuchtdichte im Vergleich zur Testfeldleuchtdichte) annähernd gleich verlaufend.

Ab der 3-fach höheren Umfeldleuchtdichte (in diesem Beispiel 300 cd/m^2) im Vergleich zur Testfeldleuchtdichte ist der Kurvenverlauf bei normalsehenden Personen unterschiedlich und der Kontrast nach *Hauck* wird geringer als der Kontrast nach *Michelson*. Die Kontrastwahrnehmung ist somit ab dieser Umfeldhelligkeit bei jüngeren normalsehenden Personen beeinträchtigt.

Bei sehbehinderten Personen (rote Kurve) ist die Abweichung zwischen Kontrast nach *Michelson* und *Hauck* bereits bei einer geringeren Umfeldleuchtdichte erkennbar. Die Helligkeit im Umfeld wirkt bei gleicher Testfeldleuchtdichte bereits als Umfeldblendung. Dies deckt sich mit den Aussagen sehbehinderter Menschen während der Tests und aus den Erfahrungswerten des Autors.

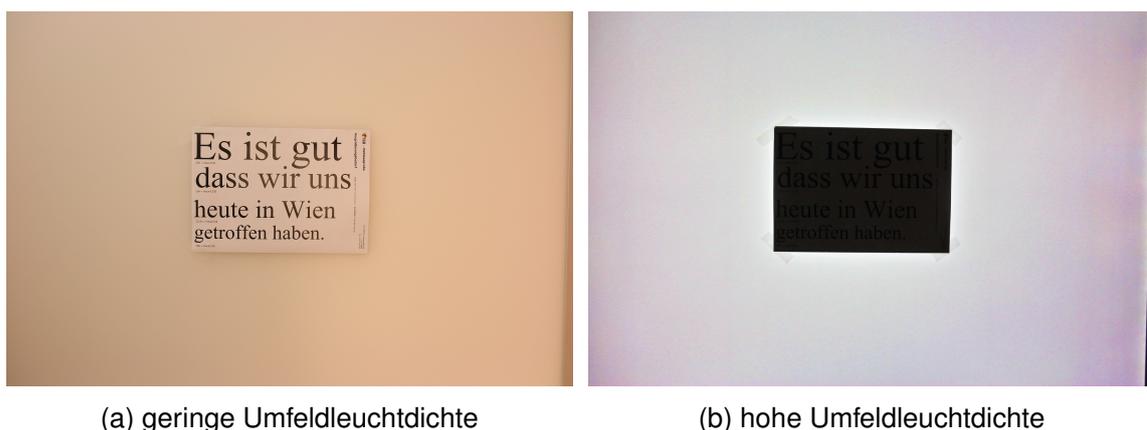


Abbildung 75: Leseprobe mit unterschiedlichen Umgebungsleuchtdichten

Vor allem bei sehbehinderten Menschen mit beeinträchtigen / verlangsamten Adaptationsvorgängen sind schneller Probleme zu erwarten im Vergleich zu normalsehenden Personen mit unbeeinträchtigter Adaptation.

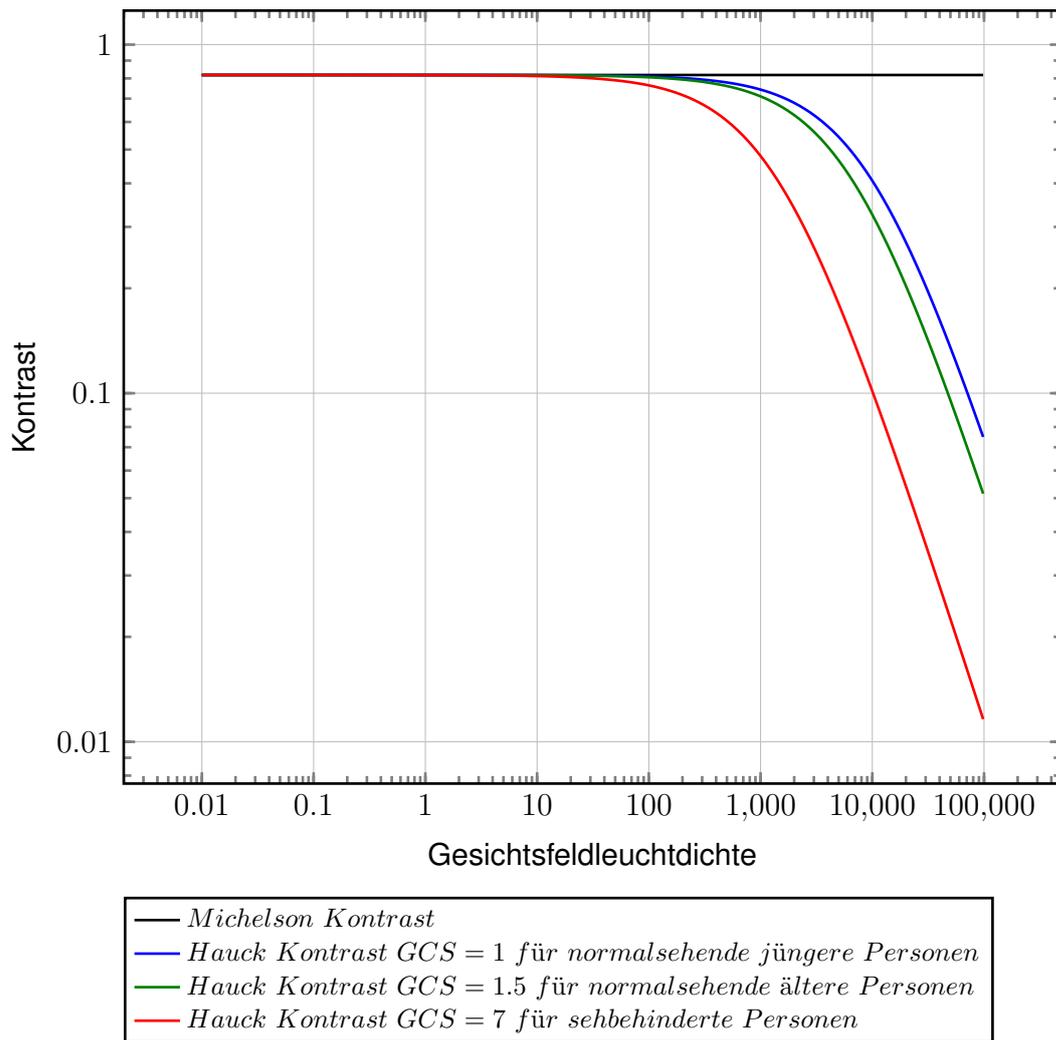


Abbildung 76: Kontrast in Abhängigkeit von der Umfeldleuchtdichte bei gleichbleibender Testfeldleuchtdichte $L_{\max}=100 \text{ cd/m}^2$

Ein Beispiel für diese Situation zeigt Abb. 75 auf S. 123). Bei geringer Umfeldleuchtdichte ist ein guter Kontrast vorhanden. Je höher die Umfeldleuchtdichte ist, desto geringer der wahrgenommene Kontrast.

Dieses Beispiel zeigt sehr schön auf, dass der alleinige photometrische Kontrast die subjektive Kontrastwahrnehmung nicht genügend dazustellen vermag.

Kontrast bei unterschiedlichen Adaptationsleuchtdichten

Für das Erkennen von Objekten ist neben Mindestgröße, Mindestkontrast auch eine Mindesthelligkeit notwendig. Wird diese unterschritten, so kann keine Wahrnehmung erfolgen.

Die Versuche (Sehtests in Abhängigkeit von der Adaptationsleuchtdichte) haben gezeigt, dass sich die Kontrastschwelle ab einer Helligkeit von ca. 10 cd/m^2 kaum noch verändert und das Maximum bei ca. 100 cd/m^2 erreicht ist.

Abbildung 79 auf S. 126 zeigt den Kontrast in Abhängigkeit von der Adaptationsleuchtdichte. Ein praktisches Beispiel hierfür könnte eine Visustafel bei (stark) unterschiedlichen Helligkeiten im Raum, wie in Abb. 77 dargestellt ist, sein. Man stelle sich folgende Situation vor: In einem dunklen Raum mit einer Sehprobe wird die Beleuchtungsstärke ganz langsam ansteigend verändert und somit die Helligkeit im Raum und auf der Sehprobe sukzessive erhöht. Die Berechnungen wurden mit der Kontrast-Formel nach *Hauk* vorgenommen. Die Kurven zu diesem Beispiel sind in Abb. 77 auf S. 125 dargestellt. Vergleichend ist der *Michelson*-Kontrast dargestellt, welcher unabhängig von der Adaptationsleuchtdichte immer gleichbleibend für dieses Beispiel ist.



Abbildung 77: Simulation der Kontrastwahrnehmung mit steigender Adaptationsleuchtdichte von links nach rechts

Steigert man langsam die Helligkeit von null an, so sind zuerst hohe Kontraste erkennbar. Mit weiter steigender Leuchtdichte werden immer geringere Kontraste sichtbar.

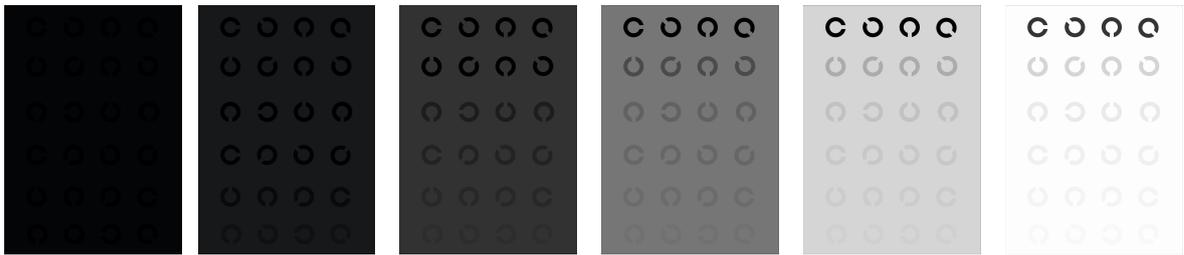


Abbildung 78: Simulation der Kontrastwahrnehmung mit steigender Adaptationsleuchtdichte bei unterschiedlichen Kontraststufen

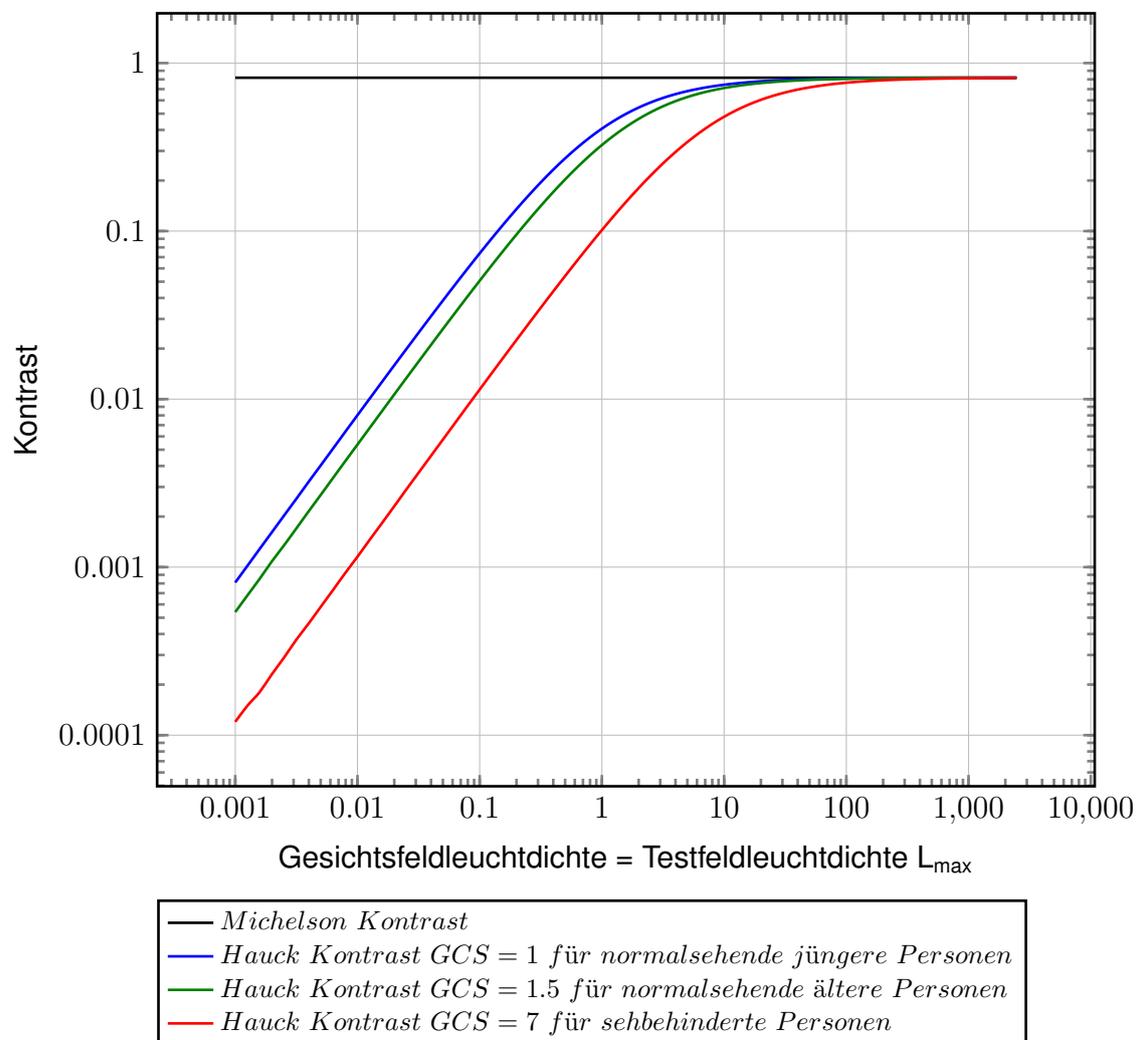


Abbildung 79: Kontrast in Abhängigkeit von der Umfeldleuchtdichte bei ebenso veränderlichen Testfeldleuchtdichten; Beispiel: gedruckte Sehprobentafel bei regelbarer Beleuchtung

Kontrastberechnung von Positiv- vs. Negativkontrast

In den vergangenen Jahren wurden vom Autor einige Kontrast-Sehtests entwickelt. Die Erstellung eines Kontrasttests im Negativkontrast⁹ war jedoch nicht erfolgreich.

Problematisch war zum einen der Druck und zum anderen ergab die Berechnung des Kontrasts mit der *Michelson*-Formel Werte, welche mit dem subjektiven Empfinden nicht übereinstimmten. Die berechneten Kontraste erschienen zu hoch. Vor allem die niedrigen Kontraststufen waren davon „stark betroffen“. Da der Autor bisher keine logische Erklärung für diesen Effekt hatte, hat er auf die Erstellung eines Kontrasttests im Negativkontrast bisher verzichtet.

Mit der Erarbeitung der neuen Kontrastberechnung nach *Hauck* kann gezeigt werden, dass der Kontrast „hellschwarz“ auf „dunkelschwarz“ unter photopischen Bedingungen subjektiv einen geringeren Kontrast ergibt, als mit dem Michelson-Kontrast berechnet.

Ein Beispiel zur Visualisierung zu dieser Thematik ist in Abb. 80 zu sehen.

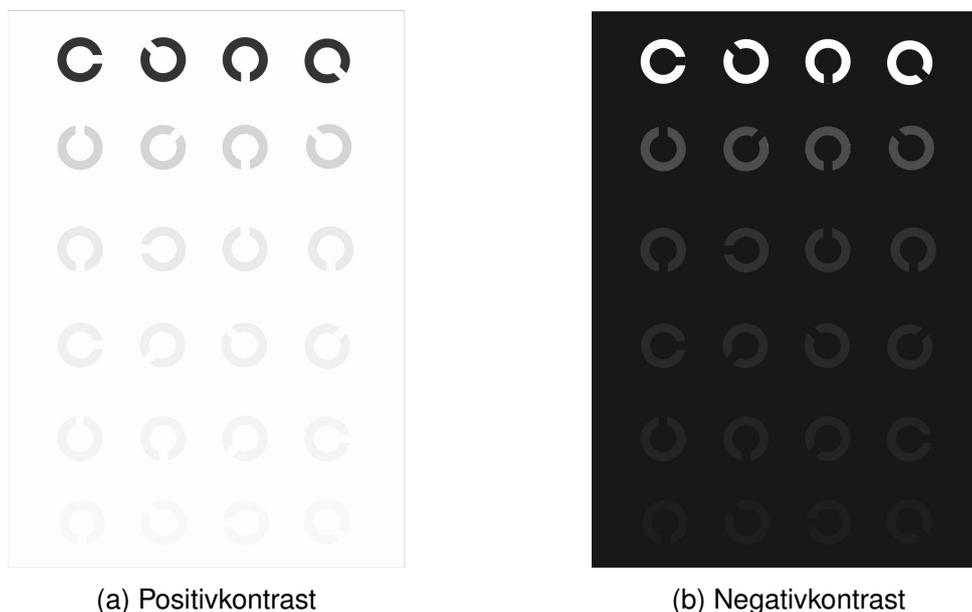


Abbildung 80: Kontrast-Leseprobe mit unterschiedlichen Kontrastarten

Im Diagramm (Abb. 81) ist deutlich erkennbar, dass im Positivkontrast sich die Kurven kaum unterscheiden. Im Negativkontrast ist der wahrgenommene Kontrast nach *Hauck* vor allem bei geringeren Kontrast-Werten deutlich vom Michelson-Kontrast abweichend.

⁹In der Low Vision Rehabilitation stellt ein Negativkontrast helle Sehzeichen auf dunklem Hintergrund dar, in der (Licht-)technik ist die Bezeichnung umgekehrt.

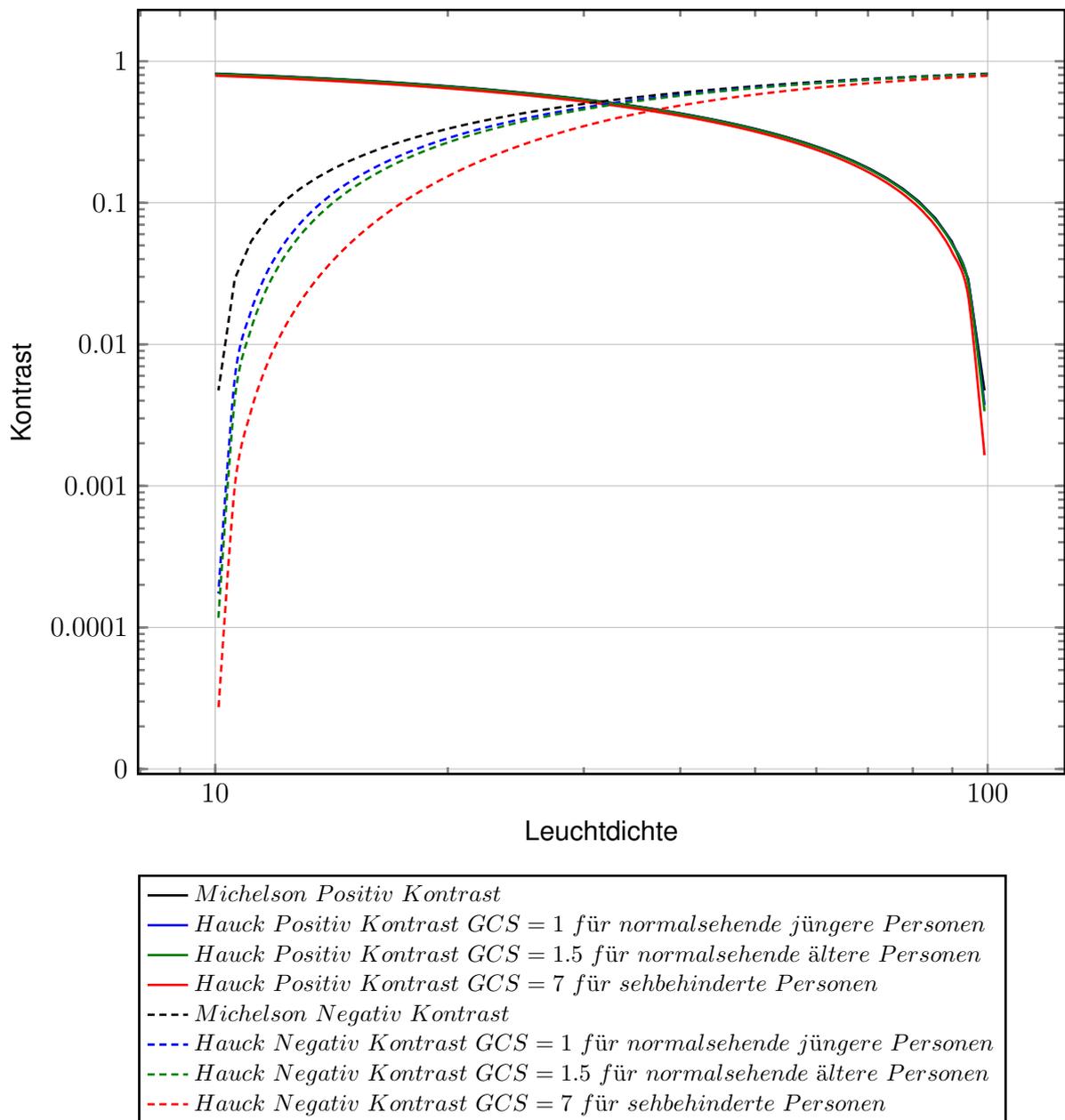


Abbildung 81: Positiv- und Negativkontrast in Abhängigkeit von der Testfeldleuchtdichte bei gleichbleibender Umfeldleuchtdichte von 50 cd/m^2 ;
 Positivkontrast: $L_{\text{max}} = 100 \text{ cd/m}^2$ und L_{min} veränderlich
 Negativkontrast: L_{max} = veränderlich und $L_{\text{min}} = 10 \text{ cd/m}^2$
 Beispiel: gedruckte Sehproben-Kontrasttafel

5 Schlussfolgerungen und Diskussion

5.1 Beleuchtung für Menschen mit Sehbehinderungen

5.1.1 Helligkeitsbedarf

In der CIE 196:2011 wird angemerkt, dass der Helligkeits-/Lichtbedarf bei Menschen mit Sehbehinderungen je nach Augenerkrankung variieren kann. Es ist jedoch davon auszugehen, dass der Helligkeitsbedarf bei älteren Personen und bei einem Großteil der sehbehinderten Menschen im Vergleich zu jüngeren normalsehenden Personen höher ist (CIE-International Commission on Illumination, 2011a, S. 8). Diese Aussagen haben sich bei diesen Untersuchungen bestätigt.

Folgende Aussagen können ergänzend zusätzlich getroffen werden:

Der Großteil (54 %) der untersuchten sehbehinderten Personen gibt subjektiv an, einen hohen Lichtbedarf zu haben. D.h. sie haben bei höheren Helligkeiten eine bessere Sehleistung. Die Ergebnisse der Sehtest spiegeln dies vor allem bei der Kontrastempfindung wieder, welche beim Sehen im Alltag eine sehr wichtige Rolle einnimmt.

Die Messwerte aus den Sehtests der sehbehinderten Probanden variieren sehr stark. Im Einzelfall kann sich dadurch ein spezieller Helligkeitsbedarf ergeben, welcher nach der Art der Sehaufgabe divergieren kann.

Ältere normalsehende Personen haben vor allem bei hohen Sehaufgaben (z.B. beim Lesen) einen erhöhten Helligkeitsbedarf. Hierfür ist vor allem eine hohe Sehschärfe wichtig. Bei steigenden Leuchtdichten kann diese Personengruppe stark profitieren und eine ähnlich hohe Sehschärfe wie jüngere normalsehende Personen erreichen (Abb. 54 auf Seite 82).

Schlussfolgernd könnte man sagen, dass das visuelle System bei Personen mit einem hohen Helligkeitsbedarf schlechter auf geringe Leuchtdichten adaptieren kann als auf hohe Leuchtdichten.

Eine mittlere Leuchtdichte im Raum von über 300 cd/m² ist zu vermeiden, da es über diesem Wert bereits zu Absolutblendung bei sehbehinderten Menschen kommen kann.

Betroffene Personen, die bei geringeren Helligkeiten bereits mit Blendungen Probleme haben, können als Hilfsmittel eine Lichtschutzbrille mit individueller Absorption einsetzen, um die Blendung zu reduzieren.

5.1.2 Kontrastempfindlichkeit und Kontrastbedarf

Die Kontrastempfindlichkeit der untersuchten sehbehinderten Probanden ist deutlich im Vergleich zu den normalsehenden Personen reduziert. Somit ist der für die Erkennung notwendige Mindestkontrast wesentlich höher. Unter den günstigsten Rahmenbedingungen erreichten die Betroffenen nicht die Kontrastempfindung, wie die normalsehenden Personen mit den ungünstigsten Bedingungen.

5.1.3 Blendung und Blendempfindlichkeit

Die Blendung ist neben der angemessenen Helligkeit für sehbehinderte Menschen ein wichtiger Faktor für eine optimale Ausnutzung der vorhandenen Sehleistung. Dies zeigt sich sowohl in der subjektiven Bewertung aus den Interviews als auch in den Messwerten des Blendungstests (unabhängig vom Helligkeitsbedarf). Die Kontrastschwelle der sehbehinderten Probanden steigt bei Blendung im Vergleich zu normalsehenden Personen viel stärker an.

Abgeleitet aus den Ergebnissen des Kap. 4.2.5 (Subjektive Störepfindung durch Blendung, S. 98) konnte eine UGR-Vergleichstabelle für sehbehinderte vs. normalsehende Personen zur psychologischen Blendung abgeleitet werden (Tabelle 19, S.131).

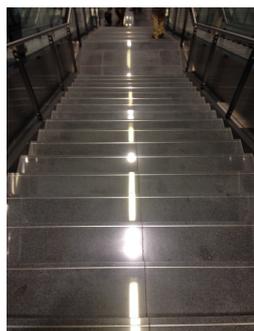
Indirekt-/Reflexblendung

Reflexblendungen werden vor allem von sehbehinderten Menschen als sehr störend empfunden. Zirka Dreiviertel der Betroffenen haben bei Reflexen auf Hochglanzoberflä-

Tabelle 19: UGR Tabelle für normalsehende und sehbehinderte Personen

UGR-Wert für normalsehende Personen	Gemessener UGR-Wert für sehbehinderte Personen	Empfohlener UGR-Richtwert für sehbehinderte Personen
10	< 7	< 7
13	<7	7
16	8	10
19	11	13
22	14	16
25	18	19
28	21	22

chen zusätzliche Probleme (siehe auch Abb. 49 „Einfluss von Reflexblendungen auf die visuelle Wahrnehmung der sehbehinderten Probanden (n=91)“ ab Seite 78). Die Abb. 82 zeigt zwei Negativbeispiele aus der Praxis.



(a) Reflexblendung auf einer Stiege am Flughafen Frankfurt

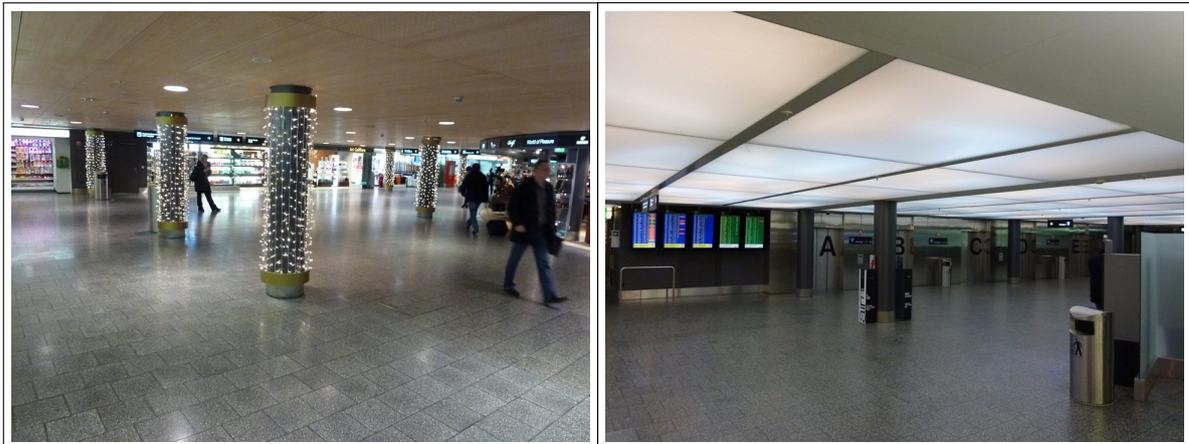


(b) Reflexblendung auf schwarzem Glanzboden am Bahnhof Wien-Praterstern

Abbildung 82: Beispiele für störende Reflexblendungen

Dies scheint darin begründet, dass sehbehinderte Menschen aufgrund der reduzierten Sehleistung während des Gehens steilere Blickwinkel (45° bis 60°) im Vergleich zu normalsehenden Personen (Hauptblickrichtung 10° bis 20°) bevorzugen, wodurch Reflexe am Boden i.d.R. stärker erscheinen.

Die Abstrahlungscharakteristik der Beleuchtungsanlage hat einen direkten Einfluss auf die Reflexblendung. Bei direkter Beleuchtung sind Reflexe i.d.R. deutlich stärker und störender im Vergleich zu einer vorwiegend indirekten Beleuchtung oder Lichtdecke. Die Abb. 83 zeigt ein Beispiel am Flughafen Zürich im direkten Vergleich.



(a) Reflexblendung bei direkter Beleuchtung (b) keine Reflexblendung bei diffuser Beleuchtung einer Lichtdecke

Abbildung 83: Beispiel für den Einfluss der Beleuchtung auf die Reflexblendung - Flughafen Zürich bei exakt gleichen Bodenverhältnissen (Die Fotos wurden aus der gleichen Position aufgenommen, einmal mit Blick nach links und einmal mit Blick nach rechts)

Ungünstig positionierte Beleuchtung kann starke Reflexe auf Hinweisschildern mit glänzender Oberfläche nach sich ziehen. Besonders die Farbe *schwarz* ist für diesen Effekt stark „anfällig“. Ein Beispiel am Bahnhof Praterstern in Wien ist in Abb. 84 dargestellt.



Abbildung 84: Reflexblendung auf Hinweisschildern

Passend zu dieser Thematik ein Zitat von Çakir u. Çakir (1997):

"Bei der Betrachtung der Reflexblendung als Gefahr kann die Direktbeleuchtung mit anderen Beleuchtungsarten unmittelbar verglichen werden, da in dieser Hinsicht eine Beurteilung aufgrund physikalischer und lichttechnischer Eigenschaften möglich ist. Danach stellt die Direktbeleuchtung die ungünstigste Beleuchtungsart dar, sofern nicht alle Arbeitsmittel und Arbeitsräume ausschließlich mit matten Oberflächen versehen sind. Dies ist jedoch allenfalls in labormäßigen Umgebungen der Fall." (Çakir u. Çakir, 1997, S. 19)

5.1.4 Handlungsempfehlungen für eine sehbehindertengerechte Beleuchtung

Beleuchtungsstärke- & Leuchtdichteempfehlungen

Mit der Beleuchtungsstärke (in Lux) wird angegeben, wieviel Licht auf eine Fläche fällt. In den Normen ist dies in der Regel die (horizontale) Nutzfläche. Die photometrische Einheit Lux wird jedoch vom Auge nicht direkt wahrgenommen. Der Helligkeitseindruck eines Raumes hängt von der Leuchtdichte bzw. dem Reflexionsgrad der Flächen ab. Eine Beleuchtungsstärke von 100 lx auf einem hellen Boden erzeugt einen höheren Helligkeitseindruck als auf einem dunklen Boden.

Als Mindestanforderung für die Beleuchtungsstärke sollten Werte der Norm EN 12464 Teil 1 und 2 für allgemein genutzte Gebäude/Räume herangezogen werden. An Gefahrenstellen empfiehlt es sich die Beleuchtungsstärke um drei logarithmische Stufen (Faktor 2) zu erhöhen.

Für privat genutzte Räume sowie am Arbeitsplatz ist es ratsamer den individuellen Helligkeitsbedarf zu berücksichtigen, um die vorhandene Sehleistung möglichst optimal zu nutzen.

Zylindrische Beleuchtungsstärke

Ziel einer Beleuchtung ist einerseits den Nutzern das sichere Begehen der Verkehrswege und andererseits das sichere Erkennung von Objekten und eine gute visuelle Kommunikation zu ermöglichen. Sie dient aber auch dazu, ein Sicherheitsgefühl zu geben und entgegenkommende Menschen zu erkennen. Eine gute Möglichkeit die Lichtqua-

lität zu beurteilen, stellt die zylindrische Beleuchtungsstärke dar. Die mittlere zylindrische Beleuchtungsstärke sollte für eine gute visuelle Kommunikation mindestens 150 lx ($U_0 \geq 0,1$) betragen.¹

Blendungs- und Leuchtdichtegrenzen

Die Ergebnisse aus den Interviews und der Sehtests haben gezeigt, dass die Blendung ein entscheidender Faktor für die Erreichung der maximalen persönlichen Sehleistung ist. Zudem trägt eine blendfreie Beleuchtung stark zum visuellen Komfort bei. Gutes Sehen kann somit für Menschen mit Sehbehinderung nur bei geringen Blendungen erreicht werden.

Die Blendung einer Beleuchtungsanlage im Innenraum wird sehr häufig durch die UGR-Blendbewertung durchgeführt. In der EN 12464-1 (Austrian Standards Institute, 2011) sind UGR-Grenzwerte für normalsehende Personen definiert. Für sehbehinderte Menschen liegt die gleiche/ähnliche Störfempfindung vor, wenn der UGR-Wert um zwei Stufen (eine Stufe = 3 UGR-Werte) geringer ist (gemäß Tab. 19, S.131). Die in der Norm aufgelisteten UGR-Grenzwerte sollten für eine visuell barrierefreie Beleuchtungsanlage entsprechend angepasst werden. Die für sehbehinderte Menschen wichtige Reduzierung der Blendung bedeutet für normalsehende Menschen (vor allem für ältere Personen) einen Komfortgewinn.

An Orten, wo sehbehinderte Menschen sich länger aufhalten (z.B. zu Hause, in einer Pflegeeinrichtung oder am Arbeitsplatz) und/oder eine höhere visuelle Leistung erbringen müssen, ist besonders auf eine Reduzierung der Blendung zu achten. Die persönliche Blendempfindlichkeit ist dabei zu berücksichtigen. Als Richtwert gilt ein UGR-Wert von max. 13.

Die maximale Leuchtdichte von Leuchten nach unten (Direktanteil) sollte analog den Empfehlungen an Bildschirmarbeitsplätzen in der ÖNorm EN 12464-1 (Austrian Standards Institute, 2011) ebenso berücksichtigt werden.

Für sehbehinderte Menschen sollte die Leuchtdichte an der sichtbaren Leuchtenoberfläche begrenzt sein. Als Grenzwerte können erfahrungsgemäß 1500 cd/m² für eine vorwiegend direkte und 3000 cd/m² für eine vorwiegend indirekte Beleuchtung angenommen werden. Diese sollten möglichst aus allen Blickrichtungen (nicht nur für Abstrahl-

¹(Austrian Standards Institute, 2011, S. 16, Kap. 4.6.2 Mittlere zylindrische Beleuchtungsstärke im Tätigkeitsbereich)

winkel $\geq 65^\circ$) nicht überschritten werden. Daraus resultiert eine möglichst gleichmäßige Entblendung der Leuchten aus allen Blickrichtungen. Dies sollte gewährleistet sein, wenn sich der UGR-Wert längs und quer zur Leuchte um höchstens drei UGR-Werte (eine Stufe) unterscheidet.

Eine Ausnahme bilden lange, schmale Räume (z.B. Flure, Gänge). Hier ist die Entblendung in Hauptblickrichtung maßgebend.

Weiterhin sollte die Leuchtdichte der Leuchte und der unmittelbaren Umgebungsbereich (i.d.R. die Decke in Leuchternähe) das Verhältnis von 10:1 möglichst nicht übersteigen.

Gleichmäßigkeit

Für sehbehinderte Menschen ist eine gleichmäßige Beleuchtung / Helligkeitseindruck zweckmäßig. Für die Gleichmäßigkeit der Beleuchtungsstärke für verschiedene Bereiche sind die Grenzwerte aus der ÖNorm EN 12464-1 (Austrian Standards Institute, 2011) heranzuziehen. Es ist empfehlenswert auf den Wänden eine ähnliche Gleichmäßigkeit wie auf der Nutzfläche gefordert zu erreichen. Höhere Anforderungen sind nicht bekannt.

Helligkeitswechsel

Wenn sich die Helligkeit in kurzen Abständen stark ändert, kann es zu einer reduzierten Sehleistung aufgrund von Adaptationsproblemen sehbehinderter Menschen kommen (typischerweise an Ein-/Ausgängen von Gebäuden). Es empfiehlt sich an diesen Stellen eine Übergangzone mit dazwischenliegendem Helligkeitseindruck zu schaffen, um einen plötzlichen Wechsel des Leuchtdichteniveaus während des Tages oder der Nacht zu vermeiden (siehe auch (Austrian Standards Institute, 2011)).

Reflexionsgrad von Raumbegrenzungsflächen, Oberflächenbeschaffenheit

Um einen hohen Helligkeitseindruck zu erzeugen, sind hohe LRV-Werte der Raumflächen zweckmäßig. Dabei sollte die Decke die hellste Fläche darstellen ($LRV \geq 0,6$), gefolgt von den Wänden ($LRV \geq 0,4$). Die dunkelste Fläche sollte der Boden ($0,25 \geq LRV \geq 0,1$) darstellen. Ein zu heller Boden kann bei sehr blendempfindlichen Menschen bereits Blendungen vor allem bei Direktbeleuchtung hervorrufen. Da der Boden einen

großen Teil des Gesichtsfelds bei Hauptblickrichtung einnimmt, kann man in diesem Fall kaum Kompensationsmethoden anwenden. Daher ist diese Art der Blendung besonders störend.

Lichtfarbe und Farbwiedergabe

Wenn die vom Nutzer bevorzugte Lichtfarbe nicht bekannt ist, sind warmweiße Lichtfarben ≤ 3500 K für die Allgemeinbeleuchtung zu bevorzugen. Gegenüber tageslichtweißen Lichtfarben ≤ 5000 K ist die Blendung, durch weniger Streulicht im Auge (Rayleigh-Streuung), geringer und die Kontrastempfindlichkeit höher.

Für hohe Sehaufgaben (z.B. Lesen) können Arbeitsplatzbeleuchtungen mit höherer Farbtemperatur ≤ 4000 K sinnvoller sein, da der subjektive Kontrast des beleuchteten des Objekts / der Schrift ansteigen kann.

Die Farbwiedergabe der Beleuchtung spielt für die Sehleistung sehbehinderter Menschen eine zweitrangige Rolle. Die Empfehlungen an der EN 12464-1 (Austrian Standards Institute, 2011) können bedenkenlos angewendet werden. Höhere Anforderungen sind nicht bekannt.

Flimmern und stroboskopische Effekte

Flimmernde Beleuchtung und stroboskopische Effekte sind zu vermeiden. Vor allem bei zentralen Gesichtsfeldausfällen (z.B. bei Makuladegeneration) kann flimmerndes Licht intensiver und bei einer höheren Frequenz im Vergleich zu normalsehenden Personen wahrgenommen werden. Dies liegt darin begründet, dass die Flimmerverschmelzungsfrequenz zum Rand der Netzhaut hin abnimmt (Methling, 1996, S. 368).

Kontrastwiedergabefaktor

Sehbehinderte Menschen haben häufig eine reduzierte Kontrastempfindlichkeit. Aus diesem Grund sollte die Beleuchtungsanlage einen möglichst hohen Kontrastwiedergabefaktor aufweisen, um die bereits reduzierte Kontrastwahrnehmung nicht zusätzlich herabzusetzen.

Erfahrungsgemäß ist der Kontrastwiedergabefaktor bei einer vorwiegend indirekten Beleuchtung höher bzw. besser im Vergleich zu einer Direktbeleuchtung.

5.1.5 Direkt- vs. Indirektbeleuchtung für sehbehinderte Menschen

Manchmal wird über den Einsatz großflächiger Deckenanbauleuchten (mit ausschließlich direkter Lichtverteilung) anstatt Pendelleuchten mit Indirektanteil diskutiert. Nach Meinung des Autors sind direkt abstrahlende Leuchten für den Einsatz vor allem an Arbeitsplätzen für Menschen mit Sehbehinderung i.d.R. nicht geeignet.

Der Einsatz von Leuchten mit hohem Indirektanteil (60% bis 90%) hat folgende Vorteile:

- Es resultiert i.d.R. deutlich weniger Blendung. Mit einer vorwiegend indirekten Beleuchtung erreicht man relativ einfach UGR-Werte von kleiner 13 oder sogar kleiner 10 \Rightarrow bei einer Direktbeleuchtung ist es dagegen schwierig einen UGR Wert von 19 zu erreichen (i.d.R. liegt der UGR Wert bei einer rein Direktbeleuchtung zwischen 19 und 25, ein Wert <10 ist wahrscheinlich nur mit einer Lichtdecke zu erreichen)
- Die Entblendung ist aus allen Blickrichtungen ist meist besser und gleichmäßiger.
- Die eigentliche Lichtquelle bei einer Indirektbeleuchtung ist die unscharf begrenzte Lichtinsel über der Leuchte. Unscharf begrenzte helle Flächen blenden wesentlich weniger, weil keine rezeptive Felder bei unwillkürlichen Mikrobewegungen zwischen hellen und dunklen Flächen wechseln. (Buser u. Hauck, 2012)
- Die Helligkeitsverteilung (Leuchtdichteverteilung) im Raum ist gleichmäßiger, daraus resultieren geringere Adaptationsschwierigkeiten.
- Der Helligkeitsverlauf an der Decke ist viel gleichmäßiger, was weniger Blendung verursacht.
- Das Leuchtdichteverhältnis zwischen Leuchte und Decke ist geringer, die geringste Blendung ist vorhanden, wenn $L_{\text{Leuchte}} \approx L_{\text{max, Decke}}$.
- Die Leuchtdichte an der Leuchtenoberfläche ist geringer (die hellste Stelle ist meist die Lichtinsel über der Leuchte an der Decke) \Rightarrow geringere Blendung.
- Die Schattenbildung ist geringer (Schattenbildungen werden von sehbehinderten Menschen meist als störend empfunden).
- Störende Reflexbilder und Reflexblendungen auf Oberflächen und am Boden (vor allem bei glänzenden Böden) sind minimiert.

- Gute/höhere zylindrische Beleuchtungsstärke im Vergleich (eng strahlender) Direktbeleuchtung (z.B. Downlights) \Rightarrow mehr Helligkeit auf vertikalen Flächen und in Gesichtern \Rightarrow verbesserte visuelle Kommunikation (vor allem für hör-/sehingeschränkte Menschen wichtig, die Informationen aus Mimik und Gestik gewinnen).
- Höherer/besserer Kontrastwiedergabefaktor \Rightarrow höhere Kontrastsehleistung.

Untersuchungen von Çakir u. Çakir (1997) zeigen, dass eine Direktbeleuchtung vor allem an Bildschirmarbeitsplätzen ungünstig ist

“Bei den Untersuchungen hat sich gezeigt, daß die Direktbeleuchtung die mit Abstand meisten Beeinträchtigungen der Gesundheit hervorruft.“ (Çakir u. Çakir, 1997, S. 26)

“Nach den Ergebnissen der Studie der Bundesanstalt für Arbeitsschutz (Bodmann u.a., 1995) kann nur die Indirektbeleuchtung die Anforderung der DIN 5035 Teil 1 erfüllen, *“an allen Stellen des Raumes etwa gleich gute Sehbedingungen“* zu schaffen. (...) Zudem erfüllt sie bestimmte Gütekriterien für Beleuchtung, z.B. *“Lichtrichtung und Schattigkeit“*, wesentlich schlechter als andere Arten der Beleuchtung.“ (Çakir u. Çakir, 1997, S. 22)

In den Ausführungen von Çakir.1997 wird zusätzlich deutlich, dass eine vorwiegend indirekte Beleuchtung zum Sehkomfort und besserem Arbeitsklima beiträgt und aus diesem Gesichtspunkt wirtschaftlicher ist im Vergleich zu einer Direktbeleuchtung.

Zur Verdeutlichung wurde je ein Beispiel für eine Direkt- vs. Indirektbeleuchtung mittels Lichtsimulationssoftware „ReluxPro“ erzeugt. Die erstellten Räume sind je 3 m x 4 m im Grundriss und 2,8 m hoch mit Standardwerten für den Reflexionsgrad der Raumbegrenzungsflächen (Abb. 21). Die Bewertungsflächen wurden jeweils bis zum Rand (ohne den typischen Randabstand in der Lichtplanung) gewählt. Die Ergebnisse der Simulation sind in den Abb. 85 auf Seite 139 bis Abb. 88 auf Seite 141 dargestellt.

Zum besseren Überblick sind ausgewählte zusätzliche Daten und Ergebnisse in Tab. 20 zusammengefasst.

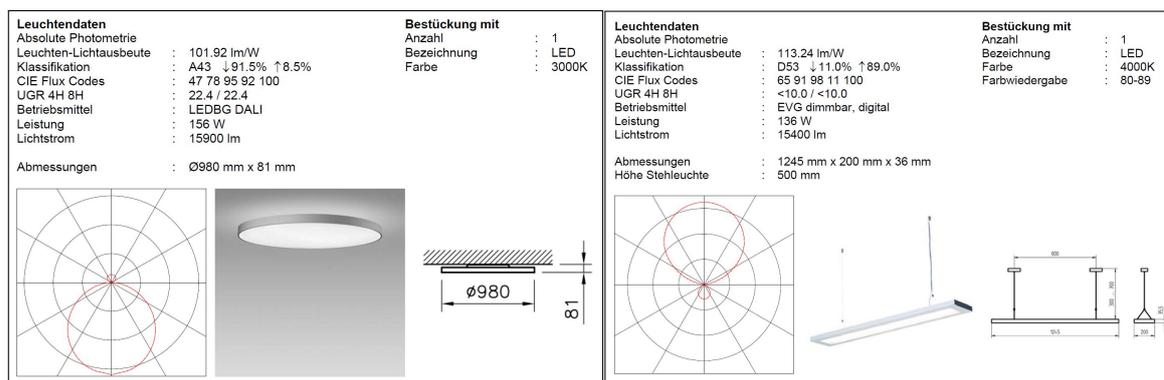
Es ist eindeutig aus diesem Beispiel ersichtlich, dass die Blendung bei direkter Beleuchtung (UGR 19) deutlich höher im Vergleich zur Indirektbeleuchtung (UGR <10) ist und für sehbehindertengerechte Arbeitsplätze zu hoch wäre.

Tabelle 20: Ausgewählte zusätzliche Daten und Ergebnisse für das Beispiel Direkt- vs. Indirektbeleuchtung

	Direktbeleuchtung	Indirektbeleuchtung
Leuchtdichte an der Leuchtenoberfläche bei 65° Beobachtungswinkel	5937 cd/m ²	1590 cd/m ²
mittlere Leuchtdichte im Raum	38 cd/m ²	57 cd/m ²
UGR-Blendwert	19,1	<10
Verhältnis L _{max, Decke} zu L _{Leuchte}	1:192	1:1,29

Der Raum mit Indirektbeleuchtung hat eine höhere mittlere Leuchtdichte ($L_{\text{mittel, indirekt}} = 57 \text{ cd/m}^2$) und erscheint damit insgesamt heller als der Raum mit direkter Beleuchtung ($L_{\text{mittel, direkt}} = 38 \text{ cd/m}^2$). Aussagen zur Gleichmäßigkeit des Helligkeitseindrucks im Raum sind schwieriger, da die Leuchtdichte an der Leuchtenoberfläche eine entscheidende Rolle hierfür spielt. Durch die hohe Leuchtdichte der Direktleuchte (siehe Tab. 20) an der Oberfläche, liegt es jedoch nahe, dass der Raum mit Indirektbeleuchtung gleichmäßiger hell erscheint.

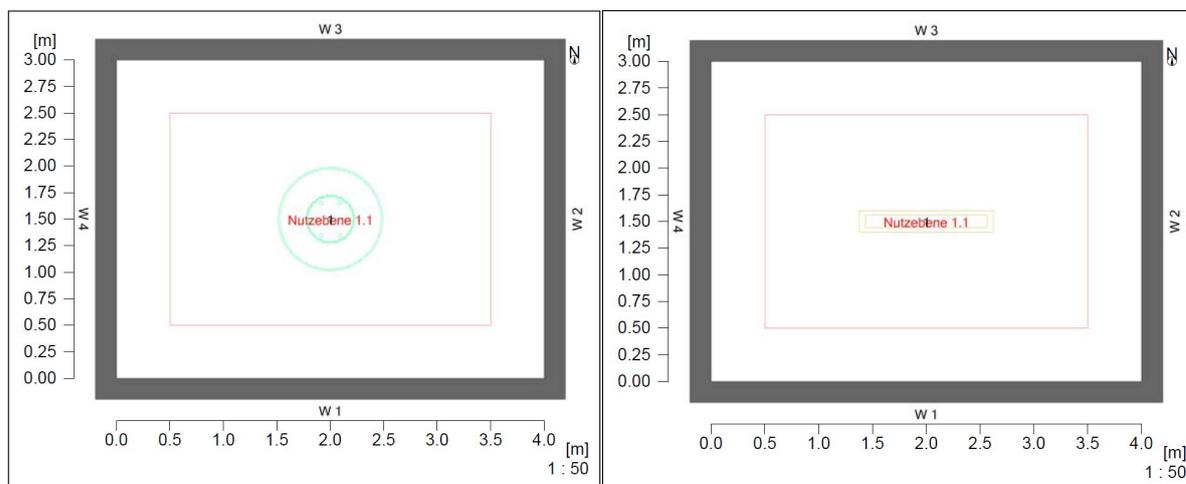
Um den gleichen Helligkeitseindruck wie bei einer Indirektbeleuchtung zu erhalten, müsste bei einer Direktbeleuchtung der Lichtstrom um ca. 50 % erhöht werden. Für diesen Vergleich wurde die mittlere Leuchtdichte im Raum (welche den subjektiven Helligkeitseindruck am besten beschreibt) aus dem verwendeten Beispiel herangezogen. Es ist zu erwarten, dass die Erhöhung des Lichtstroms bei direkter Beleuchtung unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Blendung und des abweichenden Adaptationszustandes noch höher ausfallen würde.



(a) 92% Direktbeleuchtung

(b) 89% Indirektbeleuchtung

Abbildung 85: Vergleich der Leuchtendaten von Direkt- vs. Indirektbeleuchtung



(a) 92% Direktbeleuchtung

(b) 89% Indirektbeleuchtung

Abbildung 86: Vergleich Grundriss von Direkt- vs. Indirektbeleuchtung

Tabelle 21: Vergleich Raumdaten von Direkt- vs. Indirektbeleuchtung

Tabelle (22) 92% Direktbeleuchtung

Tabelle (23) 89% Indirektbeleuchtung

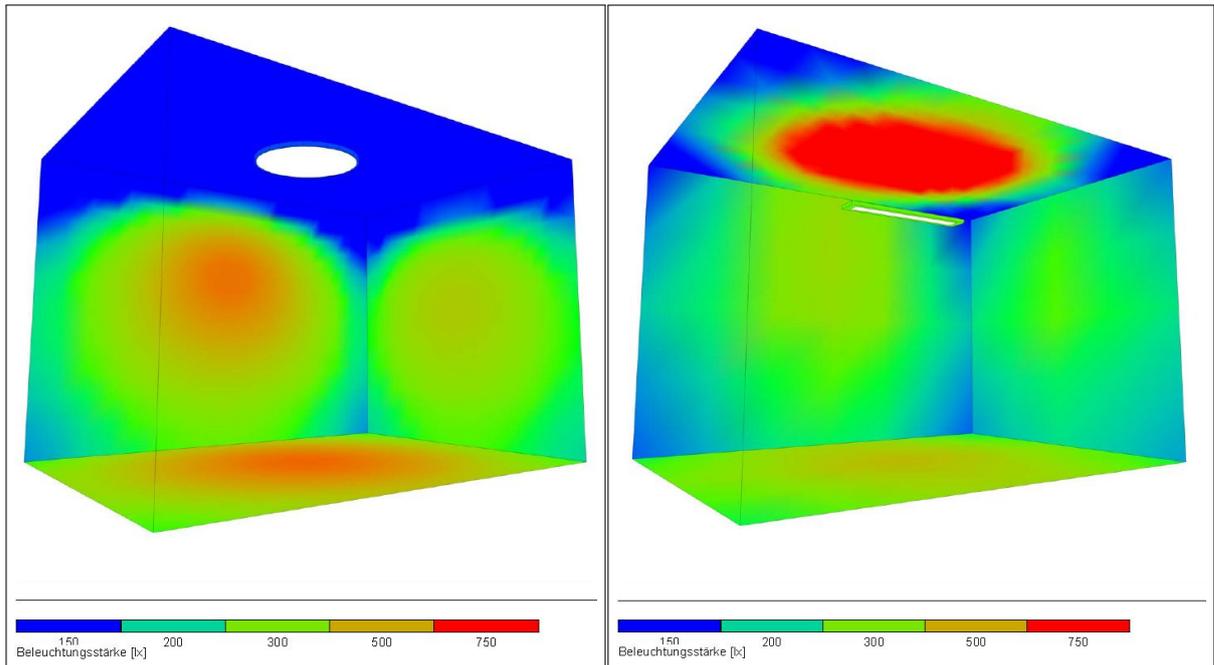
Raumdaten:		Reflexionsgrade:		Raumdaten:		Reflexionsgrade:	
W1	: 4.00		50.0 %	W1	: 4.00		50.0 %
W2	: 3.00		50.0 %	W2	: 3.00		50.0 %
W3	: 4.00		50.0 %	W3	: 4.00		50.0 %
W4	: 3.00		50.0 %	W4	: 3.00		50.0 %
W5	: ----		----	W5	: ----		----
W6	: ----		----	W6	: ----		----
Boden:	----		20.0 %	Boden:	----		20.0 %
Decke:	----		70.0 %	Decke:	----		70.0 %
Raumhöhe [m]:			2.80	Raumhöhe [m]:			2.80
Höhe Nutzebene [m]:			0.75	Höhe Nutzebene [m]:			0.75
Höhe Leuchtenebene [m]:			2.85	Höhe Leuchtenebene [m]:			2.30

Tabelle 24: Vergleich der Ergebnisübersicht von Direkt- vs. Indirektbeleuchtung

Tabelle (25) 92% Direktbeleuchtung

Tabelle (26) 89% Indirektbeleuchtung

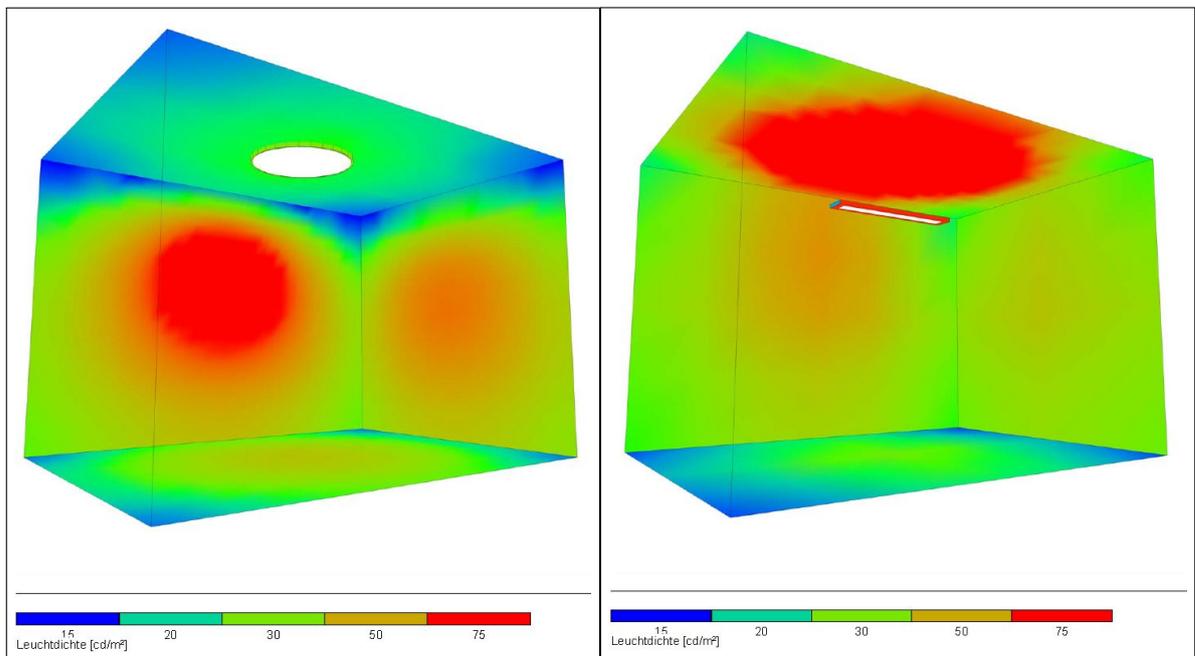
Bewertungsbereich 1		Nutzebene 1.1		Bewertungsbereich 1		Nutzebene 1.1	
		horizontale				horizontale	
Em		632 lx		Em		474 lx	
Emin		332 lx		Emin		236 lx	
Emin/Em (Uo)		0.52		Emin/Em (Uo)		0.50	
Emin/Em ax (Ud)		0.31		Emin/Em ax (Ud)		0.29	
UGR (1.9H 2.5H)		<=19.1		UGR (2.8H 3.7H)		<10.0	
Position		0.75 m		Position		0.75 m	
Hauptoberflächen		Em	Uo	Hauptoberflächen		Em	Uo
M 1.5 (Decke)		141 lx	0.70	M 1.5 (Decke)		1000 lx	0.11
M 1.1 (Wand)		343 lx	0.38	M 1.1 (Wand)		267 lx	0.56
M 1.2 (Wand)		298 lx	0.42	M 1.2 (Wand)		239 lx	0.62
M 1.3 (Wand)		344 lx	0.38	M 1.3 (Wand)		267 lx	0.56
M 1.4 (Wand)		298 lx	0.42	M 1.4 (Wand)		239 lx	0.62



(a) 92% Direktbeleuchtung

(b) 89% Indirektbeleuchtung

Abbildung 87: Vergleich 3D Beleuchtungsstärkeverteilung von Direkt- vs. Indirektbeleuchtung



(a) 92% Direktbeleuchtung

(b) 89% Indirektbeleuchtung

Abbildung 88: Vergleich 3D-Leuchtdichteverteilung von Direkt- vs. Indirektbeleuchtung

5.2 Kontrastbestimmung

5.2.1 Kontrastempfindung und Kontrastbedarf

Aus den Interviews und der beruflichen Erfahrung des Autors geht hervor, dass die Kontrastempfindung der Menschen mit Sehbehinderung im Vergleich zu normalsehenden Personen meist (deutlich) reduziert ist. Entweder es wird von den Betroffenen geäußert, dass ein hoher Kontrast für die Erkennung von Objekten notwendig ist oder es sind Aussagen wie „dieser Kontrast ist schlecht für mich“, welche auf die subjektiv geringe Kontrastempfindung hinweisen.

Eine spezielle Frage zur subjektiven Kontrastempfindung wurde den sehbehinderten Probanden im Interview nicht gestellt. Aus der Erfahrung des Autors und Fachgesprächen mit weiteren Experten wird der Anteil der sehbehinderten Personen mit Kontrastproblemen auf ca. 75% (ähnlich der Anteil mit erhöhter Blendempfindlichkeit) eingeschätzt.

5.2.2 Berechnung des subjektiv wahrgenommenen Kontrasts

Wie in Kap.2.8.3 beschrieben, kann ein photometrischer Kontrast mittels Kontrastformel bestimmt und berechnet werden. Es sind mehrere Kontrastformeln bekannt, die unterschiedliche Ergebnisse für die gleiche Situation liefern können.

Weiterhin berücksichtigt keine dieser Formeln den Adaptationszustand des Auges und die Leuchtdichtenverhältnisse im Gesichtsfeld, was für die Wahrnehmung des Kontrasts eine entscheidende Bedeutung darstellt. Zudem hat die individuelle Kontrastempfindlichkeit sowie die Blendempfindlichkeit Auswirkungen auf die subjektive Kontrastempfindung.

Es wurde eine Möglichkeit erarbeitet (Gleichung (27)) den wahrgenommenen Kontrast zu berechnen.²

Hier nochmals die Formel zur Kontrastberechnung nach *Hauck* von Seite 113:

$$K_{Hauck} = \frac{L_{Max} - L_{Min}}{L_{Max} + L_{Min} + GCS \cdot \frac{L_{Gesichtsfeld}}{L_{Max} - L_{Min}}}$$

²siehe Kap. 4.4 „Glare-Contrast-Sensitivity nach *Hauck*“ ab Seite 104 und im Kap. 4.5 „Kontrastbestimmung nach *Hauck*“ ab Seite 109

5.2.3 Kontrast nach *Michelson* oder *Hauck*?

Welche Berechnungsmethode ist wann sinnvoll?

Schon aus der Überschrift wird deutlich, dass die Kontrastberechnungsmethoden nach *Michelson* oder *Hauck* für den Praxiseinsatz am geeignetsten erscheinen. Andere Bestimmungsverfahren haben teils deutliche Nachteile und liefern weniger praxistaugliche Ergebnisse (siehe auch Kap. 2.8.3 ab Seite 42).

Die **Kontrastberechnung nach *Michelson*** ermittelt einen photometrischen Kontrast. Wenn der Kontrast zwischen zwei Objekten/Flächen/Materialien bestimmt werden soll (ohne die Umgebungshelligkeit, die Blendung im Gesichtsfeld oder die Zielgruppe zu berücksichtigen), ist die Formel nach *Michelson* gut anwendbar.

Vereinfacht könnte man auch sagen der ***Michelson*-Kontrast ist ein photometrischer „Materialkontrast“ ohne Berücksichtigung physiologischer Aspekte** und sollte in diesem Kontext angewendet werden.

Wiederholend die Formeln (14) zum *Michelson*-Kontrast mit Leuchtdichte und LRV-Werten:

$$K_M = \frac{L_{\text{Max}} - L_{\text{Min}}}{L_{\text{Max}} + L_{\text{Min}}} \quad \text{oder} \quad K_M = \frac{LRV_{\text{Max}} - LRV_{\text{Min}}}{LRV_{\text{Max}} + LRV_{\text{Min}}}$$

In der Realität kann ein „Materialkontrast“ nur dann erkannt werden, wenn:

- das visuelle System auf die Helligkeit im Gesichtsfeld adaptieren kann
- die Helligkeit im Umfeld im Vergleich zu den Testflächen nicht zu hoch ist
- die Kontrastempfindlichkeit hoch genug ist
- die Blendung im (zentralen) Gesichtsfeld nicht zu hoch ist

All diese Bedingungen werden bei der Berechnung mit der *Michelson*-Formel nicht berücksichtigt und können dazu führen, dass ein genügender *Michelson*-Kontrast geringer wahrgenommen wird, als berechnet.

Schwächen dieser Berechnungsmethode zeigen sich am Beispiel relativ dunkler Testflächen. So ergeben Leuchtdichten von $L_{\text{max}} = 1 \text{ cd/m}^2$ und $L_{\text{min}} = 0.1 \text{ cd/m}^2$ zwar einen hohen Kontrast von $K_M = 0.82$. Jedoch wird dieser Kontrast in der Praxis in heller Umgebung kaum wahrgenommen werden können und bedeutet subjektiv ein „Hellschwarz“ auf

„Dunkelschwarz“. Bei photopischen Helligkeitsbedingungen $> 10 \text{ cd/m}^2$ ist dieser Kontrast subjektiv ungenügend. Daher werden in manchen Normen (DIN 32975, SIA 500) Mindestwerte für LRV-Werte (Reflexionsgrad) angegeben, um dem Effekt entgegenzuwirken.

Bei der **Kontrast-Berechnungsmethode nach Hauck** werden erstmals die Umfeldhelligkeit sowie die Kontrast- und Blendungsempfindung mit berücksichtigt. Auf Basis des *Michelson*-Kontrasts wurde eine Erweiterung um physiologische Komponenten vorgenommen.

$$K_{\text{Hauck}} = \frac{L_{\text{Max}} - L_{\text{Min}}}{L_{\text{Max}} + L_{\text{Min}} + GCS \cdot \frac{L_{\text{mittel, Gesichtsfeld}}}{L_{\text{Max}} - L_{\text{Min}}}}$$

oder

$$K_{\text{Hauck}} = \frac{LRV_{\text{Max}} - LRV_{\text{Min}}}{LRV_{\text{Max}} + LRV_{\text{Min}} + GCS \cdot \frac{LRV_{\text{mittel, Gesichtsfeld}}}{LRV_{\text{Max}} - LRV_{\text{Min}}}}$$

Anmerkung: Der GCS ist für normalsehende junge Personen = 1, für ältere normalsehende Personen = 1,5 und für sehbehinderte Menschen = 7 (Tab. 13 auf S. 107) Weitere Formeln zur Berechnungsmethode nach Hauck sind ab dem Kap. 4.5.2 ab Seite 113 zu finden.

Die Berechnungsergebnisse mit der Formel nach *Hauck* spiegeln den wahrgenommenen Kontrast besser wieder, als ein reiner „Materialkontrast“. Wenn sich die Umfeldleuchtdichte im Vergleich zur Testfeldleuchtdichte außerhalb unserer Adaptationsfähigkeit befindet, dann sinkt der wahrgenommene Kontrast ab.

Ebenso beeinflussen die Kontrast- und Blendempfindlichkeit die Berechnungsergebnisse. Vor allem bei sehbehinderten Menschen mit reduzierter Kontrastempfindung und erhöhter Blendempfindlichkeit ergeben sich für den K_{Hauck} entsprechend niedrigere Ergebnisse.

Daraus folgt, dass der **Hauck-Kontrast ein physiologischer Kontrast** ist.

Mit diesen Werten kann zudem verdeutlicht werden, wie sich Umfeld und Sehleistung reduzierend auf den wahrgenommenen Kontrast im Vergleich zu anderen normalsehenden Personengruppen auswirken.

5.2.4 Was ist für sehbehinderte Menschen ein visuell hoher, mittlerer oder geringer Kontrast?

Dies ist eine Frage, die sich nicht einfach beantworten lässt. Abhängig von der persönlichen Kontrastempfindlichkeit können daraus sehr unterschiedliche subjektive Kontrastwahrnehmungen resultieren.

Gemäß dem *Weber-Fechnerschen-Gesetz* (Goersch, 1996, S. 310), müsste die Kontrastwahrnehmung folgerichtig nicht in linearen Stufen, sondern logarithmisch erfolgen. Um eine lineare Empfindung zu erreichen ist eine logarithmische Abstufung von Kontrastwerten (analog zur Sehschärfeprüfung) empfehlenswert:

100 - 80 - 63 - 50 - 40 - 32 - 25 - 20 - 16 - 12,5 - 10 - 8 - 6,3 - 5 - 4 - 3,2 - 2,5 - 2 - 1,6 - 1,25 - 1,0 (...)

Mit dem „Logatomentest“ (siehe auch Kap. 3.3.4 auf Seite 65) wurde die Sehschärfe bei unterschiedlichem Kontrast ermittelt. Die geometrischen Mittelwerte sind je Adaptationsleuchtdichte auf Seite 91 dargestellt.

Vergleicht man die Sehschärfen der Tests mit Logatomen der sehbehinderten Probanden im photopischen Bereich³ zwischen Kontrast K_M 0,8 und K_M 0,5 kann man feststellen, dass die Sehschärfe gleich ist (Wilcoxon Test; beidseitiges Signifikanzniveau 0,95). Daraus resultierend ist festzustellen, dass ein Kontrast von $\geq 0,5$ die Sehschärfe nur gering beeinflusst und daher als „hoher Kontrast“ einzustufen ist.

Alle weiteren ermittelten Sehschärfen der sehbehinderten Probanden unterscheiden sich im photopischen Bereich (bei 10 cd/m² und 100 cd/m²) voneinander signifikant⁴.

Zwischen Kontrast $K_M < 0,5$ und $\geq 0,3$ sinkt die Sehschärfe signifikant ab. Der geometrische Mittelwert ändert sich jedoch nur innerhalb einer log.-Stufe. Mehr als die Hälfte (57 %) der sehbehinderten Probanden haben die gleiche Sehschärfe im Vergleich zu Visus 0,8. Dies ist der „mittlere Kontrastbereich“.

Bei einem Kontrast von K_M 0,2 ändert sich der geometrische Mittelwert um mehr als eine log.-Stufe. 38 % der sehbehinderten Probanden haben bei Kontrast 0,2 die gleiche Sehschärfe im Vergleich zu Kontrast 0,3. Dies ist der „untere Kontrastbereich“.

³An dieser Stelle wird ausschließlich der photopische Bereich betrachtet, da die Kontrastwahrnehmung im mesopischen Bereich reduziert sein kann.

⁴Testergebnisse im Anhang auf Seite 275

Ab einem Kontrast von K_M 0,1 kann man feststellen, dass die Sehschärfe im Vergleich zur Sehschärfe bei K_M 0,8 deutlich abfällt. Die Sehschärfe hat sich im Vergleich zum hohen Kontrast fast halbiert. Kontraste $K_M < 0,2$ sind für Menschen mit Sehbehinderung als „geringe Kontraste“ zu bewerten.

Beschriftungen sollten daher im hohen Kontrastbereich ($K_{Hauck} \geq 0,50$) und Bodenmarkierungen im mittleren Kontrastbereich liegen ($K_{Hauck} \geq 0,32$). Im unteren Kontrastbereich können ($K_{Hauck} \geq 0,2$) können Markierungen, welche die Orientierung unterstützen, Anwendung finden.⁵

Niedrige Kontraste von $K_{Hauck} < 0,2$ sollten in der Low Vision Rehabilitation für Markierungen oder Schrift nach Meinung des Autors nicht verwendet werden.

Diese Werte stellen Mindestwerte (Wartungswerte) dar, welche über die gesamte Nutzungsdauer gewährleistet sein sollten (Tab. 27). Im Neuzustand und in der Planung sind entsprechende Kontrastreserven (je nach Anwendungsfall) empfehlenswert.

Bei unbekanntem GCS-Wert ist der Mittelwert für sehbehinderte Menschen von $GCS=7$ bei der Berechnung des Kontrasts nach *Hauck* heranzuziehen.

Tabelle 27: Kontrastgrenzwerte nach Hauck (Wartungswerte) für verschiedene Anwendungen

Funktion	Kontrast K_{Hauck}	Anwendungsbeispiele
Beschriftung, Glasflächenmarkierungen	$\geq 0,50$	Schriften, Piktogramme
Markierung von Hindernissen, Gefahrenstellen und sicherheitsrelevanten Elementen	$\geq 0,32$	Markierung von Stufen, Sicherheitslinien, Pfosten/Poller
Markierungen mit Führungsfunktion	$\geq 0,20$	Markierung von Leitlinien, flächige Markierungen

⁵Die Grenzwerte wurden unter idealen Bedingungen (siehe Versuchsaufbau) unter Zugrundelegung des Michelson-Kontrasts ermittelt. Die angegebenen Grenzwerte können auch für den Michelson-Kontrast verwendet werden, falls keine visuell störenden äußeren Einflüsse und eine Adaptationsleuchtdichte von mind. 10 cd/m^2 vorliegen. Empfehlenswert ist die Erhöhung der genannten Grenzwerte um mind. eine log.-Stufe bei Verwendung des Michelson-Kontrasts

5.2.5 Hinterleuchtete Objekte und Beschriftungen

Durch die Verwendung selbstleuchtende Objekte können Kontraste bis nahezu K_{Hauck} 100% erreicht werden. Ein Beispiel sind hinterleuchtete Beschriftungen, welche vor allem im Negativkontrast (helle Schrift auf dunklem Grund) sehr hohe Kontraste erzielen. Auch in hellen Umgebungen lassen sich damit hohe Kontraste erzeugen.

Dabei sollte die Leuchtdichte des Testfeldes (der Beschriftung) höher sein als die mittlere Gesichtsfeldleuchtdichte. Das Testfeld sollte idealerweise mindestens die 3-fache und maximal die 10-fache Leuchtdichte der mittleren Gesichtsfeldleuchtdichte besitzen⁶.

Leuchtdichten über dem 10-fachen der mittleren Gesichtsfeldleuchtdichte können bei Menschen mit Sehbehinderung bereits Relativblendungen verursachen.

In Feldversuchen wurde eine hinterleuchtete Beschriftung von den sehbehinderten Personen sehr oft positiv bewertet.

Positiv- und Negativkontrast sowie Schriftdicke bei Hinterleuchtung Bei Schildern mit hinterleuchteter Schrift ist es im Positivkontrast (dunkle Schrift auf hellem Grund) sinnvoll, die Schriftdicke/Strichstärke um 125-150% zu erhöhen (ähnlich Fettschrift). Durch die Hinterleuchtung kann ein (zu) helles Umfeld die dunkle Schrift „überstrahlen“ und dadurch die Schrift dünner erscheinen lassen. Durch die Erhöhung der Strichstärke kann man diesem Effekt entgegenwirken.

Im Negativkontrast sind die Verhältnisse umgekehrt und daher ist keine zusätzliche Anpassung der Strichstärke notwendig. Allerdings kann eine zu hohe Helligkeit der Schrift die Leerräume zwischen den Buchstaben verringern und die Lesbarkeit verschlechtern. Als Gegenmaßnahme ist eine Verringerung der Strichstärke oder Reduzierung der Leuchtdichte möglich.

5.2.6 Subjektive Kontrasterhöhung durch Annäherung bzw. Abschattung

Eine Methode, die bisher wenig im Sehbehindertenwesen beschrieben wurde, ist die Möglichkeit der Kontrasterhöhung durch Annäherung. Dieser Effekt ist vor allem bei

⁶Nach dem Gesetz von *Stevens* entspricht eine Verdreifachung der Leuchtdichte subjektiv ca. 50% mehr Helligkeit und eine Verzehnfachung der Leuchtdichte einer Verdopplung des Helligkeitseindrucks.

sehr hellen Umgebungen wirkungsvoll, wenn das Umfeld durch Annäherung an die Sehaufgabe „abgeblendet“ werden kann.

Zur Verdeutlichung soll ein praktisches Beispiel aus Kap. 4.1 dienen (Abb. 89).

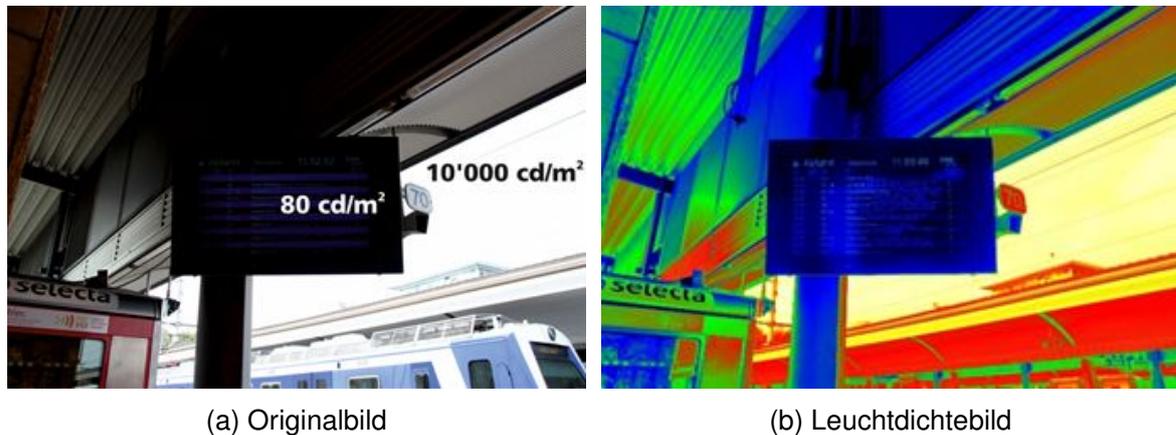


Abbildung 89: ÖBB-Monitor im Sommer bei Tageslichteinfluss (links: Originalbild; rechts Leuchtdichtebild)

Der verwendete Monitor der ÖBB ist auf ca. 3m Höhe angebracht. Hier ist keine direkte Annäherung und auch kaum Abschattung möglich. Der berechnete Kontrast liegt bei $K_{\text{Hauck}} = 15\%$. Würde dieser Monitor auf Augenhöhe angebracht sein, könnte man sich bis auf wenige Zentimeter annähern und die helle Umgebung „ausblenden“⁷. Der Kontrast würde dadurch auf $K_{\text{Hauck}}=60\%$ ansteigen und die Lesbarkeit wäre stark verbessert. Zudem ist durch die Annäherung eine Vergrößerung von 10-fach leicht erreichbar. Weiterhin ist es möglich, Lichteinflüsse durch eigene Abschattungsmaßnahmen zu reduzieren.

5.2.7 Kontrast-Wartungswert

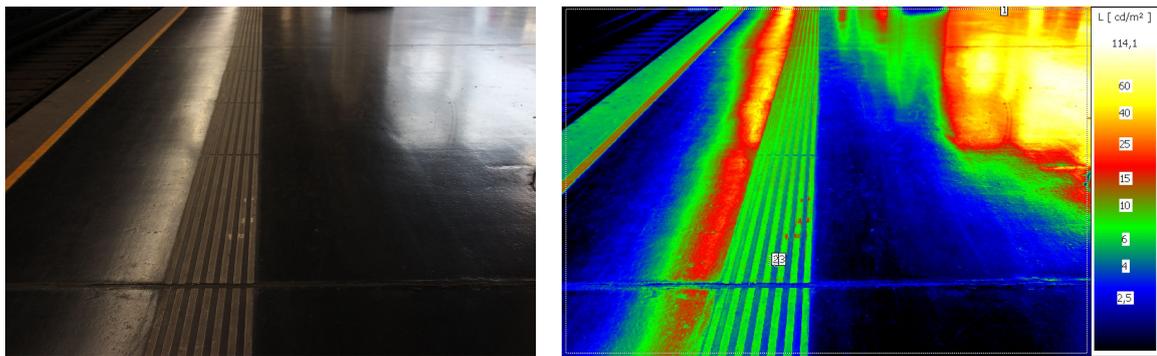
In der Lichttechnik ist es üblich einen Wartungswert bei der Lichtplanung mit vorzusehen. Für den Wartungswert spielt die Verschmutzung der Umgebung oder des Raumes, die Leuchtenart und der Leuchtmitteltyp eine Rolle. Für den Kontrast gibt es bisher einen solchen Wartungswert nicht.

Die Abb. 90 und 91 zeigen Aufnahmen von zwei unterschiedlich gereinigte Bodenmarkierungen der selben U-Bahn Station zur gleichen Zeit. Der Unterschied ist der Ver-

⁷Das Umfeld ist dann nicht mehr so präsent im Gesichtsfeld

schmutzungsgrad und die Lichtverhältnisse im Umfeld. Der resultierende Kontrast des Bodenleitsystems unterscheidet sich deutlich.

Aus Sicht des Autors wäre für die Gewährleistung des Mindestkontrasts ein Wartungswert sinnvoll.



(a) Originalfoto

(b) Leuchtdichtebild

Abbildung 90: Verschmutzte Bodenmarkierung mit reduziertem Kontrast und deutlicher Reflexblendung am Boden

$$K_{\text{Michelson}} = 0,27$$

$$K_{\text{Hauck, normalsehend}} = 0,17$$

$$K_{\text{Hauck, sehbehindert}} = 0,14$$

Ähnlich diesem System aus der Beleuchtungstechnik ist ein Wartungswert für den Kontrast denkbar. Folgende Parameter haben auf den Kontrast während der Nutzung Einfluss:

- Art der Umgebung (sauber, normal, schmutzig)
- Nutzungsfrequenz (hoch, normal, niedrig)
- Helligkeitsänderung durch Verschmutzung (helle Flächen erfahren durch Verschmutzung eine stärkere Änderung der Helligkeit um Vergleich zu dunklen Flächen)
- Abnutzungs-/Abriebverhalten durch Nutzung und Reinigung (z.B. Abriebverhalten einer Bodenmarkierung)
- horizontale oder vertikale Nutzung (z.B. vertikales Schild oder Bodenmarkierung)
- Häufigkeit der Reinigungsintervalle
- Häufigkeit der Wartungsintervalle (z.B. Markierung erneuern)

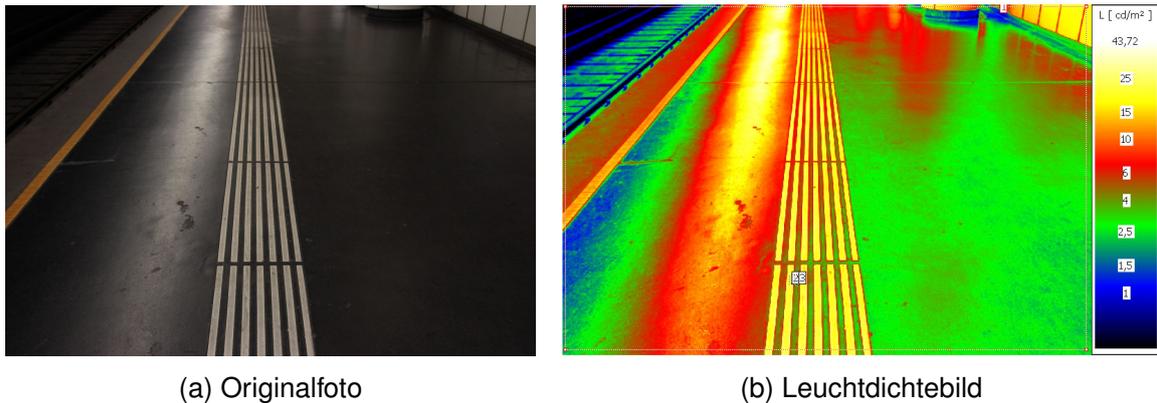


Abbildung 91: Gut gereinigte Bodenmarkierung mit verbessertem Kontrast und verminderter Reflexblendung

$$K_{\text{Michelson}} = 0,59$$

$$K_{\text{Hauck, normalsehend}} = 0,57$$

$$K_{\text{Hauck, sehbehindert}} = 0,55$$

Momentan ist es empfehlenswert die Materialien und Reinigungsintervalle so zu wählen, dass der Kontrast auch bei starker Nutzung sich möglichst gering verändert.

Bei vertikal angebrachten Beschilderungen und Markierungen im Innenbereich ist ein Kontrastwartungswert wahrscheinlich nicht notwendig. Im Außenbereich ist der Verschmutzungsgrad hauptsächlich von der Witterung und UV-Belastung/Sonneneinstrahlung abhängig.

Die Zusammenhänge sind derzeit noch nicht vollständig bekannt, so dass zum derzeitigen Standpunkt kein Berechnungsverfahren vorgestellt werden kann. Es zeigt sich ein weiterer Forschungsbedarf.

5.2.8 Kontrast-Messunsicherheiten oder „Von der Unmöglichkeit Kontraste genau bestimmen zu können“

Ausgangslage Kontraste richtig zu bestimmen, stellt in der Praxis eine Herausforderung dar. Die Aussage, Kontraste können nur unter Laborbedingungen normgerecht bestimmt werden, ist grundsätzlich richtig, aber nur bedingt praxistauglich. Nachfolgende Überlegungen sind in gemeinschaftlicher Diskussion und Zusammenarbeit mit Fritz Buser entstanden. (Buser u. Hauck, 2016)

Kontrast im Spannungsfeld von Physiologie und Physik Dieses Kapitel behandelt ausschließlich den photometrischen - und nicht den Farbkontrast. Grundsätzlich sind Kontraste die Basis der visuellen Wahrnehmung. So wird z.B. ein Objekt gesehen, weil es sich in seiner Helligkeit und/oder Farbe vom Untergrund abhebt. Wahrgenommen wird der Leuchtdichteunterschied. Die Leuchtdichte ist der Helligkeitseindruck, den das Auge von einer bestimmten Stelle im Gesichtsfeld wahrnimmt. Dabei ist die Leuchtdichte die Umwandlung der physikalischen Einheit Strahldichte (Watt) in eine physiologische Einheit.

Die wahrgenommene Leuchtdichte hängt von folgenden Faktoren ab:

- Lichtart
- Beleuchtungsstärke
- Individuelle $V(\lambda)$ -Kurve
- Beobachtungswinkel
- Farbsättigung

Die Beleuchtungsstärke Die Beleuchtungsstärke hat zwar einen Einfluss auf die Leuchtdichte aber nicht auf den Kontrast, da die Leuchtdichte beider Flächen sich mit einer veränderten Beleuchtungsstärke proportional verändert. (Buser u. Hauck, 2016, S. 1)

Die Lichtart Die Norm-Beleuchtung bezieht sich meist auf die Lichtart D65. Da es keine künstliche Lichtquelle mit D65 gibt, muss das Resultat entsprechend umgerechnet werden. Wird der Kontrast oder die Reflexionseigenschaft von Materialien und Farben (LRV) unter Laborbedingungen gemessen, bezieht sich das Resultat auf die Lichtart D65. In der Praxis herrscht vor Ort bei Tageslicht eine ähnliche, bei künstlichem Licht unter Umständen eine stark abweichende Beleuchtung. (Buser u. Hauck, 2016, S. 2)

Die individuelle $V(\lambda)$ Kurve Die $V(\lambda)$ -Kurve ist individuell verschieden. Sie hängt vom Zustand der brechenden Medien ab und unterscheidet sich daher bei älteren Personen von jüngeren. Farbenfehlsichtige Personen haben ebenfalls eine abweichende $V(\lambda)$ -Kurve. Sie ist bei einer stark rot-schwachen Person in Richtung kurzwelliges Licht verschoben. Besonders extrem ist die Situation bei Personen mit Zapfenmonochromasie

bzw. Achromatopsie. Da in diesem Fall nur Stäbchen vorhanden sind, muss die $V(\lambda)$ -Kurve für das skotopische Sehen angewendet werden.

Bei sehbehinderten Personen mit einem Zentralskotom ist die, auf ein Gesichtsfeld von 2° bezogene, $V(\lambda)$ -Kurve ebenfalls unpassend, da der zentrale Ausfall sogar über 10° Bereich hinausgehen kann. (Buser u. Hauck, 2016, S. 2)

Farbsättigung Monochromatische Flächen werden heller wahrgenommen als solche mit ungesättigten Farben (*Helmholtz-Kohlrausch-Effekt*). (Buser u. Hauck, 2016, S. 2)

Position kontrastierender Flächen Liegen zwei kontrastierende Flächen nicht auf einer Ebene fällt das Licht in unterschiedlichen Winkeln ein. Dadurch ist die Beleuchtungsstärke unterschiedlich und es kommt das Lambert'sche Kosinus-Gesetz zur Anwendung.

Hierzu ein kleines gedankliches Experiment: Ein im rechten Winkel gefaltetes Papier steht im Freien. Der Himmel ist bedeckt. Das Leuchtdichteverhältnis auf dem gefalteten Papier beträgt 1:2. Daraus folgt ein Kontrast von $K_{\text{Michelson}} = 0,33$. Dieser Kontrast kann nur mit einer Leuchtdichtekamera oder einem Leuchtdichtemessgerät und nur aus der üblichen Beobachterposition bestimmt werden. Labormessungen und Kontrastberechnungen mit dem Reflexionsgrad versagen. Diese spezielle Situation spielt beim Kontrast zwischen Boden und Wänden sowie bei Treppenstufe eine Rolle. (Buser u. Hauck, 2016, S. 2)

Kontrast von inhomogenen Flächen In manchen Fällen sind kontrastierende Flächen inhomogen. Messtechnisch wird das Problem so umgangen, dass mehrere Messungen an verschiedenen Stellen durchgeführt werden. Oft ist der Raster vorgeschrieben. Ob ein vorgegebenes Raster oder Messpunkte nach dem Zufallsprinzip bessere Resultate ergeben, müsste untersucht werden. Sobald es sich um regelmäßige Muster handelt, ist die Messung mit einer Leuchtdichtekamera vorzuziehen. (Buser u. Hauck, 2016, S. 2)

Problem des Zeitzustandes Vor allem Bodenmarkierung sind Abnutzungen und Verschmutzungen ausgesetzt. Wenn mittels Labormessung der Kontrast einer Information oder Markierung als erfüllt beurteilt wurde, kann es in der Praxis durch die tägliche Nutzung zu einer Verringerung des Kontrastes kommen. Interessant für die Barrierefrei-

heit ist aber der Zeitwert, der sich durch Verschmutzung und Abnutzung stark verändert kann. Es wird einigen Normen zwar verlangt, dass der entsprechende Kontrastwert über die ganze Lebensdauer erhalten bleiben muss. Daraus folgt, dass der Neuwert eigentlich höher sein muss und dass Wartung und Nachkontrollen durchgeführt werden. Dies wurde in der Beleuchtungsnorm mit dem Wartungswert eleganter gelöst. (Buser u. Hauck, 2016, S. 3)

Genauigkeit der Testmethode Es können verschiedene Methoden zur Bestimmung des Kontrastes (mit unterschiedlichen Messunsicherheiten) zur Anwendung kommen. So ist die Labormessung sicher die genaueste Variante. Aber auch hier gibt es eine Messunsicherheit. Eine der ungenauesten Methoden dürfte diejenige des subjektiven Vergleichs von Farbmustern sein. (Buser u. Hauck, 2016, S. 3)

Berechnungsmethode - Welche Kontrastformel kommt zur Anwendung? Einer der größten Unsicherheitsfaktoren in der Kontrastbestimmung ist die Berechnungsmethode des Kontrastes. In Kap. 2.8.3 sind verschiedene Kontrastformeln vorgestellt werden. Abhängig von der Wahl der Formel können sich die Berechnungsergebnisse sehr deutlich unterscheiden. Daher ist es unabdingbar bei der Angabe eines Kontrastwertes auch die Berechnungsformel mit anzugeben.

Die meisten Berechnungsmethoden geben einen „Materialkontrast“ als Berechnungsergebnis aus. Die Umfeldbedingungen oder die Gesamthelligkeit im Gesichtsfeld spielen keine Rolle. Ein Kontrast ist allerdings nur so gut, wie der Mensch, der ihn wahrnehmen kann. Dabei spielt die eigene Kontrastempfindlichkeit eine wichtige Rolle. Bei sehbehinderten Menschen liegt häufig ein reduziertes Kontrastempfinden vor. Weiterhin hat die Empfindlichkeit gegenüber Blendung einen Einfluss, wenn sich blendende Lichtquellen im Gesichtsfeld befinden. Je näher sich diese Blendlichtquellen am Sehobjekt befinden, desto störender wirken sie.

Neue Ideen zum Thema praxisnahe Kontrastberechnung sind ab Seite 109 im Kap. 4.5 „Kontrastbestimmung nach Hauck“ zu finden.

Folgerungen und Fazit Aus den vorangegangenen Überlegungen folgt, dass eine Kontrastbestimmung nur im Ausnahmefall physiologisch richtig ist. Problematisch ist, dass wir nicht genau wissen, wie groß die Differenz zwischen Labormessung und Wahrnehmung vor Ort ist. Das Wissen um die Bandbreite dieser Differenz hätte

einen großen Einfluss auf die Normierung. Ebenfalls berücksichtigt werden muss die Beleuchtungsart und gegebenenfalls der Kontrast an diejenige Beleuchtungsart angepasst werden, die den schlechteren Kontrast gibt. (Beispiel Strasse mit Tageslicht und Natriumhochdruckbeleuchtung) (Buser u. Hauck, 2016, S. 3)

5.3 Fehlerbetrachtung

Während der Untersuchungen können einige Fehler aufgetreten sein, die ich in weiterer Folge betrachten möchte.

- Alle Sehtests wurden selbst erstellt. Es ist möglich, dass die Berechnung und Darstellung der Sehzeichen in der richtigen Größe fehlerhaft ist.
- Abweichende Entfernungen der Probanden zum Monitor konnten dadurch entstehen, dass sich der Proband nicht immer korrekt an der vorgegebenen Position befand.
- Tageszeitliche Schwankungen im Sehvermögen (vor allem bei den Personen mit Sehbehinderung) oder Ermüdungserscheinungen während der Untersuchung, können die Ergebnisse beeinträchtigen.
- Die Willkür der Probanden konnte ebenfalls nicht beeinflusst werden. Daher ist es möglich, dass z.B. jemand absichtlich falsche Antworten im Interview und bei den Sehtests gab.
- Die Dokumentation der Messergebnisse erfolgte zeitgleich zur Durchführung der Sehtests; Es ist möglich, dass es zu fehlerhaften Notierung der Messwerte kam
- Den Probanden wurde zur Adaptierung auf geringe Leuchtdichten ca. 15 Minuten Zeit gegeben. In dieser Zeit wurden die Interviews durchgeführt. Es ist möglich, dass bei den sehbehinderten Probanden mit Adaptationsproblemen diese Zeit individuell etwas zu kurz war.

6 Empfehlungen und Vorschläge

6.1 Empfehlungen für eine sehbehindertengerechte Sehleistungsbestimmung in der Low Vision Rehabilitation

6.1.1 Versuchsaufbau

Für die schnelle und effiziente Bestimmung der Sehleistungsparameter hat sich die Verwendung eines helligkeitsverstellbaren Bildschirms als sehr geeignet erwiesen. Auf diesem Bildschirm können alle relevanten Sehtests einfach dargestellt werden. Alternativ ist die Verwendung von gedruckten Sehtests möglich. Hierbei ist auf eine gleichmäßige und blendfreie Ausleuchtung der Prüftafel und des Raumes zu achten.

Im Idealfall kann die Umgebung auch in der Helligkeit (dimmbare Beleuchtung oder Lichtkasten) variiert werden. Die Leuchtdichte im Prüf- und Umfeld sollte möglichst zwischen 3 und 300 cd/m² verstellbar sein.

Als Prüfabstand haben sich Entfernungen zwischen 1,0 m und 4,0 m für sehbehinderte Menschen in der Praxis als geeignet herausgestellt.

6.1.2 Visus

Die Bestimmung des Visus ist möglichst mit *Landolt*-Ringen (oder alternativ mit angeschlossenen Sehzeichen) durchzuführen (siehe auch Kap. 3.3.2 ab S. 59). Für Kinder empfiehlt sich die Verwendung der Lea-Symbole oder der Hauck & Buser Kindersehzeichen. In den Versuchen wurde erstmals der Einsatz von Logatomen erfolgreich getestet (siehe auch Kap. 3.3.4 ab S. 65). In der Anwendung von Logatomen sieht der Autor zukünftig großes Potential.

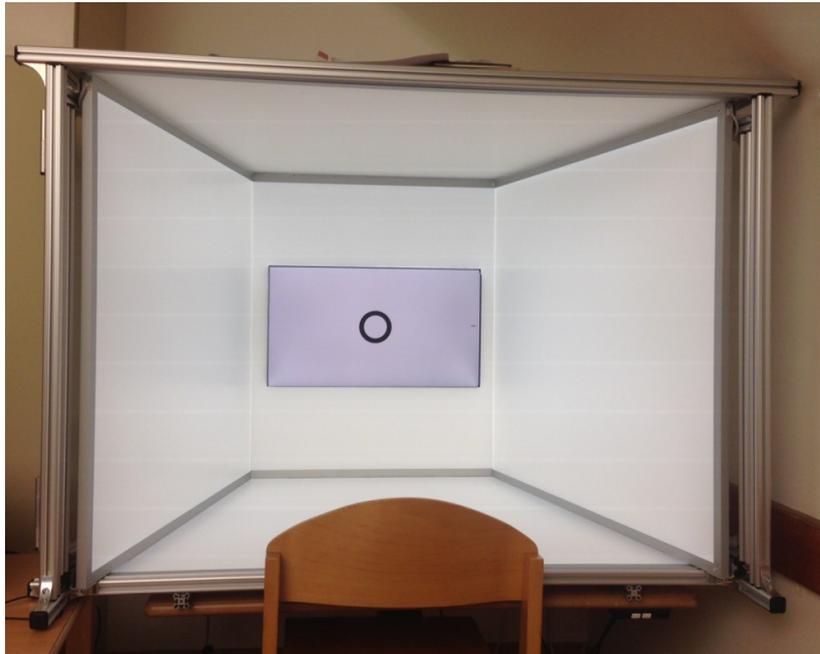


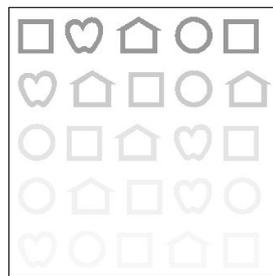
Abbildung 92: Empfohlener Versuchsaufbau für die Durchführung von Sehtests in Abhängigkeit von der Helligkeit

6.1.3 Kontrastempfindlichkeit

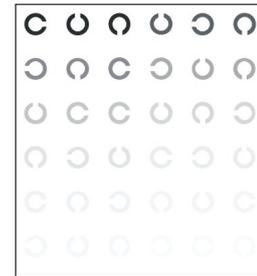
Die Ermittlung der Kontrastempfindlichkeit kann mittels Bestimmung der Kontrastschwelle oder über den Vergleich der Sehschärfen bei hohem (90 %) und niedrigem (10 %) Kontrast ($K_{\text{Michelson}}$) erfolgen. Als Sehzeichen sollten dabei vorzugsweise *Landolt*-Ringe bzw. bei Kindern Lea-Symbole oder H&B-Kinderzeichen (Abb. 95b) zur Anwendung kommen.



(a) SZB-LCS-Test nach *Buser*



(b) Lea Contrast Test



(c) *Landolt*-Ring-Kontrasttafel

Abbildung 93: Schematische Darstellungen von Sehproben zur Bestimmung der Kontrastempfindlichkeit

6.1.4 Vergrößerungsbedarf

Eine der wichtigsten Größen in der Low Vision Rehabilitation ist der Vergrößerungsbedarf. Für die Anpassung geeigneter Sehhilfen ist die Bestimmung dieses Parameters unerlässlich. Es haben sich verschiedene Leseproben mit vergrößerten Texten bewährt. Die Größenabstufung sollte wie bei der Sehschärfeprüfung logarithmisch sein. Die TSB-Nahleseprobe wurde von mir persönlich erstellt und enthält neben einem Text zur Bestimmung des Vergrößerungsbedarfs auch einen Kontrastsehtest. Seit 2017 ist eine weitere Variante im Negativkontrast (siehe auch Kap. 6.1.8) verfügbar.

(a) Vergrößerung 8x bis 5x

(b) Vergrößerung 4x bis 0,5x

Abbildung 94: TSB Nahleseprobe zur Bestimmung des Vergrößerungsbedarfs (Auszug)

Für Kinder wurde von Fritz Buser und dem Autor im Dezember 2017 der H&B-Test zur Bestimmung des Vergrößerungsbedarfes bei Kleinkindern im A4-Format erstellt. Dieser bietet auch die Möglichkeit die Kontrastschwelle zu bestimmen (Abb. 95).

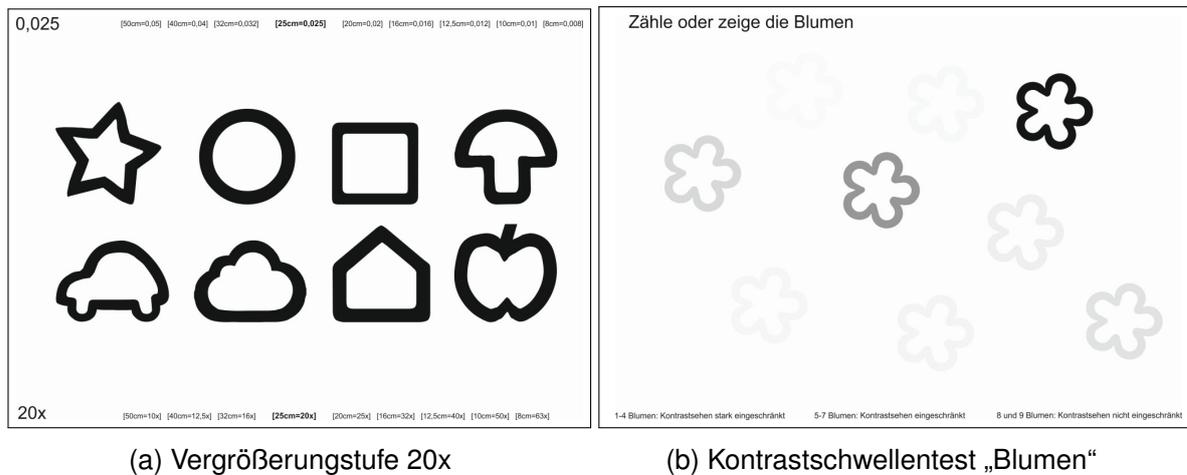


Abbildung 95: *Hauck* und *Buser* - Nahleseprobe zur Bestimmung des Vergrößerungsbedarfs und der Kontrastschwelle bei Kleinkindern (Auszug)

6.1.5 Gesichtsfeld

Die Bestimmung des Gesichtsfelds ist mit einem Perimeter gut durchführbar. Meist wird eine Perimetrie in der Low Vision Rehabilitation von Augenärzten und selten durch eine Low Vision Fachkraft durchgeführt. Für eine schnelle, sehr grobe Überprüfung hat sich die Konfrontationsmethode als eine gute Möglichkeit herausgestellt.

Wünschenswert wäre neben der Angabe des Flächenwinkels zusätzlich die Umrechnung in einen Raumwinkel, welcher die Einschränkung des Gesichtsfelds besser beschreiben würde. Die Tabelle 28 zeigt die Umrechnung von Flächen- zu Raumwinkel für ausgewählte Zahlenwerte.

Tabelle 28: Beispiele für Umrechnung Flächenwinkel von in Raumwinkel

Flächenwinkel Grad	in	Raumwinkel in sr
180		6,28
120		3,14
90		1,84
60		0,84
40		0,38
20		0,10
10		0,024
5		0,006
2		0,001
1		0,0002

6.1.6 Blendempfindlichkeit

Die Einschätzung der Blendempfindlichkeit kann messtechnisch mit dem Versuchsaufbau aus Abb. 92 realisiert werden. Hierzu wird die Kontrastschwelle mit einer zentralen Blendquelle bestimmt und ausgewertet (genauer Ablauf des Verfahrens siehe Kap. 3.3.5 ab Seite 66).

Eine weitere Möglichkeit ist die Abfrage der subjektiven Störfmpfindung sowie durch genaues Beobachten durch den Untersucher. Vor allem bei Kleinstkindern ist die Beobachtung i.d.R. die einzige Möglichkeit zur Einschätzung der Blendempfindlichkeit.

Für die genaue Einschätzung der Blendempfindlichkeit kann das Blendbewertungsverfahren nach *Hauck* (siehe Kap. 2.7.3 ab S. 39) angewandt werden.

Ein vereinfachtes Verfahren stellt die Messung der Kontrastschwelle ohne Blendung und bei einer Blendung von UGR 28 dar. Der Unterschied der Kontrastschwellen ist in log. Stufen zu notieren. Die Auswertung erfolgt wie in Tab. 29 dargestellt.

Tabelle 29: Einschätzung Blendempfindlichkeit nach einem vereinfachten Verfahren

Änderung in log. Stufen	Einschätzung Blendempfindlichkeit
0 bis 3	keine erhöhte Blendempfindlichkeit
4 bis 6	erhöhte Blendempfindlichkeit
> 6	stark erhöhte Blendempfindlichkeit

6.1.7 Licht- bzw. Helligkeitsbedarf

Für die Einschätzung des Lichtbedarfs ist idealerweise die Sehschärfe und die Kontrastempfindlichkeit bei verschiedenen Adaptationsleuchtdichten zu bestimmen. Der Versuchsaufbau aus Abb. 92 ist sehr gut geeignet. Die Bestimmung dieser Parameter sollte möglichst bei 10, 32, 100 und 320 cd/m² (jedoch mindestens bei 10 und 100 cd/m²) erfolgen.

In diesem Helligkeitsbereich ändert sich die Sehschärfe und das Kontrastsehen bei normalsehenden Personen nur innerhalb einer log-Stufe. Ist der Unterschied bei Sehschärfe und/oder Kontrastschwelle größer als eine log-Stufe, so ist von einem erhöhten Lichtbedarf auszugehen. Je größer der Unterschied in der Sehleistung desto höher ist der Lichtbedarf. Die Auswertung erfolgt gemäß Tab. 30. Für die Einstufung ist der Visus und die Kontrastschwelle bei 10 cd/m² und 100 cd/m² zu vergleichen und die Differenz in log.-Stufen zu bilden.

Tabelle 30: Einschätzung des Lichtbedarfs nach der Sehleistungsänderung und Grad des Lichtbedarfs nach *Hauck*

Änderung in log. Stufen	Grad des Lichtbedarfs (GLB)	Einschätzung Lichtbedarf nach <i>Hauck</i>
-1 und weniger	-1	geringer Lichtbedarf
0 und +1	0	normaler Lichtbedarf
+2	1	erhöhter Lichtbedarf
+3	2	hoher Lichtbedarf
+4 und höher	3	sehr hoher Lichtbedarf

Alternativ kann der Lichtbedarf auch durch subjektive Erprobung näherungsweise bestimmt werden. Für den Lichtbedarf zum Lesen in der Nähe kann eine dimmbare Arbeitsplatzleuchte verwendet werden, mit dieser man die optimale Helligkeit zum Lesen testet. Es empfiehlt sich bei dieser Variante eher die Beleuchtungsstärke statt der Leuchtdichte zu notieren.

Für die Ermittlung des Lichtbedarfs für die Allgemeinbeleuchtung (Raumbeleuchtung) hat sich die Erprobung mittels dimmbaren Leuchten vor Ort als sehr gut geeignete Variante herausgestellt. Vorteilhaft ist vor allem, dass der Klient das Ergebnis sofort beurteilen und mit der vorhandenen Beleuchtung vergleichen kann.

6.1.8 Negativkontrast

Bei einer Vielzahl der sehbehinderten Menschen ist zum Lesen ein Negativkontrast (helle Schrift auf dunklem Grund) besser und schneller erkennbar. Aus diesem Grund sollte vor allem der Vergrößerungsbedarf auch in dieser Kontrastvariante geprüft werden. Hierzu wurde vom Autor eine Nahleseprobe zusätzlich im Negativkontrast (nach meinen neuesten Erkenntnissen zum Thema Kontrastberechnung) erstellt. Hierfür wird mit einem speziellem Drucker weißer Text auf ein mattschwarzes Papier gedruckt (Abb. 96). Neben der Bestimmung des Vergrößerungsbedarfs ist zusätzlich die Bestimmung der Kontrastempfindung mit gleichem Test empfehlenswert.



Abbildung 96: TSB-Nahleseprobe im Negativkontrast (Auszug)

6.1.9 Farbsehen

Das Farbsehen spielt in der Low Vision Rehabilitation eine untergeordnete Rolle und wird in der Regel selten bestimmt. Der bekannteste Farbsehtest sind die Ishihara Tafeln. Diese Testtafeln sind für sehbehinderte Personen nur bedingt einsetzbar.

“Laut Literatur sind allerdings die Messungen nicht über alle Zweifel erhaben. Insbesondere ist die Anzahl Testtafeln für Blau-Gelb-Störungen für unsere Zwecke ungenügend.” (Buser, 2007, S. 11-09)

Besser geeignet erscheint der Farnsworth-Munsell D15 Test (Abb. 97). Dieser Test ist in einer vergrößerten Jumbo Version erhältlich und dadurch bei hochgradig sehbehinderten Menschen einsetzbar.



Abbildung 97: Farnsworth D15 Farbtest (TU Darmstadt, 2017)

Eine Abwandlung in Kartenform ist in der Schweiz verfügbar. Die Flächen sind nochmals vergrößert und auch für Kinder geeignet. Dieser Test ist in einer Folie matt einlaminiert, um eine einfache Reinigung und Spiegelungen zu vermeiden.

Bei allen Farbsehtests ist auf gute, blendfreie Beleuchtung mit sehr hohem Farbwiedergabefaktor zu achten.

6.1.10 Auswertung und Klassifizierung

Für die Einschätzung der Gesamtsehleistung wird oftmals ausschließlich der Visus und das Gesichtsfeld herangezogen. Aus Sicht des Autors ist dies unzureichend. Um alle Problemstellungen im Alltag zu berücksichtigen, sollten die oben genannten Sehleistungsparameter mit in das Gesamtergebnis einfließen. Im folgenden ist ein erster Vorschlag für die Bewertung der Sehleistung entstanden. Es ist ein gewichtetes Punktesystem, welches den Grad der Sehbehinderung nach *Hauck* beschreibt.

Für die Berechnung werden die Punkte a) bis g) berücksichtigt und wie folgt berechnet:

$$\text{a) Visus} \Rightarrow \frac{2}{\text{Visus}_{100\text{cd/m}^2}}$$

$$\text{b) Gesichtsfeld} \Rightarrow \frac{1}{\text{Raumwinkel des GF in sr}}$$

$$\text{c) Vergrößerungsbedarf-Positivkontrast (zum Lesen)} \Rightarrow \frac{2}{\text{Vergrößerungsbedarf}}$$

$$\text{d) Kontrastempfindlichkeit} \Rightarrow \frac{\text{Kontrastschwelle in \%}}{0,5}$$

$$\text{e) Blendempfindlichkeit} \Rightarrow (\text{Grad der Blendempfindlichkeit nach Hauck}_{\text{beiUGR28}})^2$$

$$\text{f) Licht-/Helligkeitsbedarf} \Rightarrow (\text{Grad des Lichtbedarfs nach Hauck})^2$$

g) Farbsehen \Rightarrow normales Farbsehen = 0

\Rightarrow eingeschränktes Farbsehen = 2

\Rightarrow kein Farbsehen = 4

Die in den Kategorien a) bis g) berechneten Punktzahlen werden zu einer Gesamtpunktzahl addiert. Je höher die Punktzahl ist, desto geringer ist die Sehleistung. Anhand des Bewertungsschemas in Tab. 31 kann die Sehleistung eingestuft werden.

Tabelle 31: Einschätzung Sehleistung nach dem *Hauck*'schen Punktesystem

Berechnete Punktzahl	Einschätzung der Gesamtsehleistung nach <i>Hauck</i>
≤ 10	nicht sehbeeinträchtigt
≤ 20	geringgradig sehbeeinträchtigt
≤ 40	mittelgradig sehbeeinträchtigt
≤ 80	hochgradig sehbeeinträchtigt
≤ 160	höchstgradig sehbeeinträchtigt
> 160	funktionell blind

Beispiel 1:

Bei einem Klienten wurden folgende Werte bestimmt und die Punktzahlen lt. Berechnungsformeln ermittelt (Tab. 32):

Tabelle 32: Einschätzung der Sehleistung nach *Hauck* bei Beispiel 1

Größe	Wert	Punktzahl
Visus	0,32	6
Gesichtsfeld	$40^\circ = 0,38$ sr	3
Vergrößerungsbedarf	2-fach	4
Kontrastschwelle	3%	6
Blendempfindlichkeit	Grad 2	4
Lichtbedarf	Grad 2	4
Farbsehen	normal	0
Gesamt		27

⇒ Die Person aus Beispiel 1 wäre somit mittelgradig sehbeeinträchtigt.

Beispiel 2:

Bei einem Klienten wurden folgende Werte bestimmt und die Punktzahlen lt. Berechnungsformeln ermittelt (Tab. 33):

Tabelle 33: Einschätzung der Sehleistung nach *Hauck* bei Beispiel 2

Größe	Wert	Punktzahl
Visus	0,08	25
Gesichtsfeld	90° = 1,84 sr	1
Vergrößerungsbedarf	6,3-fach	13
Kontrastschwelle	5%	10
Blendempfindlichkeit	Grad 4	16
Lichtbedarf	Grad 3	9
Farbensehen	eingeschränkt	2
Gesamt		76

⇒ **Die Person aus Beispiel 2 wäre somit hochgradig sehbeeinträchtigt.**

Beispiel 3:

Bei einem Klienten wurden folgende Werte bestimmt und die Punktzahlen lt. Berechnungsformeln ermittelt (Tab. 34):

Tabelle 34: Einschätzung der Sehleistung nach *Hauck* bei Beispiel 3

Größe	Wert	Punktzahl
Visus	0,06	33
Gesichtsfeld	5° = 0,006 sr	167
Vergrößerungsbedarf	8-fach	13
Kontrastschwelle	8%	16
Blendempfindlichkeit	Grad 0	0
Lichtbedarf	Grad 3	9
Farbensehen	normal	0
Gesamt		238

⇒ **Die Person aus Beispiel 3 wäre somit als funktionell blind einzustufen.**

6.2 Vorschläge für eine sehbehindertengerechte Beleuchtung

6.2.1 Räume mit allgemeiner Nutzung

- Als Mindestwerte für die Beleuchtungsstärke und Gleichmäßigkeit gelten die Werte in der ÖNorm EN 12464-1.
- Für gute visuelle Kommunikation ist eine hohe zylindrische Beleuchtungsstärke empfehlenswert.
- Die Beleuchtungsanlage sollte in der Helligkeit verstellbar sein (Dimmung).
- Eine vorwiegend indirekte Beleuchtung ist für die Allgemeinbeleuchtung zu bevorzugen (Indirektanteil mind. 60%).
- Eine möglichst geringe Blendung durch die Leuchten und Tageslicht sollte angestrebt werden (UGR-Wert für Sehbehinderte gemäß Tab. 19: „UGR Tabelle für normalesehende und sehbehinderte Personen“ (S.131) um zwei UGR Stufen geringer als in der EN 12464-1 je Sehaufgabe festgelegt).
- Die Leuchten sollten die vorgeschlagenen Grenzwerte zur Leuchtdichte an der Leuchtenoberfläche (siehe auch Kap. 5.1.4) und ein Verhältnis zur Leuchtdichte des unmittelbaren Umfelds von 1:10 nicht überschreiten.
- Flimmernde Beleuchtung ist zu vermeiden.
- Für die Allgemeinbeleuchtung sind eher warmweiße bis neutralweiße Lichtfarben (2700 K bis 4000 K) zu bevorzugen, da diese weniger Blendung aufweisen.

6.2.2 Räume mit individueller Nutzung und am Sehbehindertearbeitsplatz:

- Eine arbeitsplatzbezogene Beleuchtung sollte einer raumbezogenen Beleuchtung vorgezogen werden.
- Der persönliche Lichtbedarf sollte ermittelt und berücksichtigt werden. Die individuell bevorzugte Beleuchtungsstärke je nach Sehaufgabe sollten als Grundlage für die arbeitsplatzbezogene Beleuchtung verwendet werden. Bei unbekanntem Hel-

ligkeitsbedarf gelten die Mindestwerte für die Beleuchtungsstärke aus der ÖNorm EN 12464-1.

- Die Beleuchtungsanlage sollte in der Helligkeit anpassbar sein (Dimmung).
- Für gute visuelle Kommunikation ist eine hohe zylindrische Beleuchtungsstärke empfehlenswert.
- Die persönliche Blendempfindlichkeit sollte berücksichtigt werden. Als Höchstwert für die Blendung ist ein UGR-Wert von $UGR < 13$ (bei Personen mit sehr hoher Blendempfindlichkeit $UGR < 10$) empfehlenswert.
- Die Leuchten sollten die vorgeschlagenen Grenzwerte zur Leuchtdichte an der Leuchtenoberfläche und ein Verhältnis zur maximalen Leuchtdichte des unmittelbaren Umfelds von 1:10 nicht überschreiten.
- Flimmernde Beleuchtung ist zu vermeiden.
- Für die Allgemeinbeleuchtung sind eher warmweiße bis neutralweiße Lichtfarben (2700 K bis 4000 K) zu bevorzugen, da diese meist weniger Blendung aufweisen.
- Für die Beleuchtung der Arbeitsfläche mit Arbeitsplatzleuchten sind eher neutralweiße bis tageslichtweiße Lichtfarben (4000 K bis 6500 K), aufgrund von besserer Kontrastempfindung, zu bevorzugen.
- Als Mindestwerte für die Gleichmäßigkeit der Beleuchtungsstärke sollten die Werte in der EN 12464-1 darstellen.

6.3 Vorschläge zur Normierung - Beleuchtung

Vorschlag für eine alternative Formulierung zur Beleuchtung in der ÖNorm B 1600¹

Horizontale Beleuchtungsstärke

Als Mindestanforderung für die Beleuchtungsstärken und für die Gleichmäßigkeit gelten die Werte gemäß ÖNORM EN 12464-1 und ÖNORM EN 12464-2. Diese gelten auch für vergleichbare Nutzungsbereiche. Für Arbeitsplätze von Menschen mit Sehbehinderun-

¹Einige Formulierungen wurden aus der aktuellen Norm übernommen

gen ist eine regulierbare (dimmbare) arbeitsplatzbezogene Zusatzbeleuchtung, lt. den individuellen Helligkeitsanforderungen des Nutzers vorzusehen.

Zylindrische Beleuchtungsstärke

Für gute visuelle Kommunikation ist eine hohe zylindrische Beleuchtungsstärke empfehlenswert. Gemäß ÖNorm EN 12464-1 ist der Wert der mittleren zylindrischen Beleuchtungsstärke nicht weniger als 75 lx mit $U_0 \geq 0,10$ betragen. In Bereichen, wo gute visuelle Kommunikation wichtig ist (z.B. in Büros, Besprechungs- und Unterrichtsräumen) sollte die zylindrische Beleuchtungsstärke nicht weniger als 150 lx betragen (mit einer Gleichmäßigkeit von $U_0 \geq 0,10$).

Blendung

Physiologische - und Reflexblendungen müssen vermieden werden. Es sind Materialien mit matter Oberfläche zu bevorzugen und hochglänzende Oberflächen zu vermeiden. Der UGR-Grenzwert für die psychologische Blendung durch Leuchten ist für sehbehinderte Menschen gemäß Tab. 35 um zwei UGR-Stufen (Zahlenwert 6 geringer) geringer als in der EN 12464-1 je Sehaufgabe festgelegt zu reduzieren. Für Arbeitsplätze sollte als Höchstwert für die Blendung ein UGR-Wert von $UGR < 13$ (bei Personen mit sehr hoher Blendempfindlichkeit $UGR < 10$) berücksichtigt werden.

Tabelle 35: UGR Grenzwertempfehlung für sehbehinderte Personen zur Normierung

UGR-Wert für normalsehende Personen lt. ÖNorm EN 12464-1	einzuhaltender UGR-Wert für sehbehinderte Personen
16	10
19	13
22	16
25	19
28	22

Abstrahlcharakteristik

Es ist eine vorwiegend indirekte/direkte Beleuchtung für die Allgemeinbeleuchtung zu bevorzugen (Indirektanteil über 60%).

Flimmern und Stroboskopische Effekte

Beleuchtungssysteme sollten so geplant werden, dass Flimmern und Stroboskopeffekte nicht auftreten.

Beleuchtung von Bildschirmarbeitsplätzen

Reflexionen auf dem Bildschirm und unter bestimmten Umständen auf der Tastatur können physiologische und psychologische Blendung hervorrufen. Es ist deshalb not-

wendig, die Leuchten so auszuwählen, einzusetzen und anzuordnen, dass Reflexionen vermieden werden. Licht kann den Kontrast der Darstellung auf dem Bildschirm durch Schleierreflexionen verringern.

Der Grenzwert der maximalen Leuchtdichte an der Leuchtenoberfläche (gemäß Fall B in Tab. 4 in ÖNorm EN 12464-1) darf bei einem Ausstrahlungswinkel von $\geq 65^\circ$ rund um die Leuchte herum von 1000 cd/m^2 (für Monitore mit einer Leuchtdichte $< 200 \text{ cd/m}^2$) bzw. 1500 cd/m^2 (für Monitore mit einer Leuchtdichte $> 200 \text{ cd/m}^2$) nicht überschritten werden. (Der Ausstrahlungswinkel wird bezüglich der nach unten gerichteten Vertikalen gemessen.) Es wird empfohlen die Leuchtdichte gemäß den Grenzwerten aus allen Blickrichtungen einzuhalten.

Für weitere lichttechnische Grenzwerte und Festlegungen gelten die Werte in der ÖNorm EN 12464-1.

6.4 Vorschläge zur Normierung - Kontrast

Vorschlag für eine alternative Formulierung zur kontrastierenden Kennzeichnung in der ÖNorm B 1600 ²

Kontrastierende Kennzeichnung

Für Menschen mit Sehbehinderungen müssen farblich kontrastierende visuelle Informationen zur Sicherheit, Warnung, Führung, Orientierung und Beschriftung vorgesehen werden.

Die kontrastierende Kennzeichnung ist für die wesentlichen Bauteile und Ausstattungselemente sowie für Fixmöblierungen mit dem Orientierungssystem abzustimmen.

Anmerkung: *Helligkeits- und Farbkontraste von Gebäudeteilen und Sicherheitsmarkierungen unterstützen die Sicherheit und Orientierung von Personen bei natürlicher Beleuchtung und künstlicher Beleuchtung.*

Vorzugsweise sind diffus reflektierende Materialien einzusetzen und (stark) glänzende Oberflächen zu vermeiden.

²Einige Formulierungen wurden aus der aktuellen Norm übernommen

Berechnungsmethoden

Für die Kontrastberechnung sind vorrangig die Formel nach *Hauck* anzuwenden:

$$K_{\text{Hauck}} = \frac{L_{\text{Max}} - L_{\text{Min}}}{L_{\text{Max}} + L_{\text{Min}} + 7 \cdot \frac{L_{\text{mittel, Gf}}}{L_{\text{Max}} - L_{\text{Min}}}}$$

dabei ist:

K_{Hauck} ... Kontrast nach *Hauck*

L_{max} ... Leuchtdichte der helleren Fläche

L_{min} ... Leuchtdichte der dunkleren Fläche

$L_{\text{mittel, Gf}}$... mittlere Leuchtdichte im zentralen Gesichtsfeld (60° horizontal und 40° vertikal) bei Blick auf die Sehaufgabe

Für die Planung im Vorfeld kann die Berechnung mittels Reflektionsgrad ρ der Flächen und der geplanten mittleren Beleuchtungsstärke E erfolgen. Hierzu müssen die Leuchtdichte(n) L durch folgende Beziehung für diffus reflektierende Materialien berechnet werden:

$$L = \frac{E \cdot \rho}{\Pi}$$

Falls verschiedene Beleuchtungsstärken in einer Anwendungssituation zum Einsatz kommen, gilt die geringste mittlere Beleuchtungsstärke als Referenz für die Kontrastbestimmung bzw. der für den Kontrast ungünstigste lichttechnische Anwendungsfall.

Alternativ

Zum Berechnungsverfahren nach *Hauck* können die Formeln nach *Michelson* eingesetzt werden. Für diese Berechnungsmethode gelten jedoch höhere Grenzwerte für den Mindestkontrast. Zusätzlich ist ein Mindestreflektionsgrad der helleren Flächen zu berücksichtigen.

Formeln zum *Michelson*Kontrast mit Leuchtdichte und LRV-Werten:

$$K_{\text{M}} = \frac{L_{\text{Max}} - L_{\text{Min}}}{L_{\text{Max}} + L_{\text{Min}}} \quad \text{oder} \quad K_{\text{M}} = \frac{LRV_{\text{Max}} - LRV_{\text{Min}}}{LRV_{\text{Max}} + LRV_{\text{Min}}}$$

Grenzwerte

Die Grenzwerte (Wartungswerte) für den Kontrast (K_{Hauck}) und für den *Michelson*-Kontrast sowie den minimalen Reflektionsgrad der helleren Flächen sind in Tab. 36 je nach Berechnungsmethode aufgeführt:

Tabelle 36: Kontrastgrenzwerte (Wartungswerte) für verschiedene Anwendungen während des Betriebs

Funktion	Kontrast K_{Hauck}	Kontrast $K_{\text{Michelson}}$	Reflektionsgrad der helleren Fläche	Anwendungsbeispiele
Beschriftung, Glasflächenmarkierungen	$\geq 0,50$	$\geq 0,60$	$\rho_{\text{hF}} \geq 0,50$	Schriften, Piktogramme
Markierung von Hindernissen, Gefahrenstellen und sicherheitsrelevanten Elementen	$\geq 0,32$	$\geq 0,40$	$\rho_{\text{hF}} \geq 0,32$	Markierung von Stufen, Sicherheitslinien, Pfosten/Poller
Markierungen mit Führungsfunktion	$\geq 0,20$	$\geq 0,30$	$\rho_{\text{hF}} \geq 0,20$	Markierung von Leitlinien, flächige Markierungen

Die Kontrastgrenzwerte gemäß Tab. 36 gelten nicht nur im Neuzustand sondern auch während der Nutzung. Bei dauerhafter Unterschreitung des Grenzkontrasts (Wartungswert) während des Betriebs sind entsprechende Wartungsmaßnahmen durch den Betreiber durchzuführen.

Empfehlungen: Bei der Planung im Vorfeld sollte der jeweilige Kontrastgrenzwert bei der Berechnung des Kontrast überschritten werden (je nach Verschmutzungsverhalten während des Betriebs und Abnutzungsverhalten der kontrastierenden Materialien), so dass der Grenzwert nach der Ausführung und während des Betriebs sicher eingehalten werden kann. Es empfiehlt sich Materialien mit geringen Abnutzungsverhalten (vor allem bei Bodenmarkierungen und hoher Nutzungsfrequenz) einzusetzen.

Einige Materialien ändern im Laufe der Nutzungsdauer die Helligkeit (Reflektionsgrad des Materials ändert sich, Asphalt wird z. Bsp. heller mit der Zeit). Dieser Umstand ist ebenso bei der Planung zu berücksichtigen.

Zur **Ermittlung des Kontrasts** dient entweder die Messung der Leuchtdichte **oder** die Bestimmung des Reflektionsgrades sowie der mittleren Beleuchtungsstärke auf der jeweiligen Fläche.

Die **Messung der Leuchtdichte** erfolgt mittels Leuchtdichtemesskamera (LMK) unter praxisrelevanten Beobachtungswinkel(n) mit der Lichtart, die in der Anwendung vorgesehen ist. Bei der Messung sollten diffuse, stabile Lichtbedingungen (Messungen im Schatten oder bei bedecktem Himmel oder mittels Fotozelt etc.) herrschen. Eine mögliche Messanordnung für die Bestimmung der Leuchtdichten und Reflektionswerte ist in Abb. 98 auf Seite 172 dargestellt.



Abbildung 98: Mögliche Messanordnung für die Bestimmung der Leuchtdichten und Reflektionswerte einer Stufenmarkierung
Praxisrelevanter Messwinkel für diese Anwendung ist 45°

Alternativ ist auch der Einsatz eines Leuchtdichtemessgerätes (Spotmeter) möglich. Bei dieser Anwendung sind Mittelwerte für die Leuchtdichte aus einem Prüfraster mit mind. 10 Messpunkten zu ermitteln.

Für die **Bestimmung des Reflektionsgrades/Hellbezugswertes** können verschiedene Methoden zur Anwendung kommen. Die genaueste Variante ist die Bestimmung mittels Spectrophotometer. Alternativ ist die Bestimmung mittels Leuchtdichtemessgerät/-kamera mit Reflektionsgradnormale möglich.

Wesentliche Raumelemente für das Farb- und Materialkonzept sind Boden/Wand, Türen/Türrahmen, Türdrücker, Ganzglastüren, Handläufe, Haltegriffe, Stufen, Rampen, Taster/Schalter. Boden, Wände und Türen müssen sich jeweils vom angrenzenden Bauteil kontrastierend abheben, zB helle Wand/dunkler Türrahmen, helles Türblatt/dunkle Wand, helle Wand/dunkler Boden.

Farbkombinationen

Rot-Grün-Kombinationen dürfen nicht verwendet werden.

Helle Schrift auf dunklem Grund ist bevorzugt zu verwenden. Hohe Kontraste lassen sich durch selbstleuchtende bzw. hinterleuchtete Beschriftungen einfacher und besser erzeugen.

Bevorzugte Farbkombinationen für Beschriftungen und Symbole sind:

weiß auf schwarzem, schwarz auf weißem,
gelb auf schwarzem, schwarz auf gelbem,
weiß auf dunkelblauem, (hell)gelb auf dunkelblauem Hintergrund.

Anmerkung: Für eine verbesserte Erkennung und Leserlichkeit in der Kontrastkombination dunkle Schrift auf hellem Grund empfiehlt es sich (vor allem bei hinterleuchteten Schriften), die Strichstärke um ca. 25 % zu erhöhen.

Bevorzugte Farbkombinationen für Stufenmarkierungen und Sicherheitslinien sind gelb auf dunklem oder weiß auf dunklem Untergrund.

Bevorzugte Farbkombinationen für Markierungen von Hindernissen (gemäß 3.2.2) sind rot-weiß-rot oder schwarz-gelb-schwarz.

Kontrastierende und gemusterte Flächen dürfen nicht zu visuellen Täuschungen führen.

7 Zusammenfassung

In dieser Arbeit wurde die Sehleistung von sehbehinderten und normalsehenden Personen in verschiedenen Lichtsituationen untersucht. Diese Ergebnisse waren die Grundlage für die Erarbeitung von barrierefreien Beleuchtungs- und Kontrastlösungen für Menschen mit Sehbehinderungen.

Angewendete Methoden Für die Bestimmung der Sehleistungsparameter (Visus, Kontrastschwelle, Kontrastempfindlichkeitsfunktion, Blendempfindlichkeit) wurden entsprechende Sehtests erstellt, welche elektronisch auf einem Monitor darstellbar waren. Als Sehzeichen kamen hauptsächlich *Landolt*-Ringe und Logatome zum Einsatz.

Es wurde ein spezieller Versuchsaufbau entwickelt und angefertigt, mit dem es möglich war, den Visus und die Kontrastschwelle in Abhängigkeit von der Adaptationsleuchtdichte zu bestimmen. Der verwendete Monitor sowie das gleichmäßig beleuchtete Umfeld konnten in einem Leuchtdichtebereich von $0,1 \text{ cd/m}^2$ bis 320 cd/m^2 variiert werden. Der Original-Versuchsaufbau ist in Abb. 30 auf Seite 58 dargestellt.

Mit dem „Logatomentest“ wurde die Kontrastempfindlichkeitsfunktion ermittelt. Dieser Test wurde in Zusammenarbeit mit Fritz Buser entwickelt und erstmals in der Low Vision Rehabilitation angewendet. Der große Vorteil liegt darin, dass die Wortbildererkennung unterbunden ist und jeder Buchstabe des Wortes richtig erkannt werden muss, um das Wort richtig lesen zu können. Der Test wurde bei vier verschiedenen Adaptationsleuchtdichten durchgeführt.

Die Blendung (zur Bestimmung der Blendempfindlichkeit) wurde mit Hilfe einer dimmbaren LED-Lichtquelle erzeugt, die zusätzlich zentral vor den Monitor angebracht werden konnte. Es wurden die Blendungen 7, 10, 13, 16, 19, 22, 25 und 28 nach dem UGR-Verfahren erzeugt.

In Form von Interviews wurde das subjektive Lichtempfinden der sehbehinderten Probanden erfragt und gemeinsam mit den Ergebnissen der Sehleistungsbestimmungen ausgewertet. Es wurden gezielt Fragen zum Licht- und Blendempfinden gestellt.

In Feldversuchen konnten die gewonnenen Erkenntnisse aus den Interviews und der Sehleistungsbestimmung in praktischen Beispielen einfließen. Es wurden mittels Lichtberechnungssoftware unterschiedliche Lichtplanungen erstellt sowie mit Hilfe von Musterleuchten zahlreiche Licht- und Beleuchtungsberatungen für sehbehinderte Menschen durchgeführt.

Ergebnisse der Interviews In den Befragungen zeigte sich, dass die Mehrheit der sehbehinderten Personen subjektiv einen erhöhten Lichtbedarf angibt. Das heißt, dass bei höheren Helligkeiten die Sehleistung nach eigenem Empfinden ansteigt (Abb. 46).

Ein Großteil der befragten, sehbehinderten Menschen beschrieben verschiedenste Probleme mit Blendungen. Etwa Dreiviertel schätzten ihre Blendempfindlichkeit als hoch bzw. sehr hoch ein (Abb. 47). Nur neun Prozent der sehbehinderten Probanden gaben an, keine erhöhte, sondern eine „normale“ Blendempfindlichkeit zu haben. Ebenso gaben etwa dreiviertel der Betroffenen an Probleme bei spiegelnden Oberflächen zu haben. (Abb. 49).

Ergebnisse der helligkeitsabhängigen Sehtests Die Resultate waren in der Gruppe der sehbehinderten Personen sehr inhomogen. Bei der Auswertung wurden die sehbehinderten Probanden aus diesem Grund zusätzlich in zwei Untergruppen unterteilt.

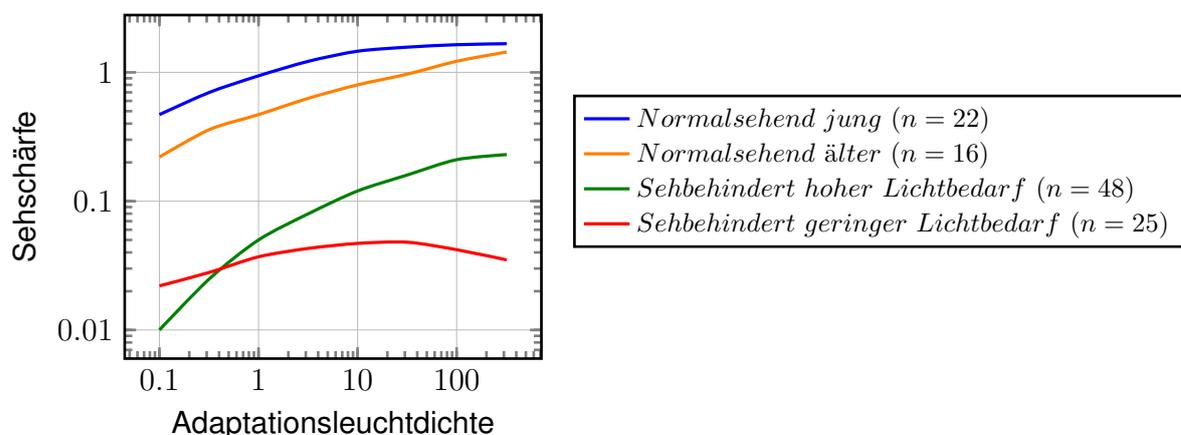


Abbildung 99: Visus in Abhängigkeit von der Adapatationsleuchtdichte

Die Gruppe mit hohem Lichtbedarf erzielte bei Anstieg der Helligkeit eine deutliche Verbesserung bei Sehschärfe und Kontrastsschwelle. Die Gruppe mit geringem Lichtbedarf hatte dagegen eine fast gleichbleibende Sehleistung bzw. bei sehr hohen Helligkeiten einen Sehleistungsabfall aufgrund von Absolutblendung (Abb.99 und Abb. 100).

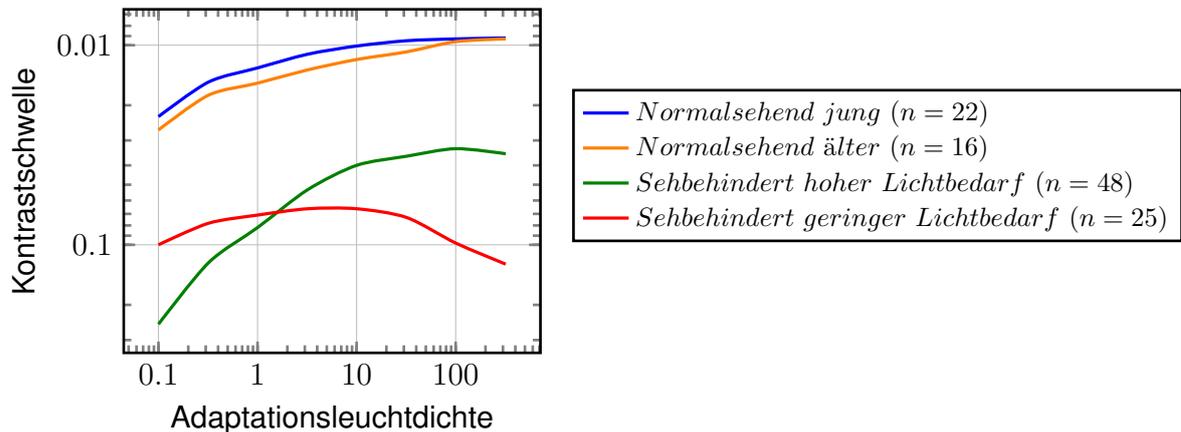


Abbildung 100: Kontrastsschwelle in Abhängigkeit von der Adaptationsleuchtdichte

Die ermittelten Normkurven der Kontrastempfindlichkeitsfunktion der normalsehenden Probanden sind in Abb. 61 dargestellt. Die Kurven der sehbehinderten Probanden sind im Vergleich individuell sehr unterschiedlich und im Vergleich zu den normalsehenden Personen deutlich reduziert. Aufgrund dieser stark unterschiedlichen Ergebnisse konnten für die sehbehinderten Probanden keine Normkurven erstellt werden.

Die Ergebnisse aus dem Blendungstest zeigen deutlich, dass die Kontrastempfindlichkeit bei den sehbehinderten Probanden deutlich stärker im Vergleich zu den normalsehenden Personen abfällt. Die funktionelle Sehleistung der Betroffenen ist bei Blendung somit deutlich reduziert. Dies ist der Hauptgrund, warum viele sehbehinderte Menschen bei Blendungssituationen im Alltag besonders große visuelle Probleme haben.

Ähnlich verhält sich die subjektive Störfempfindung bei Blendung. In Tab. 11 ist die UGR-Störfempfindung von jungen, normalsehenden mit Störfempfindung den älteren normalsehenden Personen und den sehbehinderten Personen vergleichend gegenübergestellt. Die Störfempfindung durch die erzeugten Blendungen ist bei den sehbehinderten Personen deutlich erhöht. Der Einfluss bei älteren Normalsehenden ist dagegen relativ gering.

Alle Stichproben der sehbehinderten Probanden unterscheiden sich signifikant von den Stichproben der normalsehenden Kontrollgruppen.

Glare-Contrast-Sensitivity Für die Beschreibung, der von den sehbehinderten Personen oftmals beschriebenen „Lichtempfindlichkeit“, wurde die „Glare-Contrast-Sensitivity“ (GCS) nach *Hauck* erarbeitet.

$$GCS = KS + GBE$$

GCS... Glare Contrast Sensitivity

KS... Kontrastschwelle

GBE... Grad der Blendempfindlichkeit

Mit der Glare-Contrast-Sensitivity ist es möglich, die zusätzliche Reduktion der Kontrastempfindlichkeit je nach Blendungssituation zu beschreiben und zu klassifizieren.

Kontrast nach *Hauck* Die Studien haben gezeigt, dass der wahrgenommene Kontrast durch die Kontrastempfindlichkeit, Blendung und Adaptationsfähigkeit deutlich beeinflusst wird. Bisherige Kontrastbestimmungsmethoden berücksichtigen diese Aspekte nicht. Es wird somit ein rein photometrischer „Materialkontrast“ berechnet.

Die neu erarbeitete Kontrastbestimmungsmethode nach *Hauck* berücksichtigt bei der Berechnung die Helligkeit im Umfeld der Sehaufgabe. Auf Basis der *Michelson*-Formel wurde folgende neue Kontrastdefinition¹ erstellt:

$$K_{Hauck} = \frac{L_{Max} - L_{Min}}{L_{Max} + L_{Min} + \frac{L_{Gesichtsfeld}}{L_{Max} - L_{Min}}}$$

K_{Hauck} ...Kontrast nach *Hauck*

L...Leuchtdichte

Es kann zielgruppenspezifisch zusätzlich ein Korrekturwert (GCS) in die Formel mit eingefügt werden, welcher die Kontrast- und Blendempfindlichkeit mit berücksichtigt. Die entsprechenden Korrekturwerte sind in den Tab. 13 und 14 zu finden.

¹Vereinfachte Formel; für normalsehende jüngere Personen anwendbar, da GCS = 1.

$$K_{Hauck} = \frac{L_{Max} - L_{Min}}{L_{Max} + L_{Min} + GCS \cdot \frac{L_{Gesichtsfeld}}{L_{Max} - L_{Min}}}$$

Mit der neuen Kontrastdefinition nach *Hauck* ist der wahrgenommene Kontrast (auch im Negativkontrast/Kontrastumkehr) besser beschreibbar. Es handelt sich daher um einen physiologischen Kontrast.

Empfehlungen und Vorschläge Aufgrund der Erfahrungen und Erkenntnisse aus dem methodischen Teil der Studien konnte eine Empfehlung für eine sehbehindertengerechte Sehleistungsbestimmung je Sehleistungsparameter erarbeitet werden. Für die Einschätzung sowie Klassifizierung der Sehleistung wurde ein Auswerteverfahren erarbeitet, um die vorhandene Gesamtsehleistung zu bewerten und zu klassifizieren. Der Einschätzung liegt ein „Punktesystem“ zugrunde.

Für eine visuell barrierefreie Beleuchtung wurden Vorschläge für allgemein genutzte Räume und für Räume mit individueller Nutzung erstellt. Vor allem die Blendung sollte bei einer sehbehindertengerechten Beleuchtung möglichst gering gehalten werden. Die Beleuchtungsstärken sind vor allem am Arbeitsplatz dem individuellen Helligkeitsbedarf anzupassen. Die effizienteste Beleuchtungsanlage ist diejenige, wo (sehbehinderte) Nutzer die höchste Sehleistung erreichen können.

Empfehlungen zur Kontrastierung wurden anhand der Erkenntnisse für verschiedene Anwendungsgebiete erstellt. Hierzu wurden Grenzwerte (Tab. 36) während der Nutzung für die Berechnungsmethode nach *Hauck* und nach *Michelson* erarbeitet sowie Methoden für die Ermittlung des Kontrasts vorgeschlagen.

Ausblick Mit den Ergebnissen dieser Arbeit konnte eine Grundlage für die eine sehbehindertengerechte Sehleistungsbestimmung und -bewertung und für die Planung von barrierefreien Beleuchtungsanlagen erstellt werden. Die Berechnungsmethode des subjektiv wahrgenommenen Kontrast nach *Hauck* stellt eine neue Möglichkeit dar, den resultierenden Kontrast darzustellen. Weiterführend ist eine zusätzliche Überprüfung auf die Anwendbarkeit der Ergebnisse in der Praxis wünschenswert. Hier besteht nach Auffassung des Autors ein weiterer Untersuchungs- und Forschungsbedarf.

Literaturverzeichnis

- [Austrian Standards Institute 1994] AUSTRIAN STANDARDS INSTITUTE: ÖNORM A 3012 Visuelle Leitsysteme für die Öffentlichkeitsinformation Orientierung mit Hilfe von Richtungspfeilen, graphischen Symbolen, Text, Licht und Farbe. 1994-04-01
- [Austrian Standards Institute 2003] AUSTRIAN STANDARDS INSTITUTE: ÖNORM V 2102-1 Technische Hilfen für sehbehinderte und blinde Menschen - Taktile Bodeninformationen - Teil 1: Für Wege in Baulichkeiten und im öffentlichen Raum bei Fahrgeschwindigkeiten bis max. 80 km/h. 2003-06-01
- [Austrian Standards Institute 2011] AUSTRIAN STANDARDS INSTITUTE: ÖNORM EN 12464-1 Licht und Beleuchtung - Beleuchtung von Arbeitsstätten - Teil 1: Arbeitsstätten in Innenräumen. 2011
- [Austrian Standards Institute 2013] AUSTRIAN STANDARDS INSTITUTE: ÖNORM B 1600 Barrierefreies Bauen, Planungsgrundlagen. 2013-10-01
- [Baer 1996] BAER, Roland (Hrsg.): Beleuchtungstechnik: Grundlagen. 2. stark bearb. Aufl. Berlin : Verl. Technik, 1996. – ISBN 3341011153
- [Bartsch 1999] BARTSCH, Hans-Jochen: Taschenbuch mathematischer Formeln. 18., verb. Aufl., Jub.-ausg. München and Wien : Fachbuchverl. Leipzig im Hanser-Verl., 1999. – ISBN 3446210482
- [BGB1 2018] BGB1: Anlage zur Einschätzungsverordnung. 2018
- [Blackwell 1946] BLACKWELL, H. R.: Contrast thresholds of the human eye. 1946
- [Bright 1999] BRIGHT, Cook ; CIOB OCCASIONAL PAPER 57 (Hrsg.): Projekt Rainbow, A research project to provide color and contrast design guidance for internal built environments, CIOB Occasional Paper 57. 1999
- [Bundeskanzleramt 2005] BUNDESKANZLERAMT: Bundes-Behindertengleichstellungsgesetz – BGStG; 2005. 2005

- [Buser 2007] BUSER, Fritz: SZB Kurs für Low Vision Trainer und Trainerinnen: Grundkenntnisse der Basis-Optik. Sankt Gallen : SZB, 2007
- [Buser u. Hauck 2012] BUSER, Fritz ; HAUCK, Nico: Lichtberatung in der Low Vision Rehabilitation: Kursunterlagen. Wien, 2012
- [Buser u. Hauck 2016] BUSER, Fritz ; HAUCK, Nico: Von der schieren Unmöglichkeit, Kontraste korrekt zu bestimmen: Entwurf. 2016
- [Çakir u. Çakir 1997] ÇAKIR, Ahmet ; ÇAKIR, Gisela: Direktbeleuchtung am Bildschirmarbeitsplatz widerspricht Anforderungen des Arbeitsschutzes: Eine Studie auf der Basis neuer Arbeitsschutzbestimmungen und wissenschaftlicher Erkenntnisse. Berlin : Ergonomic, Institut für Arbeits- und Sozialforschung, 1997
- [CIE-International Commission on Illumination 1995] CIE-INTERNATIONAL COMMISSION ON ILLUMINATION: Technical report / International Commission on Illumination. Bd. 117: Discomfort glare in interior lighting. Vienna : CIE Central Bureau, 1995. – ISBN 978 3 900734 70 1
- [CIE-International Commission on Illumination 1997] CIE-INTERNATIONAL COMMISSION ON ILLUMINATION: CIE 123-1997 Low Vision - Lighting Needs for the Partially Sighted. 1997
- [CIE-International Commission on Illumination 2002a] CIE-INTERNATIONAL COMMISSION ON ILLUMINATION: CIE 146:2002 "CIE Equations for Disability Glare". 2002
- [CIE-International Commission on Illumination 2002b] CIE-INTERNATIONAL COMMISSION ON ILLUMINATION: ISO 8995-1:2002(E)/CIE S 008/E:2001 "Lighting of Indoor Work Places. 2002
- [CIE-International Commission on Illumination 2011a] CIE-INTERNATIONAL COMMISSION ON ILLUMINATION: CIE 196:2011 Guide to Increasing Accessibility in Light and Lighting. 2011
- [CIE-International Commission on Illumination 2011b] CIE-INTERNATIONAL COMMISSION ON ILLUMINATION: TC 1-54 - Age-related change of visual response. 2011
- [CIE-International Commission on Illumination 2017] CIE-INTERNATIONAL COMMISSION ON ILLUMINATION: CIE 227:2017: TC 3-44 - Lighting for the elderly. 2017
- [Deutsches Institut für Normung 2009a] DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG: DIN 58220-7 (2009) Sehschärfebestimmung – Teil 7: Mesopisches Kontrastsehen, ohne und mit Blendung, für straßenverkehrsbezogene Testung. 2009

- [Deutsches Institut für Normung 2009b] DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG: DIN EN ISO 8596 (2009) Augenoptik – Sehschärfeprüfung – Das Normsehzeichen und seine Darbietung. 2009
- [Deutsches Institut für Normung 2009c] DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG: DIN 32975 Gestaltung visueller Informationen im öffentlichen Raum zur barrierefreien Nutzung. 2009-12
- [Deutsches Institut für Normung 2011] DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG: DIN EN 12665 Licht und Beleuchtung – Grundlegende Begriffe und Kriterien für die Festlegung von Anforderungen an die Beleuchtung. 2011-09
- [Dießner 2004] DIESSNER, Christiane: Vergleichende Untersuchungen des Kontrastsehvermögens mit dem SZB-LCS-Test nach Buser und der Pelli-Robson-Chart. Jena, Ernst Abbe Hochschule, Diplomarbeit, 2004
- [Figueiro 2001] FIGUEIRO, Mariana G.: Lighting the Way: A Key to Independence (Older Adults); 2001. 2001
- [Goersch 1996] GOERSCH, Helmut: Wörterbuch der Optometrie. Stuttgart : Enke, 1996. – ISBN 3-432-27301-0
- [Haegerstrom-Portnoy u. a. 2000] HAEGERSTROM-PORTNOY, Gunilla ; SCHNECK, Marilyn E. ; LOTT, L. A. ; BRABYN, John: The relationbetween visual acuity and other vision measures, 2000. Optometry and Vision, 2000
- [Hauck 2004] HAUCK, Nico: Entwicklung eines Kartentests zur Bewertung der Kontrastempfindlichkeit auf Basis der Punktsehschärfe. Jena, Ernst Abbe Hochschule, Diplomarbeit, 2004
- [Hauck 2009] HAUCK, Nico: Untersuchungen zur Kontrastempfindlichkeit von sehbehinderten Personen bei Blendung. Jena, Ernst Abbe Hochschule, Masterarbeit, 2009
- [I.E.Loewenfeld, H.S.Thomson et al. eds 1979] I.E.LOEWENFELD, H.S.THOMSON ET AL. EDS: Version:1979. https://homepages.uni-tuebingen.de/martin.adler/pup_age.html. In: Topics in Neuro-Ophthalmology. 1979
- [IFA - Institut für Arbeitsschutz 2010] IFA - INSTITUT FÜR ARBEITSSCHUTZ: Blendung - Theoretischer Hintergrund. 2010
- [ISO 2001] ISO: ISO/IEC guide. Bd. 71: Guidelines for standards developers to address the needs of older persons and persons with disabilities. 1st ed. Geneva : ISO

International Organization for Standardization and IEC International Electrotechnical Commission, 2001

[ISO 2011] ISO: Ergonomics - Accessible design - Specification of age-related luminance contrast for coloured light (ISO 24502:2010): SN EN ISO 24502 = Ergonomie - Zugängliche Gestaltung - Leitlinien für die Spezifikation des altersbezogenen Leuchtdichte-Kontrastes für farbiges Licht (ISO 24502:2010) = Ergonomie - Conception accessible - Spécification du contraste de luminance lié à l'âge pour la lumière colorée (ISO 24502:2010). Winterthur : Schweizerische Normen-Vereinigung (SNV), 2011 <http://shop.snv.ch/>

[Lachenmayr 2008] LACHENMAYR, Bernhard (Hrsg.): Begutachtung in der Augenheilkunde. Heidelberg : Springer, 2008 <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-540-78461-6>. – ISBN 978-3-540-78461-6

[Licht 2009] LICHT, Fördergemeinschaft G.: Licht.wissen. Bd. 08: Licht Wissen 08 - Sport und Freizeit. Frankfurt am Main and Frankfurt am Main : Licht.de, Fördergemeinschaft Gutes Licht, 2009. – ISBN 3926193522

[LTG - Lichttechnische Gesellschaft Österreich 2010] LTG - LICHTTECHNISCHE GESELLSCHAFT ÖSTERREICH ; LTG (Hrsg.): Ausbildung Zertifizierter Lichttechniker in der Innenraumbeleuchtung - Kursunterlagen. 2010

[Mann u. Whitney 1947] MANN, Henry ; WHITNEY, Donald: On a test of whether one of two random variables is stochastically larger than the other. In: Annals of mathematical Statistics 18 1947 (1947), Nr. Vol. 18, S. 50–60

[Methling 1996] METHLING, Dieter: Bestimmen von Sehhilfen: 40 Tabellen. 2., neu bearb. Aufl. Stuttgart : Enke, 1996. – ISBN 3-432-99912-7

[Paliaga 1993] PALIAGA, Gian P.: Ophthalmothek. Bd. 16: Die Bestimmung der Sehschärfe. München : Quintessenz, 1993. – ISBN 3861282046

[Röhler 1995] RÖHLER, Rainer: Sehen und Erkennen: Psychophysik des Gesichtssinns. Berlin Heidelberg New York : Springer-Verlag, 1995. – ISBN 3-540-58537-0

[Sapolinski 2008] SAPOLINSKI: An improved metric for luminance contrast using colour-modified clinical eye charts; 2008. 2008

[Schierz 2007] SCHIERZ, Christoph ; TU-ILMENAU, TAGUNG "LUX JUNIOR" (Hrsg.): Wie wird Leuchtdichte subjektiv als Helligkeit wahrgenommen? 2007

- [Schmidt-Clausen 1974] SCHMIDT-CLAUSEN, Hans J. ; LIGHTING RESEARCH AND TECHNOLOGY 6 (Hrsg.): Assessment of discomfort glare in motor vehicle lighting; 1974: Seite 79 – 88. 1974
- [Schweizerischer Norm und Architektenverein 2009] SCHWEIZERISCHER NORMUND ARCHITEKTENVEREIN: SIA 500 Hindernisfreie Bauten. 2009-01-01
- [Society of light and lighting 2006] SOCIETY OF LIGHT AND LIGHTING: Providing visibility for an aging workforce, Factfile 10; 2006. 2006
- [Stütz 2010] STÜTZ, Ignaz A.: Logbuch Foto- und Optometrie. Neumarkt Mkr. : I. A. Stütz - Optikus, 2010. – ISBN 978-3-9502991-0-6
- [TU Darmstadt 2017] http://www.idd.tu-darmstadt.de/re_search/equipm/color_lab/index.en.jsp
- [Vogelauer u. a. 2016] VOGELAUER, Christian ; FÜRST, Elmar ; MAHDAVI, Ardeshir ; PONT, Ulrich ; MARINGER, Magdalena ; HAUCK, Nico: Projekt ViDeA - Endbericht 2016. 2016
- [Wesemann u. a. 2010] WESEMANN, Wolfgang ; SCHIEFER, U. ; BACH, Michael: Neue DIN-Normen zur Sehschärfebestimmung. In: Ophthalmologe (2010), Nr. 107, S. 821–826
- [Wilcoxon 1945] WILCOXON, Frank: Individual Comparisons by Ranking Methods. In: Biometrics Bulletin 1 (1945), Nr. 1, S. 80–83
- [World Health Organization u. DIMDI 2017] WORLD HEALTH ORGANIZATION ; DIMDI: ICD-10-GM, Internationale statistische Klassifikation der Krankheiten und verwandter Gesundheitsprobleme; 10. Revision, Version 2018. 2017

Abbildungsverzeichnis

2	Visual acuity as a function of luminance for 7 different age groups from 10 to 79 years old	7
3	Beziehung zwischen Sehwinkel ω und Objektweite a	18
4	Simulation einer reduzierten Sehschärfe	19
5	Simulation eines Zentralskotoms	20
6	Simulation eines Röhrengesichtsfelds	21
7	Simulation eines Ringskotoms	21
8	Simulation eines Ringskotoms bei bewegtem Objekt	22
9	Pupillendurchmesser in Abhängigkeit vom Alter	22
10	Simulation von Adaptationsproblemen beim Übergang von verschiedenen Helligkeitsverhältnissen	24
11	Schematische Darstellung der Beleuchtungsstärke	25
12	Schematische Darstellung zylindrische Beleuchtungsstärke	26
13	Vereinfachtes Modell der lichttechnischen Größen	28
14	Schematische Darstellungen und Lichtstärkeverteilung bei Direktbeleuchtung	29
15	Schematische Darstellung und Lichtstärkeverteilung bei Indirektbeleuchtung	30
16	Schematische Darstellung und Lichtstärkeverteilung bei Indirekt-/Direktbeleuchtung	31
17	Schematische Darstellung: Blendung und lichttechnische Größen	34
18	Verschiedene Blendungsarten	35
19	Simulation Blendempfindlichkeit	40
20	Beispiel für LRV-Werte zur Kontrastberechnung	45
21	Typische Kontrastempfindlichkeitsfunktion einer normalsehenden Person .	47
22	SZB-LCS-Test nach <i>Buser</i>	49
23	Bailey-Lovie-Chart Swiss Version nach <i>Buser</i>	49
24	Sehproben zur Bestimmung der Kontrastschwelle	50
25	Verschiedene taktile Bodenleitsysteme	51

26	Verschiedene Stufenmarkierungen	52
27	Taktile und kontrastierende Beschriftungen	53
28	Schematische Darstellung (Skizze, Draufsicht) des Versuchsaufbaus für die beleuchtungsabhängigen Sehtests	57
29	Schematische 3D-Darstellung des Versuchsaufbaus für die beleuchtungsabhängigen Sehtests	57
30	Original Versuchsaufbau für die beleuchtungsabhängigen Sehtests	58
31	Landoltring als Sehzeichen für die Visusbestimmung	59
32	Landoltring für Visus 0,005 bis 0,008	60
33	Landoltringe für Visus 0,01	60
34	Landoltringe für Visus 0,012 bis 0,016	61
35	Landoltringe für Visus 0,02 bis 0,032	61
36	Landoltringe für Visus 0,04 bis 0,1	62
37	Landoltringe für Visus 0,12 bis 2,0	62
38	<i>Landolt</i> -Ringe für Kontrastschwelle (K_M) 100% bis 10%	63
39	<i>Landolt</i> -Ringe für Kontrastschwellen (K_M) 7% bis 0,7%	64
40	Sehtests mit Logatomen; abgebildet ist ein Auszug von insgesamt vier verschiedenen Tafeln (Darstellung entspricht nicht der Originalgröße)	66
41	Schematische Darstellung für die Anordnung des Blendungstests	67
42	Probanden - Altersverteilung (Median, 1. und 3. Quartil, minimaler und maximaler Wert)	68
43	Screenshot Relux Pro - 3D Falschfarbendarstellung	70
44	Erprobung einer Pendelleuchte vor Ort	71
45	Auswahl von Musterleuchten, Entwicklung und Design Nico Hauck, Entwicklung und Anfertigung Fa. Licht & Design	72
46	Subjektiver Helligkeitsbedarf der sehbehinderten Probanden (n=91)	76
47	Subjektive Blendempfindlichkeit der sehbehinderten Probanden (n=91)	77
48	Situationen, bei denen Blendungen typischerweise auftreten (Personen mit mind. erhöhter Blendempfindlichkeit) (n=76)	77
49	Einfluss von Reflexblendungen auf die visuelle Wahrnehmung der sehbehinderten Probanden (n=91)	78
50	Einfluss sehr ungleichmäßiger Beleuchtung auf die visuelle Wahrnehmung (n=91)	78
51	Adaptationsproblematik der sehbehinderten Probanden bei verschiedenen, zeitlich schnellen Helligkeitsänderungen (n=91)	79

52	Visus in Abhängigkeit von der Adaptationsleuchtdichte - Geometrische Mittelwerte und Spannweite	80
53	Visus in Abhängigkeit von der Adaptationsleuchtdichte - Median (M), 1. und 3. Quartil, minimaler und maximaler Wert	81
54	Visus in Abhängigkeit von der Adaptationsleuchtdichte (auf Basis der geometrischen Mittelwerte)	82
55	Visus in Abhängigkeit von der Adaptationsleuchtdichte der sehbehinderten Personen mit geringen und hohem Lichtbedarf (auf Basis der geometrischen Mittelwerte)	83
56	Kontrastschwelle in Abhängigkeit von der Adaptationsleuchtdichte - Geometrische Mittelwerte und Spannweite	85
57	Kontrastschwelle in Abhängigkeit von der Adaptationsleuchtdichte - Median (M), 1. und 3. Quartil, minimaler und maximaler Wert (normalsehende jüngere und sehbehinderte Probanden)	86
58	Kontrastschwelle in Abhängigkeit von der Adaptationsleuchtdichte - Median (M), 1. und 3. Quartil, minimaler und maximaler Wert (normalsehende ältere und sehbehinderte Probanden)	87
59	Kontrastsschwelle in Abhängigkeit von der Adaptationsleuchtdichte (auf Basis der geometrischen Mittelwerte)	88
60	Kontrastsschwelle in Abhängigkeit von der Adaptationsleuchtdichte der sehbehinderten Probanden mit geringem und hohem Lichtbedarf (auf Basis der geometrischen Mittelwerte)	89
61	Kontrastempfindlichkeitsfunktionen der normalsehenden Probanden bei verschiedenen Leuchtdichten	92
62	Kontrastempfindlichkeitsfunktionen bei verschiedenen Adaptationsleuchtdichten; Proband Nr.3 mit der Augenerkrankung Hemioparese, männlich, Alter: 55 Jahre	93
63	Kontrastempfindlichkeitsfunktionen bei verschiedenen Adaptationsleuchtdichten; Proband Nr.13 mit der Augenerkrankung Myopische Makuladegeneration, weiblich, Alter: 57 Jahre	94
64	Kontrastempfindlichkeitsfunktionen bei verschiedenen Adaptationsleuchtdichten; Proband Nr.52 mit der Augenerkrankung Altersbedingte Makuladegeneration im Anfangsstadium, weiblich, Alter: 81 Jahre	95
65	Kontrastschwelle in Abhängigkeit vom UGR-Blendwert - Geometrische Mittelwerte, Spannbreite und Regressionsgerade	97

66	Subjektive Störempfung in Abhängigkeit vom UGR-Blendwert bei einer Adaptationsleuchtdichte von 10 cd/m^2 - Arithm. Mittelwerte, Spannweite und lineare Regression	99
67	Vergleich der Störempfungen zwischen normalsehenden jüngeren Probanden und sehbehinderten Probanden	100
68	Vergleich der Störempfungen zwischen normalsehenden älteren Probanden und sehbehinderten Probanden	101
69	Beispiel für eine geringe Leuchtdichteunterschiedsschwelle (die graue periphere Fläche ist das Umfeld und liegt von der Helligkeit zwischen den Testflächen/-objekten)	110
70	„Subjektiv wahrgenommene Helligkeit des unteren Testzeichens in Abhängigkeit von der Testzeichen-Leuchtdichte und der Umfeldleuchtdichte, die auch der Adaptationsleuchtdichte entspricht (nach P.Haubner 1977). Die Punkte auf der Abszisse stellen die Schwarzschwelle dar.“ (Schierz, 2007, S. 6)	111
71	ÖBB Monitor unter Tageslichteinfluss; Der Kontrast und somit die Erkennbarkeit sind deutlich reduziert	111
72	Markierung für das ausgewählte Berechnungsbeispiel	117
73	Leuchtdichtebild eines Stationsschild der U4-Schottenring in Wien	119
74	U-Bahn Schild (U2 Station Praterstern) mit und ohne Hinterleuchtung für das ausgewählte Berechnungsbeispiel	121
75	Leseprobe mit unterschiedlichen Umgebungsleuchtdichten	123
76	Kontrast in Abhängigkeit von der Umfeldleuchtdichte bei gleichbleibender Testfeldleuchtdichte $L_{\max}=100 \text{ cd/m}^2$	124
77	Simulation der Kontrastwahrnehmung mit steigender Adaptationsleuchtdichte von links nach rechts	125
78	Simulation der Kontrastwahrnehmung mit steigender Adaptationsleuchtdichte bei unterschiedlichen Kontraststufen	126
79	Kontrast in Abhängigkeit von der Umfeldleuchtdichte bei ebenso veränderlichen Testfeldleuchtdichten; Beispiel: gedruckte Sehproben tafel bei regelbarer Beleuchtung	126
80	Kontrast-Leseprobe mit unterschiedlichen Kontrastarten	127
81	Positiv- und Negativkontrast in Abhängigkeit von der Testfeldleuchtdichte bei gleichbleibender Umfeldleuchtdichte von 50 cd/m^2 ; Positivkontrast: $L_{\max} = 100 \text{ cd/m}^2$ und L_{\min} veränderlich Negativkontrast: $L_{\max} =$ veränderlich und $L_{\min} = 10 \text{ cd/m}^2$ Beispiel: gedruckte Sehproben-Kontrasttafel	128

82	Beispiele für störende Reflexblendungen	131
83	Beispiel für den Einfluss der Beleuchtung auf die Reflexblendung - Flughafen Zürich bei exakt gleichen Bodenverhältnissen (Die Fotos wurden aus der gleichen Position aufgenommen, einmal mit Blick nach links und einmal mit Blick nach rechts)	132
84	Reflexblendung auf Hinweisschildern	132
85	Vergleich der Leuchtendaten von Direkt- vs. Indirektbeleuchtung	139
86	Vergleich Grundriss von Direkt- vs. Indirektbeleuchtung	140
87	Vergleich 3D Beleuchtungsstärkeverteilung von Direkt- vs. Indirektbeleuchtung	141
88	Vergleich 3D-Leuchtdichteverteilung von Direkt- vs. Indirektbeleuchtung .	141
89	ÖBB-Monitor im Sommer bei Tageslichteinfluss (links: Originalbild; rechts Leuchtdichtebild)	148
90	Verschmutzte Bodenmarkierung mit reduziertem Kontrast und deutlicher Reflexblendung am Boden $K_{Michelson} = 0,27$ $K_{Hauck, normalsehend} = 0,17$ $K_{Hauck, sehbehindert} = 0,14$	149
91	Gut gereinigte Bodenmarkierung mit verbessertem Kontrast und verminderter Reflexblendung $K_{Michelson} = 0,59$ $K_{Hauck, normalsehend} = 0,57$ $K_{Hauck, sehbehindert} = 0,55$	150
92	Empfohlener Versuchsaufbau für die Durchführung von Sehtests in Abhängigkeit von der Helligkeit	157
93	Schematische Darstellungen von Sehproben zur Bestimmung der Kontrastempfindlichkeit	157
94	TSB Nahleseprobe zur Bestimmung des Vergrößerungsbedarfs (Auszug) .	158
95	<i>Hauck</i> und <i>Buser</i> - Nahleseprobe zur Bestimmung des Vergrößerungsbedarfs und der Kontrastschwelle bei Kleinkindern (Auszug)	159
96	TSB-Nahleseprobe im Negativkontrast (Auszug)	162
97	Farnsworth D15 Farbttest (TU Darmstadt, 2017)	162
98	Mögliche Messanordnung für die Bestimmung der Leuchtdichten und Reflektionswerte einer Stufenmarkierung Praxisrelevanter Messwinkel für diese Anwendung ist 45°	172
99	Visus in Abhängigkeit von der Adaptationsleuchtdichte	175
100	Kontrastsschwelle in Abhängigkeit von der Adaptationsleuchtdichte . . .	176
101	Mobile Leuchtdichtekamera „LMK mobile Advanced“ der Fa. TechnoTeam	221
102	Leuchtdichtemessgerät Minolta LS-110 Herstellerfoto	222

103	Photospektrometer GL Spectis 1.0 Touch Herstellerfoto	222
104	Ergebnisse Lichtplanung Use Case 1	225
105	Ergebnisse Lichtplanung Use Case 2	227
106	Ergebnisse Lichtplanung Use Case 3	229
107	Ergebnisse Lichtplanung Use Case 4	231
108	Ergebnisse Lichtplanung Use Case 5	233
109	Ergebnisse Lichtplanung Use Case 6	235
110	Pendelleuchte „Collustro“ mit lichtdurchlässigem Stoff „Atakta“	236
111	TSB Pendelleuchte mit weißem Stoff	236
112	TSB Lichtsäule	237
113	TSB Stehleuchte auf Basis der „Sunset“	238
114	LVK TSB Stehleuchte	238
115	Stehleuchte „Umbrella“	239
116	Stehleuchte „Robus“	240
117	Pendelleuchte „Stylus“	241
118	Pendelleuchte „Stylus“	241
119	Fa. Waldmann Tischaufbauleuchte „Ataro“ mit unterschiedlichen Entblendungstechnologien	242
120	Fa. Waldmann Wandleuchte „Vanera Bath“	243
121	Fa. Regent Wandleuchte „Sunset“	244
122	Fa. Regent Pendelleuchte „Item“	244
123	Arbeitsplatzleuchte „Taneo“ der fa. Waldmann links: mit TSB-Entblendung; rechts: mit Original-Entblendung	245
124	TSB Pendelleuchte mit weißem Stoff	247
125	Ergebnisse Lichtplanung Use Case 9	249
126	Verschiedene Beleuchtungslösungen bei Überkopfanzeigen	252
127	Verschiedene Boden-Einbauleuchten mit erhöhter Blendungsgefahr auf Verkehrswegen	253
128	Verschiedene Beleuchtungssysteme mit unterschiedlicher Blendung	254
129	Verschiedene Schriften und Piktogramme mit unterschiedlichem Kontrast	255
130	Verschiedene Markierungen und Sicherheitslinien mit unterschiedlichem Kontrast	256
131	Verschiedene Bodenmarkierungen mit unterschiedlichem Kontrast	257
132	Tabelle aus SPSS zur Prüfung auf Normalverteilung - hier: Visus normalsehende jüngere Probanden	261

133	Tabelle aus SPSS zur Prüfung auf Normalverteilung - hier: Visus normalsehende ältere Probanden	262
134	Tabelle aus SPSS zur Prüfung auf Normalverteilung - hier: Visus sehbehinderte Probanden	263
135	Tabelle aus SPSS zur Prüfung auf Normalverteilung - hier: Kontrastschwelle normalsehende jüngere Probanden	264
136	Tabelle aus SPSS zur Prüfung auf Normalverteilung - hier: Kontrastschwelle normalsehende ältere Probanden	265
137	Tabelle aus SPSS zur Prüfung auf Normalverteilung - hier: Kontrastschwelle sehbehinderte Probanden	266
138	Tabelle aus SPSS zur Prüfung auf Normalverteilung - hier: Kontrastschwelle bei Blendung normalsehende jüngere Probanden	267
139	Tabelle aus SPSS zur Prüfung auf Normalverteilung - hier: Kontrastschwelle bei Blendung normalsehende ältere Probanden	268
140	Tabelle aus SPSS zur Prüfung auf Normalverteilung - hier: Kontrastschwelle bei Blendung sehbehinderte Probanden	269
141	Tabelle aus SPSS zur Prüfung auf Normalverteilung - hier: Subjektive Störempfindung durch Blendung normalsehende jüngere Probanden . . .	270
142	Tabelle aus SPSS zur Prüfung auf Normalverteilung - hier: Subjektive Störempfindung durch Blendung normalsehende ältere Probanden	271
143	Tabelle aus SPSS zur Prüfung auf Normalverteilung - hier: Subjektive Störempfindung durch Blendung sehbehinderte Probanden	272

Tabellenverzeichnis

1	Funktionsabhängige Mindestwerte für den Helligkeitskontrast lt. ÖNorm B1600 (Austrian Standards Institute, 2013, S. 27)	12
2	WHO Einteilung Sehbehinderung (World Health Organization u. DIMDI, 2017, S.284)	16
3	„Positionsindex für die UGR Blendungsbewertung“ (CIE-International Commission on Illumination, 1995)	37
4	„Einteilung und Bewertung der psychologischen Blendung nach der Be-Boer-Skala“ (IFA - Institut für Arbeitsschutz, 2010, S. 9)	38
5	UGR Grenzwerte aus der Lichttechnik je visuellem Anspruch der Sehaufgabe (Austrian Standards Institute, 2011)	38
6	Einteilung Grad der Blendempfindlichkeit nach Hauck (Hauck, 2009, S. 42)	41
7	Vergleich der Kontrastwerte am Beispiel Abb. 20	45
8	Score für subjektive Blendbewertung	67
9	Sehschärfen bei verschiedenen Adaptationsleuchtdichten und unterschiedlichem <i>Michelson</i> -Kontrast ermittelt mit dem Logatomentest (geom. Mittelwerte)	91
10	Anstieg der Kontrastschwelle in log-Stufen in Abhängigkeit vom UGR-Blendwert (Ausgangswert ist jeweils die Kontrastschwelle ohne Blendung)	96
11	UGR Vergleichswerte für (jüngere) normalsehende und sehbehinderte Personen	98
12	Testergebnisse auf Normalverteilung - liegt NV vor: ja/nein	102
13	Mittelwerte für Kontrastschwelle in %, Grad der Blendempfindung (GBE) und Glare-Contrast-Sensitivity (GCS) für die untersuchten Probandengruppen	107
14	Mittelwerte für Kontrastschwelle (KS), Grad der Blendempfindung (GBE) je UGR-Wert und resultierender Glare-Contrast-Sensitivity (GCS) für die untersuchten Probandengruppen	108

15	Klassifizierung für Glare-Contrast-Sensitivity	108
16	Auszug aus Tab. 14 auf Seite 108: Glare-Contrast Sensitivity (GCS) in Abhängigkeit vom UGR-Wert für normalsehende und sehbehinderte Menschen	118
17	Kontrast-Berechnungsergebnisse für Beispiel U4 Station Schottenring- Schild (nicht hinterleuchtet) für verschiedene Zielgruppen	120
18	Kontrast-Berechnungsergebnisse für Beispiel U2 Schild für verschiedene Zielgruppen	122
19	UGR Tabelle für normalsehende und sehbehinderte Personen	131
20	Ausgewählte zusätzliche Daten und Ergebnisse für das Beispiel Direkt- vs. Indirektbeleuchtung	139
21	Vergleich Raumdaten von Direkt- vs. Indirektbeleuchtung	140
24	Vergleich der Ergebnisübersicht von Direkt- vs. Indirektbeleuchtung	140
27	Kontrastgrenzwerte nach Hauck (Wartungswerte) für verschiedene An- wendungen	146
28	Beispiele für Umrechnung Flächenwinkel von in Raumwinkel	159
29	Einschätzung Blendempfindlichkeit nach einem vereinfachten Verfahren	160
30	Einschätzung des Lichtbedarfs nach der Sehleistungsänderung und Grad des Lichtbedarfs nach <i>Hauck</i>	161
31	Einschätzung Sehleistung nach dem <i>Hauck'schen</i> Punktesystem	164
32	Einschätzung der Sehleistung nach <i>Hauck</i> bei Beispiel 1	164
33	Einschätzung der Sehleistung nach <i>Hauck</i> bei Beispiel 2	165
34	Einschätzung der Sehleistung nach <i>Hauck</i> bei Beispiel 3	165
35	UGR Grenzwertempfehlung für sehbehinderte Personen zur Normierung	168
36	Kontrastgrenzwerte (Wartungswerte) für verschiedene Anwendungen während des Betriebs	171
37	Ist- und Sollwerte lichttechnischer Größen - Use Case 1	224
38	Ist- und Sollwerte lichttechnischer Größen - Use Case 2	226
39	Sollwerte lichttechnische Größen - Use Case 4	230
40	Sollwerte lichttechnische Größen - Use Case 5	232
41	Sollwerte lichttechnische Größen - Use Case 6	234
42	Soll- und Messwerte der lichttechnische Größen - Use Case 8	246
43	Soll- und neue Messwerte nach Adaptierung - Use Case 8	247
44	Soll- und Messwerte der lichttechnische Größen - Use Case 9	248
45	Soll- und Messwerte der lichttechnische Größen - Use Case 10	250

46	Geometische Mittelwerte für den Visus für die getesteten Probandengruppen und Adaptationsleuchtdichten	259
47	Geometische Mittelwerte für den Visus für sehbehinderte Probanden mit unterschiedlichem Lichtbedarf	259
48	Geometische Mittelwerte für die Kontrastschwelle für die getesteten Probandengruppen und Adaptationsleuchtdichten	260
49	Geometische Mittelwerte für die Kontrastschwelle für sehbehinderte Probanden mit unterschiedlichem Lichtbedarf	260
50	Ergebnisse der asymptotischen Signifikanz des Mann-Whitney-Test für den Visus (beidseitiges Signifikanzniveau von 0,95)	273
51	Ergebnisse der asymptotischen Signifikanz des Mann-Whitney-Test für die Kontrastschwelle (beidseitiges Signifikanzniveau von 0,95)	273
52	Ergebnisse der asymptotischen Signifikanz des Mann-Whitney-Test für die Kontrastschwelle bei Blendung (beidseitiges Signifikanzniveau von 0,95)	274
53	Ergebnisse der asymptotischen Signifikanz des Mann-Whitney-Test für die Störempfindung bei Blendung (beidseitiges Signifikanzniveau von 0,95)	274
54	Ergebnisse der asymptotischen Signifikanz des Wilcoxon-Tests für die Stichproben der Sehschärfen mittels Logatomentest (Sehbehinderten Probanden bei 10 cd/m ² ; beidseitiges Signifikanzniveau von 0,95)	275
55	Prozentualer Anteil der Bindungen (Werte mit gleichen Ergebnis) des Wilcoxon-Tests für die Stichproben der Sehschärfen mittels Logatomentest (Sehbehinderten Probanden bei 10 cd/m ²)	275
56	Ergebnisse der asymptotischen Signifikanz des Wilcoxon-Tests für die Stichproben der Sehschärfen mittels Logatomentest (Sehbehinderten Probanden bei 100 cd/m ² ; beidseitiges Signifikanzniveau von 0,95)	276
57	Prozentualer Anteil der Bindungen (Werte mit gleichen Ergebnis) des Wilcoxon-Tests für die Stichproben der Sehschärfen mittels Logatomentest (Sehbehinderten Probanden bei 100 cd/m ²)	276
58	Liste der normalsehenden jüngeren Probanden	278
59	Liste der normalsehenden älteren Probanden	279
60	Liste der sehbehinderten Probanden [1]	280
61	Liste der sehbehinderten Probanden [2]	281
62	Liste der sehbehinderten Probanden [3]	282

Formelverzeichnis

1	Visus	18
2	Sehwinkelbeziehung	19
3	Visus Bruchschreibweise	19
4	Lichtstrom	25
5	Lichtstärke	25
6	Beleuchtungsstärke	25
7	Leuchtdichte	26
8	Reflexionsgrad	27
9	Leuchtdichte - Beleuchtungsstärke - Beziehung	27
10	Physiologische Blendung	36
11	UGR Blendungsbewertung	37
12	Blendwert nach Hauck	40
13	Leuchtdichteunterschiedsschwelle	41
14	Michelson-Kontrast	43
15	Weber-Kontrast	43
16	Bowmann-Sapolinski-Kontrast	44
17	LRV-Differenz-Kontrast	44
18	Raumkontrast nach Stütz	46
19	Abschätzung Beleuchtungsstärke	71
20	Abschätzung Lichtstrom	71
21	Geometrischer Mittelwert	73
22	Arithmetrischer Mittelwert	73
23	Median - ungerade Stichprobe	74
24	Median - gerade Stichprobe	74
25	Standardabweichung	74
26	Glare-Contrast-Sensitivity	105
27	Hauck-Kontrast mit Leuchtdichtewerten	113

28	Hauck-Kontrast mit LRV Werten	114
29	Hauck-Kontrast mit Leuchtdichte- und UGR-Werten	115

Anhang

Anhang A

**Lichttechnische Prüfbericht für die Kalibrierung des
Sehtestmonitors der MA 39**



TSB Transdanubia Nikolai Ges.m.b.H.
Floridsdorfer Hauptstraße 28
A-1210 Wien
vorab per Email: Nico@tsb.co.at

Magistrat der Stadt Wien
MAGISTRATSABTEILUNG 39
Prüf-, Überwachungs- und
Zertifizierungsstelle der Stadt Wien
VFA – Labors für Bautechnik
Standort: Rinnböckstraße 15
A-1110 WIEN
Tel.: (+43 1) 79514-8039
Fax: (+43 1) 79514-99-8039
E-Mail: post@ma39.wien.gv.at
Homepage: www.ma39.wien.at

MA 39 – VFA 2015-1561.01

Wien, 08. Februar 2017

L a b o r b e r i c h t

über die

Evaluierung der Leuchtdichte des Bildschirmes „EIZO FlaxScan EV2736W“

Auftraggeber: TSB Transdanubia Nikolai Ges.m.b.H.
Auftragsdatum: 09. April 2014
Prüfdatum: 10. Juni 2014
Prüfgut: EIZO FlaxScan EV 2736W
Prüfprogramm: Bestimmung der Leuchtdichte bei verschiedenen Bildschirm-
einstellungen und den Kontrast von Kontrasttestbilder bei
Verwendung von unterschiedlichen Grafikformaten

PRH

Der Bericht umfasst 15 Seiten.

Prüfungen beziehen sich ausschließlich auf die Prüfgegenstände. Alle Seiten des Berichtes sind mit dem Amtssiegel der Stadt Wien versehen. Veröffentlichung und Auszüge bedürfen der schriftlichen Bewilligung der MA 39. Bitte beachten Sie die derzeit gültigen Allgemeinen Geschäftsbedingungen der MA 39 im Internet unter <http://www.ma39.wien.at>.

Zertifiziert gemäß den Forderungen der ÖNORM EN ISO 9001:2008 und der ÖNORM EN ISO 14001:2004 durch die Quality Austria.

Öffnungszeiten: Montag bis Donnerstag: 7:30 - 15:30 Uhr und Freitag: 7:30 - 13:30 Uhr; UID: ATU 36801500
Bankverbindung: Bank Austria, Konto 51428007186, BLZ. 12000; IBAN: AT631200051428007186; BIC: BKAUATWW, DVR: 0000191

MA 39 - VFA 2015-1561.01	Prüf-, Überwachungs- und Zertifizierungsstelle der Stadt Wien Magistratsabteilung 39 VFA – Labors für Bautechnik	Seite 2 / 13
-----------------------------	---	-----------------

1 Allgemeines

1.1 Auftrag

Der Auftraggeber, die TSB Transdanubia Nikolai Ges.m.b.H., beauftragte die MA 39 mit der messtechnischen Ermittlung der Leuchtdichte des Bildschirms „EIZO FlaxScan EV 2736W“ bei verschiedenen Bildschirmstellungen und den Kontrast von Kontrasttestbilder bei Verwendung von unterschiedlichen Grafikformaten.

1.2 Prüfgut

- Flachbildschirm EIZO FlaxScan EV 2736W, Bildschirmdiagonale 27“

Kontrasttestbilder: Grafikformate JPG und PDF

Bildschirmstellungen: Kontrast 50%, Helligkeit 100%, Farbtemperatur AUS, Gamma 2,2

Bildschirmstellungen Testbild „Weiß“: verschieden

2 Messdurchführung

2.1 Messung Leuchtdichte

Die Leuchtdichtemessung erfolgte mittig direkt vor dem Flachbildschirm in einer Entfernung von 1,75m in den Laborräumlichkeiten der MA 39. Die Umgebungstemperatur lag während der Messung im Bereich $22^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$

Der Kontrast aus den ermittelten Leuchtdichte-Werten ergibt sich nach folgender Formel:

$$K = \frac{L_0 - L_h}{L_0 + L_h}$$

Dabei bedeuten:

K ... Kontrast nach Michelson

L_0 ... Leuchtdichte-Wert des Objektes

L_h ... Leuchtdichte-Wert der angrenzenden Oberfläche

2.2 Verwendete Messgeräte

Leuchtdichtemessgeräte:

- Minolta LS 100
- Minolta LS 110
- Technoteam Leuchtdichtemesskamera LMK Mobile Advanced

MA 39 - VFA 2015-1561.01	Prüf-, Überwachungs- und Zertifizierungsstelle der Stadt Wien Magistratsabteilung 39 VFA – Labors für Bautechnik	Seite 3 / 13
-----------------------------	---	-----------------

3 Messergebnisse

Aus den Messungen ergeben sich die nachfolgenden Kennwerte.

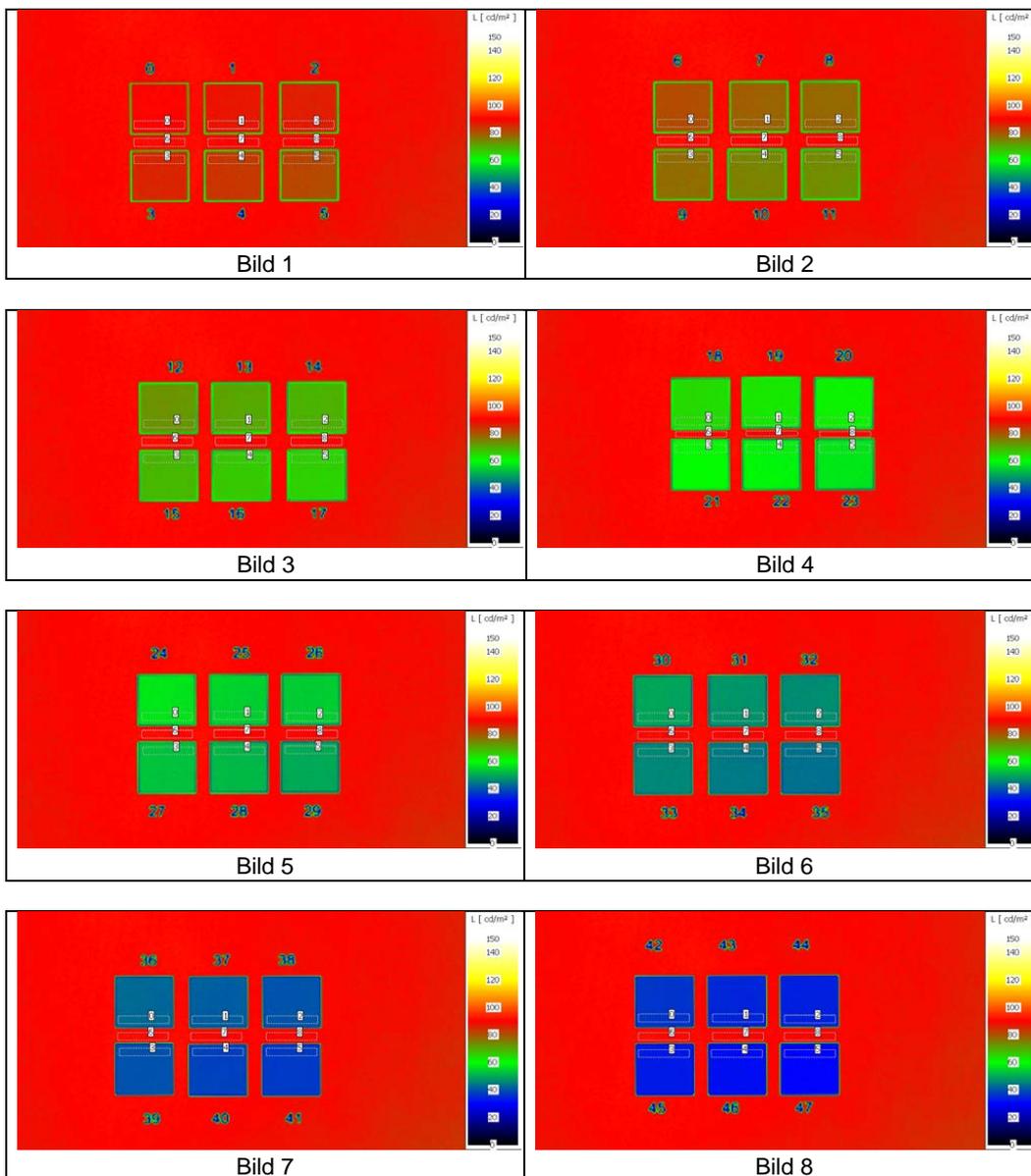
3.1 Messung Kontrasttestbilder

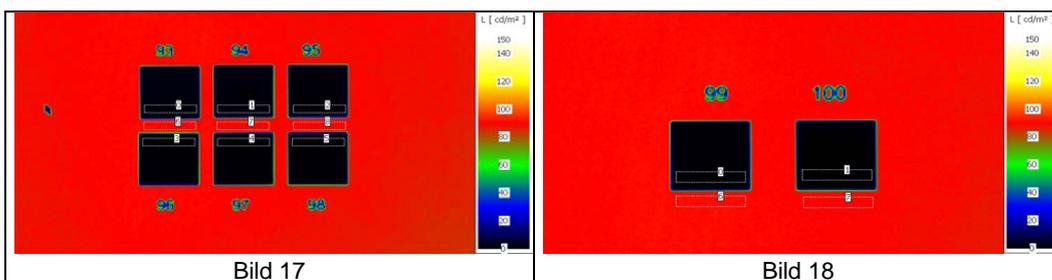
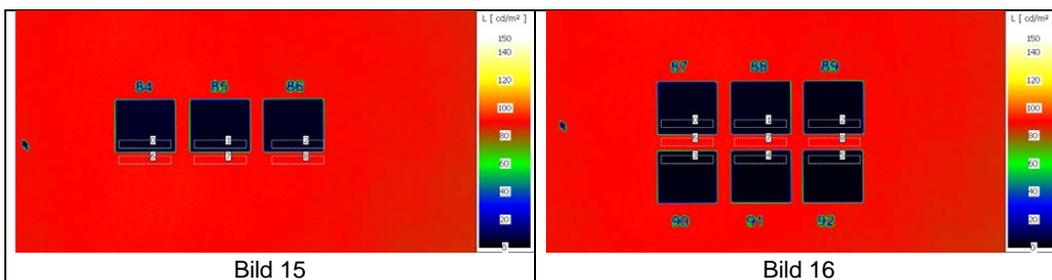
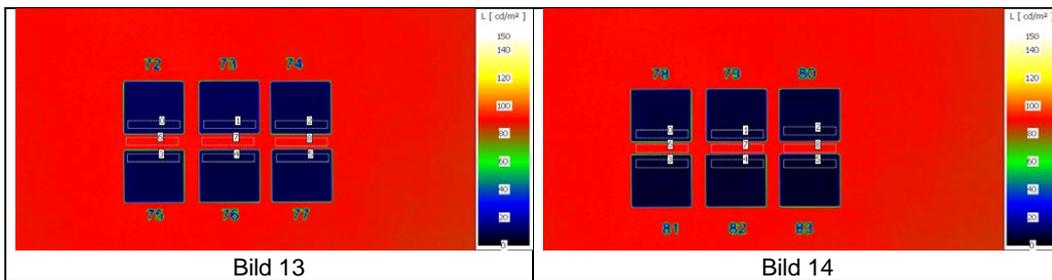
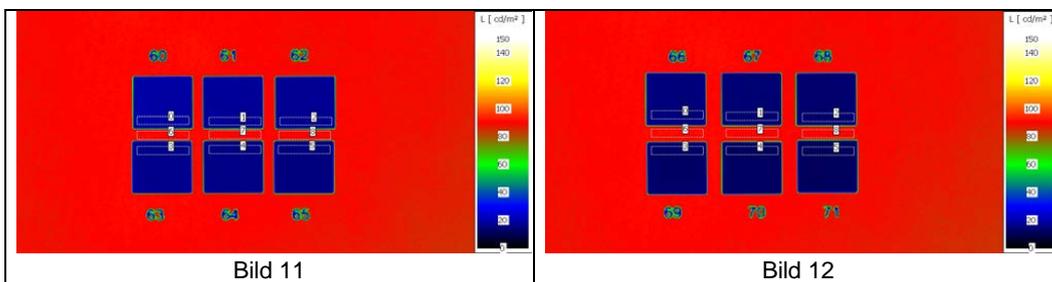
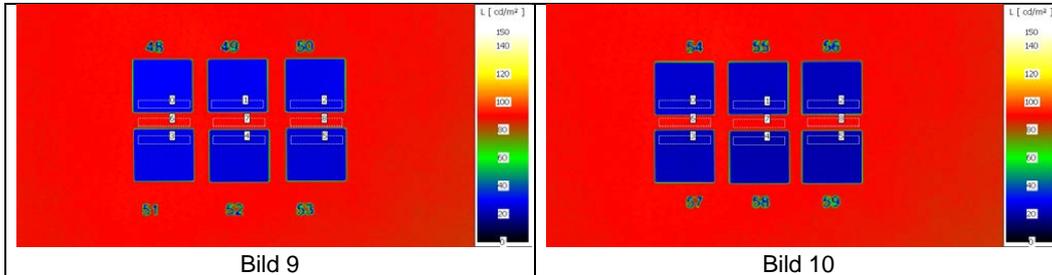
3.1.1 Tabelle Kontrasttestbilder „JPG-Messwerte“

Korridor Nr.	Korridor Leuchtlichte [cd/m ²]	Bildschirm Leuchtlichte [cd/m ²]	Kontrast nach Michelson	Korridor Nr.	Korridor Leuchtlichte [cd/m ²]	Bildschirm Leuchtlichte [cd/m ²]	Kontrast nach Michelson	Korridor Nr.	Korridor Leuchtlichte [cd/m ²]	Bildschirm Leuchtlichte [cd/m ²]	Kontrast nach Michelson
0	90,8	91,9	0,006	34	44,8	90,7	0,339	68	13,8	90,1	0,734
1	88,1	91,0	0,016	35	44,1	90,5	0,345	69	13,1	91,4	0,749
2	87,4	90,7	0,019	36	43,1	91,6	0,360	70	12,0	90,5	0,765
3	86,3	91,9	0,032	37	41,7	90,7	0,370	71	11,7	90,1	0,770
4	84,0	91,0	0,040	38	40,6	90,4	0,380	72	11,1	91,4	0,783
5	82,2	90,7	0,050	39	40,3	91,6	0,389	73	10,4	90,5	0,793
6	81,5	91,8	0,059	40	38,2	90,7	0,408	74	9,9	90,2	0,802
7	79,1	90,9	0,070	41	37,6	90,4	0,413	75	9,5	91,4	0,811
8	78,7	90,7	0,071	42	36,8	91,5	0,426	76	8,7	90,5	0,825
9	77,7	91,8	0,083	43	34,9	90,5	0,443	77	9,4	90,2	0,811
10	74,8	90,9	0,097	44	34,5	90,3	0,447	78	8,0	91,1	0,839
11	74,0	90,7	0,102	45	33,6	91,5	0,463	79	7,2	90,1	0,852
12	73,1	91,8	0,113	46	32,1	90,5	0,477	80	6,7	89,9	0,861
13	71,0	90,8	0,123	47	31,2	90,3	0,487	81	6,3	91,1	0,870
14	69,9	90,6	0,129	48	30,6	91,4	0,498	82	5,8	90,1	0,879
15	69,0	91,8	0,141	49	29,2	90,6	0,512	83	5,4	89,9	0,886
16	66,8	90,8	0,152	50	28,4	90,0	0,521	84	5,2	91,5	0,892
17	66,1	90,6	0,157	51	27,7	91,4	0,535	85	4,6	90,7	0,902
18	64,9	91,3	0,169	52	26,0	90,6	0,554	86	5,2	90,4	0,890
19	63,3	90,5	0,177	53	25,7	90,0	0,556	87	4,0	91,2	0,916
20	62,3	90,2	0,183	54	24,9	91,5	0,572	88	3,6	90,4	0,924
21	61,0	91,3	0,199	55	23,7	90,5	0,585	89	3,3	90,1	0,930
22	59,3	90,5	0,208	56	22,9	90,3	0,596	90	3,0	91,2	0,936
23	57,8	90,2	0,219	57	22,3	91,5	0,608	91	2,7	90,4	0,941
24	57,7	91,6	0,228	58	21,1	90,5	0,622	92	2,4	90,1	0,947
25	55,3	90,8	0,243	59	20,7	90,3	0,627	93	2,3	91,1	0,951
26	54,9	90,6	0,245	60	19,9	91,1	0,641	94	2,0	90,3	0,956
27	53,5	91,6	0,262	61	18,6	90,1	0,658	95	1,9	90,2	0,958
28	52,1	90,8	0,271	62	18,2	90,1	0,664	96	1,7	91,1	0,964
29	50,7	90,6	0,282	63	17,3	91,1	0,681	97	1,5	90,3	0,968
30	50,1	91,5	0,293	64	16,3	90,1	0,693	98	1,4	90,2	0,970
31	48,1	90,7	0,307	65	15,6	90,1	0,704	99	1,3	91,7	0,972
32	47,4	90,5	0,313	66	15,3	91,4	0,713	100	1,2	90,6	0,975
33	46,6	91,5	0,325	67	14,2	90,5	0,729				

MA 39 - VFA 2015-1561.01	Prüf-, Überwachungs- und Zertifizierungsstelle der Stadt Wien Magistratsabteilung 39 VFA – Labors für Bautechnik	Seite 4 / 13
-----------------------------	--	-----------------

3.1.2 Grafik Kontrasttestbilder „JPG-Bilder“



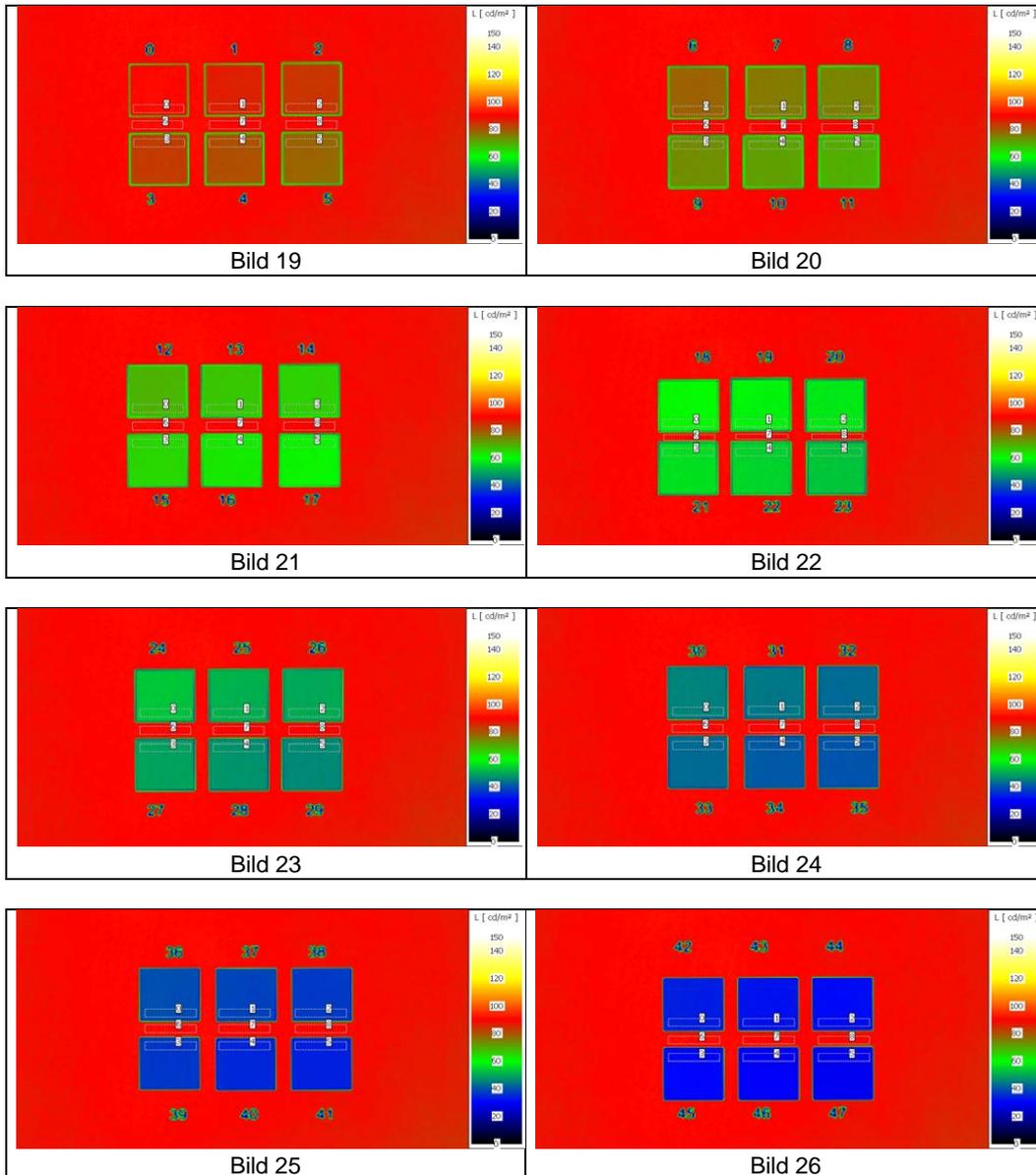


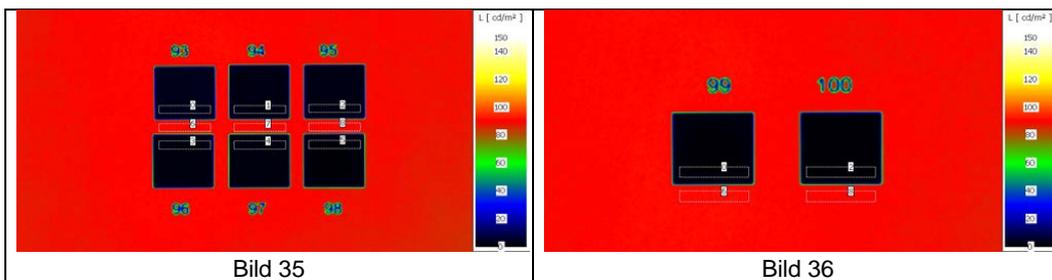
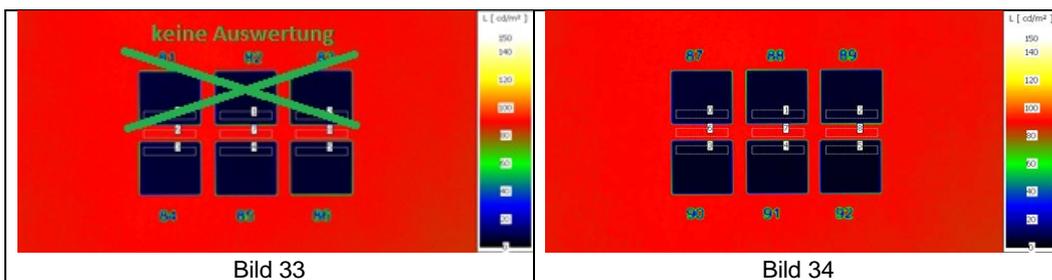
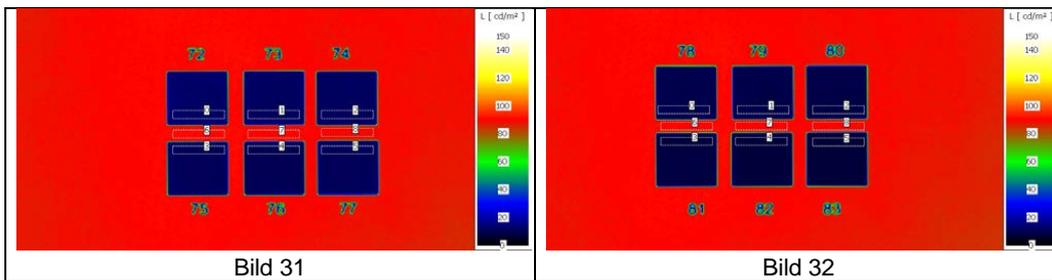
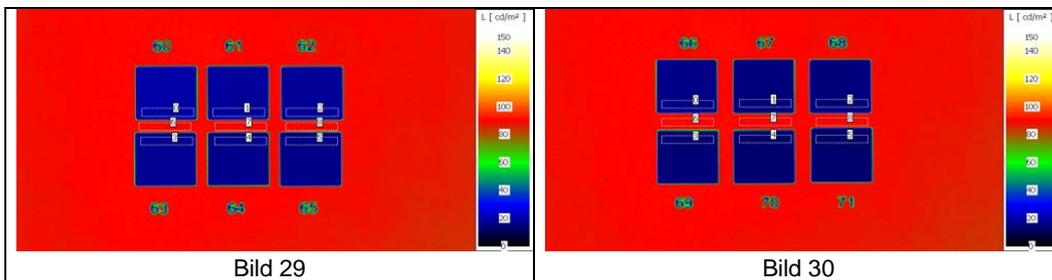
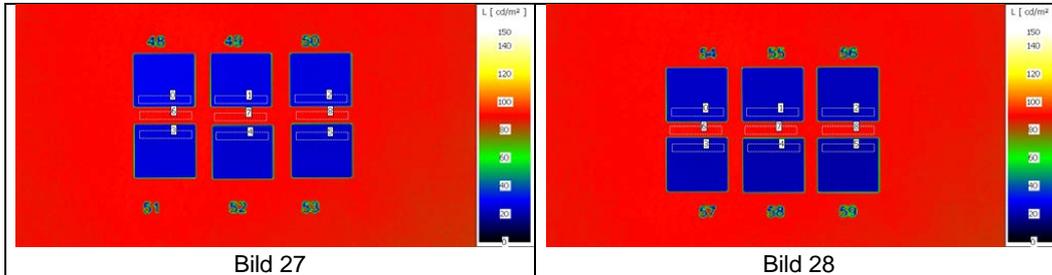
MA 39 - VFA 2015-1561.01	Prüf-, Überwachungs- und Zertifizierungsstelle der Stadt Wien Magistratsabteilung 39 VFA – Labors für Bautechnik	Seite 6 / 13
-----------------------------	---	-----------------

3.1.3 Tabelle Kontrasttestbilder „PDF-Messwerte“

Korridor Nr.	Korridor Leuchtdichte [cd/m ²]	Bildschirm Leuchtdichte [cd/m ²]	Kontrast nach Michelson	Korridor Nr.	Korridor Leuchtdichte [cd/m ²]	Bildschirm Leuchtdichte [cd/m ²]	Kontrast nach Michelson	Korridor Nr.	Korridor Leuchtdichte [cd/m ²]	Bildschirm Leuchtdichte [cd/m ²]	Kontrast nach Michelson
0	91,7	91,7	0,000	34	41,0	90,4	0,376	68	15,3	90,0	0,709
1	86,9	90,8	0,022	35	40,6	90,2	0,379	69	14,6	91,3	0,724
2	84,7	90,5	0,033	36	39,7	91,3	0,394	70	13,7	90,3	0,736
3	83,6	91,7	0,046	37	38,4	90,5	0,404	71	13,3	90,0	0,742
4	81,1	90,8	0,056	38	37,5	90,2	0,413	72	13,0	91,3	0,751
5	78,8	90,5	0,069	39	37,1	91,3	0,423	73	12,2	90,3	0,761
6	79,1	91,5	0,073	40	35,2	90,5	0,440	74	11,8	90,0	0,768
7	75,9	90,8	0,090	41	34,6	90,2	0,446	75	11,5	91,3	0,776
8	75,3	90,4	0,092	42	34,0	91,4	0,457	76	10,6	90,3	0,790
9	73,9	91,5	0,106	43	32,5	90,4	0,471	77	11,4	90,0	0,775
10	71,5	90,8	0,119	44	31,9	90,0	0,477	78	10,0	91,0	0,803
11	70,1	90,4	0,127	45	31,2	91,4	0,491	79	9,5	90,1	0,810
12	69,4	91,5	0,137	46	29,7	90,4	0,505	80	9,0	89,8	0,818
13	67,2	90,7	0,149	47	29,2	90,0	0,511	81	8,4	91,0	0,830
14	66,2	90,2	0,154	48	28,8	91,3	0,521	82	7,8	90,1	0,840
15	65,3	91,5	0,167	49	27,5	90,4	0,534	83	7,4	89,8	0,848
16	63,0	90,7	0,180	50	26,9	90,0	0,540	84	7,1	91,2	0,855
17	61,9	90,2	0,186	51	26,2	91,3	0,554	85	6,4	90,4	0,868
18	61,2	91,1	0,196	52	24,9	90,4	0,568	86	6,2	90,1	0,871
19	59,3	90,3	0,207	53	24,7	90,0	0,569	87	5,8	91,2	0,880
20	58,3	89,9	0,213	54	24,0	91,3	0,584	88	5,5	90,3	0,885
21	57,0	91,1	0,231	55	23,2	90,4	0,592	89	5,1	90,0	0,892
22	55,4	90,3	0,240	56	22,7	90,1	0,598	90	4,8	91,2	0,901
23	53,8	89,9	0,251	57	22,1	91,3	0,610	91	4,3	90,3	0,910
24	53,8	91,4	0,259	58	21,0	90,4	0,623	92	3,8	90,0	0,918
25	51,3	90,6	0,277	59	20,5	90,1	0,629	93	3,6	91,0	0,923
26	50,7	90,3	0,281	60	20,1	91,0	0,638	94	3,1	90,1	0,933
27	49,8	91,4	0,295	61	19,1	90,1	0,651	95	2,9	90,0	0,938
28	47,9	90,6	0,309	62	18,6	89,9	0,657	96	2,5	91,0	0,946
29	47,0	90,3	0,316	63	18,1	91,0	0,668	97	2,2	90,1	0,952
30	46,1	91,5	0,330	64	17,2	90,1	0,680	98	2,0	90,0	0,957
31	44,7	90,4	0,339	65	16,7	89,9	0,686	99	2,0	91,6	0,958
32	43,5	90,2	0,350	66	16,6	91,3	0,692	100	1,7	90,5	0,963
33	43,2	91,5	0,358	67	15,4	90,3	0,708				

3.1.4 Grafik Kontrasttestbilder „PDF-Bilder“



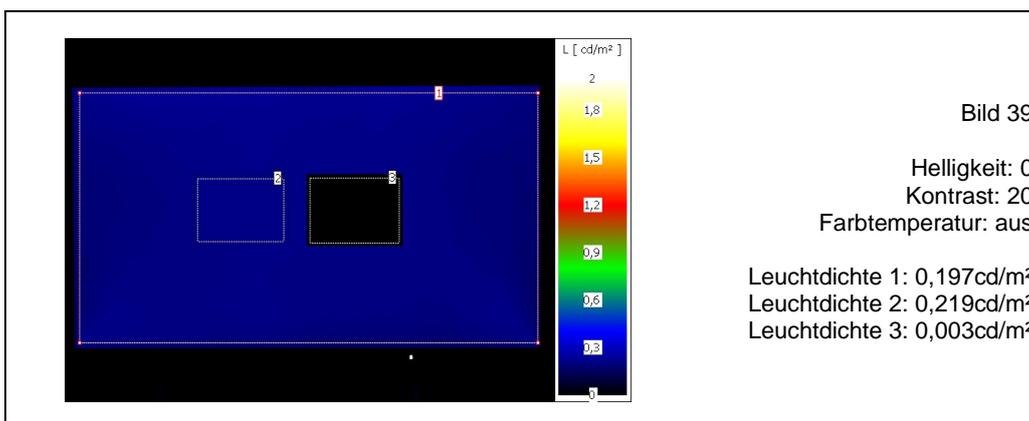
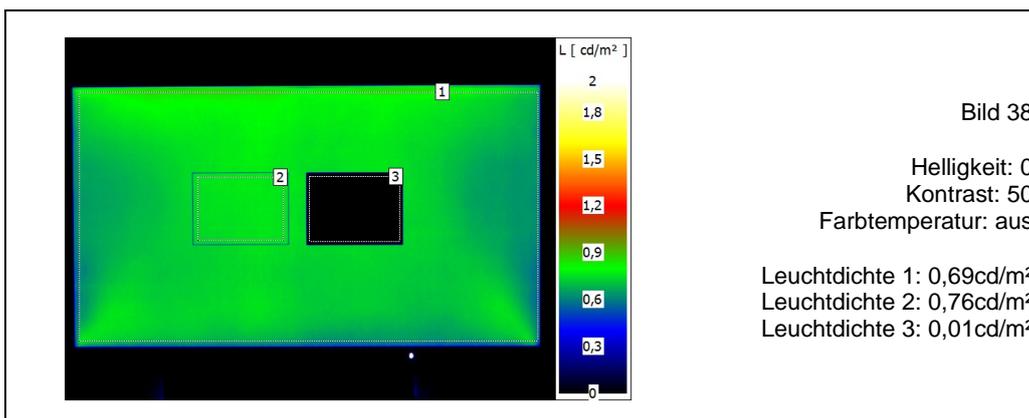
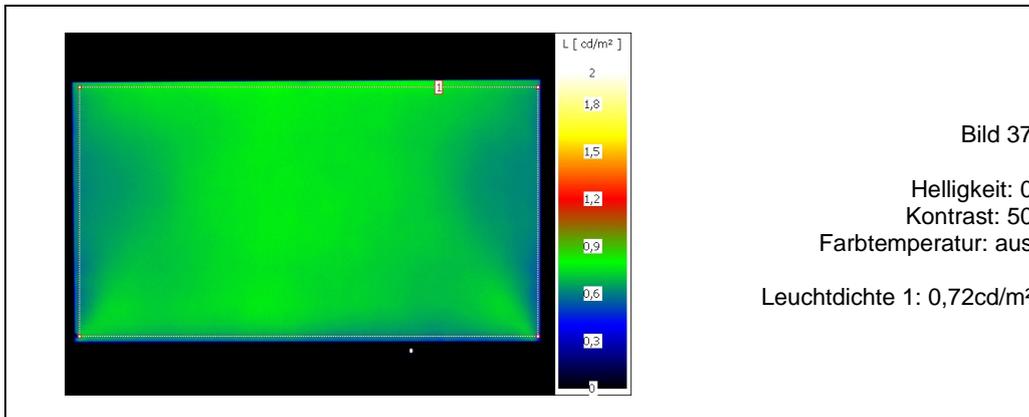


MA 39 - VFA
2015-1561.01

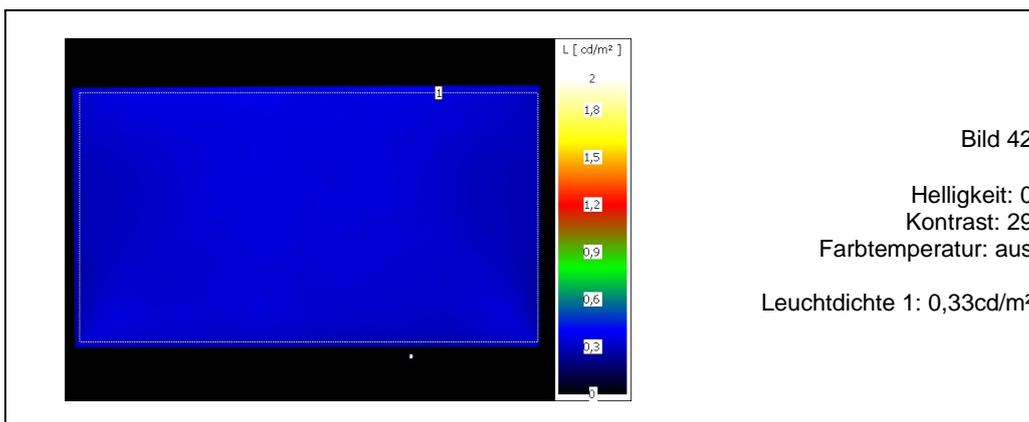
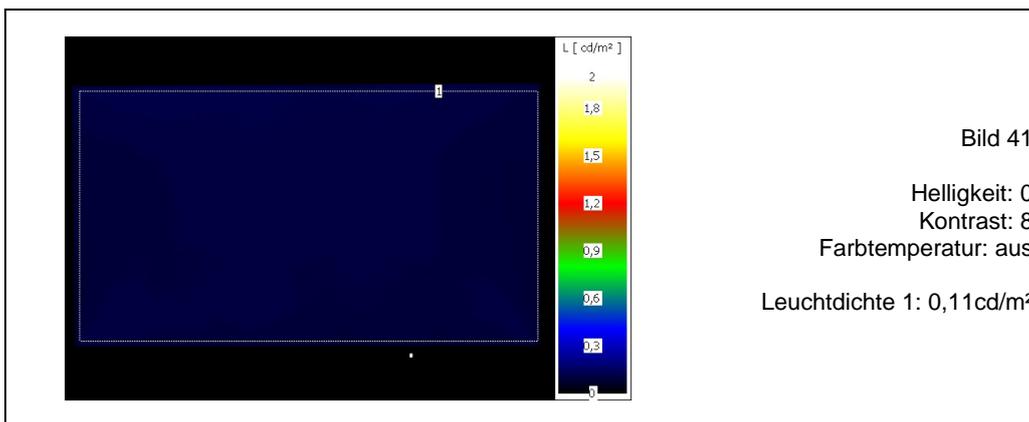
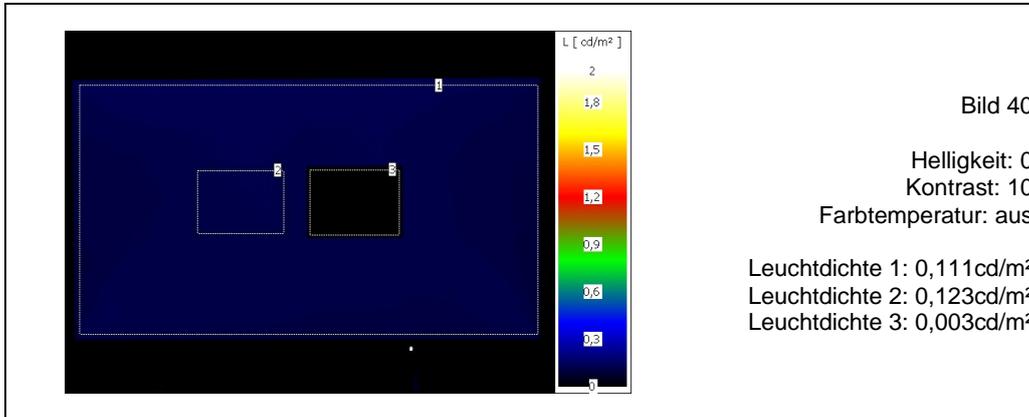
Prüf-, Überwachungs- und Zertifizierungsstelle
der Stadt Wien
Magistratsabteilung 39
VFA – Labors für Bautechnik

Seite
9 / 13

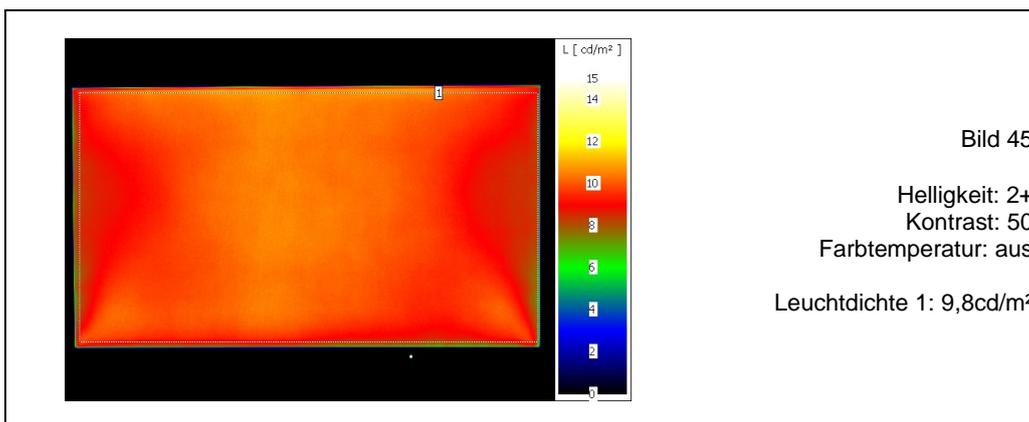
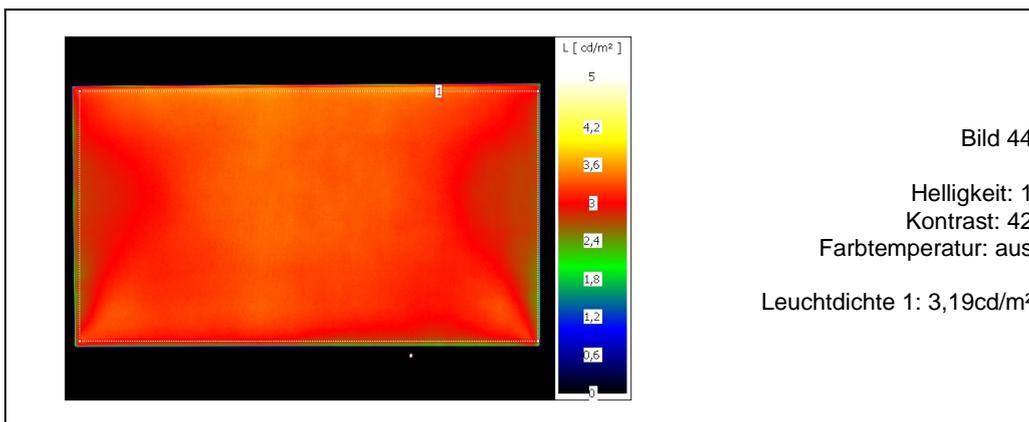
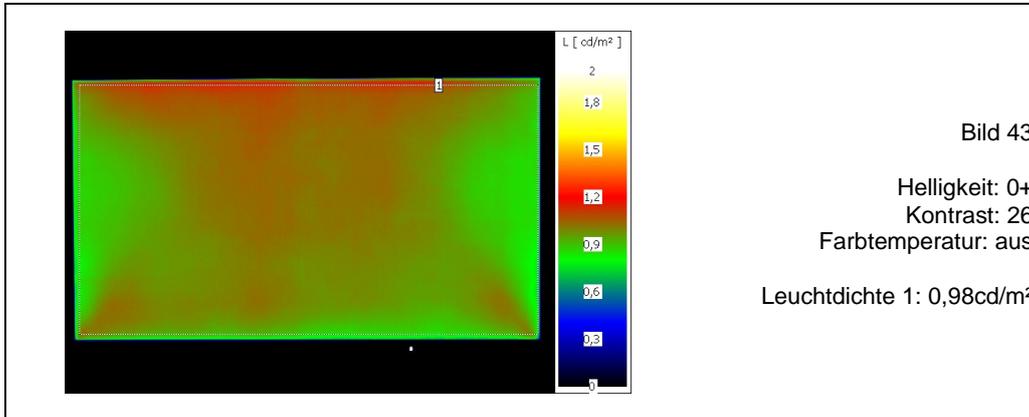
3.2 Messung Testbild „Weiß“



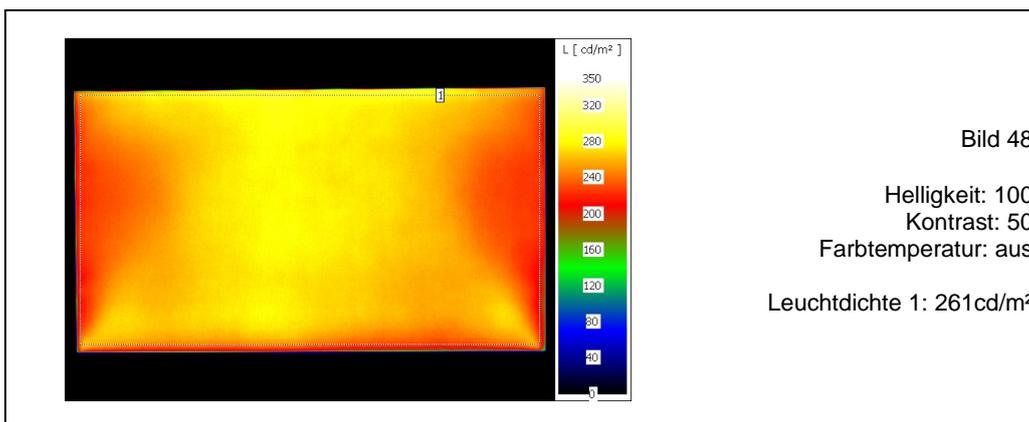
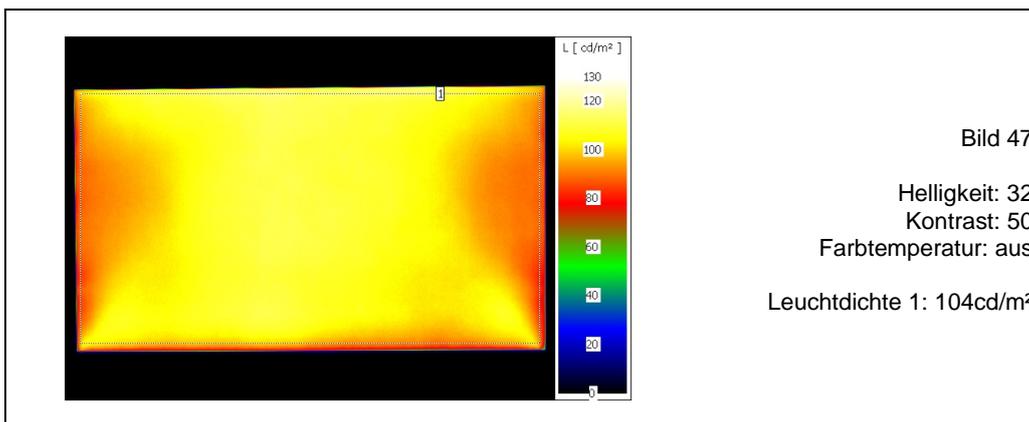
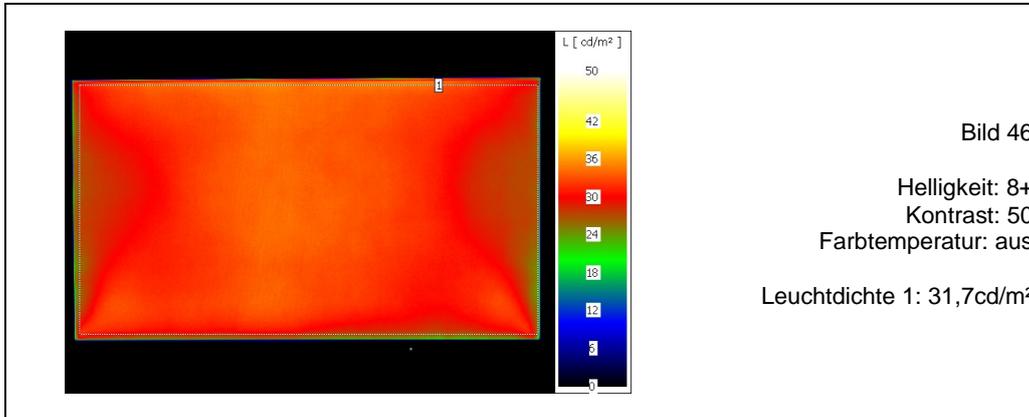
<p>MA 39 - VFA 2015-1561.01</p>	<p>Prüf-, Überwachungs- und Zertifizierungsstelle der Stadt Wien Magistratsabteilung 39 VFA – Labors für Bautechnik</p>	<p>Seite 10 / 13</p>
-------------------------------------	--	--------------------------



<p>MA 39 - VFA 2015-1561.01</p>	<p>Prüf-, Überwachungs- und Zertifizierungsstelle der Stadt Wien Magistratsabteilung 39 VFA – Labors für Bautechnik</p>	<p>Seite 11 / 13</p>
-------------------------------------	--	--------------------------



<p>MA 39 - VFA 2015-1561.01</p>	<p>Prüf-, Überwachungs- und Zertifizierungsstelle der Stadt Wien Magistratsabteilung 39 VFA – Labors für Bautechnik</p>	<p>Seite 12 / 13</p>
-------------------------------------	--	--------------------------



MA 39 - VFA 2015-1561.01	Prüf-, Überwachungs- und Zertifizierungsstelle der Stadt Wien Magistratsabteilung 39 VFA – Labors für Bautechnik	Seite 13 / 13
-----------------------------	---	------------------

Wir hoffen Ihnen damit gedient zu haben und verbleiben

mit freundlichen Grüßen

Sachbearbeiter:

Der Laboratoriumsleiter:

Der Leiter der Prüf-, Überwachungs-
und Zertifizierungsstelle:

Dipl.-Ing.(FH)H.Pribitzer

Dipl.-Ing.Dr.techn.R.Hornischer
Oberstadtbaurat

Dipl.-Ing.G.Pommer
Senatsrat

Anhang B

**Lichttechnische Prüfbericht für die Kalibrierung der
Lichtbox-Adaptationsleuchtdichte und UGR-Blendwerte
der MA 39**



TSB Transdanubia Nikolai Ges.m.b.H.
Floridsdorfer Hauptstraße 28
A-1210 Wien
vorab per Email: Nico@tsb.co.at

Magistrat der Stadt Wien
MAGISTRATSABTEILUNG 39
Prüf-, Überwachungs- und
Zertifizierungsstelle der Stadt Wien
VFA – Labors für Bautechnik
Standort: Rinnböckstraße 15
A-1110 WIEN
Tel.: (+43 1) 79514-8039
Fax: (+43 1) 79514-99-8039
E-Mail: post@ma39.wien.gv.at
Homepage: www.ma39.wien.at

MA 39 – VFA 2015-1561.02

Wien, 08. Februar 2017

L a b o r b e r i c h t

über die

Evaluierung der Leuchtdichte und des UGR-Wertes in einer „Lichtbox“ mit unterschiedlichen Helligkeiten

Auftraggeber: TSB Transdanubia Nikolai Ges.m.b.H.
Auftragsdatum: 09. April 2014
Prüfdatum: 10. Juni 2014
Prüfgut: „Lichtbox“
Prüfprogramm: Bestimmung der Leuchtdichte und des UGR-Wertes bei
verschiedenen Helligkeitseinstellungen

PRH

Der Bericht umfasst 8 Seiten.

Prüfungen beziehen sich ausschließlich auf die Prüfgegenstände. Alle Seiten des Berichtes sind mit dem Amtssiegel der Stadt Wien versehen. Veröffentlichung und Auszüge bedürfen der schriftlichen Bewilligung der MA 39. Bitte beachten Sie die derzeit gültigen Allgemeinen Geschäftsbedingungen der MA 39 im Internet unter <http://www.ma39.wien.at>.

Zertifiziert gemäß den Forderungen der ÖNORM EN ISO 9001:2008 und der ÖNORM EN ISO 14001:2004 durch die Quality Austria.

Öffnungszeiten: Montag bis Donnerstag: 7:30 - 15:30 Uhr und Freitag: 7:30 - 13:30 Uhr; UID: ATU 36801500
Bankverbindung: Bank Austria, Konto 51428007186, BLZ. 12000; IBAN: AT631200051428007186; BIC: BKAUATWW, DVR: 0000191

MA 39 - VFA 2015-1561.02	Prüf-, Überwachungs- und Zertifizierungsstelle der Stadt Wien Magistratsabteilung 39 VFA – Labors für Bautechnik	Seite 2 / 8
-----------------------------	---	----------------

1 Allgemeines

1.1 Auftrag

Der Auftraggeber, die TSB Transdanubia Nikolai Ges.m.b.H., beauftragte die MA 39 mit der messtechnischen Ermittlung der Leuchtdichte und des UGR-Wertes bei unterschiedlichen Helligkeitseinstellungen.

1.2 Prüfgut

- „Lichtbox“ mit LED Beleuchtung und Helligkeitseinstellungen

2 Messdurchführung

2.1 Messung Leuchtdichte

Die Leuchtdichte- und die UGR-Messung erfolgte mittig direkt vor der Lichtbox in einer Entfernung von 1,23m und in einer Höhe von 1,3m in den Räumlichkeiten der Firma TSB Transdanubia Nikolai Ges.m.b.H.. Die Umgebungstemperatur lag während der Messung im Bereich $21^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$

Die UGR Auswertung erfolgte nach Guth und folgender Berechnung:

$$UGR = 8 \times \log\left(\frac{0,25}{L_u} \times \sum_i \frac{L_i^2 \times W_i}{P_i^2}\right)$$

2.2 Verwendete Messgeräte

Leuchtdichtemessgeräte:

- Minolta LS 100
- Minolta LS 110
- Technoteam Leuchtdichtemesskamera LMK Mobile Advanced

MA 39 - VFA
2015-1561.02

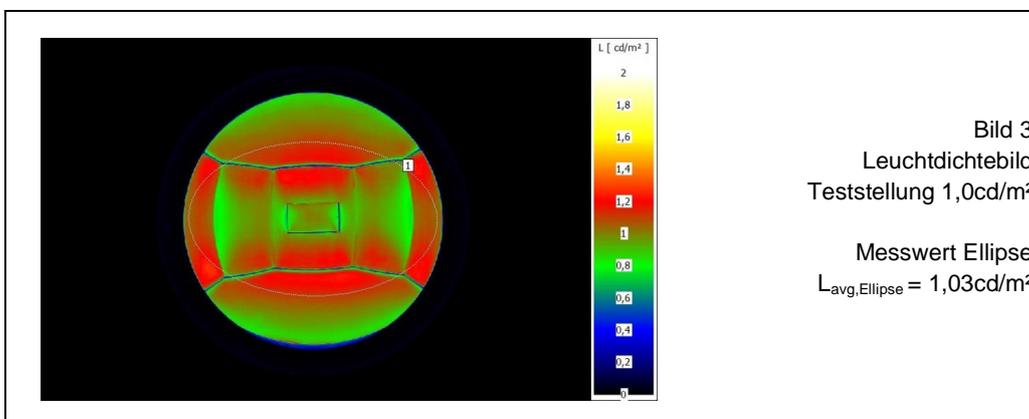
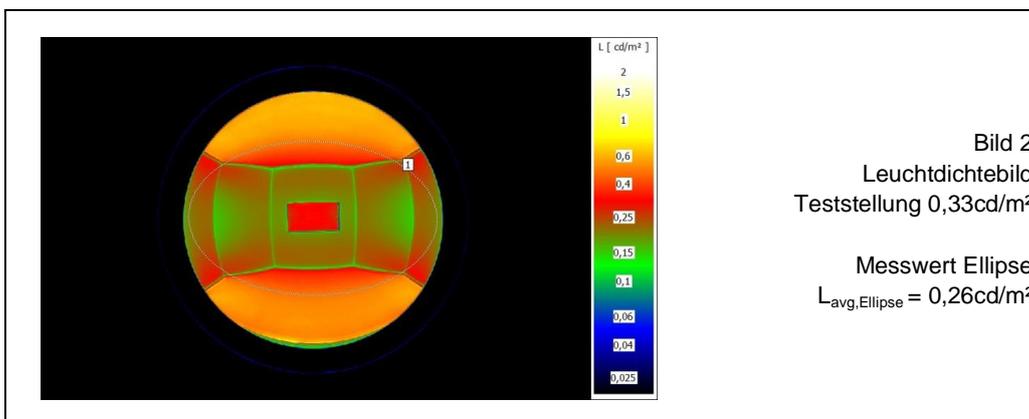
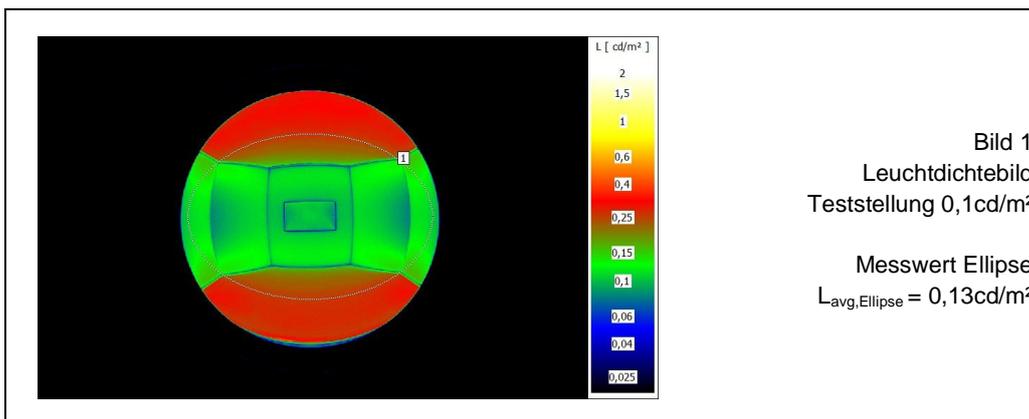
Prüf-, Überwachungs- und Zertifizierungsstelle
der Stadt Wien
Magistratsabteilung 39
VFA – Labors für Bautechnik

Seite
3 / 8

3 Messergebnisse

Aus den Messungen ergeben sich die nachfolgenden Kennwerte.

3.1 Messung Leuchtdichte



MA 39 - VFA
2015-1561.02

**Prüf-, Überwachungs- und Zertifizierungsstelle
der Stadt Wien**
Magistratsabteilung 39
VFA – Labors für Bautechnik

Seite
4 / 8

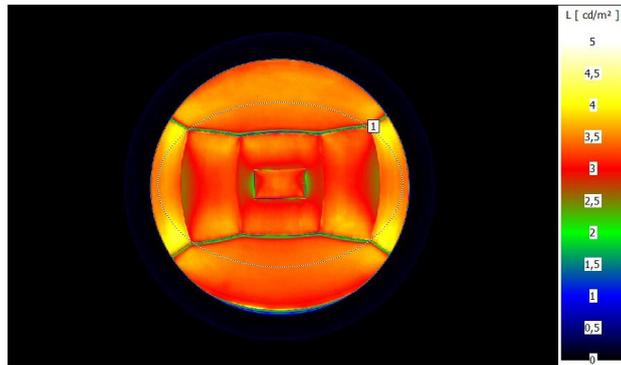


Bild 4
Leuchtdichtebild
Teststellung 3,2cd/m²

Messwert Ellipse
 $L_{avg, Ellipse} = 3,2 \text{cd/m}^2$

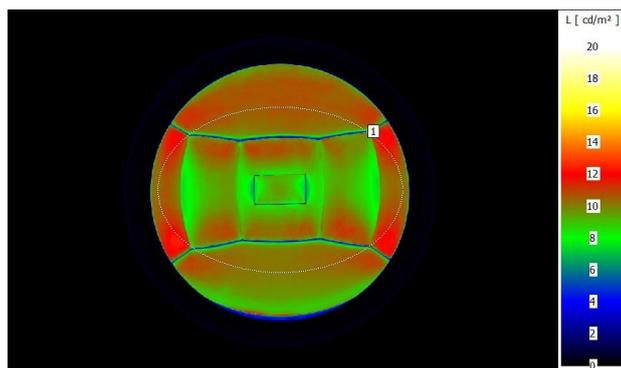


Bild 5
Leuchtdichtebild
Teststellung 10cd/m²

Messwert Ellipse
 $L_{avg, Ellipse} = 9,6 \text{cd/m}^2$

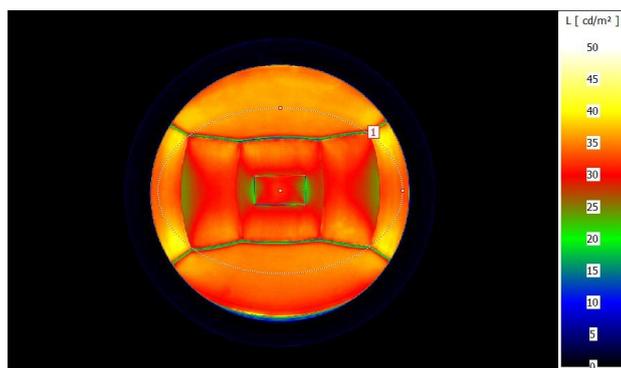
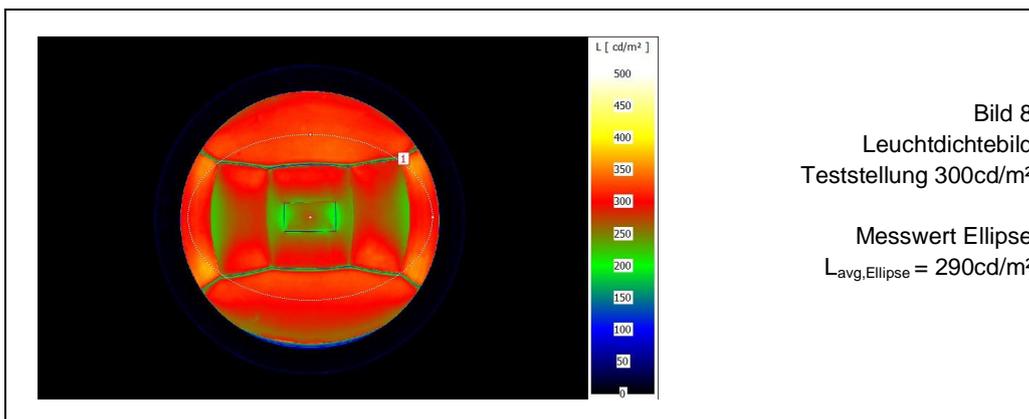
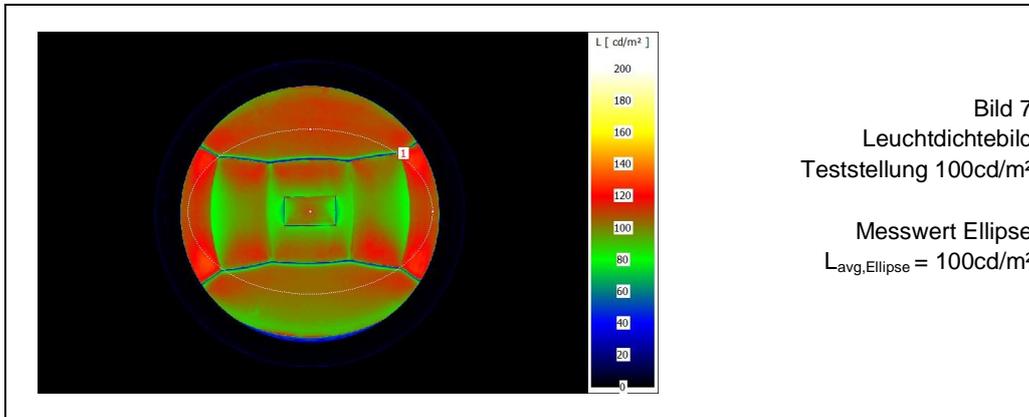


Bild 6
Leuchtdichtebild
Teststellung 32cd/m²

Messwert Ellipse
 $L_{avg, Ellipse} = 31,8 \text{cd/m}^2$

<p>MA 39 - VFA 2015-1561.02</p>	<p>Prüf-, Überwachungs- und Zertifizierungsstelle der Stadt Wien Magistratsabteilung 39 VFA – Labors für Bautechnik</p>	<p>Seite 5 / 8</p>
-------------------------------------	--	------------------------



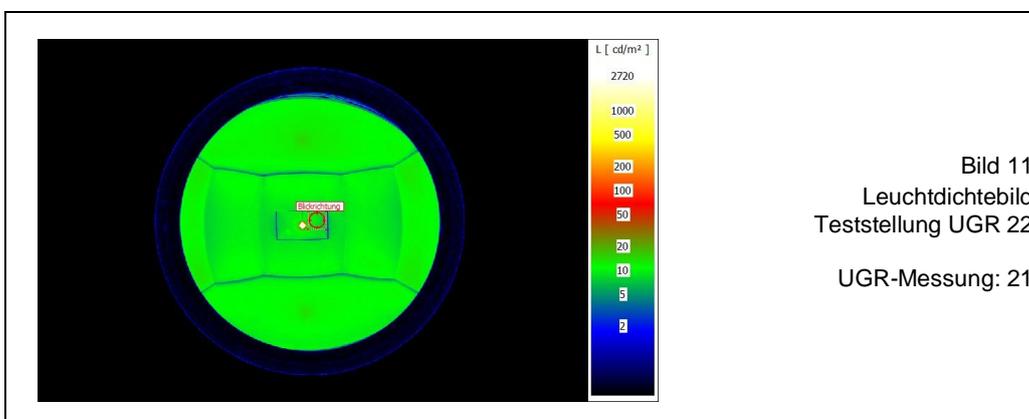
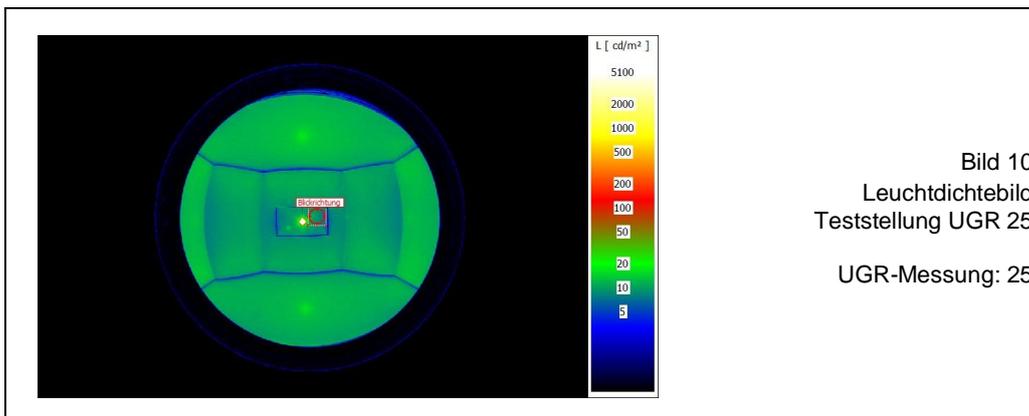
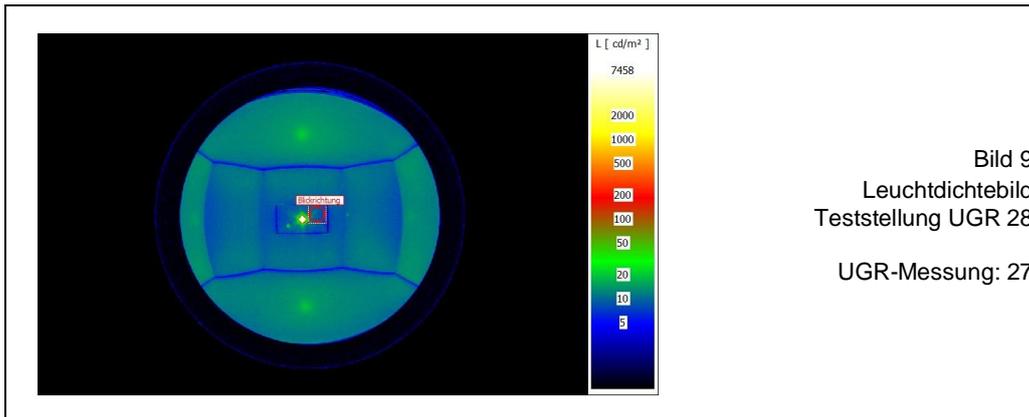
MA 39 - VFA
2015-1561.02

Prüf-, Überwachungs- und Zertifizierungsstelle
der Stadt Wien
Magistratsabteilung 39
VFA – Labors für Bautechnik

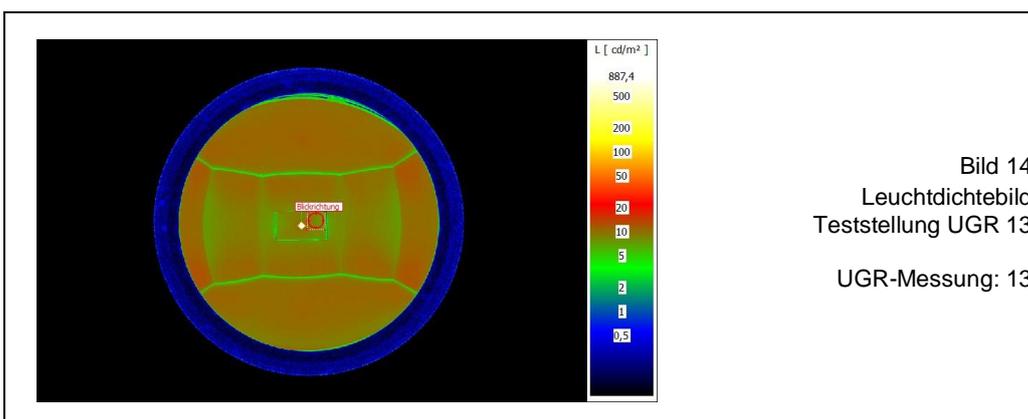
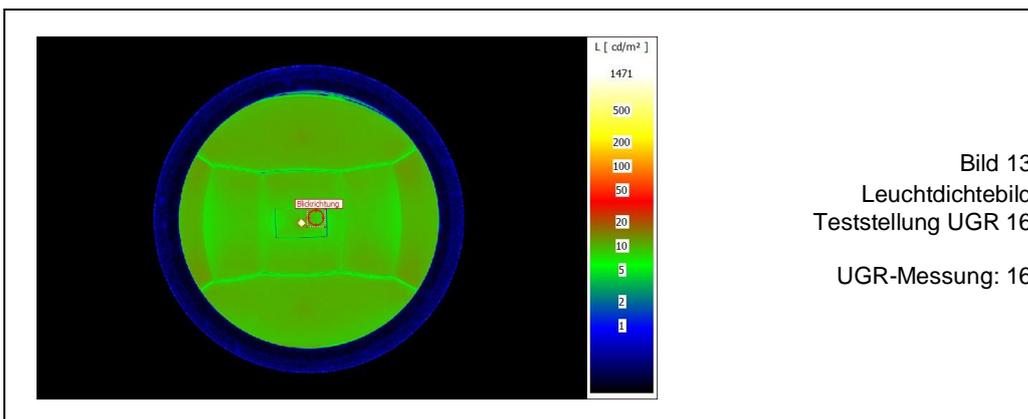
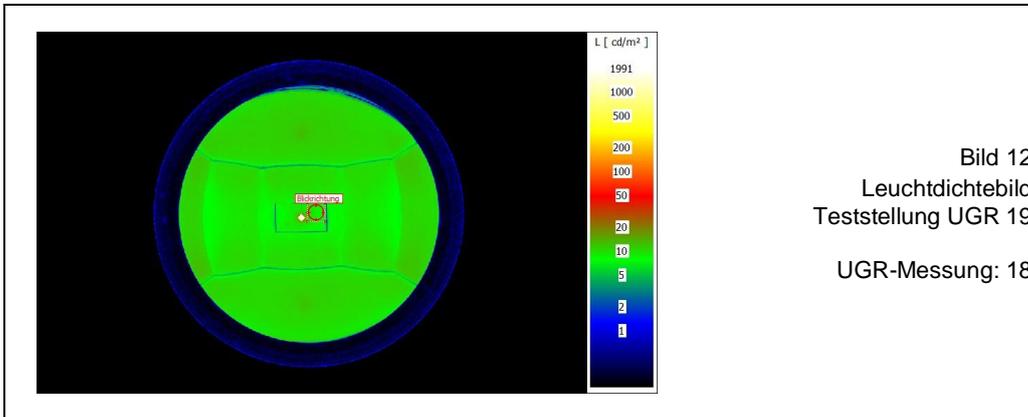
Seite
6 / 8

3.2 Bestimmung UGR-Wert

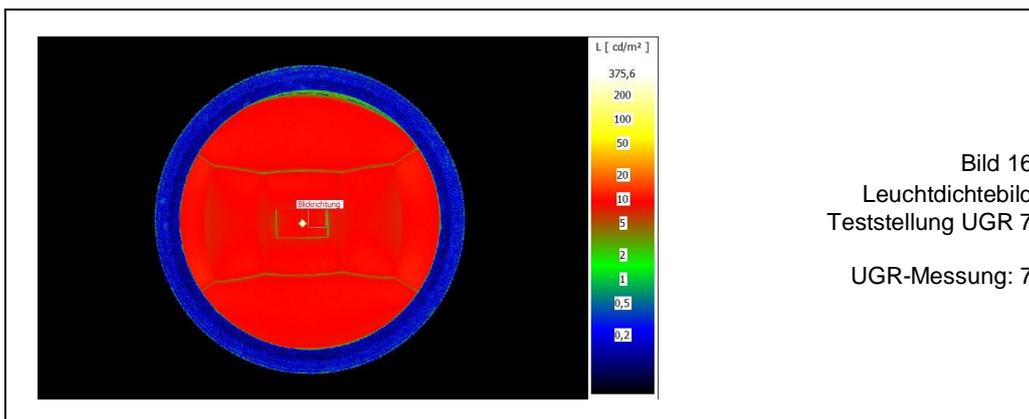
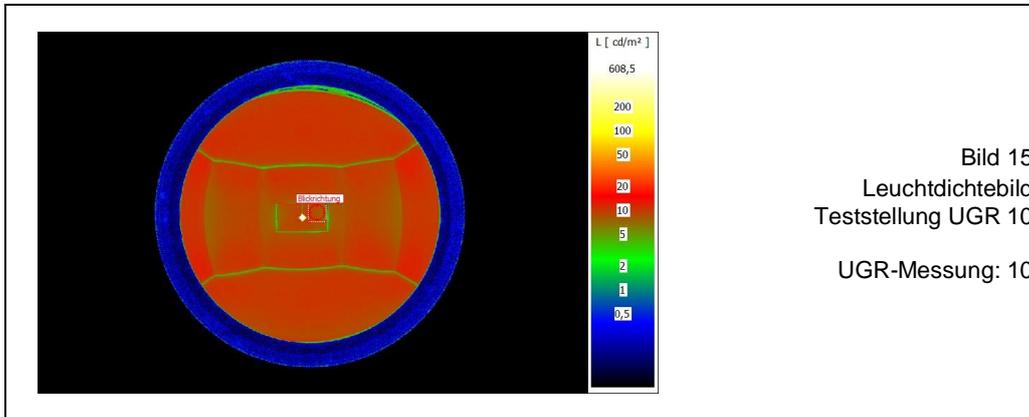
Die Umfeldleuchtdichte beträgt während der Messung konstant $L_U = 9,7\text{cd/m}^2$ und der Positionsindex 1,05.



MA 39 - VFA 2015-1561.02	Prüf-, Überwachungs- und Zertifizierungsstelle der Stadt Wien Magistratsabteilung 39 VFA – Labors für Bautechnik	Seite 7 / 8
-----------------------------	--	----------------



MA 39 - VFA 2015-1561.02	Prüf-, Überwachungs- und Zertifizierungsstelle der Stadt Wien Magistratsabteilung 39 VFA – Labors für Bautechnik	Seite 8 / 8
-----------------------------	--	----------------



Wir hoffen Ihnen damit gedient zu haben und verbleiben

mit freundlichen Grüßen

Sachbearbeiter:

Der Laboratoriumsleiter:

Der Leiter der Prüf-, Überwachungs-
und Zertifizierungsstelle:

Dipl.-Ing.(FH)H.Pribitzer

Dipl.-Ing.Dr.techn.R.Hornischer
Oberstadtbaurat

Dipl.-Ing.G.Pommer
Senatsrat

Anhang C

Verwendete lichttechnische Messtechnik

- Leuchtdichtemesskamera „LMK mobile Advanced“ der Fa. TechnoTeam (Abb. 101)
- Leuchtdichtemessgerät (Spotmeter) LS-110 der Fa. Minolta (Abb. 102)
- Photospektrometer Spectis 1.0 Touch der Fa. GL Optic (Abb. 103)



Abbildung 101: Mobile Leuchtdichtekamera „LMK mobile Advanced“ der Fa. Techno-Team



Abbildung 102: Leuchtdichtemessgerät Minolta LS-110
Herstellerfoto



Abbildung 103: Photospektrometer GL Spectis 1.0 Touch
Herstellerfoto

Anhang D - Use Cases

Use Case 1 - Pflegestation eines Seniorenwohnhauses mit sehbehinderten Klienten - Einzelzimmer

Ausgangslage: Die Pflegestation eines Wohnhauses einer Sehbehinderten- und Blindenorganisation sollte modern und barrierefrei umgebaut werden. Da die Bewohner fast ausschließlich hochgradig sehbehindert oder blind sind, sollte auf die Beleuchtung besonderen Wert gelegt werden. Im vorliegenden Fall sollte ein Einzelzimmer lichttechnisch sehbehindertengerecht geplant werden. Die Bestandszimmer wurden lichttechnisch im Vorfeld vermessen (Tab. 37)

Tabelle 37: Ist- und Sollwerte lichttechnischer Größen - Use Case 1

Lichttechnische Größe	Gemessener Istwert	Sollwert ÖNorm 12464-1	lt. EN	Sollwert lt. ÖNorm B 1600
Allgemeinbeleuchtung $E_{\text{mittel, Boden}}$	ca. 50 lx	100 lx		400 lx
Lesebeleuchtung am Bett	ca. 250 - 450 lx	300 lx		600 lx
Gleichmäßigkeit U_0	0,3	0,4		keine konkreten zusätzliche Vorgaben
Blendung UGR	19	19		keine konkreten zusätzliche Vorgaben
Farbwiedergabe R_a	83	80		keine konkreten zusätzliche Vorgaben

Anforderungen und Ziele: Die Beleuchtungsanlage sollte folgende Anforderungen erfüllen:

- blend- und flimmerfrei sein
- die passende Helligkeit erzeugen
- eine möglichst gleichmäßige Lichtverteilung haben
- für Bewohner und Personal einen Wohlfühleffekt haben
- ansprechendes, hochwertiges und zugleich wohnliches Design besitzen
- kostengünstig in Anschaffung, Betrieb und Wartung sein

Die Beleuchtungsanlage sollte im Betrieb:

- die Orientierung für die Bewohner erleichtern
- durch bessere, leichtere Erkennung das Sicherheitsgefühl steigern

- die Kommunikation zwischen Pflegepersonal und Bewohner erleichtern (Gesichter werden durch gute Beleuchtung leichter erkannt)
- sich positiv auf Emotionen auswirken
- die Pflegearbeit und Untersuchungen durch Arztbesuche erleichtern
- eine angenehme und motivierende Arbeitsumgebung für das Pflegepersonal schaffen
- die Selbstständigkeit und Aktivität der Bewohner anregen
- die Sturzgefahr, durch leichtere Erkennung und Orientierung, minimieren

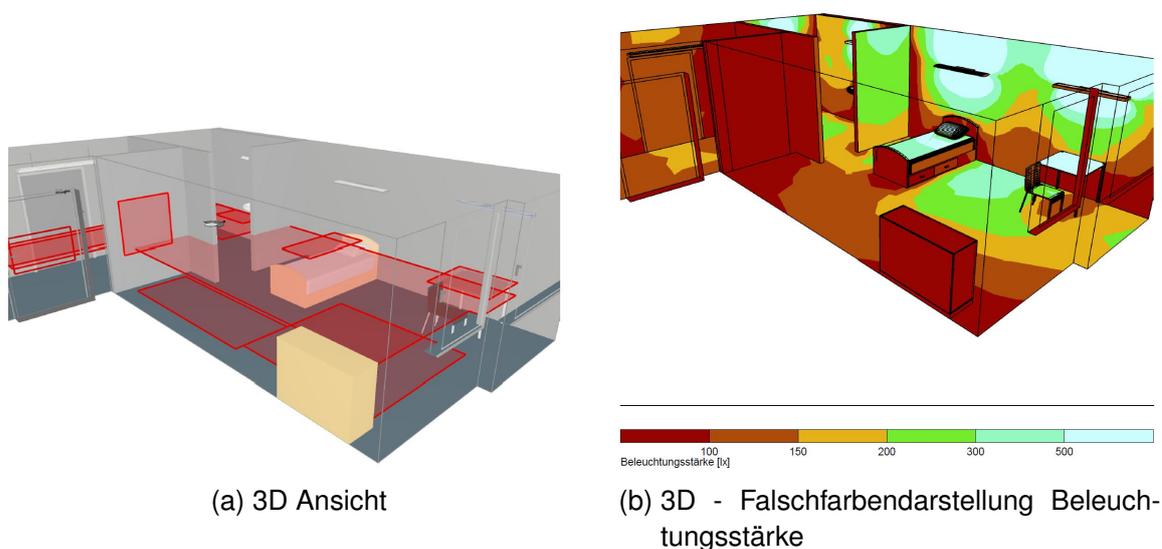


Abbildung 104: Ergebnisse Lichtplanung Use Case 1

Umsetzung und Ergebnisse: Im Wohn-/Schlafbereich wurde mit Wandleuchten mit hohem Indirektanteil geplant. Über dem Bett ist eine Bettenleuchte mit Nacht und Leselicht vorgesehen. Im Bad wurden spritzwassergeschützte (IP44) Indirekt-/Direkt Wandleuchten verwendet. Im Vorraum war eine Pendelleuchte eine geeignete Lösung. Alle lichttechnischen Vorgaben aus Tab. 37 wurden erfüllt.

Use Case 2 - Pflegestation mit sehbehinderten Klienten - Gangbereich

Ausgangslage: Der Gangbereich in einer Pflegestation eines Wohnhauses einer Sehbehinderten- und Blindenorganisation sollte ebenso wie die Bettzimmer modernisiert werden. Eine Besonderheit des Ganges ist die geringe Raumhöhe von ca. 2,30 m. Vor allem die erhöhte Blendung (Leuchtmittel waren direkt einsehbar) war für die Bewohner sehr unangenehm.

Die Bestandszimmer wurden lichttechnisch im Vorfeld vermessen (Tab. 38).

Tabelle 38: Ist- und Sollwerte lichttechnischer Größen - Use Case 2

Lichttechnische Größe	Gemessener Istwert	Sollwert ÖNorm 12464-1	It. EN	Sollwert It. ÖNorm B 1600
Allgemeinbeleuchtung E_{mittel} , Boden	ca. 120 lx	100 lx		200 lx
Gleichmäßigkeit U_0	0,7	0,4		keine konkreten zusätzliche Vorgaben
Blendung UGR	25	22		keine konkreten zusätzliche Vorgaben
Farbwiedergabe R_a	83	80		keine konkreten zusätzliche Vorgaben

Anforderungen und Ziele: Die Beleuchtungsanlage sollte:

- wenig Blendung aufweisen
- den Gang hell und freundlich aussehen lassen
- eine möglichst gleichmäßige Lichtverteilung haben
- die Decke sollte aufgehellt werden, um den Raum höher erscheinen zu lassen
- die Orientierung und Mobilität für die Bewohner erleichtern
- durch bessere, leichtere Erkennung das Sicherheitsgefühl steigern
- die Kommunikation zwischen Pflegepersonal und Bewohner erleichtern
- die Selbstständigkeit und Aktivität der Bewohner anregen
- die Sturzgefahr durch leichtere Erkennung und Orientierung minimieren

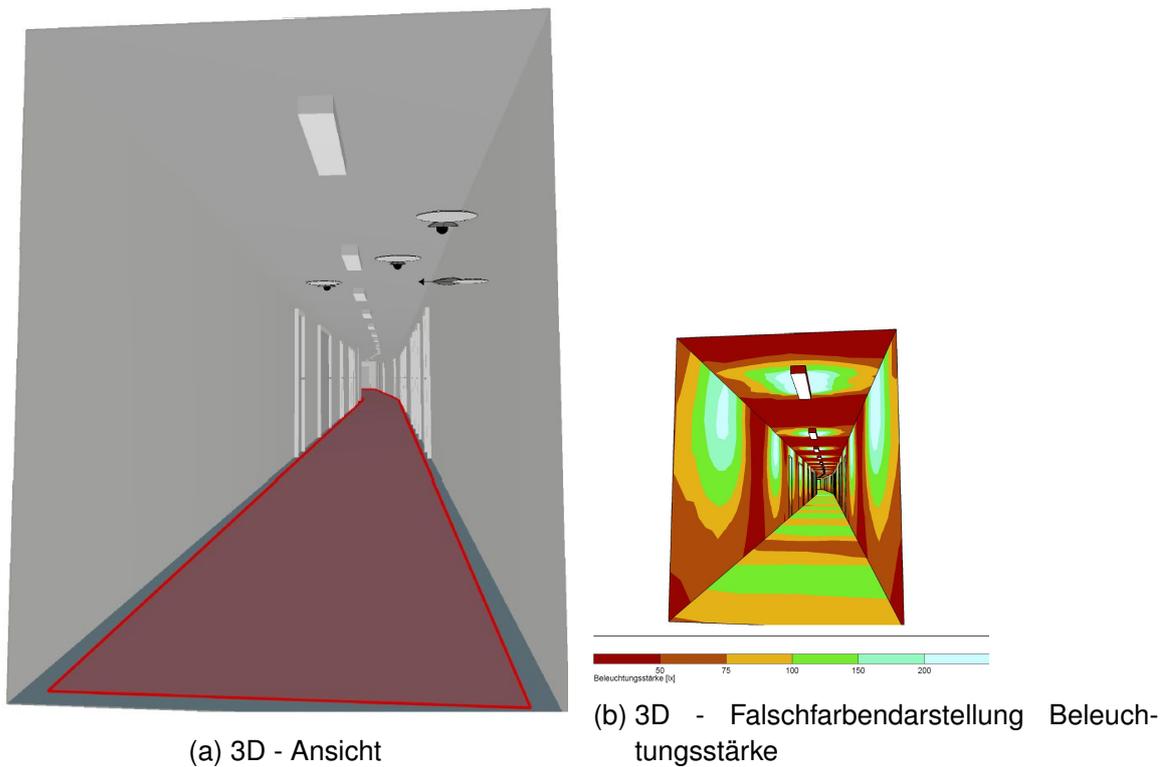


Abbildung 105: Ergebnisse Lichtplanung Use Case 2

Umsetzung und Ergebnisse: Es wurden breitstrahlende Deckenanbauleuchte verwendet. Dadurch wurde die mittlere Beleuchtungsstärke auf ca. 200 lx am Tag erhöht. Nachts gibt es eine Nachtabsenkung (jede 2. Leuchte wird ausgeschaltet). Die Blendung konnte deutlich reduziert werden. In Längsrichtung (Hauptgehrichtung) wird ein UGR-Wert kleiner 10 erreicht. Alle lichttechnischen Vorgaben aus Tab. 37 wurden erfüllt.

Use Case 3 - Wohnheim mit sehbehinderten Bewohnern - Fitnessraum

Ausgangslage: Der Fitnessraum eines Wohnhauses für sehbehinderte und blinde Menschen sollte lichttechnisch adaptiert werden. Im Raum sollten sowohl Fitnessgeräte positioniert werden als auch eine freie Fläche zum Turnen entstehen. Der Fitnessraum wurden lichttechnisch im Vorfeld nicht vermessen, da sich dieser Raum erst im Aufbau befand.

Anforderungen und Ziele: In der ÖNorm En 12464-1 sind Fitnessräume nicht erfasst. In der Broschüre „*Licht.Wissen 08 - Sport und Freizeit*“ sind Empfehlungen für die Beleuchtung zu finden:

"Auf der Trainingsfläche sollte die Anordnung der Leuchten auf die Geräte abgestimmt sein. Mindestens 300 lx sind die richtige horizontale Beleuchtungsstärke." (Licht, 2009, S. 49)

"Wichtig ist, dass auf Bildschirmen und Displays keine übermäßige, das Ablesen der Informationen störende Reflexblendung entsteht." (Licht, 2009, S. 49)

"Es ist empfehlenswert, Geräte und Plätze für Übungen in Rückenlage in einem Bereich zusammenzufassen. Denn dieser wird anders beleuchtet, um die Liegenden vor Blendung zu schützen, die beim direkten Einblick in Leuchten unvermeidlich ist. Weitgehenden Blendschutz haben asymmetrisch strahlende Leuchten, die außerhalb des direkt einsehbaren Deckenfeldes montiert werden." (Licht, 2009, S. 49)

Die Beleuchtungsanlage sollte:

- wenig Blendung aus allen Blickrichtungen aufweisen (auch bei Übungen am Boden mit Blick Richtung Decke sollte die Blendung gering sein)
- eine möglichst gleichmäßige Lichtverteilung haben
- eine geringe Schattenbildung aufweisen
- für gute visuelle Kommunikation eine hohe zylindrische Beleuchtungsstärke haben

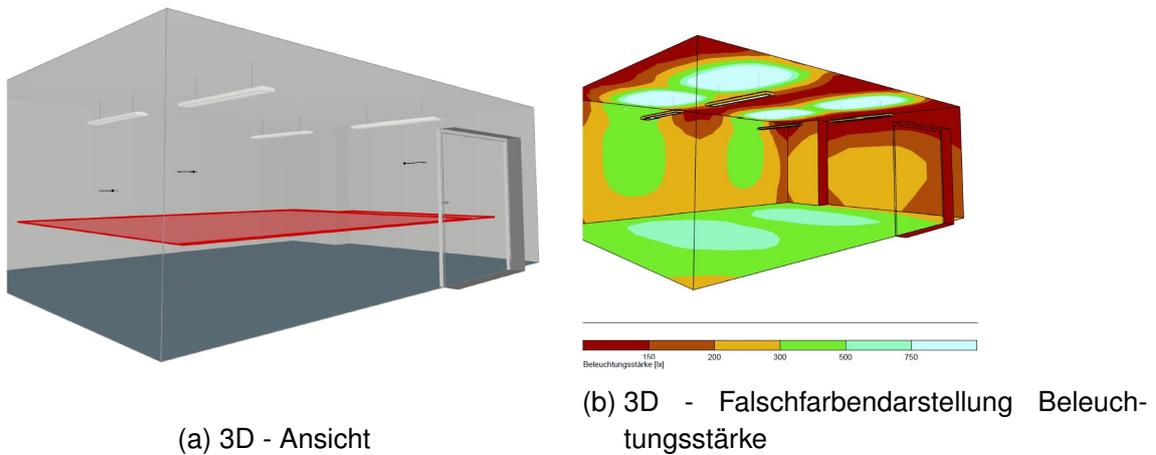


Abbildung 106: Ergebnisse Lichtplanung Use Case 3

Umsetzung und Ergebnisse: Es wurden breitstrahlende Pendelleuchten verwendet. Die mittlere Beleuchtungsstärke beträgt ca. 600 lx auf einer Höhe von 75 cm und ist damit für viele Sportarten sehr gut geeignet. Die Blendung ist aus allen Blickrichtungen sehr gering (UGR max. 15). Alle lichttechnischen Vorgaben aus „*Licht. Wissen 08 - Sport und Freizeit*“ wurden erfüllt.

Use Case 4 - Wohnheim mit sehbehinderten Bewohnern - Ärztliches Untersuchungszimmer

Ausgangslage: In einem Wohnhauses für sehbehinderte und blinde Menschen sollte ein zusätzlicher Bereich für allgemeinärztliche Untersuchungen integriert werden. Lichttechnisch sollte dieser Raum die Anforderungen aus der ÖNorm 12464-1 erfüllen. Zusätzlich sollte eine kleiner Wartebereich entstehen, wo die Patienten genügend Allgemeinbeleuchtung für visuelle Kommunikation oder auch zum Lesen haben.

Anforderungen und Ziele: In der ÖNorm EN 12464-1 sind folgende lichttechnische Anforderungen zu finden (Tab. 39).

Tabelle 39: Sollwerte lichttechnische Größen - Use Case 4

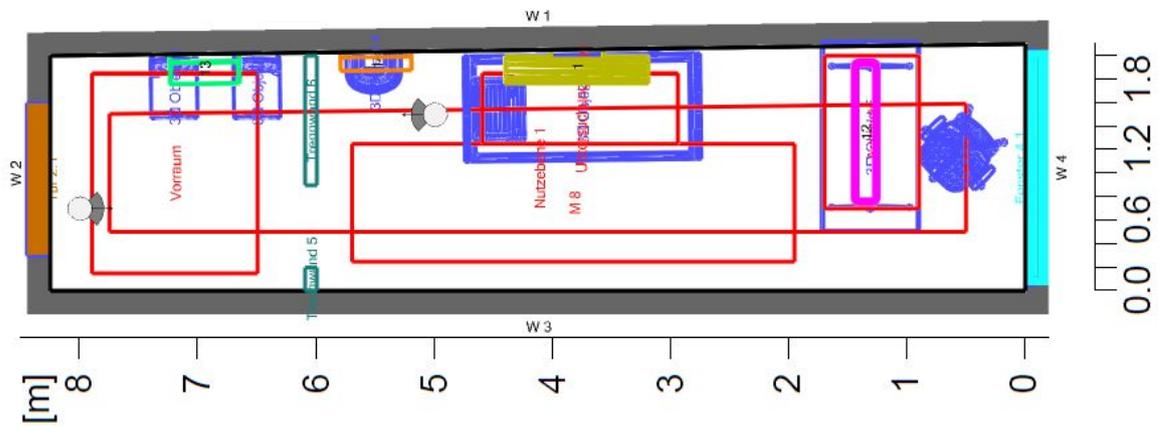
Lichttechnische Größe	Sollwert lt. ÖNorm EN 12464-1
Allgemeinbeleuchtung E_{mittel}	500 lx
Untersuchung / Behandlung E_{mittel}	500 lx
Gleichmäßigkeit U_0	0,6 bzw. 0,7
Blendung UGR	19
Farbwiedergabe R_a	90

Die Beleuchtungsanlage sollte:

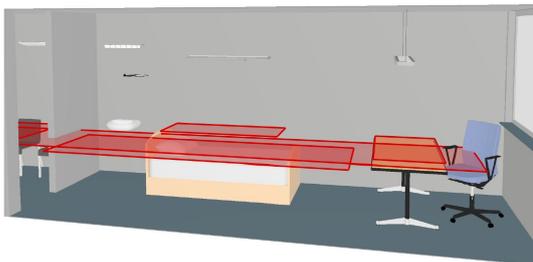
- die Anforderungen an die ÖNorm 12464-1 erfüllen
- zusätzlich eine geringere Blendung als in der Norm vorgesehen aufweisen
- hohe zylindrische Beleuchtungsstärke für gute visuelle Kommunikation haben

Umsetzung und Ergebnisse: Für den Untersuchungsbereich wurde eine Betten-Wandleuchte mit zusätzlichem Untersuchungslicht verwendet. So kann die notwendige Beleuchtungsstärke sicher erreicht werden. Die Blendung ist aus vielen Blickrichtungen geringer, als in der Norm gefordert. Im Wartebereich wurde mit einer vorwiegend indirekt strahlenden Wandleuchte gearbeitet. Die horizontale Beleuchtungsstärke im Untersuchungsbereich liegt bei fast 1000lx und einer Gleichmäßigkeit U_0 von 0,74. Falls der Arzt am/neben dem Schreib-/Arbeitstisch kleine Behandlungen oder Untersuchungen

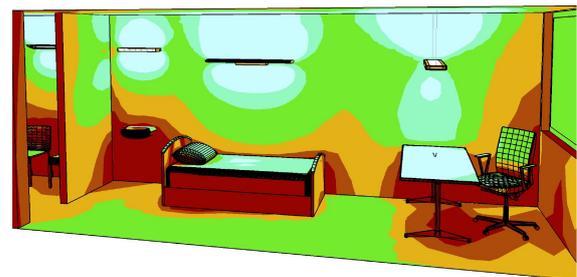
durchführen möchte, sind hier ebenso knapp 1000 lx verfügbar und somit der Raum flexibel einsetzbar. Die Beleuchtungsanlage sollte in einer dimmbaren Version ausgeführt werden.



(a) Grundriss



(b) 3D - Ansicht



(c) 3D - Falschfarbendarstellung Beleuchtungsstärke

Abbildung 107: Ergebnisse Lichtplanung Use Case 4

Use Case 5 - Wohnheim mit sehbehinderten Bewohnern - Friseur

Ausgangslage: In einem Wohnhauses für sehbehinderte und blinde Menschen soll ein Raum für einen Friseur integriert werden. Lichttechnisch sollte dieser Raum die Anforderungen aus der ÖNorm 12464-1 erfüllen. Hauptziel der Beleuchtungsanlage ist es, dass sich die sehbehinderten Kunden des Friseurs gut im Spiegel betrachten können und mit dem Friseur gut visuell kommunizieren können.

Anforderungen und Ziele: In der ÖNorm EN 12464-1 sind folgende lichttechnische Anforderungen zu finden (Tab. 39).

Tabelle 40: Sollwerte lichttechnische Größen - Use Case 5

Lichttechnische Größe	Sollwert lt. ÖNorm EN 12464-1
Allgemeinbeleuchtung E_{mittel}	500 lx
Gleichmäßigkeit U_0	0,6
Blendung UGR	19
Farbwiedergabe R_a	90

Die Beleuchtungsanlage sollte:

- die Anforderungen an die ÖNorm 12464-1 erfüllen
- zusätzlich eine geringere Blendung als in der Norm vorgesehen aufweisen
- gute hohe zylindrische Beleuchtungsstärke für gute visuelle Kommunikation
- höhere Beleuchtungsstärken, als in der Norm vorgesehen, erzeugen können
- die Haarfarbe möglichst naturgetreu wiedergeben

Umsetzung und Ergebnisse: Es wurden vorwiegend Indirekt-Pendelleuchten verwendet. Die mittlere Beleuchtungsstärke beträgt fast 900 lx auf einer Höhe von 75 cm und ist damit für viele Tätigkeiten und für Personen mit hohem Lichtbedarf sehr gut geeignet. Die mittlere zylindrische Beleuchtungsstärke beträgt nahezu 400lx. Dadurch herrscht eine hohe Helligkeit in Gesichtern, was die visuelle Kommunikation verbessert. Die Blendung ist aus allen Blickrichtungen, mit einem UGR-Wert kleiner 10, erreicht und

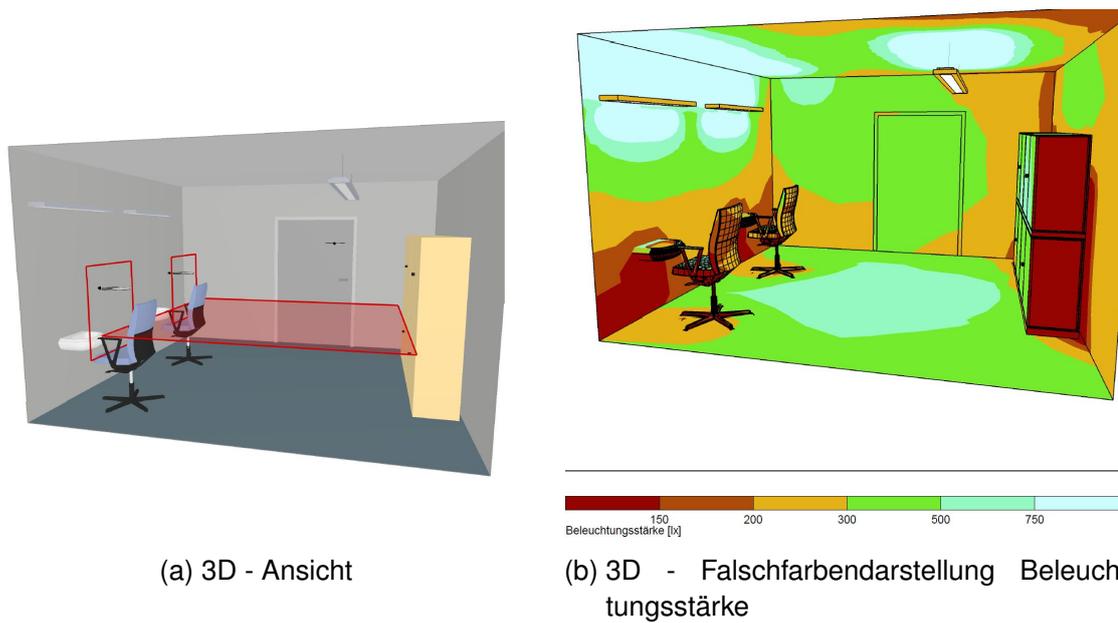


Abbildung 108: Ergebnisse Lichtplanung Use Case 5

damit geringer, als in der Norm gefordert. Die Leuchtdichteverteilung im Raum ist sehr ausgewogen.

Use Case 6 - Seminarraum einer Selbsthilfeorganisation

Ausgangslage: In einem Bürogebäude einer Selbsthilfeorganisation für sehbehinderte und blinde Menschen soll ein Seminarraum entstehen. Dieser soll lichttechnisch so gestaltet sein, dass er für sehbehinderte Nutzer mit unterschiedlichen Seheinschränkungen gut nutzbar ist. In Seminarräumen spielt die visuelle Kommunikation eine übergeordnete Rolle.

Anforderungen und Ziele: In der ÖNorm EN 12464-1 sind folgende lichttechnische Anforderungen zu finden (Tab. 41)

Tabelle 41: Sollwerte lichttechnische Größen - Use Case 6

Lichttechnische Größe	Sollwert lt. ÖNorm EN 12464-1
Allgemeinbeleuchtung E_{mittel}	500 lx
Gleichmäßigkeit U_0	0,6
Blendung UGR	19
Farbwiedergabe R_a	80
Besonderheiten	Beleuchtung sollte regelbar sein

Die Beleuchtungsanlage sollte:

- die Anforderungen an die ÖNorm 12464-1 erfüllen
- zusätzlich eine geringere Blendung als in der Norm vorgesehen aufweisen
- gute hohe zylindrische Beleuchtungsstärke für gute visuelle Kommunikation
- beim Blick Richtung Decke keine Blendungen aufweisen

Umsetzung und Ergebnisse Für den Seminarraum wurden Indirekt-/Direkt-Pendelleuchten verwendet. Bei diesen Leuchten ist es möglich den Direkt- und den Indirektanteil getrennt voneinander zu steuern/zu dimmen. Für extrem blendempfindliche Personen ist es möglich die Blendung durch Ausschalten des Direktanteils auf ein Minimum zu reduzieren. Für Personen mit hohem Lichtbedarf kann der Direktanteil der Leuchten entsprechend dazugeschaltet werden. Die Leuchtdichteverteilung im Raum ist sehr ausgewogen.

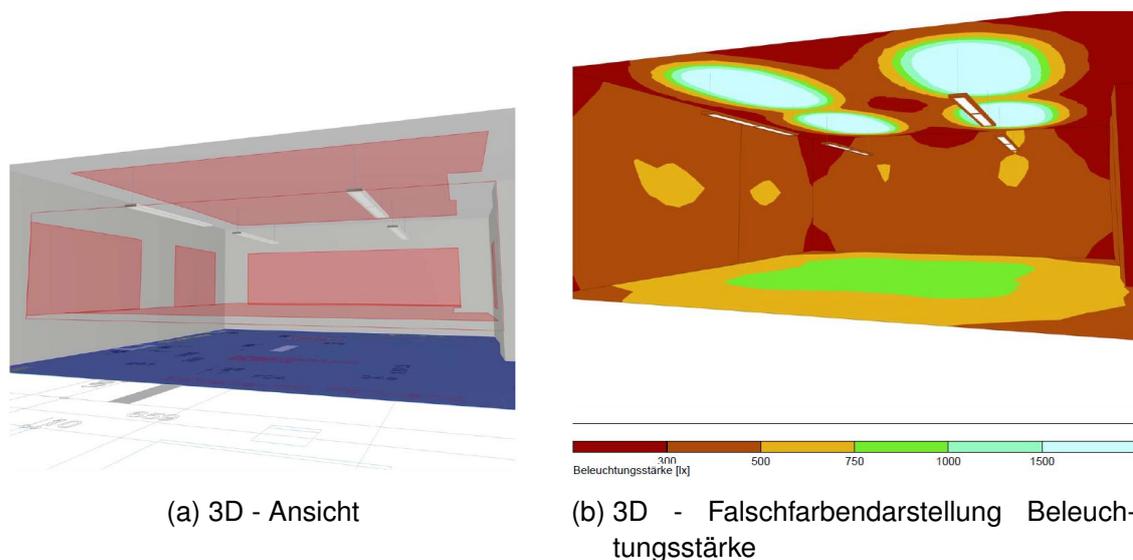


Abbildung 109: Ergebnisse Lichtplanung Use Case 6

Use Case 7 - Erstellung eines Pools von geeigneten Musterleuchten für die Erprobung vor Ort

Für die Use Cases mittels Leuchtenerprobung vor Ort war es notwendig, verschiedene Leuchten anzuschaffen. Nur mit einer gewissen Auswahl an Leuchten mit unterschiedlichen Montagearten und Abstrahlcharakteristiken ist es möglich, diese Art der Licht- und Beleuchtungsberatung durchzuführen. Alle Leuchte wurden so angefertigt, dass man die Muster einfach an die Steckdose anstecken kann. Das Leuchtensortiment sollte den Ansprüchen sehbehinderter Menschen mit speziellem Lichtbedarf gerecht werden.

Folgende Leuchten kamen hauptsächlich für die Erprobung vor Ort zur Anwendung:

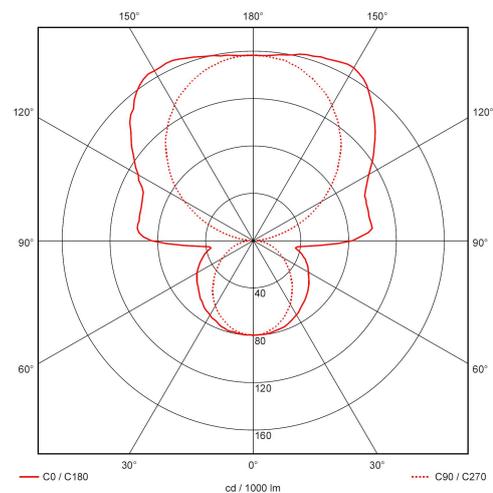
Pendelleuchte „Collustro“ für sehbehinderte Menschen

Die TSB Pendelleuchte war die erste Eigenentwicklung. Als Leuchtmittel kommt eine 2- oder 4-flammige Lichtleiste mit Leuchtstofflampen in drei verschiedenen Längen zum Einsatz.

Als Entblendung ist eine Stoffentblendung (zwei verschiedene Varianten mit unterschiedlichen lichttechnischen Eigenschaften verfügbar) ausgewählt worden. Die Entblendung ist so gewählt, dass die möglichst gering (aus allen Blickrichtungen) ist (Abb. 110 und 111).



(a) Originalaufnahme



(b) Lichtstärkeverteilungskurve (LVK)

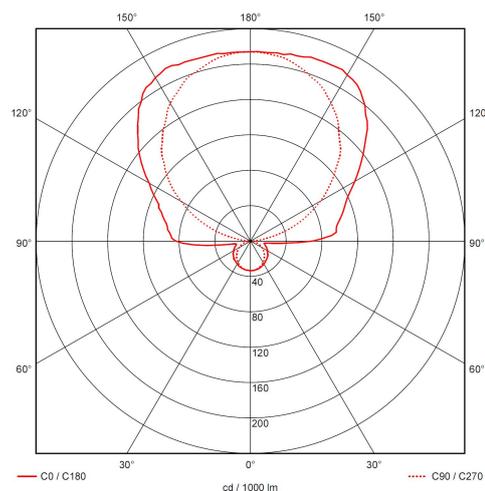
Abbildung 110: Pendelleuchte „Collustro“ mit lichtdurchlässigem Stoff „Atakta“

Die Leuchtdichte an der Leuchtoberfläche ist sehr gering. Beim gelblichen lichtdurchlässigeren Stoff ist die Leuchtdichte bei 65° Beobachtungswinkel max. 1265 cd/m^2 , bei Verwendung der weißen Entblendung sogar nur max. 537 cd/m^2 . Dadurch sind diese Leuchten optimal für den Einsatz für sehbehinderte Menschen an Bildschirmarbeitsplätzen geeignet.

Die Leuchte ist so konstruiert, dass die Reinigung einfach und schnell durchgeführt werden kann. Die Leuchtmittel sind langlebig und austauschbar.



(a) TSB Pendelleuchte mit weißer Stoffentblendung



(b) Lichtstärkeverteilungskurve (LVK) TSB Pendelleuchte mit weißer Stoffentblendung

Abbildung 111: TSB Pendelleuchte mit weißem Stoff

Die Leuchte ist von der Prüf-, Überwachungs- und Zertifizierungsstelle der Stadt Wien (MA 39) lichttechnisch vermessen worden. Somit ist es möglich, die Leuchte in eine Lichtberechnungssoftware einzufügen und Berechnungen durchzuführen.

Die Blendung ist mit UGR 11,4 für den gelblichen Stoff „Atakta“ und UGR < 10 für den weißen Stoff sehr gering.

Lichtsäule



Abbildung 112: TSB Lichtsäule

In den letzten Jahren wurde ich oft mit Designfragen konfrontiert. Die Beleuchtung ist zwar funktionell und lichttechnisch sehr gut, hat jedoch nicht immer den Geschmack der Nutzer getroffen: „Die Leuchte macht zwar ein gutes Licht, aber so eine Büroleuchte kommt mir nicht in die Wohnung!“

Dem Wunsch nach wohnlichem Design wurde mit der Lichtsäule nachgekommen. Lichttechnisch eine Indirekt-Stehleuchte mit LED Beleuchtung. Auf dem Foto ist die erste Variante mit speziell entwickeltem LED Leuchtenkopf und insgesamt 16.000 lm (davon 12.000 lm indirekt).

Die Steuerung der dimmbaren Leuchte erfolgt über eine taktile Fernbedienung.

Die selbst leuchtende Säulenform ist vor allem bei Personen mit starken Gesichtsfeldeinschränkungen vorteilhaft, da die Leuchte „auffälliger“ ist und schneller im Gesichtsfeld erscheint, als eine klassische Stehleuchte. Somit ist die Gefahr des Anstoßens und Umwerfens der Leuchte deutlich reduziert.

Die Blendung ist sehr gering (UGR < 10).

TSB Stehleuchte für sehbehinderte Menschen



Abbildung 113: TSB Stehleuchte auf Basis der „Sunset“

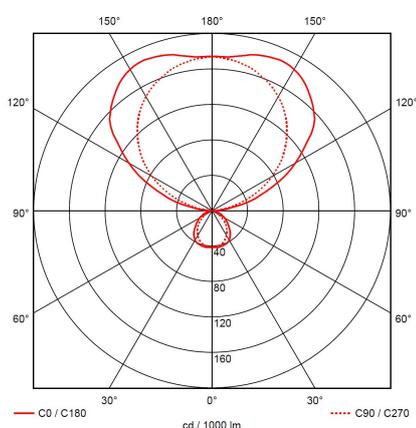


Abbildung 114: LVK TSB Stehleuchte

Die Grundlage für diese Leuchten-Weiterentwicklung ist die Stehleuchte „Sunset“ der Fa. Regent. Diese Stehleuchte ist nicht mehr am Markt verfügbar, da die Produktion eingestellt wurde.

Wir haben Restbestände dieser Leuchte für eine Weiterentwicklung bzw. Adaptierung verwendet. Ziel war es, eine Stehleuchte mit flexiblen Eigenschaften als Musterleuchte einzusetzen, um die Anzahl der notwendigen Leuchten vor Ort zu reduzieren.

Der 2-stufige Schalter wurde gegen zwei Taster und die elektronischen Vorschaltgeräte auf dimmbare Betriebsgeräte getauscht. Somit ist eine 2-stufig dimmbare Variante entstanden. Durch Verwendung von Leuchtmitteln (Kompakt-Leuchtstofflampen) unterschiedlicher Lichtfarbe können verschiedene Lichtfarben mit einer Leuchte bei der Erprobung getestet werden. Da beide Leuchtmittel getrennt voneinander dimmbar sind, ist es möglich, auch eine Mischfarbe zu erzeugen.

Die Blendung ist sehr gering ($UGR < 10$).

Stehleuchte „Umbrella“

Abbildung 115: Stehleuchte „Umbrella“

Von der Lichtsäule inspiriert, entwickelte ich eine weitere Stehleuchte mit sehr geringer Blendung, die Stehleuchte „Umbrella“. Diese ist mit einem Holzgestänge und einem Holzring als „Fuß“ ausgestattet. Dadurch steht diese Leuchte sehr stabil, trotz geringem Gewicht.

In sechs Sockeln mit E 27 Gewinde können verschiedene Leuchtmittel eingesetzt werden. Mit dem derzeit „stärksten“ LED Leuchtmittel können insgesamt ein Lichtstrom von bis zu 15.000 lm erzeugt werden. Durch entsprechende Auswahl des Leuchtmittels kann der Lichtstrom variiert werden.

Für eine perfekte Entblendung wird ein runder Stoffschirm verwendet. Die Höhe der Aufhängung des Schirms ist so gewählt, dass eine vorwiegend indirekte Lichtverteilung bei gleichmäßiger Leuchtdichte des Schirms realisiert wird.

Das Resultat ist eine sehr blendfreie Leuchte mit einer sehr gleichmäßigen Raumausleuchtung und geringer Schattenbildung.

Die Steuerung der Leuchte erfolgt über einen 2-stufigen Schalter oder einen Dimmer.

Die Blendung ist sehr gering ($UGR < 10$).

Stehleuchte „Robus“



Abbildung 116: Stehleuchte „Robus“

Die Stehleuchte „Robus“ wurde im Hinblick auf verbesserte maximale Helligkeit hin entwickelt. Die Leuchte hat ein deutlich erhöhten Direktanteil im Vergleich zur Lichtsäule und zur Stehleuchte „Umbrella“. Daraus resultiert an Arbeitsplätzen eine höhere horizontale Beleuchtungsstärke

Als Leuchtmittel werden vier Kompakt-Leuchtstofflampen mit je 4.600 lm verwendet. Somit ergibt sich ein Gesamtlichtstrom des Leuchtmittels von 18.400 lm.

Für die Entblendung kommt eine satinierete Prismenkegelblende zum Einsatz. Diese hat eine hohe Transmission für geringe Lichtstromverluste. Für blendempfindliche Nutzer kann zusätzlich eine Lochfolie oder ein Lochblech zur Reduzierung der Leuchtdichte nach unten eingesetzt werden.

Die Robus wurde zusätzlich als Tischaufbau- und Pendelleuchte entwickelt.

Die Leuchtenserie „Robus“ ist als schaltbare oder dimmbare Version herstellbar.

Pendelleuchte „Stylus“



Abbildung 117: Pendelleuchte „Stylus“



Abbildung 118: Pendelleuchte „Stylus“

Von der hohen Akzeptanz der TSB Pendelleuchte angetrieben, wurde von mir nach einer weiteren modernen, eleganten Leuchtenvariante gestrebt. Die „neue“ Pendelleuchte sollte dabei andere Eigenschaften als die TSB Stoff-Pendelleuchte besitzen. Die Abstrahlungscharakteristik sollte umlaufend sehr gleichmäßig sein, um auch auf vertikalen Flächen und in Kästen mehr Licht zu haben. Der Indirektanteil ist dabei höher als die direkte Abstrahlung, um die Decke stärker aufzuhellen und die Leuchtdichte nach unten zu reduzieren.

Die Leuchte ist sehr pflegeleicht und kann feucht abgewischt werden. Daher ist ein Einsatz in stärker verschmutzenden Umgebungen (z.B. Küche) möglich. Durch die geschlossene Form ist die auch in feuchter Umgebung (Bad) gut einsetzbar.

Als Leuchtmittel sind Leuchtstofflampen oder LED möglich. Der Durchmesser beträgt 200 mm; die Länge ist variabel bis 2,0 m herstellbar. Durch eine verstellbare Seilaufhängung kann die Pendellänge variiert werden.

Die Blendung ist hier mit UGR 19 etwas höher als bei den vorangegangenen Leuchten und daher bei hochgradig blendempfindlichen Person nur bedingt einsetzbar.

Tischaufbauleuchte Fa. Waldmann „Ataro“ und „Tycoon“ - TSB Edition

Die Waldmann-Tischaufbauleuchte ist eine geeignete Lösung, wenn man einen Arbeitsplatz gleichmäßig und großflächig ausleuchten möchte. Der Raum wird durch den Indirektanteil gleichzeitig mit aufgehellt (arbeitsplatzbezogene Beleuchtung).

In der Vergangenheit haben sich jedoch einige sehbehinderte Nutzer über zu hohe Blendung durch die Leuchte beklagt, so dass ich die Blendung mit der Leuchtdichtemesskamera (LMK) gemessen habe.

Die Original-Variante hatte in der Nutzungssituation einen (guten) UGR-Wert von 19. Allerdings ist dieser Wert für hochgradig blendempfindliche Nutzer am Arbeitsplatz deutlich zu hoch.

Durch die Installation einer zusätzliche Lochblende (TSB Edition) konnte die Blendung auf einen UGR-Wert von 11 reduziert werden. Damit ist die Leuchte auch für blendempfindliche Nutzer einsetzbar.

Das gleiche Procedere wurde ebenso mit der Tischaufbauleuchte Ataro durchgeführt. Durch eine zusätzlich Lochblende konnte die Blendung von UGR 19 auf < 10 reduziert werden.



(a) Tischaufbauleuchte Ataro mit Original-Entblendung



(b) Tischaufbauleuchte Ataro mit TSB-Entblendung

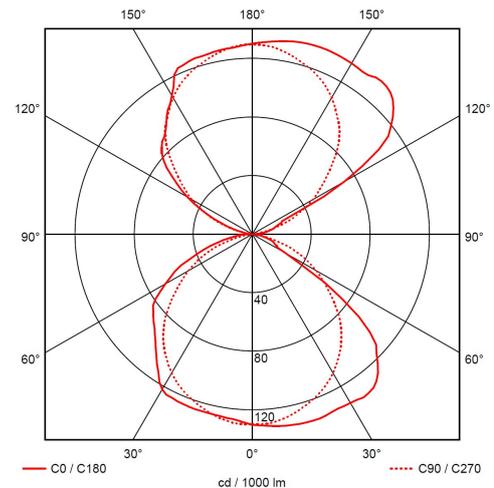
Abbildung 119: Fa. Waldmann Tischaufbauleuchte „Ataro“ mit unterschiedlichen Entblendungstechnologien

Bad-Wandleuchte Fa. Waldmann „Vanera Bath“ - TSB Edition

Die spritzwassergeschützte Wandleuchte „Vanera Bath“ der Fa. Waldmann wurde zur Erprobung in Nasszellen eingesetzt. Im Falle von zur hoher Blendung kam auch hier eine Lochblende, wie bei der „Tycoon Comfort“, zum Einsatz. Dadurch konnte die Blendung auf $UGR < 13$ reduziert werden.



(a) Herstellerfoto



(b) Lichtstärkeverteilungskurve (LVK)
ohne Adaptierung

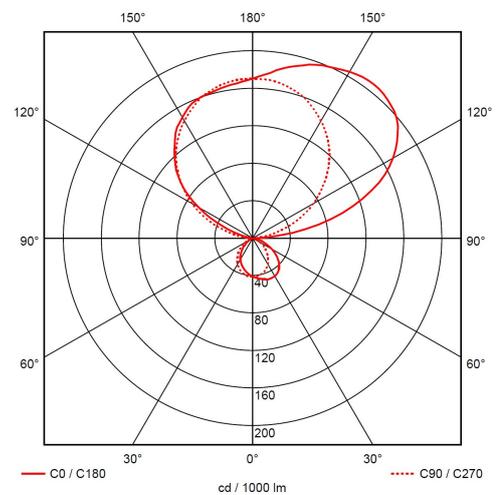
Abbildung 120: Fa. Waldmann Wandleuchte „Vanera Bath“

Indirekt-Wandleuchte Fa. Regent „Sunset“ & Pendelleuchte Fa. Regent „Item“

Die Wandleuchte „Sunset“ und die Pendelleuchte „Item“ in der Version mit Prismenkegelblende wurden ohne weitere Adaptierung eingesetzt. Die Eigenschaften der Originale vom Hersteller waren bereits so ausgelegt, dass sie für die Erprobung mit sehbehinderten Menschen geeignet waren. Die Wandleuchte „Sunset“ ist nicht mehr am Markt erhältlich.



(a) Herstellerfoto

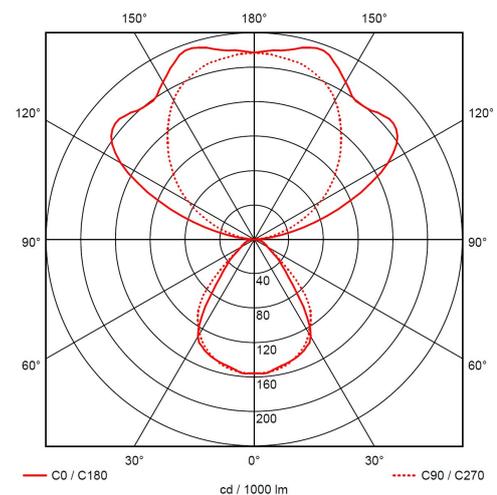


(b) Lichtstärkeverteilungskurve (LVK)

Abbildung 121: Fa. Regent Wandleuchte „Sunset“



(a) Herstellerfoto



(b) Lichtstärkeverteilungskurve (LVK)

Abbildung 122: Fa. Regent Pendelleuchte „Item“

Arbeitsplatzleuchten

Für das Erreichen sehr hoher Beleuchtungsstärken an Arbeitsplätzen von Menschen mit Sehbehinderungen haben sich Arbeitsplatzleuchten als sehr effektiv erwiesen. Lange Zeit galt die Arbeitsplatzleuchte „SNE 136“ als „Goldstandard“. Seit Ende 2015 wird diese Leuchte nicht mehr vom Hersteller produziert. Diese „SNE“ war sehr robust und vor allem perfekt entblendet.

Das Nachfolgemodell hat für hochgradig blendempfindliche Personen eine zu hohe Blendung, so dass der Leuchtenkopf unterhalb der Augenhöhe positioniert werden muss. Eine besondere Herausforderung für Kinder, da bei zu tief gestelltem Leuchtenkopf dieser beim Arbeiten (Schreiben, Lesen) im Weg sein kann.

Für die Arbeitsplatzleuchte „Taneo“ wurde daher eine hochwertige Entblendung entwickelt und ist seit Anfang 2017 zur möglichen Adaptierung verfügbar.



Abbildung 123: Arbeitsplatzleuchte „Taneo“ der fa. Waldmann
links: mit TSB-Entblendung; rechts: mit Original-Entblendung

Use Case 8 - Massageinstitut mit Bildschirmarbeitsplatz einer sehbehinderten Person - Wartebereich

Ausgangslage: Im Warteraum eines Massageinstituts befindet sich ein Empfangsbereich mit PC-Arbeitsplatz. An diesem Arbeitsplatz arbeiten sowohl normalsehende, als auch eine sehbehinderte Person, die hochgradig blendempfindlich ist und einen geringen Helligkeitsbedarf hat. Im Normalfall würde man versuchen, den Arbeitsplatz der sehbehinderten Person möglichst in einem Einzelbüro unterzubringen. Dies ist jedoch, aufgrund des notwendigen Kundenkontakts, nicht möglich. Ziel war es, eine Beleuchtungsanlage vorzuschlagen, möglichst allen Nutzern gerecht wird.

Messwerte und Anforderungen lt. Norm: In der ÖNorm EN 12464-1 sind folgende lichttechnische Anforderungen zu finden (Tab. 43).

Tabelle 42: Soll- und Messwerte der lichttechnische Größen - Use Case 8

Lichttechnische Größe	Sollwert lt. ÖNorm EN 12464-1	Messwert
Beleuchtungsstärke E_{mittel}	200 lx	170 lx
Gleichmäßigkeit U_0	$\geq 0,4$	$\geq 0,4$
Blendung UGR	≤ 22	16
Farbwiedergabe R_a	80	80

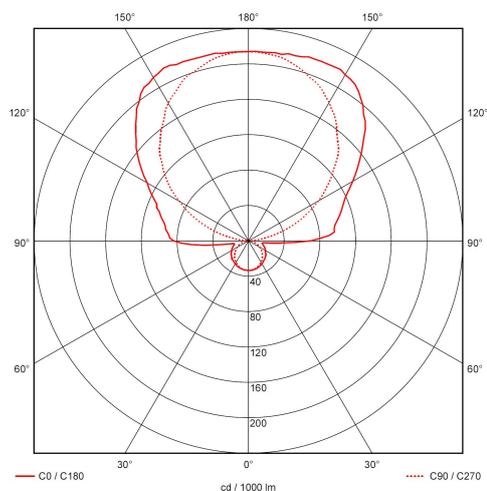
Die Anforderungen der Norm sind größtenteils erfüllt, auch die Blendung. Ausschließlich die Beleuchtungsstärke ist etwas zu gering. Die Probleme der sehbehinderten Person sind jedoch hauptsächlich der Blendung geschuldet.

Vorschläge: Ziele: eine adaptierte Beleuchtungsanlage, welche die Norm erfüllt und gleichzeitig die Blendungsprobleme der sehbehinderten Person löst. Die Beleuchtungsanlage sollte möglichst kostengünstig in Anschaffung und Betrieb sein.

Vorgeschlagene neue Leuchten: dimmbare TSB Pendelleuchten für sehbehinderte Menschen mit zusätzlichen Lochblenden zur erweiterten Entblendung + dimmbare Arbeitsplatzleuchte Waldmann SNE 136 RZ am Empfangsbereich

Vorteile dieser Lösung:

- durch den hohen Indirektanteil wird die Blendung auf ein Mindestmaß reduziert



(a) TSB Pendelleuchte mit weißer Stoffentblendung (b) Lichtstärkeverteilungskurve (LVK) TSB Pendelleuchte mit weißer Stoffentblendung

Abbildung 124: TSB Pendelleuchte mit weißem Stoff

- gleichmäßige Lichtverteilung im Raum
- geringere Schattenbildung
- gleichmäßige Ausleuchtung

Ergebnisdarstellung: Die vorhandene Beleuchtungsanlage wurde nach diesem Vorschlag adaptiert. Die dimmbaren TSB Pendelleuchten wurden vom Elektriker installiert und in Betrieb genommen. Es wurden zusätzlich verschiedene Lichtfarben (2700 K bis 4000 K) erprobt. In dem Fall die Entscheidung auf 3000 K.

Tabelle 43: Soll- und neue Messwerte nach Adaptierung - Use Case 8

Lichttechnische Größe	Sollwert lt. ÖNorm EN 12464-1	Messwert
Beleuchtungsstärke E_{mittel}	200 lx	30-380 lx
Gleichmäßigkeit U_0	$\geq 0,4$	$\geq 0,4$
Blendung UGR	≤ 22	5-6
Farbwiedergabe R_a	80	80

Use Case 9 - Lichtmessung und Leuchtenempfehlung in einem Kindergarten

Ausgangslage: Ein sehbehindertes Kind besucht einen öffentlichen Kindergarten. Die Eltern und die Frühförderin schätzen die Beleuchtungssituation bei geringem Tageslicht als unzureichend ein. Der Betreiber des Gebäudes erteilt den Auftrag die Lichtsituation zu überprüfen und ggf. Verbesserungsvorschläge zu unterbreiten.

Messwerte und Anforderungen lt. Norm: In der ÖNorm EN 12464-1 sind folgende lichttechnische Anforderungen zu finden (Tab. 44).

Tabelle 44: Soll- und Messwerte der lichttechnische Größen - Use Case 9

Lichttechnische Größe	Sollwert lt. ÖNorm EN 12464-1	Messwert
Beleuchtungsstärke E_{mittel}	300 lx	40 lx
Gleichmäßigkeit U_0	$\geq 0,6$	0,3 bis 0,4
Blendung UGR	≤ 19	z.T. hohe Blendung durch Strahler
Farbwiedergabe Ra	80	>90

Ziele und Vorschläge: Es solle eine adaptierte Beleuchtungsanlage vorgeschlagen werden, welche die Norm erfüllt. Dabei sollte keine weitere Adaptierung im Raum (Decke bleibt von der Farbe bestehen). Die Beleuchtungsanlage sollte möglichst kostengünstig in Anschaffung und Betrieb sein.

Vorgeschlagene neue Leuchten: Pendelleuchten

- mit flexibler Pendellänge
- Direkt-/Indirekt-Lichtverteilung (65% Direktlicht, 35% Indirektlicht)
- Entblendung mittels Spiegelraster
- Leuchtmittel: Stableuchtstofflampen

Vorteile dieser Lösung:

- durch die flexible Pendellänge kann eine gleiche Leuchtenebene geschaffen werden (alle Leuchten hängen auf der gleichen Höhe)

- durch den Indirektanteil von ca. 35% wird die Decke mit aufgehell, was die Raumhelligkeitswahrnehmung verbessert
- kostengünstige Leuchtmittel mit langer Lebensdauer (ca. 24.000 Stunden)
- gleichmäßige Lichtverteilung im Raum
- durch Spiegelraster sehr gute Entblendung
- geringere Schattenbildung
- gleichmäßige Ausleuchtung

Die vorhandene Beleuchtungsanlage müsste demontiert werden.

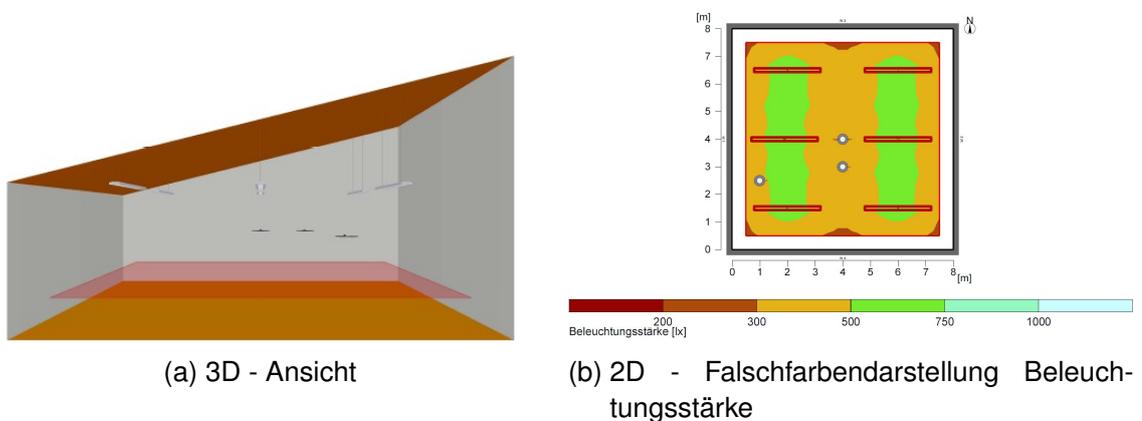


Abbildung 125: Ergebnisse Lichtplanung Use Case 9

Ergebnisdarstellung: Für diesen Fall wurde ein Bericht erstellt und dem Auftraggeber übermittelt (siehe Anhang C9). Der Betreiber hat die Beleuchtungsanlage inzwischen nachgebessert.

Use Case 10 - Beurteilung der Lichtsituation in einem öffentlichen Teil eines Gebäudes

Ausgangslage: In einem Bürogebäude einer Selbsthilfeorganisation für sehbehinderte und blinde Menschen wird die Lichtsituation von den sehbehinderten Nutzer subjektiv als unzureichend eingeschätzt. Der Betreiber des Gebäudes teilt die Meinung nicht und erkennt keinen Handlungsbedarf. Die lichttechnischen Messungen sollen aufklären, ob die lichttechnischen Anforderungen in der ÖNorm EN 12464-1 erfüllt werden

Messwerte und Anforderungen lt. Norm: In der ÖNorm EN 12464-1 sind folgende lichttechnische Anforderungen zu finden (Tab. 45)

Tabelle 45: Soll- und Messwerte der lichttechnische Größen - Use Case 10

Lichttechnische Größe	Sollwert lt. ÖNorm EN 12464-1	Messwert
Beleuchtungsstärke am Boden E_{mittel}	100 lx	26 lx
Beleuchtungsstärke vor Lift	200 lx	30 lx
Gleichmäßigkeit U_0	$\geq 0,4$	0,46
Blendung UGR	≤ 28	<20
Farbwiedergabe R_a	40	>80
Besonderheiten	Übergangszonen und UGR/ R_a wie angrenzende Bereiche	keine Übergangszonen, sonst erfüllt

Ergebnisdarstellung: Für diesen Fall wurde ein Bericht erstellt und dem Auftraggeber übermittelt (siehe Anhang). Der Betreiber hat die Beleuchtungsanlage nachgebessert

Anhang E - Best Practice Beispiele

Best and Worst Practice Beispiele

Beleuchtungslösungen

Beleuchtung in der Nähe von Hinweisschildern

Beschilderungen (Schriften und Piktogramme) sollten aus verschiedenen Blickrichtungen gut erkannt werden. Ungünstige Beleuchtungslösungen können Spiegelungen auf den Schilder erzeugen und somit den Kontrast der Schrift bzw. des Piktogramms reduzieren. Zusätzlich kann die Blendung durch die Beleuchtung deutlich ansteigen.



(a) Beleuchtung spiegelt sich in der Hinweistafel und blendet



(b) Keine störende Beleuchtung vor Hinweistafel



Abbildung 126: Verschiedene Beleuchtungslösungen bei Überkopfanzeigen

Bodeneinbauleuchten

Bodeneinbauleuchten, welche nach oben gerichtet sind, haben eine erhöhte Gefahr von Blendungen. Bereits für normalsehende Menschen ist die entstehende Blendung oftmals schon zu hoch.

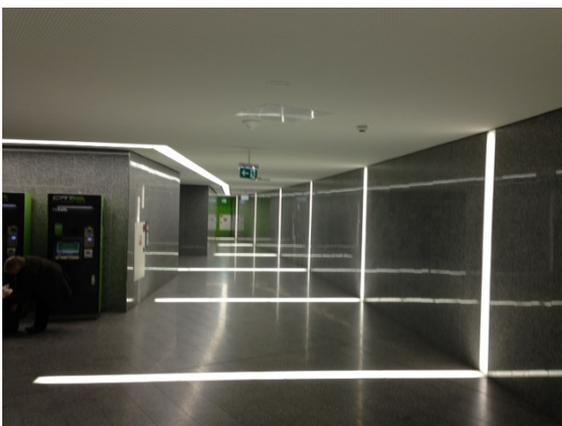
Für sehbehinderte Menschen stellen diese Leuchten eine Gefahr in der Mobilität dar. Vor allem Personen mit hoher Blendempfindlichkeit sind beim Blick in eine solche Leuchte kurzfristig „funktionell blind“.



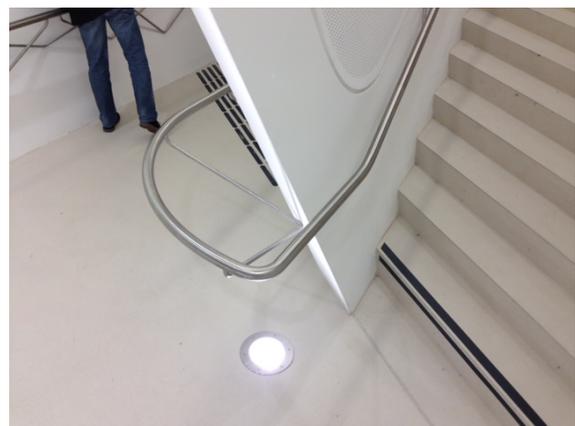
(a) Einbauleuchten in Setzstufen



(b) Einbauleuchten in Trittstufen



(c) Einbauleuchte in auf Zwischenpodest



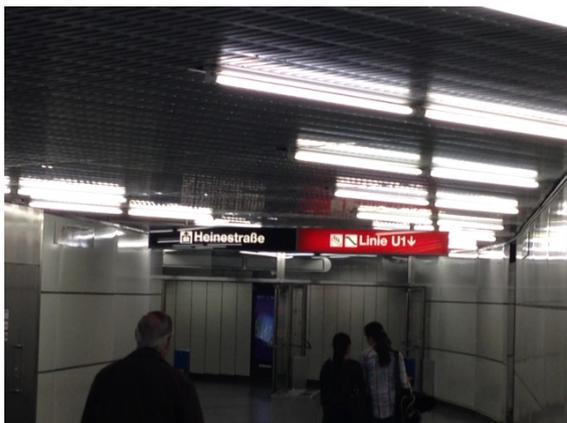
(d) Einbauleuchten in Stufen einer Halle



Abbildung 127: Verschiedene Boden-Einbauleuchten mit erhöhter Blendungsgefahr auf Verkehrswegen

Allgemeinbeleuchtung

Neben der passenden Helligkeit hat vor allem die Blendung für die Sehleistung von Menschen mit Sehbehinderung besondere Bedeutung. Je geringer die Blendung, desto höher ist die Kontrastempfindung. In der Praxis haben sich Beleuchtungsanlage mit hohem Indirektanteil für sehbehinderte Menschen als gute Lösung bewährt.



(a) Freistrahkende Lichtleisten quer zur Hauptgehrichtung erzeugen höhere Blendungen



(b) Lichtleisten längs zur Gehrichtung angeordnet \Rightarrow reduzierte Blendung, sehr guter Helligkeitseindruck



(c) Spots mit hoher Blendung und geringer Beleuchtungsstärke



(d) Pendelleuchte mit hohem Indirektanteil \Rightarrow geringe Blendung, kaum Schattenbildung



Abbildung 128: Verschiedene Beleuchtungssysteme mit unterschiedlicher Blendung

Kontrastlösungen

Schriften und Piktogramme

Schriften und Piktogramme auf Hinweisschildern sollten einen sehr hohen Kontrast von $K_{Hauck} \geq 0,5$ aufweisen. Durch einer Hinterleuchtung kann die Auffälligkeit, der Kontrast und somit der Erkennbarkeit deutlich gesteigert werden.



(a) neues und altes Leitsystem am Flughafen Wien (Terminal 3) im Vergleich



(b) Hinterleuchtung erhöht den Kontrast deutlich (links ist diese ausgefallen)



(c) Hinweisschilder mit schlechtem (links) und gutem (rechts) Kontrast



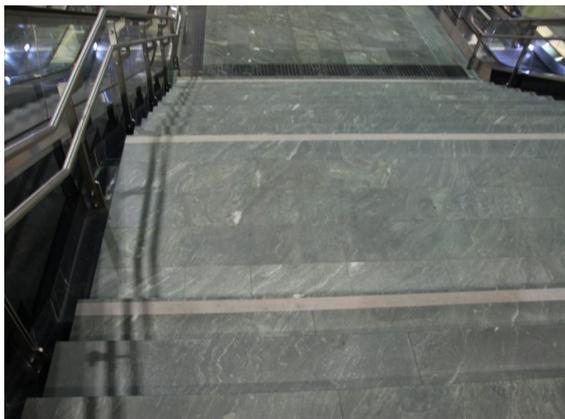
(d) Guter Kontrast eines Hinweisschildes ohne Hinterleuchtung



Abbildung 129: Verschiedene Schriften und Piktogramme mit unterschiedlichem Kontrast

Markierungen mit Warn- und Sicherheitsfunktion

Für die Erkennung von Hindernissen und Gefahrenstellen ist eine entsprechende kontrastierende Markierung für sehbehinderte Menschen besonders wichtig. Die Feldversuche haben gezeigt, dass solche Markierungen mit einem Kontrast von $K_{\text{Hauck}} \geq 0,32$ als ausreichend empfunden werden.



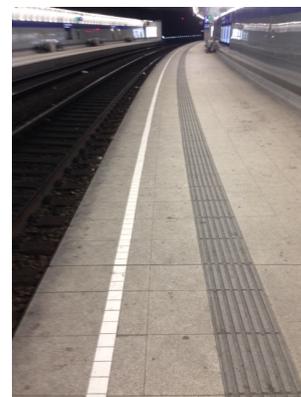
(a) Stufenmarkierung mit geringem Kontrast



(b) Stufenmarkierung mit gutem Farbkontrast



(c) stark verschmutzte und abgetragene Markierungen



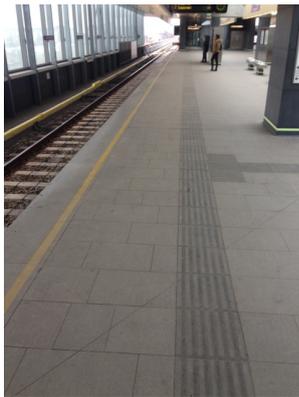
(d) Markierungen mit gutem Kontrast und Haltbarkeit



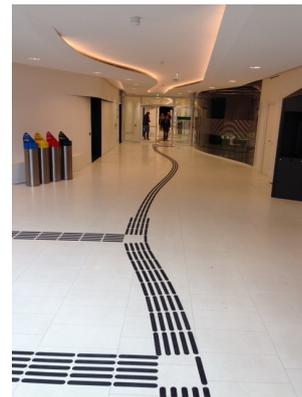
Abbildung 130: Verschiedene Markierungen und Sicherheitslinien mit unterschiedlichem Kontrast

Markierungen zur Unterstützung der Orientierung

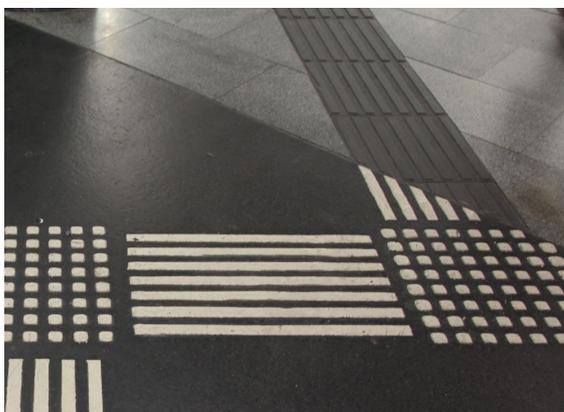
Bodenleitsysteme erleichtern die Mobilität sehbehinderter und blinder Menschen. Wenn diese nicht nur taktil sondern auch visuell (kontrastierend) ausgeführt werden, erhöht sich die Anzahl der Nutzer ca. um den Faktor 100. Ein Mindestkontrast von $K_{\text{Hauck}} \geq 0,2$ sollte dabei eingehalten werden.



(a) Gefräste Bodenmarkierungen mit geringem Kontrast



(b) Bodenmarkierung mit hohem Kontrast



(c) Bodenmarkierungen unterschiedlicher Betreiber mit unterschiedlichem Kontrast



(d) Bodenmarkierung mit Kontraststreifen zur Kontrasterhöhung



Abbildung 131: Verschiedene Bodenmarkierungen mit unterschiedlichem Kontrast

Anhang F - Statistische Auswertungen

Geometische Mittelwerte

Tabelle 46: Geometische Mittelwerte für den Visus für die getesteten Probandengruppen und Adaptationsleuchtdichten

Adaptationsleuchtdichte in cd/m²	Normalsehende junge Probanden	Normalsehende ältere Probanden	Sehbehinderte Probanden
0,1	0,47	0,22	0,021
0,32	0,70	0,34	0,034
1,0	0,94	0,47	0,052
3,2	1,22	0,63	0,064
10	1,46	0,80	0,074
32	1,57	0,97	0,082
100	1,64	1,22	0,084
320	1,67	1,47	0,081

Tabelle 47: Geometische Mittelwerte für den Visus für sehbehinderte Probanden mit unterschiedlichem Lichtbedarf

Adaptationsleuchtdichte in cd/m²	Sehbehinderte Probanden mit hohem Lichtbedarf	Sehbehinderte Probanden mit hohem Lichtbedarf
0,1	0,010	0,022
0,32	0,025	0,028
1,0	0,050	0,037
3,2	0,080	0,043
10	0,120	0,047
32	0,160	0,048
100	0,210	0,042
320	0,230	0,035

Tabelle 48: Geometische Mittelwerte für die Kontrastschwelle für die getesteten Probandengruppen und Adaptationsleuchtdichten

Adaptationsleuchtdichte in cd/m²	Normalsehende junge Probanden	Normalsehende ältere Probanden	Sehbehinderte Probanden
0,1	0,0228	0,0266	0,159
0,32	0,0153	0,0178	0,098
1,0	0,0130	0,0155	0,074
3,2	0,0111	0,0133	0,056
10	0,0101	0,0118	0,044
32	0,0095	0,0108	0,042
100	0,0093	0,0096	0,040
320	0,0092	0,0093	0,044

Tabelle 49: Geometische Mittelwerte für die Kontrastschwelle für sehbehinderte Probanden mit unterschiedlichem Lichtbedarf

Adaptationsleuchtdichte in cd/m²	Sehbehinderte Probanden mit hohem Lichtbedarf	Sehbehinderte Probanden mit hohem Lichtbedarf
0,1	0,250	0,100
0,32	0,123	0,078
1,0	0,082	0,071
3,2	0,053	0,066
10	0,040	0,066
32	0,036	0,073
100	0,033	0,098
320	0,035	0,125

Tabellen zur Prüfung auf Normalverteilung

Test auf Normalverteilung - Visus normalsehende jüngere Probanden

Hypothesentestübersicht

	Nullhypothese	Test	Sig.	Entscheidung
1	Die Verteilung von L0.1 ist normal mit Mittelwert 0,48 und Standardabweichung 0,105.	Kolmogorov-Smirnov-Test bei einer Stichprobe	,040 ¹	Nullhypothese ablehnen
2	Die Verteilung von L0.32 ist normal mit Mittelwert 0,73 und Standardabweichung 0,207.	Kolmogorov-Smirnov-Test bei einer Stichprobe	,052 ¹	Nullhypothese beibehalten
3	Die Verteilung von L1 ist normal mit Mittelwert 0,96 und Standardabweichung 0,206.	Kolmogorov-Smirnov-Test bei einer Stichprobe	,011 ¹	Nullhypothese ablehnen
4	Die Verteilung von L3.2 ist normal mit Mittelwert 1,25 und Standardabweichung 0,286.	Kolmogorov-Smirnov-Test bei einer Stichprobe	,017 ¹	Nullhypothese ablehnen
5	Die Verteilung von L10 ist normal mit Mittelwert 1,50 und Standardabweichung 0,325.	Kolmogorov-Smirnov-Test bei einer Stichprobe	,008 ¹	Nullhypothese ablehnen
6	Die Verteilung von L32 ist normal mit Mittelwert 1,60 und Standardabweichung 0,316.	Kolmogorov-Smirnov-Test bei einer Stichprobe	,004 ¹	Nullhypothese ablehnen
7	Die Verteilung von L100 ist normal mit Mittelwert 1,68 und Standardabweichung 0,367.	Kolmogorov-Smirnov-Test bei einer Stichprobe	,006 ¹	Nullhypothese ablehnen
8	Die Verteilung von L320 ist normal mit Mittelwert 1,71 und Standardabweichung 0,342.	Kolmogorov-Smirnov-Test bei einer Stichprobe	,010 ¹	Nullhypothese ablehnen

Asymptotische Signifikanzwerte werden angezeigt. Das Signifikanzniveau ist ,05.

¹Lilliefors korrigiert

Abbildung 132: Tabelle aus SPSS zur Prüfung auf Normalverteilung - hier: Visus normalsehende jüngere Probanden

Test auf Normalverteilung - Visus normalsehende ältere Probanden

Hypothesentestübersicht

	Nullhypothese	Test	Sig.	Entscheidung
1	Die Verteilung von L0.1 ist normal mit Mittelwert 0,23 und Standardabweichung 0,039.	Kolmogorov-Smirnov-Test bei einer Stichprobe	,019 ¹	Nullhypothese ablehnen
2	Die Verteilung von L0.32 ist normal mit Mittelwert 0,38 und Standardabweichung 0,085.	Kolmogorov-Smirnov-Test bei einer Stichprobe	,001 ¹	Nullhypothese ablehnen
3	Die Verteilung von L1 ist normal mit Mittelwert 0,51 und Standardabweichung 0,123.	Kolmogorov-Smirnov-Test bei einer Stichprobe	,009 ¹	Nullhypothese ablehnen
4	Die Verteilung von L3.2 ist normal mit Mittelwert 0,68 und Standardabweichung 0,171.	Kolmogorov-Smirnov-Test bei einer Stichprobe	,002 ¹	Nullhypothese ablehnen
5	Die Verteilung von L10 ist normal mit Mittelwert 0,85 und Standardabweichung 0,190.	Kolmogorov-Smirnov-Test bei einer Stichprobe	,069 ¹	Nullhypothese beibehalten
6	Die Verteilung von L32 ist normal mit Mittelwert 1,02 und Standardabweichung 0,182.	Kolmogorov-Smirnov-Test bei einer Stichprobe	,005 ¹	Nullhypothese ablehnen
7	Die Verteilung von L100 ist normal mit Mittelwert 1,28 und Standardabweichung 0,240.	Kolmogorov-Smirnov-Test bei einer Stichprobe	,002 ¹	Nullhypothese ablehnen
8	Die Verteilung von L320 ist normal mit Mittelwert 1,53 und Standardabweichung 0,357.	Kolmogorov-Smirnov-Test bei einer Stichprobe	,170 ¹	Nullhypothese beibehalten

Asymptotische Signifikanzen werden angezeigt. Das Signifikanzniveau ist ,05.

¹Lilliefors korrigiert

Abbildung 133: Tabelle aus SPSS zur Prüfung auf Normalverteilung - hier: Visus normalsehende ältere Probanden

Test auf Normalverteilung - Visus sehbehinderte Probanden

Hypothesentestübersicht

	Nullhypothese	Test	Sig.	Entscheidung
1	Die Verteilung von L0.1 ist normal mit Mittelwert 0,04 und Standardabweichung 0,050.	Kolmogorov-Smirnov-Test bei einer Stichprobe	,000 ¹	Nullhypothese ablehnen
2	Die Verteilung von L0.32 ist normal mit Mittelwert 0,06 und Standardabweichung 0,073.	Kolmogorov-Smirnov-Test bei einer Stichprobe	,000 ¹	Nullhypothese ablehnen
3	Die Verteilung von L1 ist normal mit Mittelwert 0,09 und Standardabweichung 0,102.	Kolmogorov-Smirnov-Test bei einer Stichprobe	,000 ¹	Nullhypothese ablehnen
4	Die Verteilung von L3.2 ist normal mit Mittelwert 0,11 und Standardabweichung 0,121.	Kolmogorov-Smirnov-Test bei einer Stichprobe	,000 ¹	Nullhypothese ablehnen
5	Die Verteilung von L10 ist normal mit Mittelwert 0,13 und Standardabweichung 0,155.	Kolmogorov-Smirnov-Test bei einer Stichprobe	,000 ¹	Nullhypothese ablehnen
6	Die Verteilung von L32 ist normal mit Mittelwert 0,15 und Standardabweichung 0,185.	Kolmogorov-Smirnov-Test bei einer Stichprobe	,000 ¹	Nullhypothese ablehnen
7	Die Verteilung von L100 ist normal mit Mittelwert 0,17 und Standardabweichung 0,225.	Kolmogorov-Smirnov-Test bei einer Stichprobe	,000 ¹	Nullhypothese ablehnen
8	Die Verteilung von L320 ist normal mit Mittelwert 0,18 und Standardabweichung 0,250.	Kolmogorov-Smirnov-Test bei einer Stichprobe	,000 ¹	Nullhypothese ablehnen

Asymptotische Signifikanzen werden angezeigt. Das Signifikanzniveau ist ,05.

¹Lilliefors korrigiert

Abbildung 134: Tabelle aus SPSS zur Prüfung auf Normalverteilung - hier: Visus sehbehinderte Probanden

Test auf Normalverteilung - Kontrastschwelle normalsehende jüngere Probanden

Hypothesentestübersicht

	Nullhypothese	Test	Sig.	Entscheidung
1	Die Verteilung von L0.1 ist normal mit Mittelwert 0,02 und Standardabweichung 0,004.	Kolmogorov-Smirnov-Test bei einer Stichprobe	,000 ¹	Nullhypothese ablehnen
2	Die Verteilung von L0.32 ist normal mit Mittelwert 0,02 und Standardabweichung 0,003.	Kolmogorov-Smirnov-Test bei einer Stichprobe	,000 ¹	Nullhypothese ablehnen
3	Die Verteilung von L1 ist normal mit Mittelwert 0,01 und Standardabweichung 0,003.	Kolmogorov-Smirnov-Test bei einer Stichprobe	,000 ¹	Nullhypothese ablehnen
4	Die Verteilung von L3.2 ist normal mit Mittelwert 0,01 und Standardabweichung 0,003.	Kolmogorov-Smirnov-Test bei einer Stichprobe	,000 ¹	Nullhypothese ablehnen
5	Die Verteilung von L10 ist normal mit Mittelwert 0,01 und Standardabweichung 0,003.	Kolmogorov-Smirnov-Test bei einer Stichprobe	,001 ¹	Nullhypothese ablehnen
6	Die Verteilung von L32 ist normal mit Mittelwert 0,01 und Standardabweichung 0,003.	Kolmogorov-Smirnov-Test bei einer Stichprobe	,000 ¹	Nullhypothese ablehnen
7	Die Verteilung von L100 ist normal mit Mittelwert 0,01 und Standardabweichung 0,003.	Kolmogorov-Smirnov-Test bei einer Stichprobe	,000 ¹	Nullhypothese ablehnen
8	Die Verteilung von L320 ist normal mit Mittelwert 0,01 und Standardabweichung 0,003.	Kolmogorov-Smirnov-Test bei einer Stichprobe	,000 ¹	Nullhypothese ablehnen

Asymptotische Signifikanzen werden angezeigt. Das Signifikanzniveau ist ,05.

¹Lilliefors korrigiert

Abbildung 135: Tabelle aus SPSS zur Prüfung auf Normalverteilung - hier: Kontrastschwelle normalsehende jüngere Probanden

Test auf Normalverteilung - Kontrastschwelle normalsehende ältere Probanden

Hypothesentestübersicht

	Nullhypothese	Test	Sig.	Entscheidung
1	Die Verteilung von L0.1 ist normal mit Mittelwert 0,03 und Standardabweichung 0,003.	Kolmogorov-Smirnov-Test bei einer Stichprobe	,000 ¹	Nullhypothese ablehnen
2	Die Verteilung von L0.32 ist normal mit Mittelwert 0,02 und Standardabweichung 0,003.	Kolmogorov-Smirnov-Test bei einer Stichprobe	,001 ¹	Nullhypothese ablehnen
3	Die Verteilung von L1 ist normal mit Mittelwert 0,02 und Standardabweichung 0,002.	Kolmogorov-Smirnov-Test bei einer Stichprobe	,000 ¹	Nullhypothese ablehnen
4	Die Verteilung von L3.2 ist normal mit Mittelwert 0,01 und Standardabweichung 0,002.	Kolmogorov-Smirnov-Test bei einer Stichprobe	,000 ¹	Nullhypothese ablehnen
5	Die Verteilung von L10 ist normal mit Mittelwert 0,01 und Standardabweichung 0,002.	Kolmogorov-Smirnov-Test bei einer Stichprobe	,001 ¹	Nullhypothese ablehnen
6	Die Verteilung von L32 ist normal mit Mittelwert 0,01 und Standardabweichung 0,003.	Kolmogorov-Smirnov-Test bei einer Stichprobe	,018 ¹	Nullhypothese ablehnen
7	Die Verteilung von L100 ist normal mit Mittelwert 0,01 und Standardabweichung 0,002.	Kolmogorov-Smirnov-Test bei einer Stichprobe	,000 ¹	Nullhypothese ablehnen
8	Die Verteilung von L320 ist normal mit Mittelwert 0,01 und Standardabweichung 0,002.	Kolmogorov-Smirnov-Test bei einer Stichprobe	,000 ¹	Nullhypothese ablehnen

Asymptotische Signifikanzen werden angezeigt. Das Signifikanzniveau ist ,05.

¹Lilliefors korrigiert

Abbildung 136: Tabelle aus SPSS zur Prüfung auf Normalverteilung - hier: Kontrastschwelle normalsehende ältere Probanden

Test auf Normalverteilung - Kontrastschwelle sehbehinderte Probanden

Hypothesentestübersicht

	Nullhypothese	Test	Sig.	Entscheidung
1	Die Verteilung von L0.1 ist normal mit Mittelwert 0,27 und Standardabweichung 0,309.	Kolmogorov-Smirnov-Test bei einer Stichprobe	,000 ¹	Nullhypothese ablehnen
2	Die Verteilung von L0.32 ist normal mit Mittelwert 0,17 und Standardabweichung 0,226.	Kolmogorov-Smirnov-Test bei einer Stichprobe	,000 ¹	Nullhypothese ablehnen
3	Die Verteilung von L1 ist normal mit Mittelwert 0,12 und Standardabweichung 0,141.	Kolmogorov-Smirnov-Test bei einer Stichprobe	,000 ¹	Nullhypothese ablehnen
4	Die Verteilung von L3.2 ist normal mit Mittelwert 0,08 und Standardabweichung 0,095.	Kolmogorov-Smirnov-Test bei einer Stichprobe	,000 ¹	Nullhypothese ablehnen
5	Die Verteilung von L10 ist normal mit Mittelwert 0,07 und Standardabweichung 0,077.	Kolmogorov-Smirnov-Test bei einer Stichprobe	,000 ¹	Nullhypothese ablehnen
6	Die Verteilung von L32 ist normal mit Mittelwert 0,06 und Standardabweichung 0,067.	Kolmogorov-Smirnov-Test bei einer Stichprobe	,000 ¹	Nullhypothese ablehnen
7	Die Verteilung von L100 ist normal mit Mittelwert 0,07 und Standardabweichung 0,112.	Kolmogorov-Smirnov-Test bei einer Stichprobe	,000 ¹	Nullhypothese ablehnen
8	Die Verteilung von L320 ist normal mit Mittelwert 0,09 und Standardabweichung 0,155.	Kolmogorov-Smirnov-Test bei einer Stichprobe	,000 ¹	Nullhypothese ablehnen

Asymptotische Signifikanzen werden angezeigt. Das Signifikanzniveau ist ,05.

¹Lilliefors korrigiert

Abbildung 137: Tabelle aus SPSS zur Prüfung auf Normalverteilung - hier: Kontrastschwelle sehbehinderte Probanden

Test auf Normalverteilung - Kontrastschwelle bei Blendung normalsehende jüngere Probanden

Hypothesentestübersicht

	Nullhypothese	Test	Sig.	Entscheidung
1	Die Verteilung von UGR28 ist normal mit Mittelwert 0,02 und Standardabweichung 0,006.	Kolmogorov-Smirnov-Test bei einer Stichprobe	,012 ¹	Nullhypothese ablehnen
2	Die Verteilung von UGR25 ist normal mit Mittelwert 0,02 und Standardabweichung 0,005.	Kolmogorov-Smirnov-Test bei einer Stichprobe	,009 ¹	Nullhypothese ablehnen
3	Die Verteilung von UGR22 ist normal mit Mittelwert 0,01 und Standardabweichung 0,005.	Kolmogorov-Smirnov-Test bei einer Stichprobe	,016 ¹	Nullhypothese ablehnen
4	Die Verteilung von UGR19 ist normal mit Mittelwert 0,01 und Standardabweichung 0,005.	Kolmogorov-Smirnov-Test bei einer Stichprobe	,005 ¹	Nullhypothese ablehnen
5	Die Verteilung von UGR16 ist normal mit Mittelwert 0,01 und Standardabweichung 0,005.	Kolmogorov-Smirnov-Test bei einer Stichprobe	,016 ¹	Nullhypothese ablehnen
6	Die Verteilung von UGR13 ist normal mit Mittelwert 0,01 und Standardabweichung 0,004.	Kolmogorov-Smirnov-Test bei einer Stichprobe	,002 ¹	Nullhypothese ablehnen
7	Die Verteilung von UGR10 ist normal mit Mittelwert 0,01 und Standardabweichung 0,004.	Kolmogorov-Smirnov-Test bei einer Stichprobe	,010 ¹	Nullhypothese ablehnen
8	Die Verteilung von UGR7 ist normal mit Mittelwert 0,01 und Standardabweichung 0,005.	Kolmogorov-Smirnov-Test bei einer Stichprobe	,007 ¹	Nullhypothese ablehnen
9	Die Verteilung von UGR0 ist normal mit Mittelwert 0,01 und Standardabweichung 0,005.	Kolmogorov-Smirnov-Test bei einer Stichprobe	,004 ¹	Nullhypothese ablehnen

Asymptotische Signifikanz werden angezeigt. Das Signifikanzniveau ist ,05.

¹Lilliefors korrigiert

Abbildung 138: Tabelle aus SPSS zur Prüfung auf Normalverteilung - hier: Kontrastschwelle bei Blendung normalsehende jüngere Probanden

Test auf Normalverteilung - Kontrastschwelle bei Blendung normalsehende ältere Probanden

Hypothesentestübersicht

	Nullhypothese	Test	Sig.	Entscheidung
1	Die Verteilung von UGR28 ist normal mit Mittelwert 0,03 und Standardabweichung 0,010.	Kolmogorov-Smirnov-Test bei einer Stichprobe	,000 ¹	Nullhypothese ablehnen
2	Die Verteilung von UGR25 ist normal mit Mittelwert 0,02 und Standardabweichung 0,004.	Kolmogorov-Smirnov-Test bei einer Stichprobe	,035 ¹	Nullhypothese ablehnen
3	Die Verteilung von UGR22 ist normal mit Mittelwert 0,02 und Standardabweichung 0,003.	Kolmogorov-Smirnov-Test bei einer Stichprobe	,000 ¹	Nullhypothese ablehnen
4	Die Verteilung von UGR19 ist normal mit Mittelwert 0,02 und Standardabweichung 0,002.	Kolmogorov-Smirnov-Test bei einer Stichprobe	,000 ¹	Nullhypothese ablehnen
5	Die Verteilung von UGR16 ist normal mit Mittelwert 0,02 und Standardabweichung 0,002.	Kolmogorov-Smirnov-Test bei einer Stichprobe	,000 ¹	Nullhypothese ablehnen
6	Die Verteilung von UGR13 ist normal mit Mittelwert 0,01 und Standardabweichung 0,003.	Kolmogorov-Smirnov-Test bei einer Stichprobe	,000 ¹	Nullhypothese ablehnen
7	Die Verteilung von UGR10 ist normal mit Mittelwert 0,01 und Standardabweichung 0,003.	Kolmogorov-Smirnov-Test bei einer Stichprobe	,000 ¹	Nullhypothese ablehnen
8	Die Verteilung von UGR7 ist normal mit Mittelwert 0,01 und Standardabweichung 0,002.	Kolmogorov-Smirnov-Test bei einer Stichprobe	,000 ¹	Nullhypothese ablehnen
9	Die Verteilung von UGR0 ist normal mit Mittelwert 0,01 und Standardabweichung 0,002.	Kolmogorov-Smirnov-Test bei einer Stichprobe	,001 ¹	Nullhypothese ablehnen

Asymptotische Signifikanzwerte werden angezeigt. Das Signifikanzniveau ist ,05.

¹Lilliefors korrigiert

Abbildung 139: Tabelle aus SPSS zur Prüfung auf Normalverteilung - hier: Kontrastschwelle bei Blendung normalsehende ältere Probanden

Test auf Normalverteilung - Kontrastschwelle bei Blendung sehbehinderte Probanden

Hypothesentestübersicht

	Nullhypothese	Test	Sig.	Entscheidung
1	Die Verteilung von UGR28 ist normal mit Mittelwert 0,47 und Standardabweichung 0,387.	Kolmogorov-Smirnov-Test bei einer Stichprobe	,000 ¹	Nullhypothese ablehnen
2	Die Verteilung von UGR25 ist normal mit Mittelwert 0,37 und Standardabweichung 0,354.	Kolmogorov-Smirnov-Test bei einer Stichprobe	,000 ¹	Nullhypothese ablehnen
3	Die Verteilung von UGR22 ist normal mit Mittelwert 0,30 und Standardabweichung 0,324.	Kolmogorov-Smirnov-Test bei einer Stichprobe	,000 ¹	Nullhypothese ablehnen
4	Die Verteilung von UGR19 ist normal mit Mittelwert 0,23 und Standardabweichung 0,277.	Kolmogorov-Smirnov-Test bei einer Stichprobe	,000 ¹	Nullhypothese ablehnen
5	Die Verteilung von UGR16 ist normal mit Mittelwert 0,19 und Standardabweichung 0,240.	Kolmogorov-Smirnov-Test bei einer Stichprobe	,000 ¹	Nullhypothese ablehnen
6	Die Verteilung von UGR13 ist normal mit Mittelwert 0,16 und Standardabweichung 0,209.	Kolmogorov-Smirnov-Test bei einer Stichprobe	,000 ¹	Nullhypothese ablehnen
7	Die Verteilung von UGR10 ist normal mit Mittelwert 0,14 und Standardabweichung 0,194.	Kolmogorov-Smirnov-Test bei einer Stichprobe	,000 ¹	Nullhypothese ablehnen
8	Die Verteilung von UGR7 ist normal mit Mittelwert 0,12 und Standardabweichung 0,176.	Kolmogorov-Smirnov-Test bei einer Stichprobe	,000 ¹	Nullhypothese ablehnen
9	Die Verteilung von UGR0 ist normal mit Mittelwert 0,09 und Standardabweichung 0,150.	Kolmogorov-Smirnov-Test bei einer Stichprobe	,000 ¹	Nullhypothese ablehnen

Asymptotische Signifikanzwerte werden angezeigt. Das Signifikanzniveau ist ,05.

¹Lilliefors korrigiert

Abbildung 140: Tabelle aus SPSS zur Prüfung auf Normalverteilung - hier: Kontrastschwelle bei Blendung sehbehinderte Probanden

Test auf Normalverteilung - Subjektive Störimpfindung durch Blendung normalsehende jüngere Probanden

Hypothesentestübersicht

	Nullhypothese	Test	Sig.	Entscheidung
1	Die Kategorien von UGR28 treten mit gleichen Wahrscheinlichkeiten auf.	Chi-Quadrat-Test bei einer Stichprobe	,189	Nullhypothese beibehalten
2	Die Kategorien von UGR25 treten mit gleichen Wahrscheinlichkeiten auf.	Chi-Quadrat-Test bei einer Stichprobe	,419	Nullhypothese beibehalten
3	Die Kategorien von UGR22 treten mit gleichen Wahrscheinlichkeiten auf.	Chi-Quadrat-Test bei einer Stichprobe	,758	Nullhypothese beibehalten
4	Die Kategorien von UGR19 treten mit gleichen Wahrscheinlichkeiten auf.	Chi-Quadrat-Test bei einer Stichprobe	,759	Nullhypothese beibehalten
5	Die Kategorien von UGR16 treten mit gleichen Wahrscheinlichkeiten auf.	Chi-Quadrat-Test bei einer Stichprobe	,245	Nullhypothese beibehalten
6	Die Kategorien von UGR13 treten mit gleichen Wahrscheinlichkeiten auf.	Chi-Quadrat-Test bei einer Stichprobe	,036	Nullhypothese ablehnen
7	Die Kategorien von UGR10 treten mit gleichen Wahrscheinlichkeiten auf.	Chi-Quadrat-Test bei einer Stichprobe	,280	Nullhypothese beibehalten
8	Die Kategorien von UGR7 treten mit gleichen Wahrscheinlichkeiten auf.	Chi-Quadrat-Test bei einer Stichprobe	,001	Nullhypothese ablehnen

Asymptotische Signifikanz werden angezeigt. Das Signifikanzniveau ist ,05.

Abbildung 141: Tabelle aus SPSS zur Prüfung auf Normalverteilung - hier: Subjektive Störimpfindung durch Blendung normalsehende jüngere Probanden

Test auf Normalverteilung - Subjektive Störimpfindung durch Blendung normalsehende ältere Probanden

Hypothesentestübersicht

	Nullhypothese	Test	Sig.	Entscheidung
1	Die Kategorien von UGR28 treten mit gleichen Wahrscheinlichkeiten auf.	Chi-Quadrat-Test bei einer Stichprobe	,115	Nullhypothese beibehalten
2	Die Kategorien von UGR25 treten mit gleichen Wahrscheinlichkeiten auf.	Chi-Quadrat-Test bei einer Stichprobe	,429	Nullhypothese beibehalten
3	Die Kategorien von UGR22 treten mit gleichen Wahrscheinlichkeiten auf.	Chi-Quadrat-Test bei einer Stichprobe	,660	Nullhypothese beibehalten
4	Die Kategorien von UGR19 treten mit gleichen Wahrscheinlichkeiten auf.	Chi-Quadrat-Test bei einer Stichprobe	,416	Nullhypothese beibehalten
5	Die Kategorien von UGR16 treten mit gleichen Wahrscheinlichkeiten auf.	Chi-Quadrat-Test bei einer Stichprobe	,623	Nullhypothese beibehalten
6	Die Kategorien von UGR13 treten mit gleichen Wahrscheinlichkeiten auf.	Chi-Quadrat-Test bei einer Stichprobe	,514	Nullhypothese beibehalten
7	Die Kategorien von UGR10 treten mit gleichen Wahrscheinlichkeiten auf.	Chi-Quadrat-Test bei einer Stichprobe	,209	Nullhypothese beibehalten
8	Die Kategorien von UGR7 treten mit gleichen Wahrscheinlichkeiten auf.	Chi-Quadrat-Test bei einer Stichprobe	,321	Nullhypothese beibehalten

Asymptotische Signifikanzwerte werden angezeigt. Das Signifikanzniveau ist ,05.

Abbildung 142: Tabelle aus SPSS zur Prüfung auf Normalverteilung - hier: Subjektive Störimpfindung durch Blendung normalsehende ältere Probanden

Test auf Normalverteilung - Subjektive Störimpfindung durch Blendung sehbehinderte Probanden

Hypothesentestübersicht

	Nullhypothese	Test	Sig.	Entscheidung
1	Die Kategorien von UGR28 treten mit gleichen Wahrscheinlichkeiten auf.	Chi-Quadrat-Test bei einer Stichprobe	,000	Nullhypothese ablehnen
2	Die Kategorien von UGR25 treten mit gleichen Wahrscheinlichkeiten auf.	Chi-Quadrat-Test bei einer Stichprobe	,000	Nullhypothese ablehnen
3	Die Kategorien von UGR22 treten mit gleichen Wahrscheinlichkeiten auf.	Chi-Quadrat-Test bei einer Stichprobe	,000	Nullhypothese ablehnen
4	Die Kategorien von UGR19 treten mit gleichen Wahrscheinlichkeiten auf.	Chi-Quadrat-Test bei einer Stichprobe	,000	Nullhypothese ablehnen
5	Die Kategorien von UGR16 treten mit gleichen Wahrscheinlichkeiten auf.	Chi-Quadrat-Test bei einer Stichprobe	,189	Nullhypothese beibehalten
6	Die Kategorien von UGR13 treten mit gleichen Wahrscheinlichkeiten auf.	Chi-Quadrat-Test bei einer Stichprobe	,131	Nullhypothese beibehalten
7	Die Kategorien von UGR10 treten mit gleichen Wahrscheinlichkeiten auf.	Chi-Quadrat-Test bei einer Stichprobe	,064	Nullhypothese beibehalten
8	Die Kategorien von UGR7 treten mit gleichen Wahrscheinlichkeiten auf.	Chi-Quadrat-Test bei einer Stichprobe	,000	Nullhypothese ablehnen

Asymptotische Signifikanzwerte werden angezeigt. Das Signifikanzniveau ist ,05.

Abbildung 143: Tabelle aus SPSS zur Prüfung auf Normalverteilung - hier: Subjektive Störimpfindung durch Blendung sehbehinderte Probanden

Ergebnisse des Mann-Whitney-Tests²

Tabelle 50: Ergebnisse der asymptotischen Signifikanz des Mann-Whitney-Test für den Visus (beidseitiges Signifikanzniveau von 0,95)

Probandengruppen	0,1 cd/m ²	0,32 cd/m ²	1,0 cd/m ²	3,2 cd/m ²	10 cd/m ²	32 cd/m ²	100 cd/m ²	320 cd/m ²
Normalsehende jüngere vs. normalsehende ältere Probanden	0	0	0	0	0	0	0.01	0.102
Normalsehende jüngere vs. sehbehinderte Probanden	0	0	0	0	0	0	0	0
Normalsehende ältere vs. sehbehinderte Probanden	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabelle 51: Ergebnisse der asymptotischen Signifikanz des Mann-Whitney-Test für die Kontrastschwelle (beidseitiges Signifikanzniveau von 0,95)

Probandengruppen	0,1 cd/m ²	0,32 cd/m ²	1,0 cd/m ²	3,2 cd/m ²	10 cd/m ²	32 cd/m ²	100 cd/m ²	320 cd/m ²
Normalsehende jüngere vs. normalsehende ältere Probanden	0.008	0	0	0.002	0.065	0.091	0.626	0.527
Normalsehende jüngere vs. sehbehinderte Probanden	0	0	0	0	0	0	0	0
Normalsehende ältere vs. sehbehinderte Probanden	0	0	0	0	0	0	0	0

²Die **fett** gedruckten Werte symbolisieren **keinen signifikanten Unterschied** und nicht fett gedruckte Werte einen signifikanten Unterschied der Stichproben.

Tabelle 52: Ergebnisse der asymptotischen Signifikanz des Mann-Whitney-Test für die Kontrastschwelle bei Blendung (beidseitiges Signifikanzniveau von 0,95)

Probandengruppen	UGR 28	UGR 25	UGR 22	UGR 19	UGR 16	UGR 13	UGR 10	UGR 7
Normalsehende jüngere vs. normalsehende ältere Probanden	0.002	0.005	0.007	0.017	0.03	0.022	0.083	0.988
Normalsehende jüngere vs. sehbehinderte Probanden	0	0	0	0	0	0	0	0
Normalsehende ältere vs. sehbehinderte Probanden	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabelle 53: Ergebnisse der asymptotischen Signifikanz des Mann-Whitney-Test für die Störimpfindung bei Blendung (beidseitiges Signifikanzniveau von 0,95)

Probandengruppen	UGR 28	UGR 25	UGR 22	UGR 19	UGR 16	UGR 13	UGR 10	UGR 7
Normalsehende jüngere vs. normalsehende ältere Probanden	0.761	0.730	0.633	0.315	0.118	0.05	0.026	0.004
Normalsehende jüngere vs. sehbehinderte Probanden	0	0	0	0	0	0	0	0
Normalsehende ältere vs. sehbehinderte Probanden	0.001	0	0	0	0.001	0.001	0.004	0.013

Ergebnisse des Wilcoxon-Tests³

Tabelle 54: Ergebnisse der asymptotischen Signifikanz des Wilcoxon-Tests für die Stichproben der Sehschärfen mittels Logatomentest (Sehbehinderten Probanden bei 10 cd/m²; beidseitiges Signifikanzniveau von 0,95)

	Kontrast 0,8	Kontrast 0,5	Kontrast 0,3	Kontrast 0,2	Kontrast 0,1
Kontrast 0,8	-	0.109	0	0	0
Kontrast 0,5	0,109	-	0	0	0
Kontrast 0,3	0	0	-	0	0
Kontrast 0,2	0	0	0	-	0
Kontrast 0,1	0	0	0	0	-

Tabelle 55: Prozentualer Anteil der Bindungen (Werte mit gleichem Ergebnis) des Wilcoxon-Tests für die Stichproben der Sehschärfen mittels Logatomentest (Sehbehinderten Probanden bei 10 cd/m²)

	Kontrast 0,8	Kontrast 0,5	Kontrast 0,3	Kontrast 0,2	Kontrast 0,1
Kontrast 0,8	-	93 %	58 %	14 %	7 %
Kontrast 0,5	93 %	-	63 %	16 %	9 %
Kontrast 0,3	58 %	63 %	-	37 %	12 %
Kontrast 0,2	14 %	16 %	37 %	-	19 %
Kontrast 0,1	7 %	9 %	12 %	19 %	-

³Die **fett** gedruckten Werte symbolisieren **keinen signifikanten Unterschied** und nicht fett gedruckte Werte einen signifikanten Unterschied der verbundenen Stichproben.

Tabelle 56: Ergebnisse der asymptotischen Signifikanz des Wilcoxon-Tests für die Stichproben der Sehschärfen mittels Logatomentest (Sehbehinderten Probanden bei 100 cd/m²; beidseitiges Signifikanzniveau von 0,95)

	Kontrast 0,8	Kontrast 0,5	Kontrast 0,3	Kontrast 0,2	Kontrast 0,1
Kontrast 0,8	-	0.18	0	0	0
Kontrast 0,5	0,18	-	0	0	0
Kontrast 0,3	0	0	-	0	0
Kontrast 0,2	0	0	0	-	0
Kontrast 0,1	0	0	0	0	-

Tabelle 57: Prozentualer Anteil der Bindungen (Werte mit gleichem Ergebnis) des Wilcoxon-Tests für die Stichproben der Sehschärfen mittels Logatomentest (Sehbehinderten Probanden bei 100 cd/m²)

	Kontrast 0,8	Kontrast 0,5	Kontrast 0,3	Kontrast 0,2	Kontrast 0,1
Kontrast 0,8	-	95 %	56 %	21 %	5 %
Kontrast 0,5	95 %	-	59 %	23 %	5 %
Kontrast 0,3	56 %	59 %	-	38 %	8 %
Kontrast 0,2	19 %	23 %	38 %	-	23 %
Kontrast 0,1	5 %	7 %	15 %	23 %	-

Anhang G - Probanden

Listen der Probanden

Tabelle 58: Liste der normalsehenden jüngeren Probanden

Proband Nr.	Alter	Geschlecht
1	25	w
2	29	m
3	26	w
4	27	m
5	24	w
6	27	w
7	26	m
8	29	w
9	32	m
10	41	w
11	28	w
12	29	w
13	25	m
14	30	w
15	27	m
16	27	m
17	27	m
18	32	w
19	22	m
20	37	m
21	29	w
22	35	w

Tabelle 59: Liste der normalsehenden älteren Probanden

Proband Nr.	Alter	Geschlecht
1	73	m
2	63	w
3	67	m
4	62	m
5	51	w
6	70	w
7	69	m
8	63	w
9	75	w
10	64	m
11	59	w
12	77	w
13	78	m
14	67	w
15	69	w
16	60	m

Tabelle 60: Liste der sehbehinderten Probanden [1]

Proband Nr.	Alter	Geschlecht	Erkrankung
1	36	w	Albinismus, Nystagmus
2	68	m	AMD
3	55	m	Choriderimie
4	76	m	Diabetische Retinopathie
5	45	m	Sehnervenatrophie
6	80	w	Netzhautablösung
7	45	w	Hämioparese
8	57	m	Keratokonius
9	65	m	Netzhautablösung
10	49	m	Katarakt, Nystagmus, Netzhautablösung
11	58	m	Katarakt Nystagmus
12	35	w	Katarakt
13	57	w	Myop- Makuladegeneration
14	69	m	diabetische Retinopathie
15	40	m	Albinismus Nystagmus
16	34	w	Aniridie Nystagmus
17	32	w	Glaukom + NH Narben
18	33	m	Katarakt
19	33	w	RP
20	48	w	Katarakt am besseren Auge
21	23	w	RP
22	46	w	RP
23	84	w	AMD feucht
24	55	m	Katarakt
25	32	w	Myopia Magna
26	25	m	Albinismus, Nystagmus
27	83	m	AMD
28	50	m	Juvenile MD
29	39	m	Sauerstoffmangel
30	57	m	AMD
31	35	m	RP
32	32	w	RP
33	66	w	Myopia Magna
34	51	w	Makulaödem

Tabelle 61: Liste der sehbehinderten Probanden [2]

Proband Nr.	Alter	Geschlecht	Erkrankung
35	76	w	AMD
36	76	w	AMD
37	46	m	Juvenile MD
38	60	w	RP
39	27	w	Frühgeburten Retinopathie
40	56	w	Amblyopie L, R normalsehend
41	86	m	AMD feucht
42	43	w	Hochgradige Myopie
43	87	w	AMD trocken
44	37	m	Katarakt
45	37	m	Makulopathie
46	29	w	Katarakt
47	29	w	Morbus Stargart
48	38	w	RP, Nystagmus
49	39	w	Myopia alta, Netzhautablösung
50	30	m	Albinismus, Nystagmus
51	75	w	Frühgeborenen Star, L blind
52	81	w	beginnende AMD R, L blind
53	60	w	Katarakt angeboren, Nystagmus
54	60	w	AMD
55	38	m	Sehnervenatrophie
56	75	w	AMD
57	40	w	juvenile MD
58	71	m	Glaukom + AMD
59	58	m	Myopia magna
60	69	m	Glaukom, Katarakt, Keratokonus, Thrombose
61	77	m	Glaukom, AMD
62	47	w	juvenile MD
63	65	m	AMD
64	83	w	AMD
65	62	w	MD
66	91	w	AMD
67	55	w	Aderhautatrophie
68	46	w	MD und RP
69	33	m	Grauer Star

Tabelle 62: Liste der sehbehinderten Probanden [3]

Proband Nr.	Alter	Geschlecht	Erkrankung
70	76	w	Morbus Stargart
71	28	w	Frühgeburten Retinopathie
72	60	m	RP
73	66	w	AMD
74	57	m	RP
75	41	w	Glaukom
76	33	m	cerebrale Optikusatrophie
77	65	m	Nystagmus, Opticusatrophie
78	52	m	AMD
79	45	m	Zapfen Stäbchen Dystrophie + Nystagnus
80	36	w	Glaukom, Netzhautablösung
81	69	m	AMD trocken
82	83	m	AMD
83	51	w	Nystagmus, Optikusatrophie
84	30	m	Kolobom, Nystagmus
85	69	m	beginnender Katarakt
86	82	w	AMD
87	80	m	Glaukom
88	64	w	Myopia Magna, Glaskörpertrübungen
89	18	w	Usher 1B, stark eingeschränktes GF
90	63	w	Myopia Magna
91	22	w	RP
92	31	m	Netzhautablösung, Glaukom
93	40	m	Zapfen Dystrophie, Nystagmus
94	57	w	Zapfendystrophie
95	52	m	RP (5°)
96	43	m	Achromatopsie
97	44	m	Glaukom
98	41	m	Zapfen Stäbchen Dystrophie

Anhang H - Lebenslauf des Autors



Lebenslauf und Publikationen

Nico Hauck

Persönliche Daten

geb. am 12.07.1977 in Halle

verheiratet

Staatsbürgerschaft: Deutschland

Berufliche Tätigkeit

- 10/2017 – heute
VIDEBIS Ges.m.b.H.
AT – 1210 Wien, Floridsdorfer Hauptstraße 28
Tätigkeit: spezialisierter Augenoptiker in der Low Vision Rehabilitation und zertifizierter Lichttechniker für sehbehindertengerechte Beleuchtung; Forschung und Entwicklung, Personalführung, gewerberechtl. Geschäftsführer
- 12/2017 – heute
Innovative Visionsprojekte Akademie (IVA) , AT – 1210 Wien, Floridsdorfer Hauptstraße 28
Tätigkeit: Mitglied im Vorstand, Dozent in Weiterbildungsmaßnahmen
- 03/2006 – 10/2017
TSB Transdanubia Nikolai Ges.m.b.H.
AT – 1210 Wien, Floridsdorfer Hauptstraße 28
Tätigkeit: spezialisierter Augenoptiker in der Low Vision Rehabilitation und zertifizierter Lichttechniker für sehbehindertengerechte Beleuchtung, gewerberechtl. Geschäftsführer
- 02/2005 – 02/2006
Hilfsgemeinschaft der Blinden und Sehschwachen Österreichs,
AT – 1200 Wien, Jägerstraße 36
Tätigkeit: spezialisierter Augenoptiker in der Low Vision Rehabilitation
- 09/2000
Fielmann AG & Co., Niederlassung Bernburg (D):
Tätigkeit: Augenoptikergeselle

Studium und Auszeichnungen

- 03/2014 – heute
Technische Universität Wien, Doktoratsstudium
Dissertationsthema: „Erarbeitung visuell barrierefreier Licht- und Beleuchtungslösungen zur Steigerung der Orientierung und Mobilität sehbehinderter Menschen in Gebäuden sowie Entwicklung einer sehbehindertengerechten Kontrastbestimmungsmethode“
- 03/2008 – 02/2010
Fachhochschule Jena, Studiengang Optometrie / Vision Science – Masterstudium
Thema der Masterarbeit: „Untersuchungen zur Kontrastempfindlichkeit von sehbehinderten Personen bei Blendung“
- 11/2005
Verleihung des Rupp+Hubrach-Preises für Augenoptik
beste Diplomarbeit im Studiengang Augenoptik in Deutschland
- 10/2000 – 12/2004
Fachhochschule Jena, Studiengang Augenoptik – Diplomstudium
Thema der Diplomarbeit: „Entwicklung eines Kartentests zur Bewertung der Kontrastempfindlichkeit auf Basis der Punktsehschärfe“

Weiterbildungen

11/2010 – 01/2011	Weiterbildung „Zertifizierter Lichttechniker für Innenraumbeleuchtung“ zertifiziert durch die Lichttechnische Gesellschaft Österreichs (LTG)
2008	Anerkannter Fachberater für Sehbehinderte
2006	Spezialisierte Augenoptiker in der Low Vision Rehabilitation

Schul- und Berufsausbildung, Wehrdienst

08/1997 – 08/2000	Fielmann AG & Co., Niederlassung Halle/S. und Bernburg: Ausbildung zum Augenoptikergesellen
09/1996 – 06/1997	Grundwehrdienst in der Fritz-Erler-Kaserne in Fulda
07/1996	Abitur am Burggymnasium Wettin

Praktika, berufliche Erfahrungen

01/2003	3P – Contactlinsen GmbH: Praktikum im Bereich Kontaktlinsenanpassung und Herstellung formstabiler Kontaktlinsen
11/2002	Augenklinik Jena: Praktikum in den Abteilungen Poliklinik, Sehschule, Augenoperationen und Stationäre Betreuung
11/2002	Berufsförderungswerk Halle: Praktikum im Bereich Rehabilitation sehbehinderter Menschen
09/2002 – 10/2002	Trothe-Optik, Halle: Praktikum in den Bereichen Augenglasbestimmung, Kontaktlinsen- anpassung und Anpassung vergrößernder Sehhilfen
09/2002	OTR Oberflächentechnik GmbH, Rathenow: Grundlagenpraktikum Galvanik und Arbeitsablaufoptimierung
08/2002	Fielmann Modebrillen GmbH & Co., Rathenow: Praktikum in den Bereichen Konstruktion, Arbeitsablauf und Beschichtung
08/2002	Rathenower Optische Werke GmbH: Praktikum in den Abteilungen Glasproduktion und FOF

Sprachkenntnisse

Englisch	(gut)
Russisch	(Grundkenntnisse)
Latein	(Grundkenntnisse)

PC-Kenntnisse

MS Office (sehr gut)
Relux (sehr gut)
Corel Draw (gut)
Visual C++ (Grundkenntnisse)

Publikationen

N. Hauck, Diplomarbeit 2004: „Erarbeitung eines Kartentests zur Bestimmung der Kontrastempfindlichkeit auf Basis der Punktsehschärfe“

Talk: R+H Preisverleihung 2005, Jena;
TSB Kongress 2007, Wien

in: „Optometrie“, 2005

N. Hauck, Masterarbeit 2010: „Kontrastempfindlichkeit sehbehinderter Menschen bei Blendung“

Talk: WVAO Kongress 2012, Köln
Seminar „Rund um die Beleuchtung“ 2013, Stuttgart
Kurs „Lichtberater in der Low Vision Rehabilitation“ 2012/2013, Wien

P. Heilig / N. Hauck: „Moderne Lichtquellen - Gefahr für die Augen?“

Talk: Hilfsgemeinschaft der Blinden und Sehschwachen, 05/2005 Wien

N. Hauck: „Blendung und Reduzierungsmaßnahmen“

Talk: Seminar: „Rund um die Beleuchtung“ 2013, Stuttgart
Kurs: „Lichtberater in der Low Vision Rehabilitation“ 2012/2013, Wien
Kurs: „Blendung und Blendempfindlichkeit“, 2012, Lenzburg Schweiz

N. Hauck: „Blendung und Reduzierungsmaßnahmen“

Talk: Seminar: „Rund um die Beleuchtung“ 2013, Stuttgart
Kurs: „Lichtberater in der Low Vision Rehabilitation“ 2012/2013, Wien
Kurs: „Blendung und Blendempfindlichkeit“, 2012, Lenzburg Schweiz

N. Hauck: „Licht und Kontraste“

Talk: Fachweiterbildung: Österreichische Fachweiterbildung für Frühförderinnen von Kindern mit Sehbehinderung oder Blindheit

N. Hauck, F. Buser, A. Mahdavi: „Visual impairmentadaptation luminance glare; an empirical investigation“, enviBulid 2017

N. Hauck: „Kontrast und Wahrnehmung“

Talk: Kongress: „Light Indoor“ 2017, ÖISS, Wien