Schriftenreihe der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin

- Forschung -

Fb 882

D. Gall

C. Vandahl

W. Jordanow

S. Jordanowa

Tageslicht und künstliche Beleuchtung

- Bewertung von Lichtschutzeinrichtungen -

Dortmund/Berlin 1999

Projektleiter: Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Dietrich Gall
Wiss. Mitarbeiter: Dr.-Ing. Cornelia Vandahl
Dipl.-Ing. Wladimir Jordanow
Dipl.-Ing. Shiwka Jordanowa

Technische Universität Ilmenau
Fakultät Maschinenbau
Fachgebiet Lichttechnik
PF 100565
D-98684 Ilmenau
Telefon: (03677) 846925
Telefax: (03677) 842463

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung und Themenstellung	15
2	Angaben in der Literatur	17
2.1	Allgemeine Angaben	17
2.2	Kategorisierung der unterschiedlichen Lichtschutzvorrichtungen	18
2.3	Übersicht über Lichtschutzeinrichtungen	21
2.3.1	Lichtschutzeinrichtungen ohne Lichtlenkung	21
2.3.2	Lichtlenksysteme	22
3	Allgemeines zur Befragung, Skalierung und lichttechnischen Messungen	23
3.1	Fragebogengestaltung	23
3.1.1	Allgemeines	23
3.1.2	Skalen zur Blendungsbewertung	24
3.2	Statistische Auswertung	25
3.3	Lichttechnische Messungen	27
3.4	Leuchtdichteanalytik in Räumen mit Tageslicht	27
3.4.1	Vermessung der direkten Blendwirkung von Fenstern	32
3.4.2	Vermessung und Bewertung von Reflexwirkungen auf Bildschirmen	33
3.4.3	Zusammenfassung und Ausblick	35
4	Untersuchungen mit natürlichem Tageslicht im Büroraum	36
4.1	Ziel der Untersuchung	36
4.2	Versuchsaufbau und Durchführung	36
4.3	Auswertung	41
4.3.1	Korrelationen zwischen Meß- und Befragungsergebnissen	41
4.3.2	Blendungsmessung und -bewertung	45
4.3.3	Änderung der Beleuchtungsstärken durch den gewählten Lichtschutz	46
4.3.4	Einstellung der künstlichen Beleuchtung	48
5	Untersuchungen zu den Schwellenwerten der Reflexblendung	51
5.1	Ziel des Versuches	51
5.2	Versuchsparameter	51
5.3	Versuchsdurchführung	54
5.4	Auswertung	54
5.4.1	Betrachtung der Leuchtdichten	54
5.4.2	Betrachtung der Kontraste	58

6 Untersuchungen am künstlichen Fenster 63
6.1 Aufbau des künstlichen Fenster 63
6.2 Leuchtdichten und deren Reflexe am Bildschirm 65
6.2.1 Versuchsaufbau und -durchführung 65
6.2.2 Ergebnisse 66
6.3 Bewertung von Lichtschutzeinrichtungen 70
6.3.1 Versuchsaufbau und Durchführung 70
6.3.2 Ergebnisse 71
7 Bewertung von Lichtschutzeinrichtungen am realen Fenster 82
7.1 Durchführung der Untersuchungen und Messungen 82
7.2 Ergebnisse 84
7.3 Schlußfolgerungen 88
8 Praxisuntersuchungen 89
8.1 Versuchsdurchführung 89
8.2 Ergebnisse 90
9 Zusammenfassung und Ausblick 92
9.1 Ergebnisse der Messungen und Befragungen 92
9.2 Allgemeine Anmerkungen zu den untersuchten Lichtschutzeinrichtungen 94
9.3 Offene Probleme 95
10 Literaturverzeichnis 96
11 Anhang 101

Verzeichnis der Bilder

Bild 1:	In den Fragebögen verwendete Skalenarten	24
Bild 2:	Zuordnung von Zahlenwerten zu den Urteilen	25
Bild 3:	Foto eines Leuchtdichte-Analysators	29
Bild 4:	Funktionsprinzip des Leuchtdichte-Analysators	29
Bild 5:	Beispielmessung von Bildschirmreflexen (Messung 4 in Tabelle 6)	35
Bild 6:	Versuchsraum	37
Bild 7:	Grundriß des Versuchsraumes	37
Bild 8:	Beleuchtungsstärkeverteilung im Versuchsraum (Meßlinie siehe Bild 7)	38
Bild 9:	Leuchtdichtebild des Arbeitsplatzes	39
Bild 10:	Regression zwischen vertikaler Beleuchtungsstärke und Bewertung des Tageslichtes (alle Versuche)	43
Bild 11:	Regression zwischen vertikaler Beleuchtungsstärke und Blendungsbewertung (alle Versuche)	44
Bild 12:	Zusammenhang zwischen Blendungsbewertung und DGI-Wert	45
Bild 13:	Änderung der Beleuchtungsstärke durch den gewählten Lichtschutz	47
Bild 14:	Gewünschte zusätzliche künstliche Beleuchtung in Abhängigkeit vom Tageslicht (Versuch V2 - bedeckt)	49
Bild 15:	Gewünschte zusätzliche künstliche Beleuchtung in Abhängigkeit vom Tageslicht (Versuch V3 - bedeckt mit künstlicher Beleuchtung)	50
Bild 16:	Versuchsraum	52
Bild 17:	Merkbare Spiegelung	55
Bild 18:	Störende Spiegelung	55
Bild 19:	Unerträgliche Spiegelung	56
Bild 20:	Kontraste in Abhängigkeit von der Leuchtdichte	58
Bild 21:	Kontraste in Abhängigkeit von der sich spiegelnden Leuchtdichte und logarithmische Regression für Bildschirm 1	59
Bild 22:	Kontraste in Abhängigkeit von der sich spiegelnden Leuchtdichte und logarithmische Regression für Bildschirm 2	59
Bild 23:	Kontraste in Abhängigkeit von der sich spiegelnden Leuchtdichte und logarithmische Regression für Bildschirm 3	60
Bild 24:	Kontraste in Abhängigkeit von der sich spiegelnden Leuchtdichte und logarithmische Regression für Bildschirm 4	60

Bild 25: Kontraste in Abhängigkeit von der sich spiegelnden Leuchtdichte und logarithmische Regression für Bildschirm 5 61
Bild 26: Aufbau des künstlichen Fensters 63
Bild 27: Leuchtdichteverteilung des künstlichen Fensters 64
Bild 28: Himmelsleuchtdichten nach FISCHER (1982) 64
Bild 29: Spektrum der verwendeten Lampen 65
Bild 30: Bewertung der Spiegelung in Abhängigkeit von der Allgemeinbeleuchtung 67
Bild 31: Bewertung der Spiegelung in Abhängigkeit vom Bildschirmhintergrund (Fensterleuchtdichte 200 cd/m^2) 67
Bild 32: Bewertung der Spiegelung in Abhängigkeit vom Bildschirmhintergrund (Fensterleuchtdichte 1000 cd/m^2) 68
Bild 33: Bewertung der Spiegelung in Abhängigkeit von der sich spiegelnden Leuchtdichte (schwarzer Bildschirmhintergrund) 68
Bild 34: Bewertung der Spiegelung in Abhängigkeit von der spiegelnden Leuchtdichte (weißer Bildschirmhintergrund) 69
Bild 35: Mittelwert und Standardabweichung der Urteile für Bildschirm 1 72
Bild 36: Mittelwert und Standardabweichung der Urteile für Bildschirm 2 73
Bild 37: Mittelwert und Standardabweichung der Urteile für Bildschirm 3 73
Bild 38: Mittleres Urteil in Abhängigkeit von der maximalen Leuchtdichte der Lichtschutzeinrichtung (schwarzer Bildschirmhintergrund) 76
Bild 39: Mittleres Urteil in Abhängigkeit von der maximalen Leuchtdichte der Lichtschutzeinrichtung (weißer Bildschirmhintergrund) 76
Bild 40: Mittleres Urteil in Abhängigkeit vom Bildschirmkontrast 77
Bild 41: Mittleres Urteil in Abhängigkeit vom Kontrastverhältnis (C_o...Kontrast des Bildschirmes ohne Fremdlicht) 77
Bild 42: Mittleres Urteil in Abhängigkeit vom Muster der Lichtschutzeinrichtung 78
Bild 43: Bewertung der Helligkeit des Tageslichtes in Abhängigkeit von der horizontalen Beleuchtungsstärke am Arbeitsplatz 79
Bild 44: Bewertung der Helligkeit des Tageslichtes in Abhängigkeit von der vertikalen Beleuchtungsstärke am Arbeitsplatz 79
Bild 45: Blendungsbewertung beim Blick aus dem Fenster für die untersuchten Lichtschutzeinrichtungen 80
Bild 46: Zusammenhang zwischen maximaler Leuchtdichte der LSE und Blendungsbewertung beim Blick aus dem Fenster 80

Bild 47: DGI-Wert und Blendurteil 81
Bild 48: Bewertung der Raumhelligkeit 85
Bild 49: Bewertung der Sicht nach außen 85
Bild 50: Bewertung der Blendung auf der Söllner-Skala 86
Bild 51: Blendungsbewertung in Abhängigkeit von der Leuchtdichte (Abkürzungen siehe Tabelle 30), Regression und Grenzwert für Güteklasse 1 86
Bild 52: Aufbau des Fragebogens bei den Feldversuchen (Beispielfragen) 89
Bild 53: Zusammenhang zwischen der Bewertung der Raumhelligkeit und der zylindrischen Beleuchtungsstärke 91
Bild 54: DGI-Wert und Blendungsbewertung 91
Bild 55: Leuchtdichteverteilung Vertikal 1 (geschlossen) 111
Bild 56: Leuchtdichteverteilung Vertikal 1 + künstliche Beleuchtung 112
Bild 57: Leuchtdichteverteilung Vertikal 2 (geschlossen) 113
Bild 58: Leuchtdichteverteilung künstliches Fenster ohne Lichtschutz 114
Bild 59: Leuchtdichteverteilung Folie 1 115
Bild 60: Leuchtdichteverteilung Folie 1 + künstliche Beleuchtung 116
Bild 61: Leuchtdichteverteilung Folie 2 117
Bild 62: Leuchtdichteverteilung Folie 3 118
Bild 63: Leuchtdichteverteilung Horizontal 1 (45° geöffnet) 119
Bild 64: Leuchtdichteverteilung Horizontal 1 (geschlossen) 120
Bild 65: Leuchtdichteverteilung Horizontal 2 (geschlossen) 121
Bild 66: Leuchtdichteverteilung Horizontal 3 (geschlossen) 122

Verzeichnis der Tabellen

Tabelle 1: Blendungsbewertungs-Skalen 25
Tabelle 2: Verwendete statistische Verfahren 26
Tabelle 3: Verwendete Meßgeräte 27
Tabelle 4: Auswertungsmöglichkeiten des Leuchtdichte-Analysators 31
Tabelle 5: Ergebnisdaten einer Blendungsbewertung 32
Tabelle 6: Mittlere, maximale und minimale Schleierleuchtdichte L_V und CRF-Werte 34
Tabelle 7: Meßwerte Versuch 1 - sonnig (Versuchsbeginn) 40
Tabelle 8: Meßwerte Versuch 2 - bedeckt (Versuchsbeginn) 40
Tabelle 9: Meßwerte Versuch 3 - bedeckt mit künstlicher Beleuchtung (Versuchsbeginn) 41
Tabelle 10: Korrelationskoeffizienten und aus der Regression berechnete Beleuchtungsstärkewerte für alle Versuche 42
Tabelle 11: Korrelationskoeffizienten und aus der Regression berechnete Beleuchtungsstärkewerte für Versuch 1 - sonnig 42
Tabelle 12: Korrelationskoeffizienten und aus der Regression berechnete Beleuchtungsstärkewerte für Versuch 2 - bedeckt 42
Tabelle 13: Korrelationskoeffizienten und aus der Regression berechnete Beleuchtungsstärkewerte für Versuch 3 - bedeckt mit künstlicher Beleuchtung 43
Tabelle 14: Schlußfolgerungen aus der Regression zwischen Meß- und Befragungsergebnissen 44
Tabelle 15: Häufigkeiten der Verschattung der Fenster 46
Tabelle 16: Festlegung der Beleuchtungsstärke nach Wahl des Lichtschutzes, Vergleich mit Ergebnissen aus Kapitel 4.3.1 48
Tabelle 17: Untersuchte Bildschirme und Meßwerte der Zertifizierung 53
Tabelle 18: Merkbare Spiegelungen für E_{Allg} = 500 lx 57
Tabelle 19: Störende Spiegelungen für E_{Allg} = 500 lx 57
Tabelle 20: Zulässige Leuchtdichten im Raum 57
Tabelle 21: Bildschirmkontraste bei merkbarer und störender Spiegelung 62
Tabelle 22: Versuchsbedingungen 66
Tabelle 23: Untersuchte Lichtschutzeinrichtungen 70

Tabelle 24: Lichttechnische Kennzahlen der Lichtschutzeinrichtungen 71
Tabelle 25: Nach der Beurteilung der Versuchspersonen zulässige Lichtschutz einrichtungen für die einzelnen Bildschirme und Bildschirmdarstellungen 74
Tabelle 26: Bildschirmklassen und zulässige Leuchtdichten 75
Tabelle 27: Untersuchungsparameter 83
Tabelle 28: Meßergebnisse 83
Tabelle 29: Bewertungen durch die Versuchsleiter 84
Tabelle 30: „Was empfinden Sie positiv?“ 87
Tabelle 31: „Was empfinden Sie negativ?“ 87
Tabelle 32: Altersverteilung der Versuchspersonen 89
Tabelle 33: Korrelation zwischen Bewertungen und Meßwerten der Beleuchtungsstärke und aus der Regression berechnete Beleuchtungsstärkewerte (kursiv) 90
Tabelle 34: Zusammenfassung der Untersuchungsergebnisse 93

Verzeichnis der Abkürzungen

BS	Bildschirm
C	Kontrast
C_0	Kontrast ohne Schleierreflexion
C_V	Kontrast mit Schleierreflexion
CRF	Kontrastwiedergabefaktor
CRF_m	mittlerer Kontrastwiedergabefaktor
CRF_{max}	maximaler Kontrastwiedergabefaktor
DGI	Daylight Glare Index
E_{Allg}	Allgemeinbeleuchtungsstärke
E_{ges}	Gesamtbeleuchtungsstärke
E_h, E_h	horizontale Beleuchtungsstärke
$E_{h, TL}$	horizontale Beleuchtungsstärke des Tageslichtes
$E_{v, BS}$	vertikale Beleuchtungsstärke am Bildschirm
$E_{v, Auge}$	vertikale Beleuchtungsstärke am Auge
E_z, E_{zyl}	zylindrische Beleuchtungsstärke
FB	Fragebogen
KL, TL	Künstliches Licht, Tageslicht
L	Leuchtdichte
$L_{Fenster}$	Leuchtdichte des Fensters
L_{max}	maximale Leuchtdichte
L_{min}	minimale Leuchtdichte
L_m	mittlere Leuchtdichte
L_O	Objektleuchtdichte
L_U	Umfeldleuchtdichte
L_V	Schleierleuchtdichte
$L_{V, m}$	mittlere Schleierleuchtdichte
$L_{V, min}$	minimale Schleierleuchtdichte
$L_{V, max}$	maximale Schleierleuchtdichte
LSE	Lichtschutzeinrichtung
$\beta\tau,_{dif}$	Leuchtdichtefaktor bei diffuser Einstrahlung
$\beta\tau,_{dir}$	Leuchtdichtefaktor bei direkter Sonneneinstrahlung
ρ_{dif}	diffuser Reflexionsgrad bei diffuser Einstrahlung
τ_{dif}	diffuser Transmissionsgrad bei diffuser Einstrahlung

Tageslicht und künstliche Beleuchtung
- Bewertung von Lichtschutzeinrichtungen -

Kurzreferat

Im Forschungsbericht werden die Ergebnisse einer vergleichenden Untersuchung von Lichtschutzeinrichtungen ohne Lichtlenkung dargestellt.

In realen Büroräumen und an einem künstlichen Fenster wurden durch Versuchspersonen Bewertungen abgegeben. Versuchsparameter waren dabei die Allgemeinbeleuchtung und die Bildschirmqualität und -darstellung (Positiv-/Negativdarstellung).

Es werden Vor- und Nachteile der verschiedenen Lichtschutzeinrichtungen dargestellt und diskutiert. Die verwendete Leuchtdichteanalytik wird in ihrem Funktionsprinzip erläutert und die Anwendungsmöglichkeiten für die Bewertung von Arbeitsräumen und -plätzen mit Tageslicht aufgezeigt.

Schlagwörter:

Abschirmung von Tageslicht
Bewertung
Bildschirm
Büro
Kontrastwiedergabe
Lichtschutz
Lichtschutzeinrichtung
Reflexblendung
Sonnenschutz
Sonnenschutzeinrichtung
Tageslicht
Leuchtdichte-Analytik
Blendung

Daylight and artificial illumination
- Evaluation of light protection equipment -

Abstract

This research report deals with the results of a comparative research study on light protection equipment without light directing.

Evaluations were made by test subjects in offices and near artificial windows. General illumination and visual display terminal quality and polarity were parameters to be tested (positive and negative polarity).

Advantages and drawbacks of various types of light protection equipment are shown and discussed. The operating principle of the luminance-analysing system used is explained; the application fields for the evaluation of workrooms and workplaces with daylight are shown.

Keywords:

daylight screening
evaluation
visual display terminal
office
contrast rendering
light protection
light protection equipment
glare by reflection
sun protection
sun protection equipment
daylight shading
luminance-analysing system
glare

Lumière naturelle et illumination artificielle

- Evaluation d’equipments de protetion contre la lumière -

Résumé

Dans le rapport de recherche, les résultats d’une étude comparée relative à des équipements de protection contre la lumière sans guidage de lumière sont présentés.

A cet effet, des personnes participant aux essais ont établi des évaluations dans des bureaux réels et près d’une fenêtre artificielle. L’éclairage général ainsi que la qualité de l’écran et la représentation (représentation positive/négative) ont constitué les paramètres d’essai.

Les avantages et les inconvénients des différents équipements de protection contre la lumière sont décris et discutés. En plus, le principe de fonctionnement du système analytique de luminance appliqué est expliqué, et les possibilités d’application pour l’évaluation de bureaux et de places de travail avec lumière naturelle sont démontrées.

Mots-clé:

Blindage contre lumière naturelle
Evaluation
Ecran
Bureau
Restitution de contraste
Protection contre la lumière
Equipements de protection contre la lumière
Eblouissement de reflet
Protection contre le rayonnement du soleil
Lumière naturelle
Eblouissement
Systeme analytique de luminance

Vorwort

Der Wunsch, Arbeitsplätze mit Tageslicht zu beleuchten kann Nachteile, wie Blendung, Reflexe am Bildschirm oder unerwünschte Raumaufheizung mit sich bringen. Die Verwendung von Lichtschutzeinrichtungen ist fast an allen Arbeitsplätzen mit Fensterbezug notwendig.

Im Rahmen dieses Forschungsprojektes wurden die Parameter verschiedener Typen von Lichtschutz untersucht. Befragungen an Versuchspersonen sollten klären, welche Forderungen an einen guten Lichtschutz zu stellen sind.

Wir möchten uns bei allen bedanken, die das Forschungsvorhaben unterstützten. Ein besonderer Dank gilt der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, die das Thema initiierte. Herrn Dr. Hahne von der BAuA sind wir für die Begleitung des Projektes dankbar.

Die Verwaltungs-Berufsgenossenschaft Hamburg stellte freundlicherweise zertifizierte Bildschirme zur Verfügung. Weiterhin gilt unser Dank den zahlreichen Versuchspersonen, ohne die die Untersuchung nicht möglich gewesen wäre.

Ilmenau, im Dezember 1999

Prof. Dr.-Ing. habil. D. Gall
Projektleiter

1 Einleitung und Themenstellung

Der Wunsch, in Arbeitsräumen eine Sichtverbindung nach außen zu schaffen und diesen gleichzeitig mit Tageslicht möglichst ausreichend zu beleuchten, hat vielerlei Ursachen. Zum einen sind dies wichtige Voraussetzungen für das Wohlbefinden der im Raum arbeitenden Menschen, zum anderen ergeben sich daraus Einsparungen in der Energie für Beleuchtung und Heizung. Ziel ist es deshalb immer, so viel wie möglich Tageslicht in den Innenraum zu bringen. Das kann jedoch negative Effekte, wie direkte Blendung durch die Sonne, Reflexe von Fenster- oder Wandleuchtdichten auf Bildschirmen und Aufheizung des Raumes über das gewünschte Maß hinaus zur Folge haben. Aus den genannten Gründen ergibt sich die Notwendigkeit von Lichtschutzeinrichtungen.

AYDINLI (1993) hat in einem Forschungsbericht der BAuA die Anforderungen an Lichtschutzeinrichtungen wie folgt zusammengefaßt:
"... Demnach wird von Sonnenschutzeinrichtungen die Erfüllung der folgenden Punkte erwartet:

- Vermeidung der Blendwirkung des direkten Sonnenlichtes im Innenraum;
- Vermeidung von Wärme- und Strahlungsbelastung des Innenraumes und von Personen im Raum;
- Vermeidung von großen Leuchtdichteunterschieden zwischen besonnten und unbesonnten Flächen im Gesichtsfeld;
- Gewährleistung der visuellen Sichtverbindung nach außen;
- Unwesentliche Beeinflussung der spektralen Zusammensetzung des Tageslichtes im Innenraum und damit der Farb- und Farbwiedergabeeigenschaften.

Dabei sind die Erfüllung der folgenden Punkte wünschenswert:

- Ausreichende Versorgung des Innenraumes mit Tageslicht;
- Gewährleistung der Lüftungsmöglichkeit durch Tageslichtöffnungen;
- Leichte und sichere Anbringung, Bedienung und Wartung sowie dauerhafte Beständigkeit;
- Wirtschaftlichkeit;
- Architektonische Gesichtspunkte.

Darüber hinaus können die gängigen Sonnenschutzeinrichtungen zur Vermeidung der Blendwirkung durch den Himmel ... eingesetzt werden."

Zur Realisierung der genannten Forderungen gibt es heute eine Vielzahl von Lichtschutzeinrichtungen auf dem Markt. Im Rahmen des vorliegenden Forschungsvorhabens der BAUA sollten vergleichende Untersuchungen an "klassischen" Lichtschutzeinrichtungen durchgeführt werden. Dazu gehören Lichtschutzfolien, senkrechte und waagerechte Lamellen und Rollos, deren primäres Ziel nicht in der Lenkung von Tageslicht liegt.

In mehreren Versuchsetappen wurden folgende Parameter untersucht:

Im Laborraum:

- Leuchtdichte des Lichtschutzes
- örtliche Leuchtdichteverteilung des Lichtschutzes (Muster)
- Leuchtdichteverteilung im Gesichtsfeld
- Reflexe auf dem Bildschirm (in Abhängigkeit von Bildschirmqualität und Bildschirmdarstellung)

Im realen Büroraum:

- Beleuchtungsstärkeverteilung im Raum
- Lichtfarbe
- Sicht nach außen
- Einfluß der horizontalen, vertikalen und zylindrischen Beleuchtungsstärken auf die Raumwirkung und Blendung
- Einfluß des Himmelszustandes

Besonderes Augenmerk wurde auf die meßtechnische Erfassung der Leuchtdichteverteilung im Gesichtsfeld gelegt. Von 24 Versuchspersonen wurden Wertungen vorgenommen, die bei der statistischen Auswertung mit den lichttechnischen Meßwerten in Zusammenhang gebracht wurden.

2 Angaben in der Literatur

Im folgenden Kapitel wird eine Übersicht über Literaturangaben zu Lichtschutzeinrichtungen gegeben. Zitate sind kursiv hervorgehoben.

2.1 Allgemeine Angaben

a) nach AYDINLY (1993)

Bisher existieren keine grundlegenden Untersuchungen über die lichttechnische und ergonomische Bewertung von Anlagen zur Abschirmung von Tageslicht im Büro. Im Rahmen eines Forschungsprojektes, …, wurden deshalb die Grundlagen zur Bewertung von Sonnenschutzeinrichtungen aufgestellt. Eine Vielzahl von Proben wurde exemplarisch untersucht und aufgrund ihrer gemessenen Kennzahlen ergonomisch bewertet.
… Die Proben sind wie folgt eingeteilt:
a) Sonnenschutzfolien; lichtundurchlässig, glatte Oberfläche, Prägestruktur
b) Gewebestores
c) Textilien; lichtundurchlässig, grobstrukturiert, feinstrukturiert, faserstrukturiert
ergonomische Bewertung
… Die Bewertung erfolgte nach lichttechnischen und strahlungsphysikalischen Kennzahlen der Proben subjektiv vom Bearbeiter, ohne statistische Untersuchungen mit Versuchspersonen unternommen zu haben. Diese waren aufgrund der kleinen Abmessungen der Proben nicht möglich. Es ist jedoch dringend erforderlich, statistische Untersuchungen mit Versuchspersonen durchzuführen, um die Korrelation zwischen lichttechnischen und strahlungsphysikalischen Kennzahlen der Sonnenschutzeinrichtungen und statistisch zu gewinnenden Daten zu ermitteln. AYDINLI et. al. (1993)

b) nach SCHIERZ (1991)

1991 beschäftigte sich die Studie der ETH Zürich "Beeinflussung der Arbeitsbedingungen durch Sonnen- und Wetterschutzsysteme" mit folgenden Fragen:

Ziel dieser Studie ist, die für gute Arbeitsbedingungen wesentlichen Parameter für sechs verschiedene Sonnenschutzsysteme gegeneinander abzuwägen. Insbesondere sind die Vor- und Nachteile von Storen gegenüber farbigen Gläsern aufzuzeigen.
…
Die Studie, …, gliedert sich in drei Teile:
- Klima und lichttechnische Messungen von Sonnenschutzsystemen in Büroräumen.
- Labormessungen lichttechnischer Eigenschaften von Stoffstoren und Fenstergläsern.
- Akzeptanzstudie in Form einer Befragung. (SCHIERZ, 1991)

2.2 Kategorisierung der unterschiedlichen Lichtschutzvorrichtungen

a) nach HAHNE (1997)

Aus grundsätzlichen Überlegungen resultiert eine Rangfolge der Sonnenschutzmaßnahmen hinsichtlich ihrer Wirksamkeit und Durchführung…

Primär	*Gebäudeorientierung* *Anordnung des Arbeitsplatzes,* *Waagerechte und senkrechte Blenden* *Fassaden, Fensterlaibung* *Sonnenschutzglas*
Sekundär	*Außenjalousien und Markisen* *Verschattung durch Gebäude* *Verschattung durch Bäume*
Tertiär	*Metall-Folien-Rollos* *Horizontale Metall-Jalousien* *Textil-Rollos* *Vertikale Textil-Lamellen* *Textil-Vorhänge*

Tabelle: Systematik der Sonnenschutzmaßnahmen (HAHNE, 1997)

b) nach JUNGJOHANN (1996)

Man unterscheidet zwischen aktiven und passiven Systemen. Aktive Systeme verändern sich entsprechend, wenn Sonnenschutz gewünscht ist. Das klassische System ist dabei das altbekannte Rollo oder die Jalousie. Nachteile dieses Systems sind einerseits die Mechanik, die sehr aufwendig werden kann, anderseits der Umstand, daß mit dem direktem Sonnenlicht in der Regel auch das diffuse Tageslicht am Eindringen in den Raum gehindert wird. Außerdem gibt es Prismensysteme und holografische Elemente, die zwar dem Sonnenstand nachgeführt werden müssen, aber das diffuse Tageslicht in den Raum lassen. Neue Entwicklungen wie thermotrope und elektrochrome Schichten, verringern den Aufwand an Mechanik, verhindern aber die Diffuslichtnutzung.
Als passive Systeme, gibt es spezielle Sonnenschutzverglasungen die zum Teil wellenlängenselektiv arbeiten, im wesentlichen aber auch die Gesamttransmission stark verringern. Dadurch wird also auch die Tageslichtausleuchtung des Raumes verringert. Andere passive Systeme sind aus der Fassade herausragende Elemente, die durch bei hohen Sonnenständen einen Schatten auf das Fenster werfen. Auch Systeme mit spiegelnden Lichtlenkprofilen sind bekannt. (JUNGJOHANN, 1996)

c) nach AYDINLY (1993)

Die Sonnenschutzeinrichtungen lassen sich nach Bauart in feste, verstellbare und bewegliche sowie nach Steuerungsart in manuelle und automatische Sonnenschutzeinrichtungen einteilen. Darüber hinaus kann man sie nach der Art der Anbringung aus äußere, zwischen Verglasung liegende und innere Sonnenschutzeinrichtungen bezeichnen. (AYDINLI et. al., 1993)

d) nach BARTENBACH (1997)

Blendschutzsysteme
… Blendrollos
… Vertiso
… Absorptions- und Reflexionsgläser
… Blendschutzjalousien

… Blendschutzsysteme mit integrierter Tageslichtumlenkfunktion …

Es stehen folgende Prinzipien zur Verfügung:

1. Spiegelumlenklamellen einstellbar …

2. Prismenblendschutz und Tageslichtumlenkfunktion …

3. Prismen als optische Medien lenken um; im Bereich der Totalreflexion reflektieren sie

Prinzip des Sonnenschutzes

… Feststehender Sonnenschutz

… Beweglicher Sonnenschutz (BARTENBACH, 1997)

e) nach KISCHKOWEIT-LOPIN (1999)

Überblick über die Möglichkeiten Tageslichtlenkender Bauteile.

2. Einteilung der Systeme in verschiedene Grundfunktionen

2.1 Diffuslichtumlenkung

2.2 Sonnenschutz mit Diffuslichtdurchlaß

2.3 Sonnenlichtlenkung (Umlenkung ohne Sonnenschutz)

2.4 Lichttransport

2.5 Sonnenstandabhängige Lichtlenk- /Sonnenschutzsysteme

2.7 Lichtstreuende Systeme (KISCHKOWEIT-LOPIN, 1999)

Eine tabellarische Übersicht mit der Zuordnung einzelner Systeme und Beispielzeichnungen finden sich in (KISCHKOWEIT-LOPIN, 1999) S. 52-55.

f) nach KLINGER (1994)

Überblick über heute verfügbare Sonnenschutzsysteme …

… Bauliche Maßnahmen

… Streuend transmittierende Systeme … wie Markisen, Jalousien, diffuse Verglasungen usw.

… Sonnenschutz durch Filterwirkung

… Prismatische Sonnenschutzsysteme

… Reflektorischer Sonnenschutz (KLINGER, 1994)

2.3 Übersicht über Lichtschutzeinrichtungen

2.3.1 Lichtschutzeinrichtungen ohne Lichtlenkung

Aus den Angaben in der Literatur des vorherigen Kapitels wird nachfolgend eine Übersicht über zur Zeit verwendete Lichtschutzeinrichtungen gegeben.

- Sonnenschutzglas
  - Absorption- oder Reflexionsglas
- diffuse Verglasungen
- Fensterläden
- Rolläden
- Markisen, Stellmarkisen
- Sonnenschutzfolien zwischen den Scheiben
  - glatte Oberfläche oder Prägestruktur
  - Sonnenschutzfolien als Rollo
  - silber oder auch farbig
- Rollos
  - Textil oder Kunststoff
  - Anbringung außen oder innen
- Gewebestores und Vorhänge, Faltstore
  - Faser-, Gewebe- oder Textilstruktur
  - verschiedene Farben
- waagerechte Lamellen
  - Metall oder Kunststoff
  - Anbringung außen oder innen
  - mitunter teilweise oder ganz perforiert
- senkrechte Lamellen
  - textiles Material
  - Faser-, Gewebe- oder Textilstruktur
  - verschiedene Farben
  - mitunter perforiert

2.3.2 Lichtlenksysteme

Im Rahmen des Internationalen Forschungsprojektes der International Energy Agency Task 21 Daylight in Buildings wird ein Überblick über die verfügbaren Tageslichtsysteme erstellt.

…

Einteilung der Systeme in verschiedene Grundfunktionen

… Diffuslichtumlenkung

… Sonnenschutz mit Diffuslichtumlenkung

… Sonnenlichtlenkung (Umlenkung ohne Sonnenschutz)

… Lichttransport

… Sonnenstandsabhängige Lichtlenk-/Sonnenschutzsysteme

… Lichtstreuende Systeme (KISCHKOWEIT-LOPIN, 1999)

In der angegebenen Literaturstelle wird eine tabellarische Übersicht über verschiedene Realisierungsmöglichkeiten gegeben.

3 Allgemeines zu Befragung, Skalierung und lichttechnischen Messungen

Die Untersuchung mit Versuchspersonen hat das Ziel, Bewertungen, die abgegeben werden, zu skalieren und mit Meßwerten in Zusammenhang zu bringen. Deshalb müssen Fragebögen erstellt werden, die zur Bewertung der zu untersuchenden Lichtsituationen oder Sehbedingungen geeignet sind. Weiterhin müssen alle relevanten lichttechnischen Größen meßtechnisch erfaßt werden.

Mit Hilfe von statistischen Verfahren werden die Antworten der Versuchspersonen (d. h. die abgegebenen Urteile) weiterverarbeitet. Dazu werden den Ausprägungen eines Urteils zunächst Zahlenwerte zugeordnet, d. h. die Urteile werden skaliert.

Bestehen Zusammenhänge zwischen Meßwerten und Urteilen, lassen sich daraus Schlüsse z. B. auf optimale Beleuchtungsstärken oder Leuchtdichten ziehen.

3.1 Fragebogengestaltung

3.1.1 Allgemeines

Es gibt sehr viele Möglichkeiten, Fragebögen zu gestalten. Daraus wurden zwei ausgewählt, die für alle Fragebögen Verwendung fanden. Dies waren die Rating-Skala (rating, engl. = Einschätzung) und die Möglichkeit, aus vorgegebenen Antworten eine oder mehrere zutreffende auszuwählen (Bild 1).
Eine Variante der Rating-Skala ist die Bipolarskala. Dabei werden jeweils zwei gegensätzliche Items paarweise angeordnet. Auf einer Skala zwischen den Items soll der Proband seine Bewertung abgeben. Es gibt auch die Möglichkeit die Stufen der Skala mit Begriffen zu belegen. Die von Söllner entwickelte Blendungsskala ist z. B. eine solche Rating-Skala (SÖLLNER, 1965), die auch für Tageslicht angewendet werden kann.

Bipolare Rating-Skala:
gefällt mir nicht oooooooooooooooooooooo gefällt mir
Rating-Skala nach SÖLLNER 1965:
Wie stark fühlen Sie sich geblendet?
o keine Blendung
o
o Blendung merkbar
o
o Blendung störend
o
o Blendung unzumutbar
Vorgegebene Antworten zur Auswahl:
Was empfinden Sie positiv an der Sonnenschutzeinrichtung?
o keine Blendung durch direktes Tageslicht
o ausreichende Helligkeit
o ausreichende Sicht nach außen

Bild 1: In den Fragebögen verwendete Skalenarten

Die gewählten Skalenvarianten wurden schon in vielen Ilmenauer Versuchsreihen (VÖLKER, 1999; VANDAHL, 1999; GALL et. al., 1996) verwendet und bringen erfahrungsgemäß sehr detaillierte Ergebnisse. Die Probanden haben damit kaum Probleme. Verwendet wurden die Skalen zur Bewertung von verschiedenen Lichtsituationen. Die Fragebögen sind im Anhang enthalten.

3.1.2 Skalen zur Blendungsbewertung

Die Skala nach SÖLLNER (1965) ist die am meisten verwendete Blendungsbewertungs-Skala. Um die Fragebögen einheitlich zu gestalten, wurden im Rahmen dieser Arbeit zum Teil andere Skalen verwendet. Tabelle 1 gibt eine Übersicht.

Für die Güteklasse 1 der Blendungsbegrenzung nach DIN ist ein Blendwert von 1,5 festgelegt. Für die anderen Skalen kann dieser Grenzwert entsprechend umgerechnet werden.

verbales Blendurteil nach SÖLLNER 1965	SÖLLNER 1965	Blendwert auf Bipolarskala	Blendwert Feldversuch	DGI-Wert (CIE)
keine Blendung	0	7	5	16
	1			18
Blendung merkbar	2			20
	3			22
Blendung störend	4			24
	5			26
Blendung unerträglich	6	0	1	28
DIN Güteklasse 1	1,5	5,25	2	

Tabelle 1: Blendungsbewertungs-Skalen

3.2 Statistische Auswertung

Zur Analyse und Darstellung von Zusammenhängen bietet die Statistik sehr viele Verfahren, aus denen die in Tabelle 2 dargestellten für die Auswertung der vorliegenden Daten ausgewählt wurden.

Die Bipolarskala der Fragebögen wurde zur Auswertung in gleich große Abschnitte unterteilt, denen Zahlenwerte zugeordnet wurden (Bild 2). Die Zahlenwerte wurden anschließend mit dem Statistik-Programm SPSS weiterverarbeitet.

Bipolar-Skala:
negatives Urteil oooIooooIooooIooooIooooIooooIooo positives Urteil
0 1 2 3 4 5 6 7

SÖLLNER -Skala:
0 o keine Blendung
1 o
2 o Blendung merkbar
3 o
4 o Blendung störend
5 o
6 o Blendung unzumutbar

Bild 2 : Zuordnung von Zahlenwerten zu den Urteilen

Verfahren	Bemerkungen, Festlegungen
Häufigkeitsdarstellung	Angabe der Anzahl (absolut oder prozentual) von beobachteten Werten)
Mittelwert $\bar{x} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^{n} x_i$	gebräuchliche Darstellung von Meßergebnissen für normalverteilte Daten x_i … i-ter Meßwert
Standardabweichung $s = \sqrt{\frac{1}{(n-1)} \cdot \sum_{i=1}^{n} (x_i - \bar{x})^2}$	n.....Anzahl der Meßwerte
Median	derjenige Wert in der nach ihrer Größe geordneten Rangreihe der Meßwerte, der die Reihe halbiert, dient der Darstellung von nicht normalverteilten Daten
Quartil	Jeweils ein Viertel der nach der Größe geordneten Rangreihe der Meßwerte (erstes bis viertes Quartil)
Quartilabstand	ist das Intervall auf der Merkmalsachse, das durch das untere und das obere Quartil begrenzt wird, in diesem Bereich liegen 50 % aller Werte
t-Test	parametrischer Test zum Vergleich zweier Mittelwerte (für abhängige und unabhängige Stichproben) Irrtumswahrscheinlichkeit 5 %
Korrelation	beschreibt den Grad des Zusammenhangs zwischen zwei Zufallsvariablen (hier immer im Sinne eines linearen Zusammenhangs gebraucht)
Korrelationskoeffizient $r = \frac{[\sum_{i=1}^{n} (x_i - \bar{x}) \cdot (y_i - \bar{y})]}{[(n-1) \cdot s_x s_y]}$	$(x_i - \bar{x})$ Abweichung jedes x-Wertes von seinem Mittelwert $(y_i - \bar{y})$ Abweichung jedes y-Wertes von seinem Mittelwert *n*.....Anzahl der Meßwertpaare s_x.....Standardabweichung der x-Werte s_y.....Standardabweichung der y-Werte
Regression	schätzt den Wert einer Zufallsvariablen auf Grund der Kenntnis des Wertes einer anderen Variablen desselben Elements in Diagrammen, die die (lineare) Korrelation verdeutlichen, wird meist die Regressionsgerade eingezeichnet

Tabelle 2: Verwendete statistische Verfahren

3.3 Lichttechnische Messungen

Die lichttechnischen Messungen erfolgten mit den in Tabelle 3 angegebenen Meßgeräten. Nähere Angaben zur Leuchtdichtemessung finden sich in Kapitel 3.4.

L DGI	Leuchtdichteverteilung am Arbeitsplatz geometrische Daten DGI-Wert Fenster	Leuchtdichte-Analysator
E_h	horizontale Beleuchtungsstärke am Arbeitsplatz	Luxmeter MX-Elektronik (an PC)
$E_{v,BS}$	vertikale Beleuchtungsstärke am Bildschirm	Luxmeter MX-Elektronik
$E_{v,Auge}$	vertikale Beleuchtungsstärke am Auge der Versuchsperson	MINOLTA Chromameter xy-1
E_z	zylindrische Beleuchtungsstärke in Bildschirmhöhe	LMT-Luxmeter
ρ_{dif}	diffuser Reflexionsgrad der Sonnenschutzeinrichtungen	ρ_{dif} - Meter 521 PRC Krochmann
τ_{dif}	Transmissionsgrad der Sonnenschutzeinrichtungen bei diffusem Lichteinfall	LMT Photometer RT 500
β_τ	Leuchtdichtefaktor $\beta_\tau = L / L_{Fenster}$ (Verhältnis der Leuchtdichte mit Lichtschutz zu Leuchdichte des Fensters)	Leuchtdichtemeßgerät MINOLTA LS-110 Leuchtdichte-Analysator

Tabelle 3: Verwendete Meßgeräte

3.4 Leuchtdichteanalytik in Räumen mit Tageslicht

In der letzten Zeit werden CCD-Kameras in zunehmender Anzahl zur Vermessung lichttechnischer Kenngrößen verwendet (REA et. al., 1990; BERUTTO et. al., 1995; GALL, 1998). Es liegt nun auf der Hand, diese Geräte auch zur Bewertung und Vermessung von Räumen mit Tageslicht einzusetzen, da man damit komplexe Beleuch-

tungssituationen mit vertretbarem Aufwand bestimmen kann. Der Einsatz von diesen ortsauflösenden Leuchtdichtekameras bietet sich insbesondere für folgende Anwendungsfelder an (GALL et. al., 2000):

a) Vermessung komplexer Leuchtdichtefelder in puncto Leuchtdichte, Leuchtdichteverteilung und den leuchtdichterelevanten geometrischen Parametern (WOLF et. al., 1998; JORDANOW et. al., 1998; NEVOIGT et. al., 1998).

b) Vergleich von gemessenen und berechneten Leuchtdichtefeldern zur Überprüfung von Berechnungs- und Darstellungssoftware (z. B. STEININGER, 1998).

c) Einsatz von Leuchtdichtekameras als Sensoren für die Steuerung von Tageslicht-Beleuchtungsanlagen (ARVE AUGDAL, 1999).

d) Vermessung der Himmelslichtdaten (Leuchtdichteverteilungen u. a.), (CIE-report, 1994).

e) Vermessung von Sonnenschutzanlagen und deren Komponenten.

f) Bestimmung von Beleuchtungs- und Bestrahlungsstärkeverteilungen aus den Leuchtdichte- und Strahldichtemessungen.

Im folgenden soll das Meßsystem für die Leuchtdichteanalytik (Leuchtdichte-Analysator) vorgestellt und einige Ergebnisse für die Anwendungsfelder a), e) und f) vorgestellt werden.

Der Vorteil von Kamera-Messungen ist, daß gleichzeitig eine große Menge von Leuchtdichte-, Farb-, Geometrie- und Bewegungsinformationen aufgenommen und mit der heutigen, leistungsfähigen Computertechnik verarbeitet werden können. Damit ergibt sich die Möglichkeit, diese verschiedenen Informationen miteinander zu verbinden. Derartige Meßsysteme werden Leuchtdichte-Analysatoren genannt (GALL, 1998). Einen Leuchtdichte-Analysator, der die Leuchtdichteparameter mit den geometrischen Parametern verbindet, zeigt das Bild 3. Das Funktionsprinzip ist in Bild 4 dargestellt.

Damit sowohl ein großer Gesichtsfeldbereich als auch geringe Sehobjektswinkel erfaßt werden können, muß eine Kamera mit geringem Gesichtsfeldwinkel um zwei Drehachsen geschwenkt werden.

Bild 3: Foto eines Leuchtdichte-Analysators

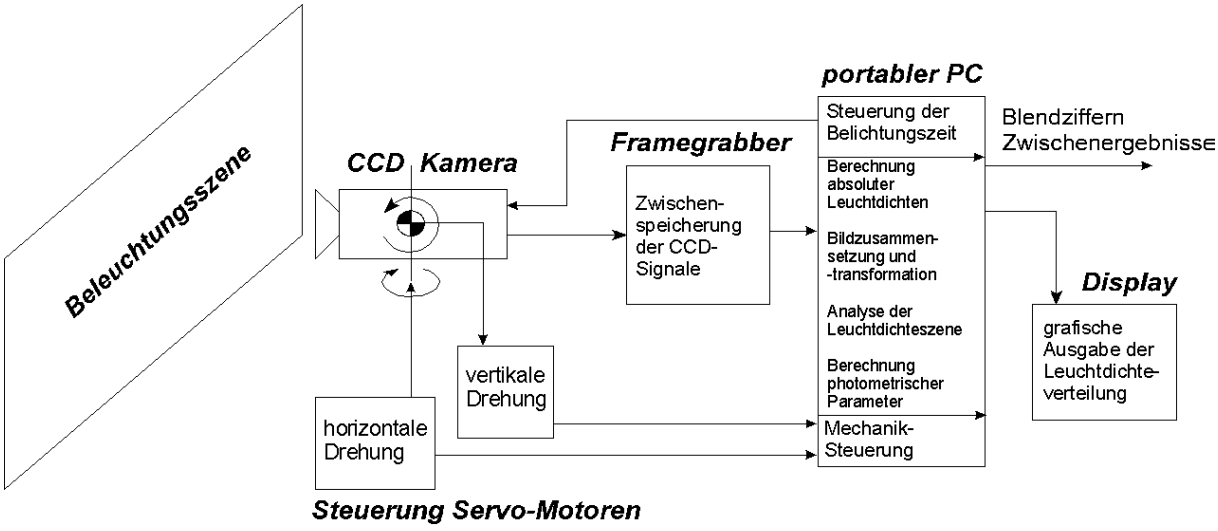


Bild 4: Funktionsprinzip des Leuchtdichte-Analysators

In ca. 240 Einzelaufnahmen, die dann zu einem Gesamtbild zusammengesetzt werden können, kann somit ein Winkelbereich von größer ± 80° (horizontal und vertikal) aufgenommen werden. Die auflösbare Sehwinkelgröße liegt bei 6', wobei 1' noch technisch zu realisieren wäre. Der erforderliche große Dynamik-Bereich von 1:106 wird durch die Belichtungszeit der CCD-Matrix erreicht, wenn von jedem Einzelbild mindestens 4 Aufnahmen mit unterschiedlichen Integrationszeiten gemacht werden.

Eine Übersicht über die Anwendungsmöglichkeiten des Leuchtdichte-Analysators gibt Tabelle 4. Daraus ist zu sehen, daß auch solche beleuchtungstechnischen Parameter wie Blendungs- und Komfortzahlen direkt vermessen werden können. Dies war in realen Räumen bisher nicht möglich. Für die Tageslichtbeleuchtung sind in (SICK, 1999) und (DIANE, Band 1, 1995) Leitsätze bzw. Kriterien bei der Projektierung bzw. Bewertung von Beleuchtungsanlagen mit Tageslicht formuliert. Die dafür erforderlichen lichttechnischen und geometrischen Parameter können mit Leuchtdichte-Analysatoren gemessen werden, das sind u. a. der Tageslichtquotient und dessen Verteilung, die Parameter zur Sonnenschutz-bewertung (Stoffkennzahlen), die Reflexerscheinungen auf Bildschirmen (Schleierwirkung, Kontrastwiedergabefaktoren), Kontrastverteilung von Infeld zu Umfeld und die Blendwirkung des Tageslichtes.

Die Vermessung von Tageslichtquotienten (Beleuchtungsstärkeverhältnisse), die bislang nur punktuell und damit sehr aufwendig bestimmt werden können (DIANE, Band 2,1995), kann mit den Leuchtdichte-Analysatoren über Reflexions-Messungen an diffus reflektierenden Flächen (z. B. im Raum verteilte Zeichenkarton-Blätter) erfolgen. Die Bewertung des visuellen Komforts (POHL et. al., 1998) bedarf einer Unterscheidung von Infeld- und Umfeldbereichen, die mit einem entsprechenden Algorithmus in der Bildverarbeitung implementiert werden kann.

Mit dem Leuchtdichte-Analysator wurden potentielle Störfaktoren bei der Tageslichtbeleuchtung untersucht, wobei insbesondere die direkte Blendwirkung durch das Fenster und die Reflexblendung bzw. Schleierreflexion durch glänzende Oberflächen (z. B. Bildschirmoberflächen) betrachtet werden sollen (NEVOIGT, 1997).

Direkte Messung	Indirekte Messung
1.Lichttechnische Parameter: • Mittlere Leuchtdichten • Leuchtdichtefelder • Beleuchtungsstärken aus definierten Raumwinkelbereichen • Direkte und indirekte Beleuchtungsstärken • Lichtstärken (vor Ort)	2. Abgeleitete lichttechnische Parameter: • Tageslichtquotienten (D) • Leuchtdichtekoeffizienten (q) • Kontraste (K) • Streuparameter • Parameter von Lichtlenk- und -schutzanlagen
3. Geometrische Parameter: • Sehwinkel • Flächen (Raumwinkel, Raumwinkel-projektion) • Lageparameter • Flächenschwerpunkte • Raumfrequenzanalyse • Parameter für die Bildverarbeitung	4. Beleuchtungstechnische Parameter: • Leuchtdichtegleichmäßigkeiten • Beleuchtungsstärkegleichmäßig-keiten - RS, G (SICK, 1999) • Blendungsgrößen - psychologische Größen: UGR-Wert, GI-Wert, VCP, DGI - physiologische Größen: Schleierleuchtdichte L_V - Reflexblendung und Schleier-reflexion (SICK, 1999) (Kontrastwiedergabe) • Komfortzahlen (POHL et. al., 1998) • Sichtbarkeiten, Visibilität • Steuerungsalgorithmen für Lichtsteueranlagen • Akzeptanzkriterien (WIENOLD et. al., 1999; NEVOIGT, 1997)

Tabelle 4: Auswertungsmöglichkeiten des Leuchtdichte-Analysators

3.4.1 Vermessung der direkten Blendwirkung von Fenstern

Nachdem bei Innenbeleuchtungsanlagen die Messung von Blendungsziffern durch den Einsatz eines Leuchtdichte-Analysators möglich wurde, wurden an realen Arbeitsplätzen (Büro- und Industriearbeitsplätze) Messungen mit Erfolg erprobt. Dabei wurden die sogenannten UGR-Blendungswerte, die sich aus Leuchtdichte- und Geometrieparametern ergeben, gemessen. In Tabelle 5 sind die Werte exemplarisch angegeben.

Meßfeld [°/1000]	(-85000 –85000 [100]; -25000 –75000 [100])					
L_b [cd/m^2]	49,6074					
$L_{Schwelle}$ [cd/m^2]	2024,14					
Lichtquelle (LQ)-Nr.	Ω[sr]	L_S	Schwerpunkt-koordinaten [°/1000]	P	E_{Auge_LQ} [lx]	Ω_p [sr]
1	2,68e-06	2056	(74598, 28399)	N/A	0,001287	6,26e-07
2	2,68e-06	2212	(74698, 28499)	N/A	0,001373	6,21e-07
3	1,21e-05	3395	(-24185, 37585)	4,999	0,02962	8,727e-06
:						
71	1,882e-04	3852	(-27161, 40244)	5,972	0,4921	1,278e-04
72	4,687e-06	2391	(-25556, 39700)	5,665	0,007779	3,254e-06
:						
1111	1,812e-06	2508	(-43998, 53499)	15,790	0,001944	7,753e-07
E_{Auge} [lx] (direkt+indirekt)	204,0					
UGR	14,40					
TI [%]	0,5198					
N/A = nicht definiert bzw. außerhalb des Geltungsbereiches						

Tabelle 5: Ergebnisdaten einer Blendungsbewertung

L_S ist die Leuchtdichte der Blendquelle, L_b - die Umfeldleuchtdichte, Ω der Raumwinkel unter dem die Blendquelle gesehen wird, Ω_p - der projezierte Raumwinkel, P der gewichtete Positionsfaktor und E_{Auge} die Beleuchtungsstärke am Auge, die die Adap-

tationsleuchtdichte beinhaltet. Damit ergibt sich neben der UGR-Zahl auch die Schwellenerhöhung TI, die ein Maß für die physiologische Blendung ist.

Die Blendungszahl für das Tageslicht wird mit dem Daylight Glare Index (DGI) angegeben, der ähnliche Parameter erfordert, wie die in Tabelle 5 aufgeführten. An 9 Arbeitsplätzen (büroähnliche Arbeitsplätze) konnten mit dem Leuchtdichte-Analysator DGI-Werte gemessen werden, die mit einer subjektiven Einschätzung durch Versuchspersonen verglichen wurden.

Es zeigt sich, daß der DGI-Wert von realen Beleuchtungsanlagen nicht eindeutig dem subjektiven Blendeindruck zugeordnet werden kann. Nähere Erläuterungen finden sich in Kapitel 8.2.

3.4.2 Vermessung und Bewertung von Reflexwirkungen auf Bildschirmen

Die Minderung des Kontrastes der Bildschirminformation infolge Schleierreflexion kann durch den Kontrastwiedergabefaktor CRF beschrieben werden.

$$CRF = \frac{C_v}{C_o}$$

C_V ... Kontrast mit Schleierreflexion

C_O.... Kontrast ohne Schleierreflexion

Bei vorhandener Schleierleuchtdichte L_V ergibt aus:

$$C_v = \frac{(L_o - L_u)}{(L_u + L_v)}$$

L_O ... Leuchtdichte des Objektes (Sehzeichen)

L_U ... Leuchtdichte des Umfeldes (BS-Hintergrund)

L_V ... Schleierleuchtdichte

$$CRF = \frac{L_u}{(L_u + L_v)}$$

In einer Meßreihe wurde untersucht, inwieweit sich der Leuchtdichte-Analysator für die Messung der genannten Leuchtdichten eignet. Es zeigte sich, daß dies ohne großen Aufwand möglich ist. Es können sowohl Maximalwerte als auch Mittelwerte des CRF-Wertes angegeben werden.

In Tabelle 6 sind die Ergebnisse einer Beispielmeßreihe angegeben.

Messung	$L_{V\,m}$ [cd/m²]	$L_{V\,max}$ [cd/m²]	$L_{V\,min}$ [cd/m²]	CRF_m	CRF_{max}
1	650	1404	203	0,13	0,33
2	83	132	35	0,55	0,74
3	120	187	55	0,45	0,65
4	45	146	23	0,69	0,81
5	18	21	12	0,85	0,89
6	30	84	5	0,77	0,95
7	22	30	14	0,82	0,88
8	15	20	10	0,87	0,91
9	22	23	15	0,82	0,87
10	25	90	13	0,80	0,88
11	6	35	3	0,94	0,97

Tabelle 6: Mittlere, maximale und minimale Schleierleuchtdichte L_V und CRF-Werte

$$CRF_m = \frac{L_u}{(L_u + L_{v,m})} \qquad CRF_{max} = \frac{L_u}{(L_u + L_{v,min})}$$

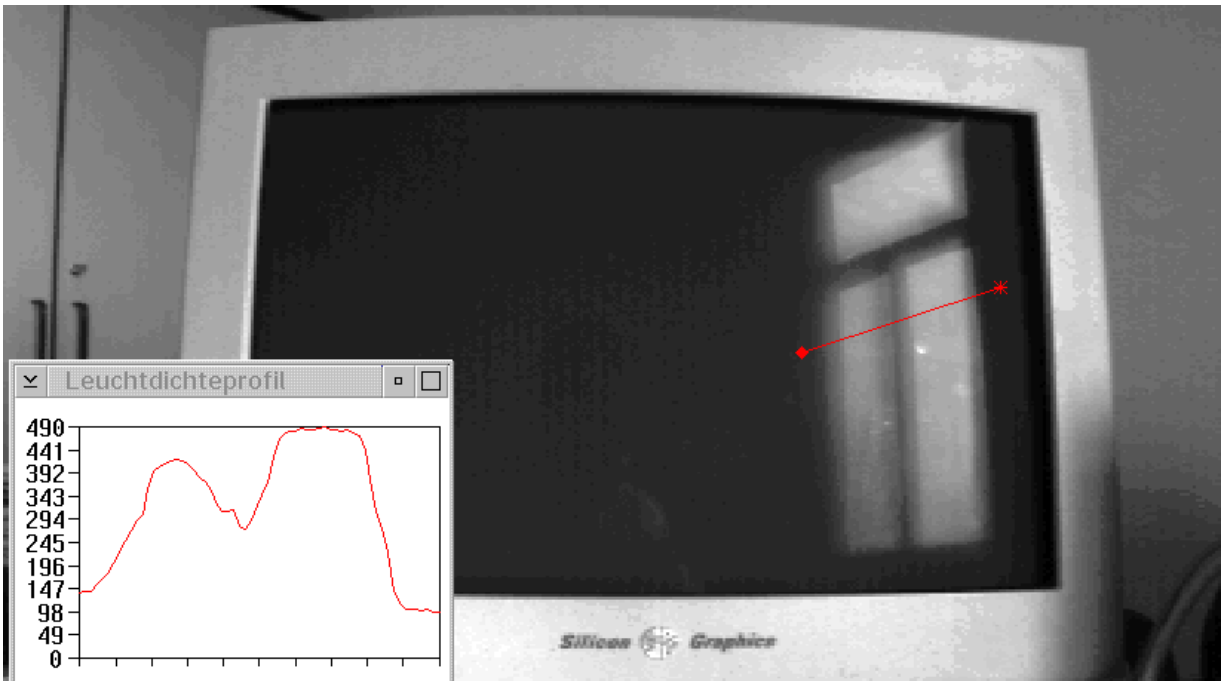


Bild 5: Beispielmessung von Bildschirmreflexen (Messung 4 in Tabelle 6)

3.4.3 Zusammenfassung und Ausblick

Die Leuchtdichte-Analysatoren eröffnen heute neue Möglichkeiten bei der Vermessung und Bewertung von Beleuchtungsanlagen. Der Einsatz des Leuchtdichte-Analysators bei der Ermittlung von Blendungszahlen für die direkte Blendung und Reflexblendung zeigt dessen Leistungsfähigkeit. Die Anwendungsmöglichkeiten sind bei weitem noch nicht ausgeschöpft, insbesondere bei der Vermessung von Himmelslichtdaten, Daten von Sonnenschutzanlagen und die Überprüfung von Berechnungssoftware. In Zukunft ist zu erwarten, daß man ortsauflösende Sensoren für das UV- und IR-Strahlungsgebiet zur Verfügung hat, mit denen eine Strahldichte-Analytik auch in diesen Spektralgebieten möglich wird. Ortsauflösende Farb-Analysatoren sind schon in der Erprobungsphase (SCHMIDT et. al., 1999).

4 Untersuchungen mit natürlichem Tageslicht im Büroraum

4.1 Ziel der Untersuchung

In einem realen, tageslichtbeleuchteten Raum mit Laborcharakter sollten Befragungen mit Versuchspersonen zu folgenden Parametern durchgeführt werden:

1. Beleuchtungsstärkeverteilung im Raum
2. Einfluß der horizontalen, vertikalen und zylindrischen Beleuchtungsstärken auf die Raumwirkung und Blendung
3. Einfluß des Himmelszustandes

4.2 Versuchsaufbau und Durchführung

In einem mit natürlichen Tageslicht beleuchteten Seminarraum der TU Ilmenau wurden Befragungen an 24 Versuchspersonen und lichttechnische Messungen durchgeführt. Der Grundriß des Raumes und die Anordnung des Bildschirmarbeitsplatzes ist in Bild 7 dargestellt. Die Fenster des Raumes befanden sich an der Südfassade. Die Untersuchung fand in der Zeit vom 26. August bis 21. September zwischen 9.00 Uhr und 12.00 Uhr statt (Sonnenstand 30°... 50°).

Im Versuchsraum wurde in Fensternähe ein Arbeitsplatz mit sehr gut entspiegeltem Bildschirm eingerichtet (Bild 6). Die Anordnung des Monitors durfte von der Versuchsperson nicht verändert werden. Sie wurde bewußt so gewählt, daß Spiegelungen des hinteren Fensters im Monitor auftreten konnten. Auf dem Bildschirm wurde ein Text (schwarze Schrift auf weißem Hintergrund) und verschiedene schwarze Flächen präsentiert (Bild 9).

Versuch 1: sonnig, klarer Himmel
Versuch 2: bedeckt
Versuch 3: bedeckt, mit zusätzlicher künstlicher Beleuchtung, so daß die Gesamtbeleuchtungsstärke zu Versuchsbeginn ca. 750 lx betrug

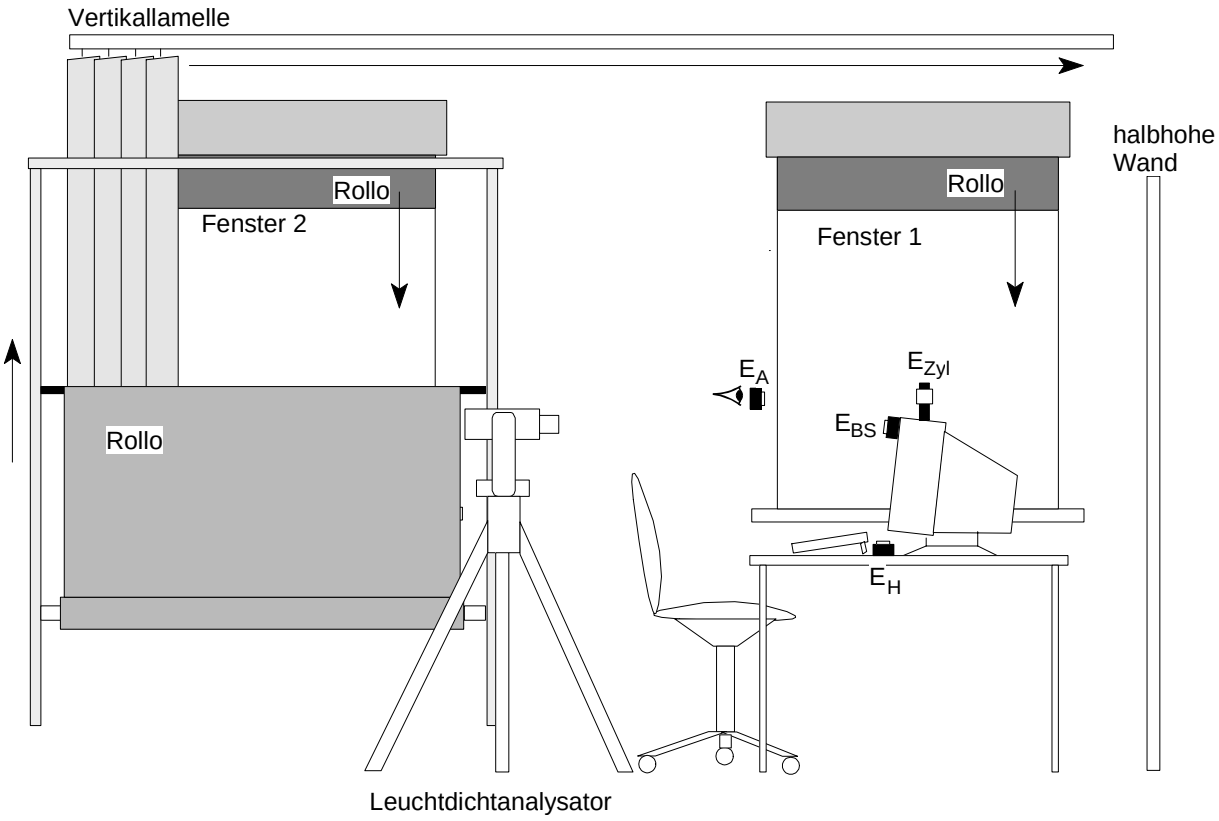
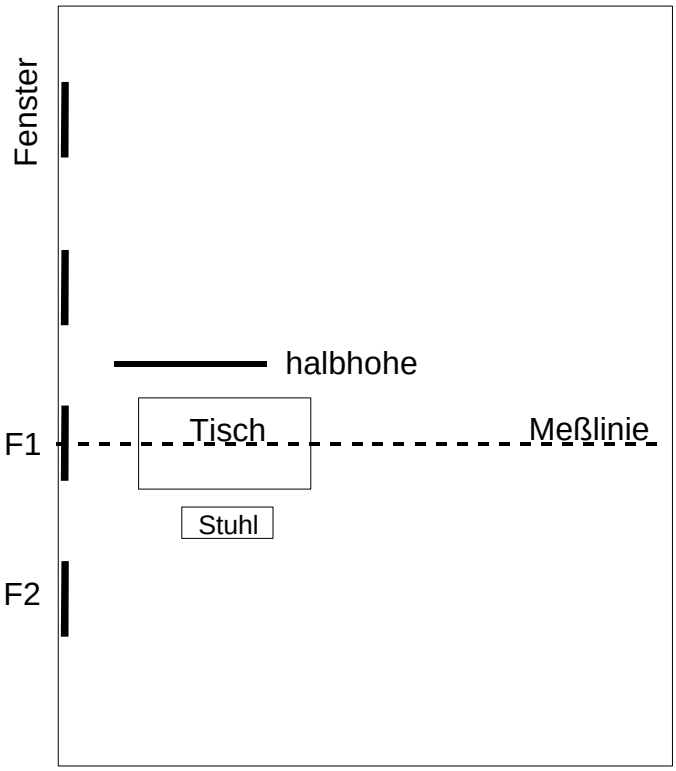


Bild 6: Versuchsraum



Raum
Länge: 11,70m
Breite: 4,95m
Höhe: 2,75m

Fenster
Höhe: 1,18m
Breite: 0,84m

Bild 7: Grundriß des Versuchsraumes

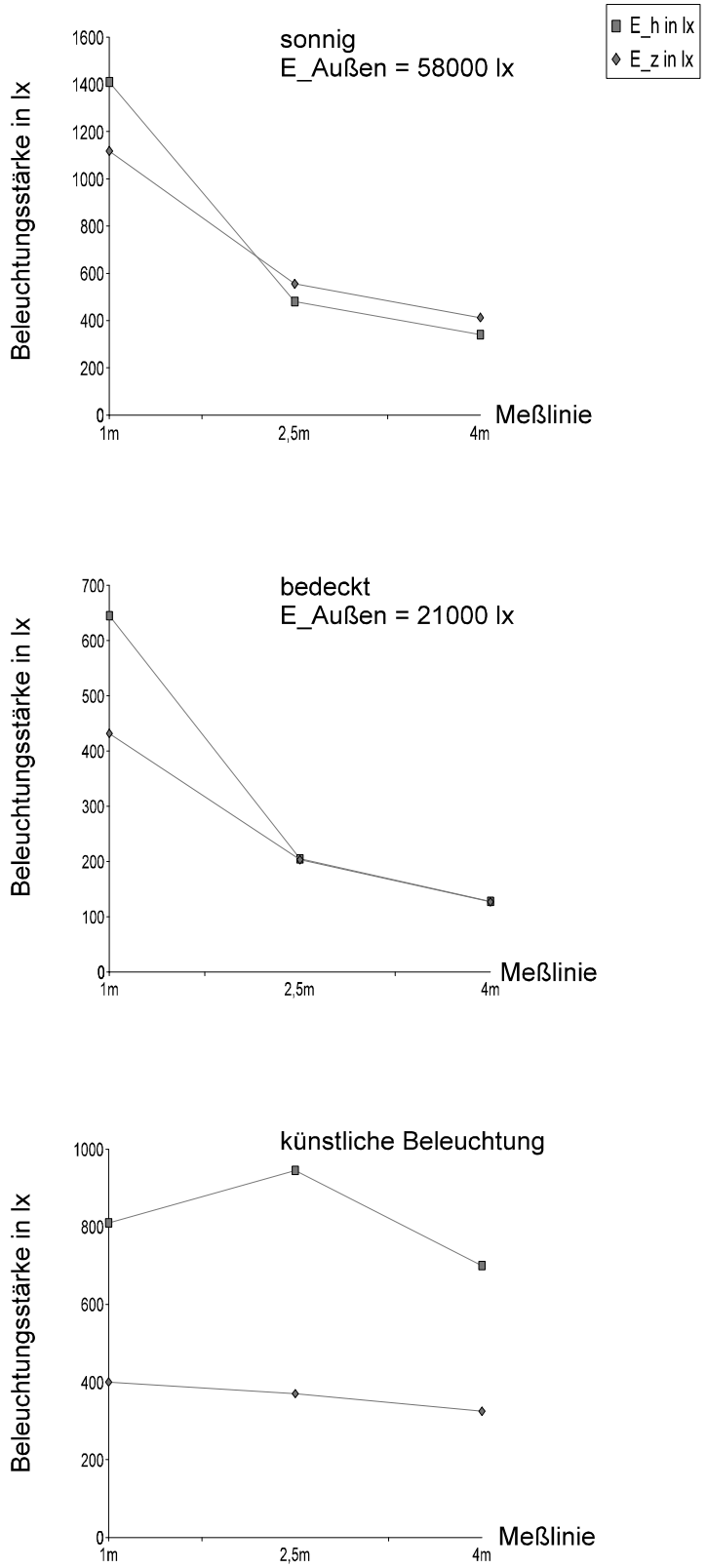
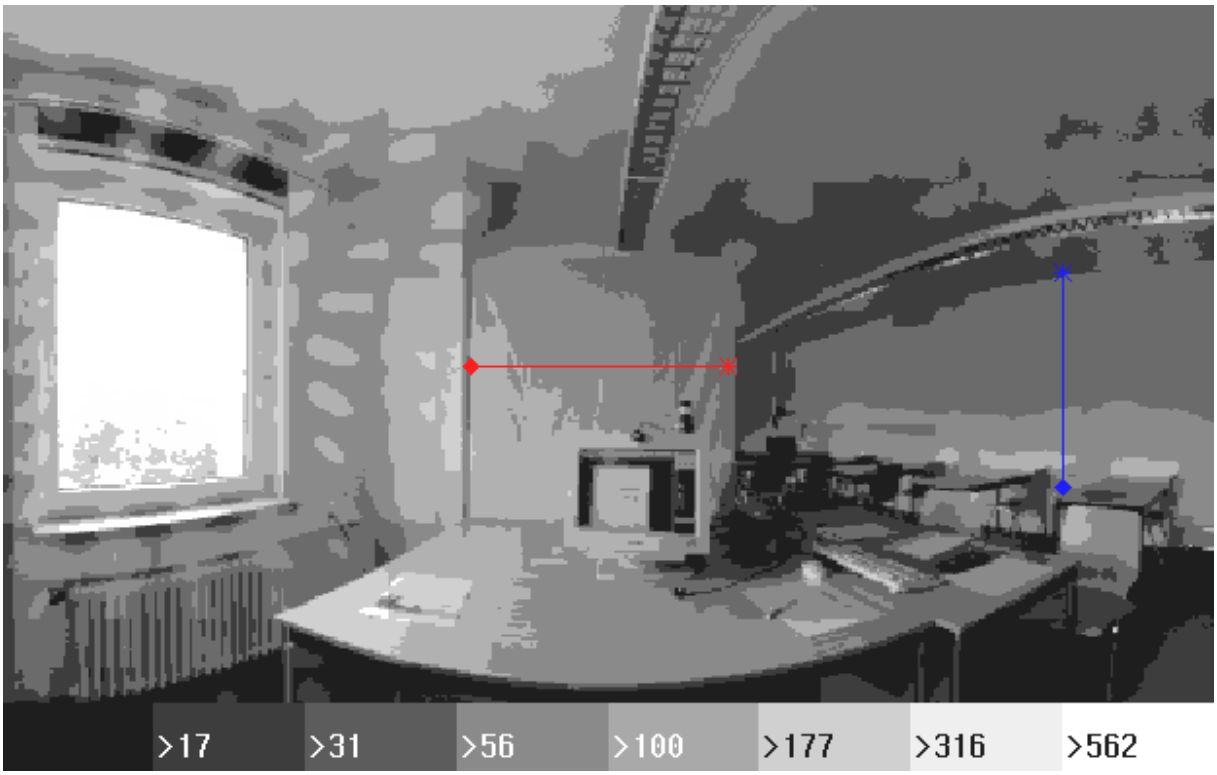
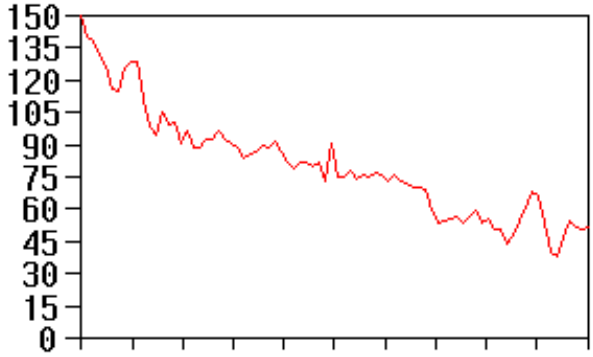


Bild 8: Beleuchtungsstärkeverteilung im Versuchsraum (Meßlinie siehe Bild 7)





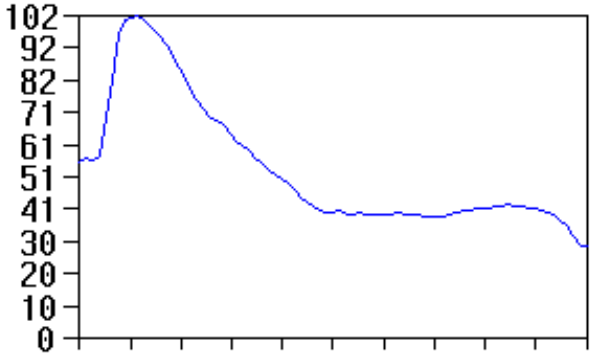


Bild 9: Leuchtdichtebild des Arbeitsplatzes

Diagramm links: horizontale Leuchtdichteverteilung (cd/m^2) auf gegenüber liegender Wand

Diagramm rechts: vertikale Leuchtdichteverteilung (cd/m^2) auf Wand rechts

Versuchsablauf:

- Bewertung des Raumes ohne Lichtschutz mit Fragebogen FB1 (Anhang)
- Blendungsbewertung mit Söllner-Skala (dabei Messung des DGI-Wertes mit dem Leuchtdichte-Analysator)
- Wunscheinstellung der Lichtschutzeinrichtung
- Wunscheinstellung der Allgemeinbeleuchtung
- Nach jeder Änderung des Lichtschutzes und der Beleuchtung wurden die Beleuchtungsstärken (Bild 6, E_{BS} ..vertikale Beleuchtungsstärke am Bildschirm, E_A ... vertikale Beleuchtungsstärke am Auge, E_{Zyl}.. zylindrische Beleuchtungsstärke) protokolliert. Die horizontale Beleuchtungsstärke (E_H in Bild 6) wurde ständig registriert und zur Auswertung der Mittelwert verwendet.

Zur Messung der Beleuchtungsstärke dienten die im Kapitel 3.3 genannte Meßgeräte. Die Meßwerte (Mittelwerte über alle Versuchspersonen) sind in den Tabellen 7 bis 9 zusammengestellt.

	E_{ges} in lx	$E_{h,TL}$ in lx	E_z in lx	$E_{v,BS}$ in lx	$E_{v,Auge}$ in lx	DGI
Mittelwert	1320,00	1320,00	1015,00	1696,60	633,00	21,87
Minimum	637	637	142	245	260	20,59
Maximum	2070	2070	1629	2700	1050	23,98
Anzahl N	15	15	15	15	15	15

Tabelle 7: Meßwerte Versuch 1 - sonnig (Versuchsbeginn)

	E_{ges} in lx	$E_{h,TL}$ in lx	E_z in lx	$E_{v,BS}$ in lx	$E_{v,Auge}$ in lx	DGI
Mittelwert	494,79	494,79	297,42	520,71	144,17	20,26
Minimum	128	128	85	147	40	17,25
Maximum	1464	1464	805	1530	350	23,44
Anzahl N	15	15	15	15	15	15

Tabelle 8: Meßwerte Versuch 2 - bedeckt (Versuchsbeginn)

	E_{ges} in lx	$E_{h,TL}$ in lx	E_z in lx	$E_{v,BS}$ in lx	$E_{v,Auge}$ in lx	DGI
Mittelwert	738,29	335,08	405,08	646,96	276,50	19,44
Minimum	642	125	282	522	205	16,05
Maximum	859	620	482	798	360	23,22
Anzahl N	15	15	15	15	15	15

Tabelle 9: Meßwerte Versuch 3 - bedeckt mit künstlicher Beleuchtung (Versuchsbeginn)

4.3 Auswertung

4.3.1 Korrelationen zwischen Meß- und Befragungsergebnissen

Um Bewertungsmöglichkeiten für Tageslicht und künstliche Beleuchtung zu schaffen, ist es notwendig, die Zusammenhänge zwischen den Meß- und Befragungsergebnissen aufzuzeigen. Das statistische Verfahren dazu ist die Korrelation. In der Tabellen 10 bis 13 sind die größten gefundenen Korrelationskoeffizienten dargestellt (Signifikanzniveau: ** Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,01 (2-seitig) signifikant, * Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,05 (2-seitig) signifikant).

Aus der Regression zwischen Befragungsergebnis und Meßwert lassen sich dann Rückschlüsse auf günstige Beleuchtungsstärken ziehen. Diese sind in der Tabelle13 kursiv vermerkt. Dazu wurde der Wert 3,5, der auf der Bewertungsskala den Übergang zur positiven Wertung darstellt, in den zugehörigen Wert der Beleuchtungsstärke umgerechnet (Bild 10). Für die Bewertung nach der Söllner-Skala (FB 1, letzte Frage) wurde der Grenzwert mit 1,5 angenommen (Bild 11).

Fragen aus Fragebogen FB 1	E_{ges} E 1	$E_{h,TL}$ E 1	E_z E 4	$E_{v,Auge}$ E 3	$E_{v,BS}$ E 2	DGI
Fenster blendet - blendet nicht		-0,506 ** *1872 lx*				-0,566 **
TL dunkel - hell		0,510 ** *123 lx*				
TL unauffällig- grell	-0,505 ** *1663 lx*	-0,563 ** *1496 lx*	-0,504 ** *1229 lx*	-0,521 ** *735 lx*		-0,513 **
Reflexionen lenken ab - stören nicht				-0,566 *		
Söllner-Blendwert Fenster	0,578 ** *1277 lx*	0,617 ** *1079 lx*	0,616 ** *888 lx*	0,563 ** *541 lx*	0,617 **	0,531 **

Tabelle 10: Korrelationskoeffizienten und aus der Regression berechnete Beleuchtungsstärkewerte für alle Versuche

Fragen aus Fragebogen FB 1	E_{ges} E 1	$E_{h,TL}$ E 1	E_z E 4	$E_{v,Auge}$ E 3	$E_{v,BS}$ E 2	DGI
Fenster belästigt - stört nicht				-0,596 * *1236 lx*		
Reflexionen lenken ab - stören nicht				-0,566 *		

Tabelle 11: Korrelationskoeffizienten und aus der Regression berechnete Beleuchtungsstärkewerte für Versuch 1 - sonnig

Fragen aus Fragebogen FB 1	E_{ges} E 1	$E_{h,TL}$ E 1	E_z E 4	$E_{v,Auge}$ E 3	$E_{v,BS}$ E 2	DGI
TL blendet - blendet nicht		-0,662 ** *1232 lx*	-0,723 ** *664 lx*	-0,639 ** *341 lx*	-0,707 **	0,700 **
TL unauffällig - grell						0,586 **
Bildschirm schlecht - gut lesbar			-0,514 * *469 lx*	-0,505 *	-0,529 ** *841 lx*	
Blick auf Monitor geblendet - nicht geblendet			-0,506 *	-0,540 ** *160 lx*	-0,514 *	
Söllner-Blendwert Fenster		0,559 ** *1219 lx*	0,639 ** *627 lx*	0,524 ** *341 lx*	0,643 **	0,496 *

Tabelle 12: Korrelationskoeffizienten und aus der Regression berechnete Beleuchtungsstärkewerte für Versuch 2 - bedeckt

Fragen aus Fragebogen FB 1	E_{ges} E 1	$E_{h,TL}$ E 1	E_z E 4	$E_{v,Auge}$ E 3	$E_{v,BS}$ E 2	DGI
KL dunkel - hell	0,503 *					
	560 lx					
Fenster blendet - blendet nicht					-0,704 **	-0,683 **
TL dunkel - hell					0,531 **	

Tabelle 13: Korrelationskoeffizienten und aus der Regression berechnete Beleuchtungsstärkewerte für Versuch 3 - bedeckt mit künstlicher Beleuchtung

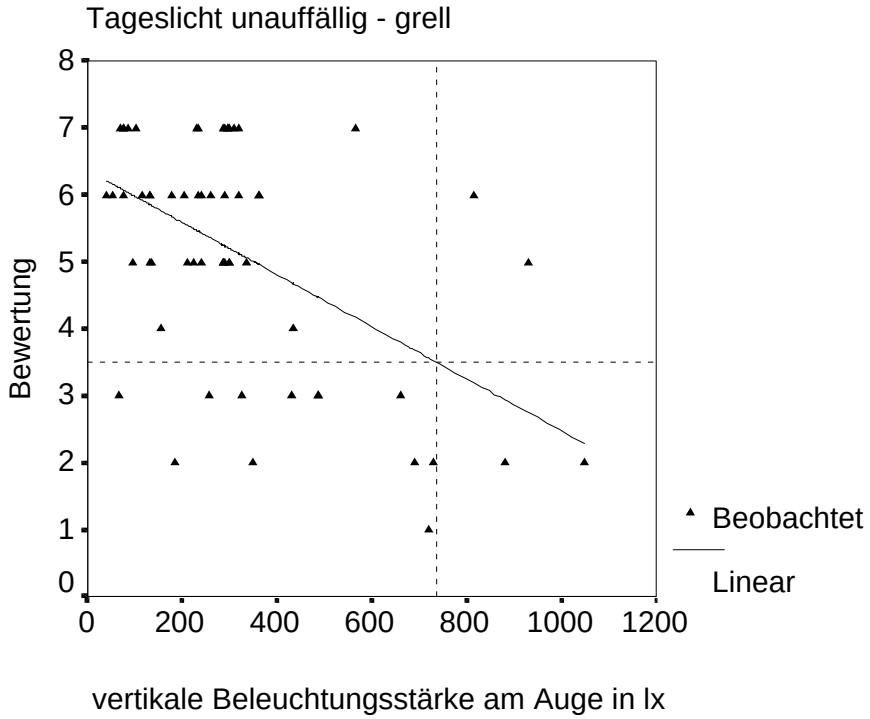


Bild 10: Regression zwischen vertikaler Beleuchtungsstärke und Bewertung des Tageslichtes (alle Versuche)

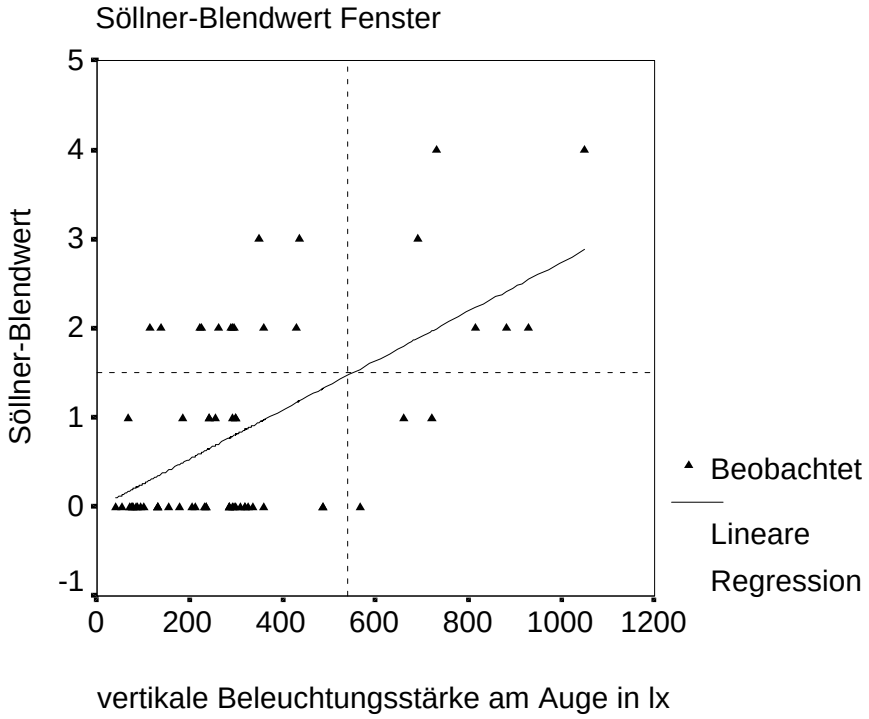


Bild 11: Regression zwischen vertikaler Beleuchtungsstärke und Blendungsbewertung (alle Versuche)

Die in den Tabellen 10 bis 13 zusammengefaßten Korrelationskoeffizienten liegen im Bereich von 0,5 bis 0,7, das entspricht einer mittleren Korrelation. Das heißt, die getroffenen Aussagen zu günstigen Beleuchtungsstärken weisen Unsicherheiten auf. Bei einigen Aussagen des Fragebogens waren die Wertungen ausschließlich positiv (d. h. >3,5), so daß der Wert 3,5 nur theoretisch in der Regression erreicht wurde.

Gesamtbeleuchtungsstärke E_{ges}	min. 560 lx
Horizontale Beleuchtungsstärke des Tageslichtes $E_{h,TL}$	min. 150 lx ab 1000 lx Blendung
Zylindrische Beleuchtungsstärke E_z	ab 600 lx Blendung
Vertikale Beleuchtungsstärke am Auge $E_{v,\ Auge}$	ab 350 lx Blendung bei Sonne ab 1200 lx Blendung
Vertikale Beleuchtungsstärke am Bildschirm $E_{v,BS}$	max. 850 lx

Tabelle 14: Schlußfolgerungen aus der Regression zwischen Meß- und Befragungsergebnissen.

Die Untersuchungsergebnisse zeigen, daß die Befragung in einem Raum mit realem Tageslicht sehr viele Nachteile hatte. Die Lichtverhältnisse änderten sich zum Teil auch während der Befragung, so daß die Meßwerte große Unsicherheiten aufweisen. Das Warten auf stabile Verhältnisse brachte zu großen Verzögerungen im Ablauf, und führte dazu, daß im vorgegebenen Zeitrahmen nur 24 Personen befragt werden konnten. Im Versuch 1 waren es nur 15 Versuchspersonen.

4.3.2 Blendungsmessung und -bewertung

Die letzte Frage im Fragebogen 1 bezieht sich auf die Blendung, die durch das Fenster hervorgerufen wird. Die Wertung war auf der bekannten 7-stufigen Söllner-Skala abzugeben. Der DGI-Wert wurde mit dem Leuchtdichte-Analysator ermittelt. Der Zusammenhang zwischen Befragungs- und Meßwerten ist im Diagramm Bild 12 dargestellt. Der Korrelationskoeffizient beträgt 0,531, der Zusammenhang ist also nicht sehr stark ausgeprägt. Fast ausschließlich wird die Situation positiver bewertet, als nach dem DGI-Wert erwartet (theoretischer Zusammenhang in Bild 12).

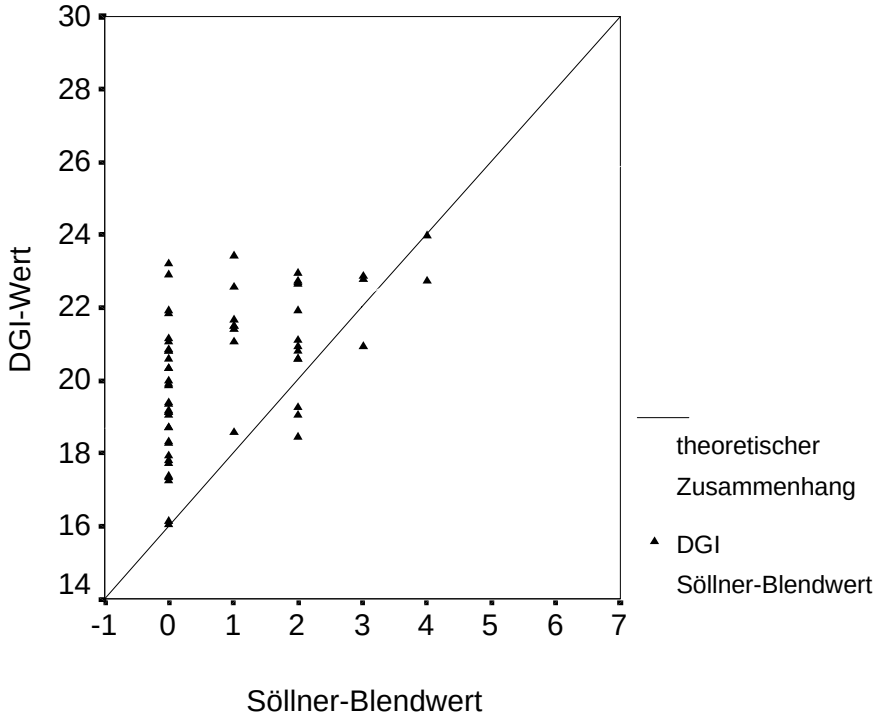


Bild 12: Zusammenhang zwischen Blendungsbewertung und DGI-Wert

4.3.3 Änderung der Beleuchtungsstärken durch den gewählten Lichtschutz

Nach Bewertung der vorgegebenen Lichtsituationen hatten die Versuchspersonen den Auftrag, sich den Lichtschutz nach ihren Wünschen einzurichten. Dabei standen vertikale Lamellen und Rollos für beide Fenster zur Verfügung. Für das hintere Fenster (Fenster 2 in Bild 6) konnte außerdem ein „Rollo von unten nach oben“ gewählt werden. Da sich das hintere Fenster im Bildschirm spiegeln konnte, wurde für dieses unabhängig von der Lichtsituation fast immer ein Sonnenschutz gewählt (Tabelle 15). Das vordere Fenster wurde nur dann verschattet, wenn direktes Sonnenlicht auf den Arbeitsplatz fiel. Bei bedecktem Himmel wurde das Fenster überwiegend offen gelassen.

Situation	hinteres Fenster (Fenster 2)	vorderes Fenster (Fenster 1)
sonnig	100 %	47%
bedeckt	96 %	12 %

Tabelle 15: Häufigkeiten der Verschattung der Fenster

Im Gespräch äußerten die Versuchspersonen ihre Kriterien für die Auswahl des Lichtschutzes:

1. Sich im Bildschirm spiegelnde Fenster müssen mit einem Lichtschutz versehen werden, dabei spielt es keine Rolle, welcher Art dieser ist. Meist wurden die Lamellen gewählt. Wenn diese durch ihre Transparenz nicht ausreichend verdunkelten, wurde dann das undurchsichtige Rollo gewählt.
2. Die Sicht nach außen ist eines der wichtigsten Kriterien bei der Einstellung. Dafür werden auch Kompromisse eingegangen. In unserem Versuch wurde dafür meist das vordere Fenster offen gelassen. Nur bei direkter Sonneneinstrahlung auf den Arbeitsbereich oder den Bildschirm wurde auf die Sicht nach außen verzichtet.

Durch die Wahl einer Lichtschutzeinrichtung änderten sich die Beleuchtungsstärken im Raum. Die Mittelwerte über alle Probanden und alle Versuche werden in Bild 13

gezeigt. Eine deutliche Veränderung der Beleuchtungsstärken ist vor allem im Versuch 1 (sonnig) zu verzeichnen. In Tabelle 16 sind die in Kapitel 4.3.1 getroffenen Feststellungen den Ergebnissen dieses Kapitels gegenübergestellt. Die Beleuchtungsstärken, die sich aus der selbst gewählten Lichtschutz-Einstellung ergeben, stimmen sehr gut mit den Ergebnissen der Korrelationsbetrachtungen überein. Für die vertikale Beleuchtungsstärke am Auge ergeben sich in diesem Versuch wesentlich geringere Werte.

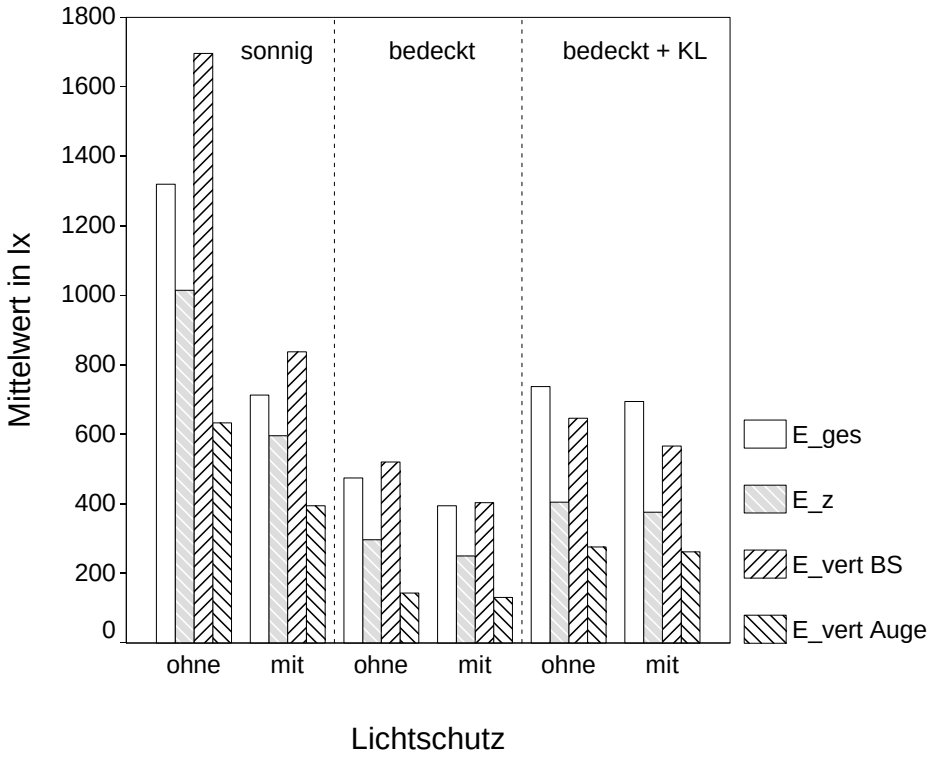


Bild 13: Änderung der Beleuchtungsstärke durch den gewählten Lichtschutz

Beleuchtungsstärke	Festlegungen aus Kapitel 4.3.1	Schlußfolgerungen aus Bild 13
Zylindrische Beleuchtungsstärke E_z	ab 600 lx Blendung	Im Versuch V1 wird E_z auf etwa 600 lx abgesenkt. In V2 und V3 liegt E_z bereits unter 600 lx und wird durch den Lichtschutz nur gering geändert.
Vertikale Beleuchtungsstärke am Bildschirm $E_{v, BS}$	max. 850 lx	Im Versuch V1 wird $E_{v, BS}$ auf etwa 850 lx abgesenkt. In V2 und V3 liegt $E_{v, BS}$ bereits unter 850lx und wird durch den Lichtschutz um 100 lx verringert.
Vertikale Beleuchtungsstärke am Auge $E_{v, Auge}$	bei Sonne ab 1200 lx Blendung	Im Versuch V1 wird $E_{v, Auge}$ auf etwa 400 lx abgesenkt.
	ab 350 lx Blendung	In V2 und V3 liegt $E_{v, Auge}$ unter 350 lx und wird durch den Lichtschutz nur minimal verringert

Tabelle 16: Festlegung der Beleuchtungsstärke nach Wahl des Lichtschutzes, Vergleich mit Ergebnissen aus Kapitel 4.3.1

4.3.4 Einstellung der künstlichen Beleuchtung

Nach der Einstellung des Lichtschutzes nach den Wünschen der Probanden, konnte bei Bedarf die künstliche Beleuchtung verändert werden.

Im Versuch V1 (sonnig) war es auch nach der Einrichtung eines Lichtschutzes noch ausreichend hell, so daß sich keine Versuchsperson eine zusätzliche Allgemeinbeleuchtung wünschte.

Im Versuch V2 (bedeckt, keine vorgegebene Allgemeinbeleuchtung) wurde immer dann eine Allgemeinbeleuchtung gewünscht, wenn das Tageslicht unter 500 lx lag. Mittlere Beleuchtungsstärken sind in Bild 14 dargestellt.

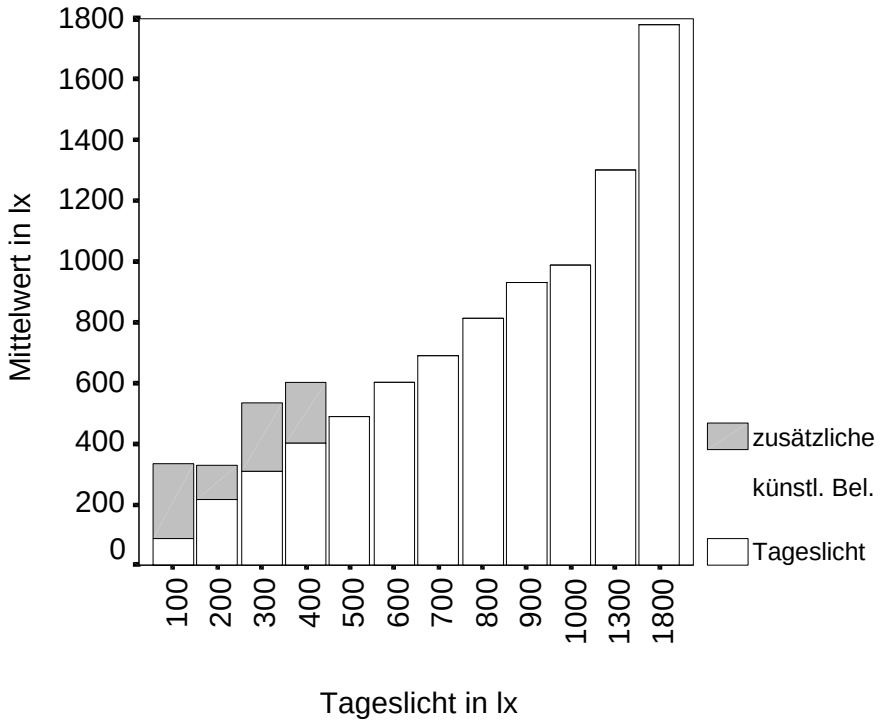


Bild 14: Gewünschte zusätzliche künstliche Beleuchtung in Abhängigkeit vom Tageslicht (Versuch V2 - bedeckt)

Im Versuch V3 war eine Allgemeinbeleuchtung vorgegeben, die etwa so groß war, daß die Gesamtbeleuchtungsstärke zu Versuchsbeginn 750 lx betrug. Der Wunsch nach einer Erhöhung der Allgemeinbeleuchtung ist in Bild 15 im Mittelwert dargestellt. Bei niedrigen vorgegebene Allgemeinbeleuchtungsstärken wird eine Erhöhung gewünscht. Diese ist unabhängig von der bereits vorhandenen Gesamtbeleuchtungsstärke. Nur 4 Personen wünschten eine Verringerung der Allgemeinbeleuchtung.

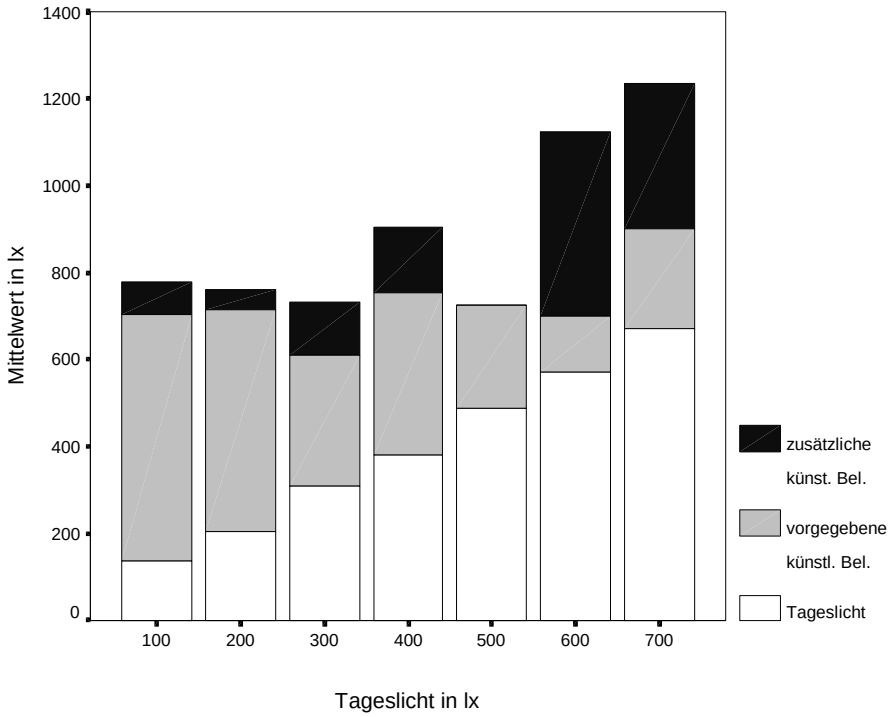


Bild 15: Gewünschte zusätzliche künstliche Beleuchtung in Abhängigkeit vom Tageslicht (Versuch V3 - bedeckt mit künstlicher Beleuchtung)

5 Untersuchungen zu den Schwellenwerten der Reflexblendung

5.1 Ziel des Versuches

Reflexionen von Flächen großer Leuchtdichte können zu Problemen am Bildschirmarbeitsplatz führen. Je nach Bildschirmtyp, -anordnung und -darstellung (positiv/negativ) treten mehr oder weniger störende Reflexe am Bildschirm auf. Bei der Beleuchtung mit Tageslicht können die Himmelsleuchtdichte, die Leuchtdichte der Lichtschutzeinrichtung oder durch direktes Sonnenlicht beschienene Wände zu störenden Reflexen führen.

Durch den nachfolgend beschriebenen Teilversuch sollte ermittelt werden, welche Leuchtdichten zu Reflexen führen. Dabei wurden die genannten Parameter Bildschirmtyp, -anordnung und -darstellung variiert.

5.2 Versuchsparameter

In einem Versuchsraum (Bild 16) wurde eine in der Leuchtdichte veränderliche Flächenleuchte so angeordnet, daß sie sich direkt im Bildschirm spiegeln konnte. Der Einstellbereich der Leuchte lag zwischen 100 und 3300 cd/m^2. Der untere Wert ergab sich durch die Raumhelligkeit. Bei der Leuchte handelte es sich um eine opal abgedeckte Flächenleuchte der Größe 60 cm x 30 cm. Sie war mit zwei Leuchtstofflampen vom Typ TLD 16W/84 HF bestückt.

Insgesamt wurden 5 unterschiedlich entspiegelte Bildschirme jeweils mit Positiv- und Negativdarstellung untersucht. Im Raum befand sich eine blendfreie Allgemeinbeleuchtung, wobei die Untersuchung mit 0 lx und mit 500 lx Allgemeinbeleuchtung durchgeführt wurde.

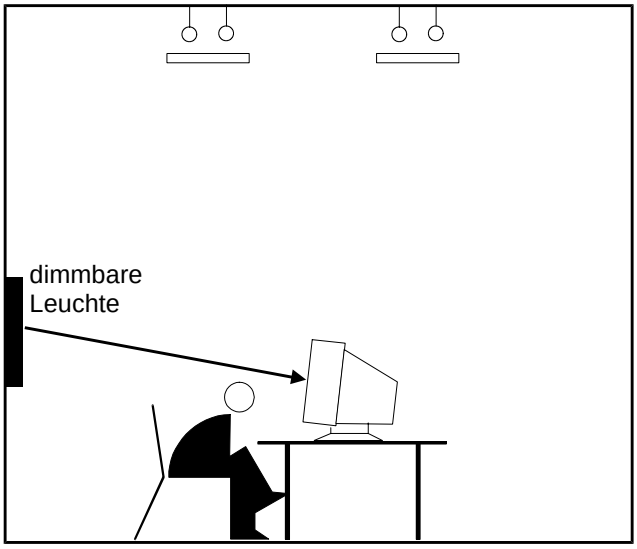


Bild 16: Versuchsraum

Für die Untersuchung stellte die Verwaltungs-Berufsgenossenschaft 3 Bildschirme zur Verfügung, die nach ISO 9241-7 zertifiziert waren. Eine Übersicht über die untersuchten Bildschirme gibt Tabelle 17.

Die Messung nach ISO 9241-7 erfolgt mit einer Flächenleuchte LA (EXT) und einer Punktleuchte LA (SML), womit folgende Größen gemessen werden:
$LR_{BDS/FDS}$ bzw. $LR_{FDS/BDS}$ ... Leuchtdichteverhältnis des Bildschirmes (Vordergrund und Hintergrund) mit diffusen und gerichteten Reflexionen
$LR_{BDS/BD}$ ... Verhältnis der gerichtet reflektierten Leuchtdichten

Folgenden Forderungen werden gestellt:

Klasse I: Prüfung mit LA (EXT) = 200 cd/m² und LA (SML) = 2000 cd/m²
$LR_{BDS/FDS\ (EXT)}$ bzw. $LR_{FDS/BDS\ (EXT)} \geq 3$
UND $LR_{BDS/FDS\ (SML)}$ bzw. $LR_{FDS/BDS\ (SML)} \geq 3$

Klasse II: Prüfung mit LA (EXT) = 200 cd/m² und LA (SML) = 2000 cd/m²
$LR_{BDS/FDS\ (EXT)}$ bzw. $LR_{FDS/BDS\ (EXT)} \geq 3$

ODER $LR_{BDS/FDS\ (SML)}$ bzw. $LR_{FDS/BDS\ (SML)} \geq 3$

Klasse I: Prüfung mit LA (EXT) = 125 cd/m² und LA (SML) = 200 cd/m²

$LR_{BDS/FDS\ (EXT)}$ bzw. $LR_{FDS/BDS\ (EXT)} \geq 3$

ODER $LR_{BDS/FDS\ (SML)}$ bzw. $LR_{FDS/BDS\ (SML)} \geq 3$

Weiterhin muß für Positivdarstellung $LR_{BDS/BD} \leq 1{,}25$ sein. Für Negativdarstellung hängt die Vergleichsgröße vom Leuchtdichteverhältnis $LR_{FD/BD}$ ab. Nähere Angaben finden sich in ISO 9241-7.

Bildschirm	1	2	3	4	5
Typ	Kathoden-strahlröhre	Kathoden-strahlröhre	Flachbild-schirm, Ak-tivdisplay	BS 3 mit vorgesetzter Glasscheibe	Kathoden-strahlröhre
Entspiegelung	schlecht	sehr gut	sehr gut	nicht	mittel
Positivdarstellung					
$LR_{BDS/FDS\ (EXT)}$	7,25	7,68		4,43	8,87
$LR_{BDS/FDS\ (SML)}$	2,648	7,049		1,584	4,338
$LR_{BDS/BD\ (EXT)}$	1,06	1,007		1,188	1,049
$LR_{BDS/BD\ (SML)}$	1,469	1,021		2,496	1,209
Klasse pos	II	I	I	II	I
Negativdarstellung					
$LR_{FDS/BDS\ (EXT)}$	7,71	8,17		4,71	9,35
$LR_{FDS/BDS\ (SML)}$	2,724	7,475		1,62	4,434
$LR_{BDS/BD\ (EXT)}$	1,747	1,061		3,515	1,766
$LR_{BDS/BD\ (SML)}$	6,804	1,174		21,018	4,296
Klasse neg.	II	I	I	0 (=FAIL)	II

Tabelle 17: Untersuchte Bildschirme und Meßwerte der Zertifizierung

Bildschirm 3 wurde nicht zertifiziert, kann aber aufgrund der Untersuchungsergebnisse der Klasse I zugeordnet werden. Bildschirm 4 (nicht entspiegelte Glasscheibe) erreicht für Positivdarstellung die Klasse II. Es stand kein Bildschirm der Klasse III zur Verfügung.

5.3 Versuchsdurchführung

Den Versuchspersonen wurden die Bildschirme nacheinander mit der entsprechenden Darstellung präsentiert. Es wurde darauf hingewiesen, daß die Reflexe bewußt wahrgenommen werden sollten. Die Versuchspersonen akkommodierten also auf die Reflexe und wichen diesen auch nicht durch entsprechende Kopfbewegungen aus. Durch den Versuchsleiter wurde die Leuchtdichte langsam erhöht und die Versuchsperson gab das Auftreten von Reflexen wie folgt an:

- merkbare Reflexe
- störende Reflexe
- unzumutbare Reflexe

Wurde die Maximalleuchtdichte von 3300 cd/m^2 erreicht und dies noch nicht als störend bzw. unzumutbar bewertet, so wurde dieser Wert in der Auswertung als Meßwert verwendet. Ebenso wurde verfahren, wenn die Leuchte bereits als Spiegelbild sichtbar war, ohne daß sie bereits eingeschaltet war.
Jede Einstellung erfolgte 3 mal. Insgesamt wurden 8 Versuchspersonen befragt, so daß 24 Meßwerte für jeden Bildschirm, für jede Bildschirmdarstellung und für den Parameter Allgemeinbeleuchtung (0 und 500 lx) vorliegen.

5.4 Auswertung

5.4.1 Betrachtung der Leuchtdichten

Da der Einstellbereich der Blendleuchte begrenzt war und diese Grenzen bei der Untersuchung auch erreicht wurden, ist es nicht möglich, für die Auswertung Mittelwerte zu bilden. Deshalb erfolgt die Angabe des Median.

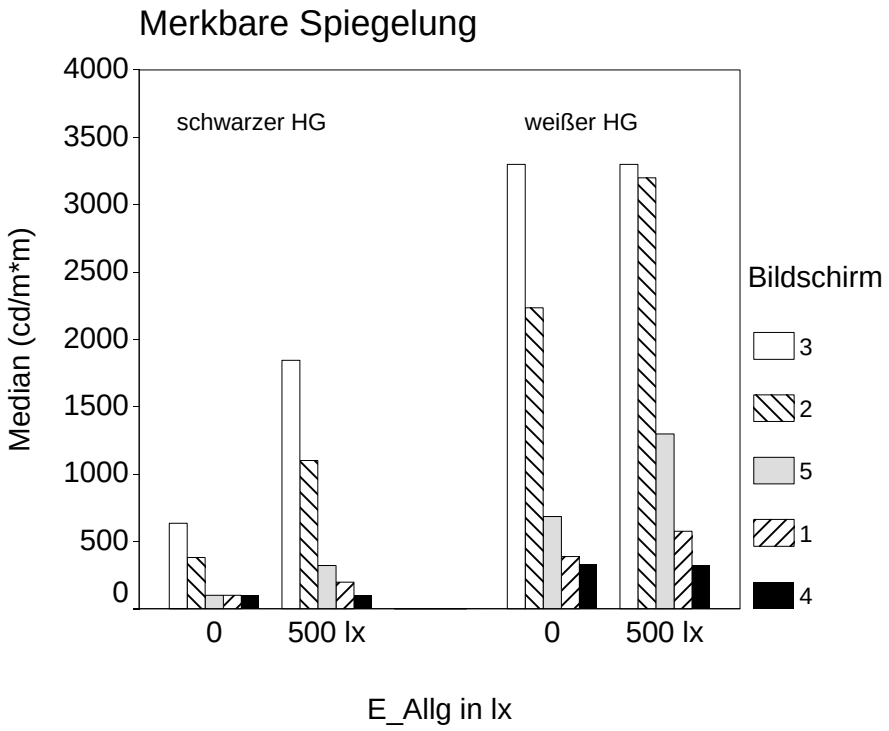


Bild 17: Merkbare Spiegelung

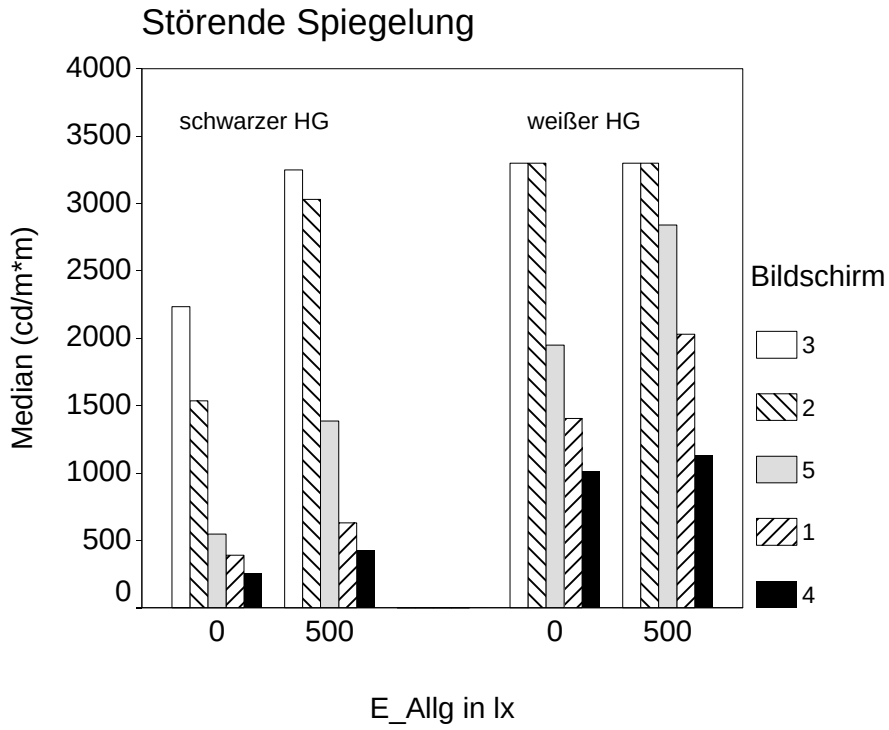


Bild 18: Störende Spiegelung

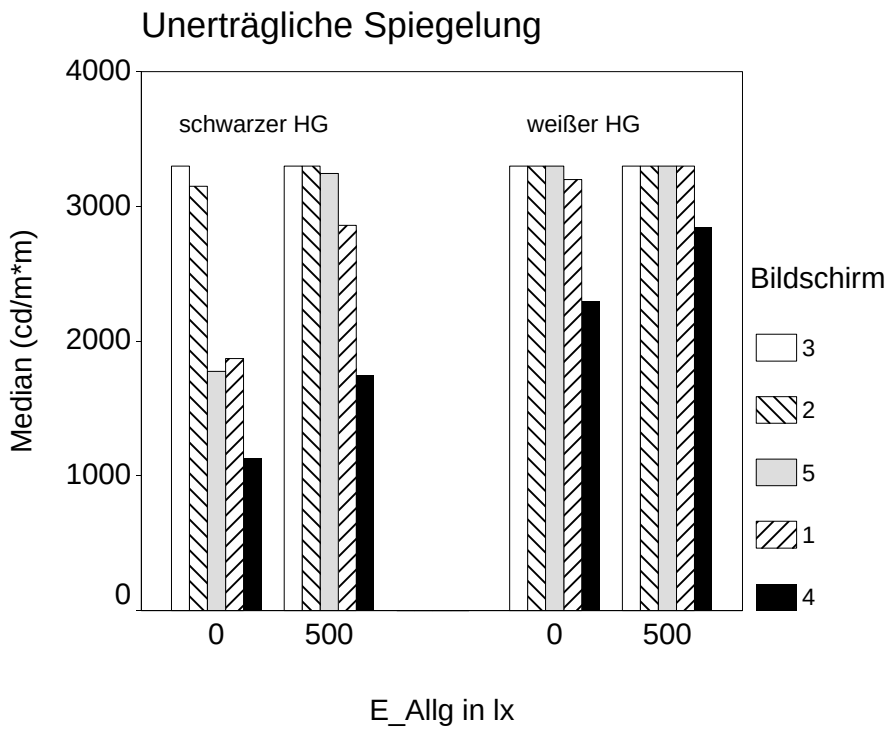


Bild 19: Unerträgliche Spiegelung

In allen drei Bildern ist deutlich zu erkennen, daß die Bildschirmdarstellung als auch die Raumhelligkeit (hier dargestellt als Parameter Allgemeinbeleuchtung) einen erheblichen Einfluß auf die Untersuchungsergebnisse haben.

Die Festlegung einer "unerträglichen" Spiegelung fiel den Versuchspersonen schwer, da diese zum Teil mit "störend" gleichgesetzt wurde. Eine weitere Auswertung erscheint deshalb nicht sinnvoll. Die Tabellen 18 und 19 zeigen die merkbaren und störenden Leuchtdichten für alle untersuchten Bildschirme, jeweils für beide Bildschirmdarstellungen. In die weitere Auswertung soll nur die Situation mit einer Allgemeinbeleuchtung von 500 lx einbezogen werden, da diese Raumhelligkeit der Praxis besser entspricht.

Bezeichnung des Bildschirmes	schwarzer HG [cd/m²]	Klasse nach ISO 9241-7	weißer HG [cd/m²]	Klasse nach ISO 9241-7
Bildschirm 4	257	0	1009	II
Bildschirm 1	389	II	1405	II
Bildschirm 5	547	II	1950	I
Bildschirm 2	1535	I	> 3300	I
Bildschirm 3	2235	I	> 3300	I

Tabelle 18: Merkbare Spiegelungen für E_{Allg} = 500 lx

Bezeichnung des Bildschirmes	schwarzer HG [cd/m²]	Klasse nach ISO 9241-7	weißer HG [cd/m²]	Klasse nach ISO 9241-7
Bildschirm 4	424,5	0	1134,5	II
Bildschirm 1	630	II	2030	II
Bildschirm 5	1385	II	2840	I
Bildschirm 2	3030	I	> 3300	I
Bildschirm 3	3250	I	> 3300	I

Tabelle 19: Störende Spiegelungen für E_{Allg} = 500 lx

Für die Annahme, daß "merkbare Reflexe" nicht auftreten sollten, wären nach unserer Untersuchung folgende Leuchtdichten im Raum zulässig:

	schwarzer Hintergrund	weißer Hintergrund
Klasse II:	400 cd/m²	1000 cd/m²
Klasse I:	1500 cd/m²	2000 cd/m²

Tabelle 20: Zulässige Leuchtdichten im Raum

5.4.2 Betrachtung der Kontraste am Bildschirm

Bei allen weiteren Betrachtungen wird von folgender Kontrastdefinition ausgegangen:

$$C = \frac{L_O}{L_U}$$

L_o ..... Objektleuchtdichte

L_u ..... Umfeldleuchtdichte

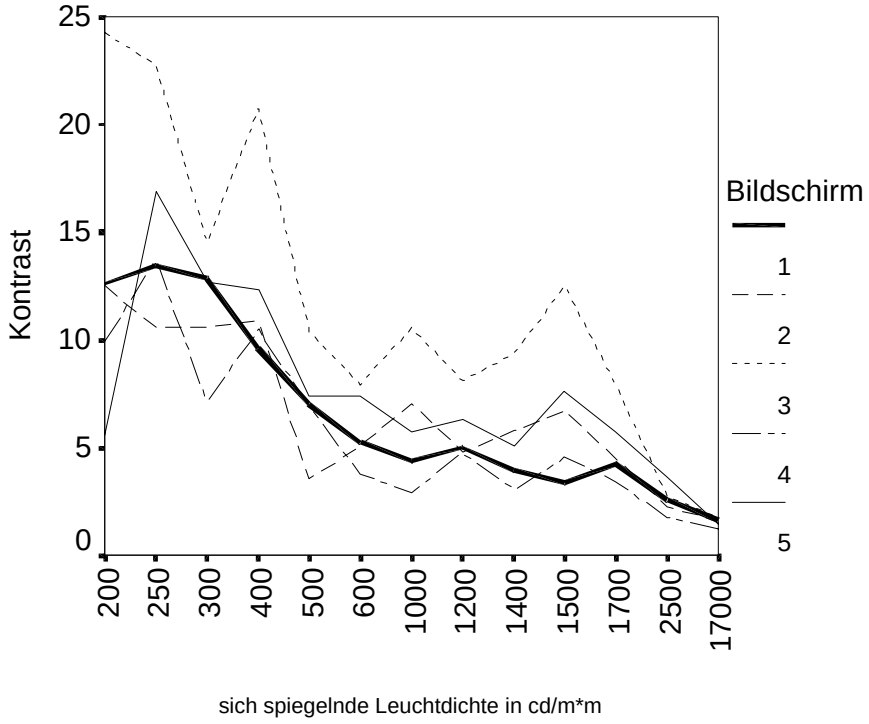


Bild 20: Kontraste in Abhängigkeit von der Leuchtdichte

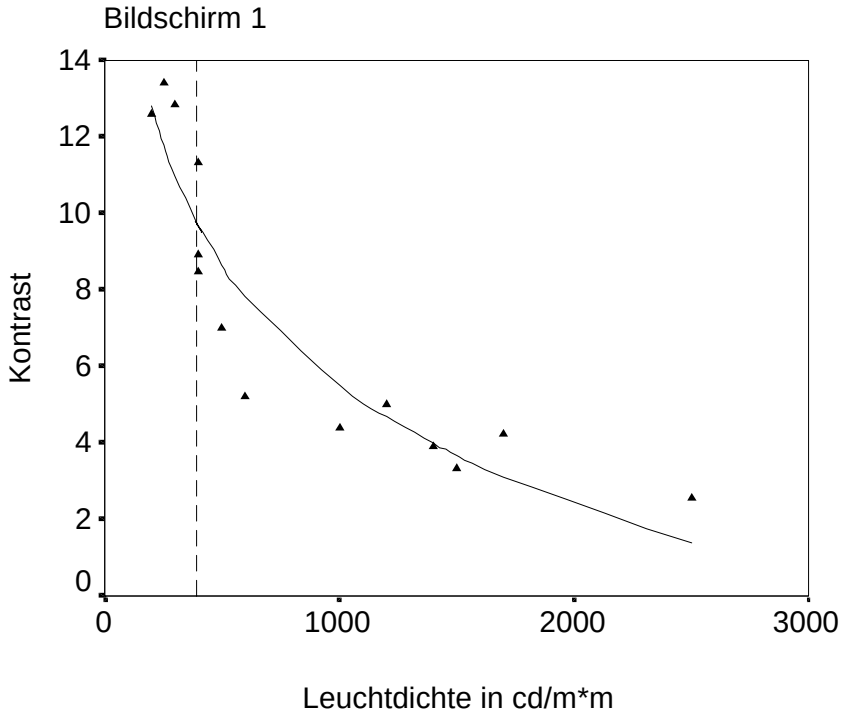


Bild 21: Kontraste in Abhängigkeit von der sich spiegelnden Leuchtdichte und logarithmische Regression für Bildschirm 1

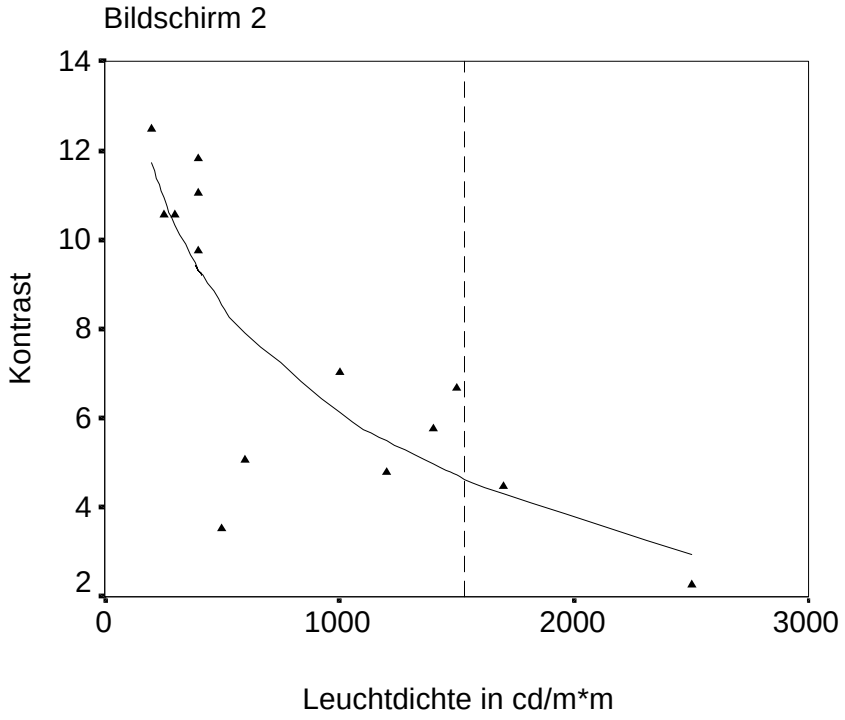


Bild 22: Kontraste in Abhängigkeit von der sich spiegelnden Leuchtdichte und logarithmische Regression für Bildschirm 2

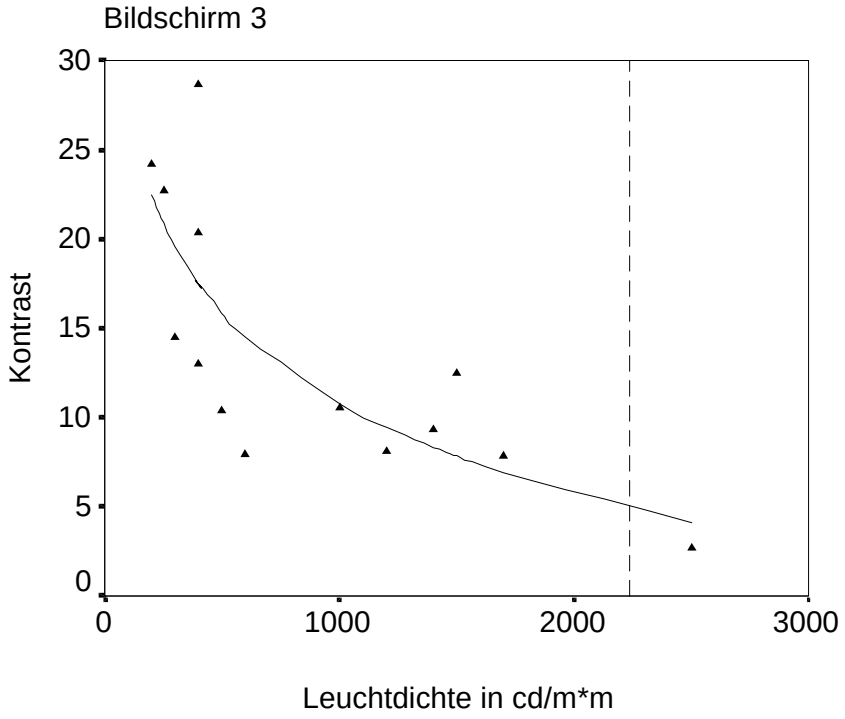


Bild 23: Kontraste in Abhängigkeit von der sich spiegelnden Leuchtdichte und logarithmische Regression für Bildschirm 3

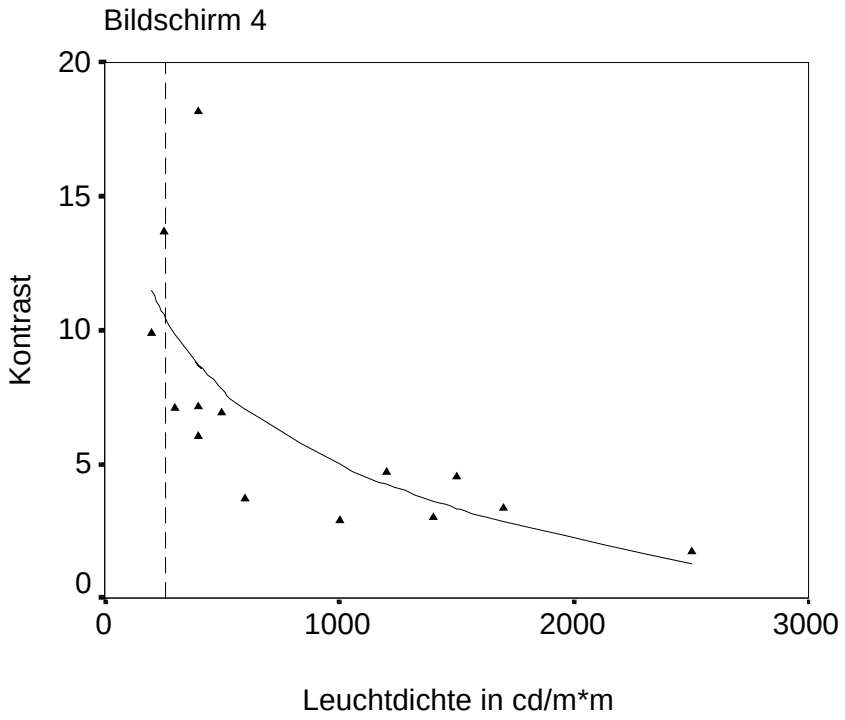


Bild 24: Kontraste in Abhängigkeit von der sich spiegelnden Leuchtdichte und logarithmische Regression für Bildschirm 4

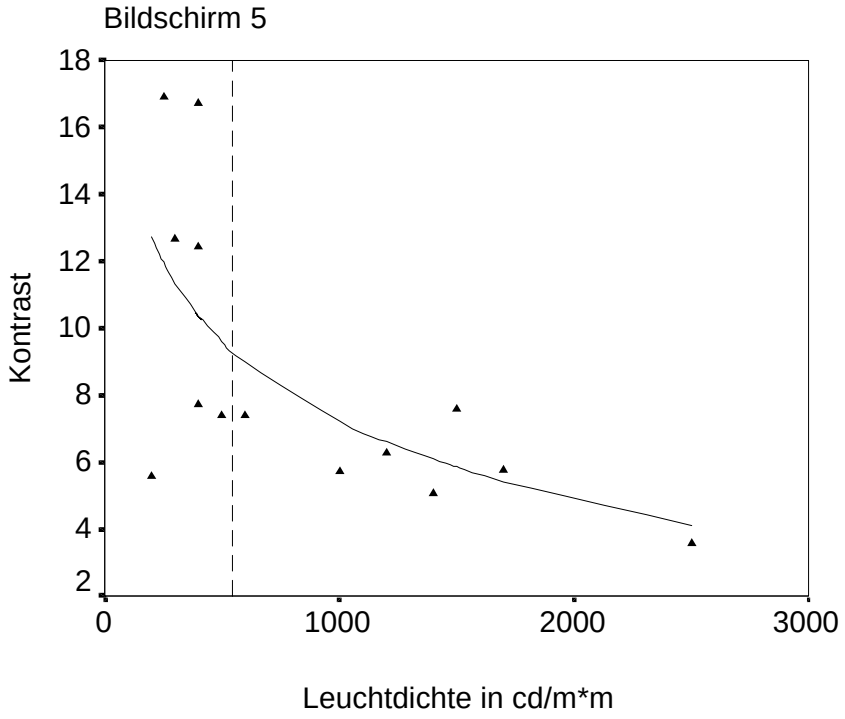


Bild 25: Kontraste in Abhängigkeit von der sich spiegelnden Leuchtdichte und logarithmische Regression für Bildschirm 5

In den Bildern 21 bis 25 sind die gemessenen Bildschirmkontraste in Bezug auf die sich spiegelnden Leuchtdichten dargestellt. Bei den Leuchtdichten und den Kontrasten handelt es sich um Meßwerte, die im Zusammenhang mit den verschiedenen Lichtschutzvorrichtungen ermittelt wurden. Da diese zum Teil Leuchtdichtemuster aufwiesen, gibt es mehr oder weniger große Abweichungen vom erwarteten Kurvenverlauf.

Bei allen Bildschirmen gibt es einen annähernd logarithmischen Zusammenhang zwischen Leuchtdichte und Kontrast. Weiterhin wurde die Leuchtdichte, die nach Tabelle 18 als merkbar spiegelnd ermittelt wurde (schwarzer Bildschirmhintergrund) durch eine senkrechte Linie im Diagramm gekennzeichnet. Anhand der Regression ergeben sich die in Tabelle 21 zusammengestellten Kontraste.

Bild-schirm	Ausgangskontrast in Dunkelheit	Kontrast bei merkbarer Spiegelung	Kontrast bei störender Spie-gelung	Klasse nach ISO 9241-7
4	111	10,48	8,45	0
1	92	9,78	7,60	II
5	32	9,29	6,12	II
2	33	4,65	2,28	I
3	123	4,93	2,21	I

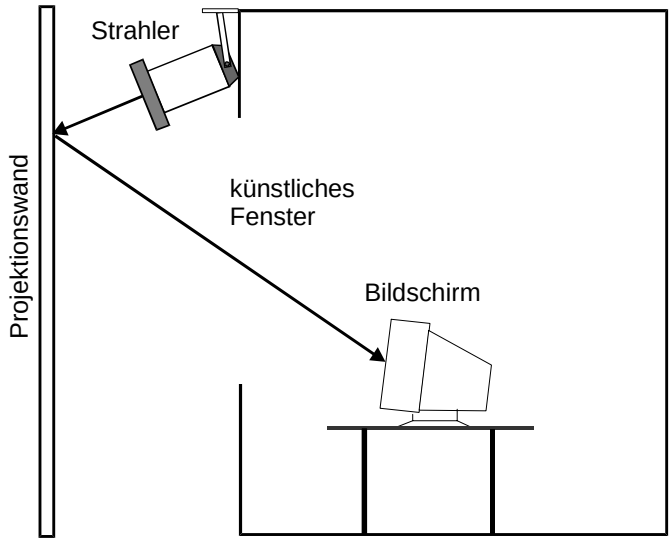
Tabelle 21: Bildschirmkontraste bei merkbarer und störender Spiegelung

6 Untersuchungen am künstlichen Fenster

6.1 Aufbau des künstlichen Fensters

Werden Untersuchungen mit realem Tageslicht durchgeführt, so ist es nahezu unmöglich, die Umgebungsbedingungen konstant zu halten. Wechselnde Bewölkung und der sich ändernde Sonnenstand führen dazu, daß jede Versuchsperson ihre Bewertung unter anderen Bedingungen abgibt und die Auswertung erschwert wird. Das Warten auf eine bestimmte Lichtsituation kann zu langen Verzögerungen in der Befragung führen, Versuchspersonen die auf Abruf zur Verfügung stehen, sind selten ausreichend vorhanden.

Diese Erfahrungen brachten uns dazu, die folgenden Untersuchungen an einem künstlichen Fenster durchzuführen. Der Versuchsaufbau ist in Bild 26 dargestellt. Die durch diesen Aufbau realisierbare maximale Fensterleuchtdichte betrug 17000cd/m^2 (Bild 27). Die verwendeten Leuchten waren dimmbar, so daß auch geringere Leuchtdichten möglich waren. Das Leuchtdichteniveau entspricht etwa dem des klaren Himmel bei einem Sonnenstand von 60° (nach FISCHER, 1982). Ähnliche Werte werden auch bei einem bedecktem Himmel mit einer nur dünnen Wolkenschicht erreicht.



Fenstergröße:
1,25 m x 1.60 m

Bild 26: Aufbau des künstlichen Fensters

Bild 27: Leuchtdichteverteilung des künstlichen Fensters

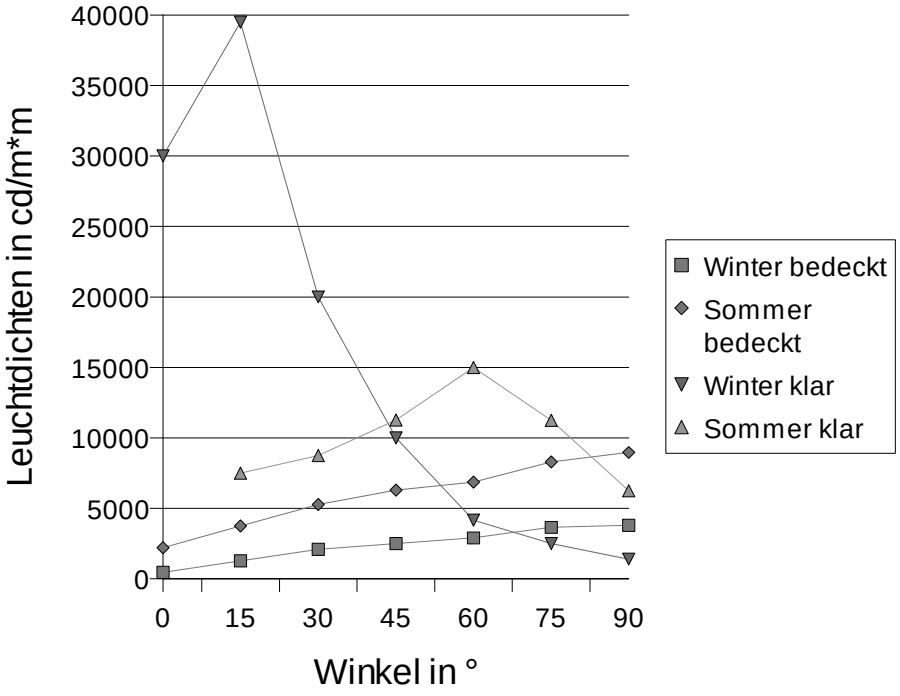


Bild 28: Himmelsleuchtdichten nach FISCHER (1982)
Winter: Sonnenstand 15°, Sommer: Sonnenstand 60°

Die Raumwirkung des mit dem künstlichen Fenster beleuchteten Raumes war sehr unnatürlich, da die Raumaufhellung nicht ausreichend hoch und die Wandleuchtdichten entsprechend niedrig waren. Die Lichtfarbe entsprach ebenfalls nicht der des Tageslichtes. Es war nicht möglich, Raumwirkungen und Farbveränderungen zu erfragen. Die Untersuchung beschränkt sich deshalb auf Leuchtdichten, deren Reflexe auf Bildschirmen und auf Leuchtdichtemuster, die durch Lichtschutzeinrichtungen entstehen.

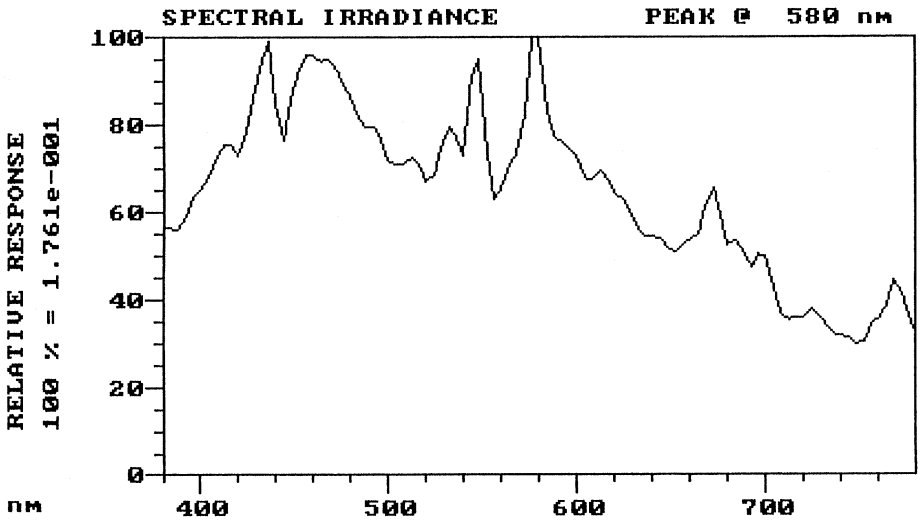


Bild 29: Spektrum der verwendeten Lampen

6.2 Leuchtdichten und deren Reflexe am Bildschirm

6.2.1 Versuchsaufbau und -durchführung

Zum nochmaligen Vergleich der Reflexionen auf den 5 untersuchten Bildschirmen wurde den Versuchspersonen drei Lichtsituationen dargeboten, unter denen sie am Bildschirm eine Text lesen mußten und anschließend die Situation nach FB 2 (Anhang) zu bewerten hatten. Im Text befanden sich Fehler, deren Anzahl festgestellt werden sollte. Die Versuchsbedingungen sind in Tabelle 22 zusammengefaßt. Der Versuchsaufbau entspricht dem in Bild 26.

	Situation 1	Situation 2	Situation 3
Fensterleuchtdichte	200 cd/m^2	200 cd/m^2	1000 cd/m^2
Allgemeinbeleuchtung	0	500 lx	0
Bildschirm Bildschirmdarstellung (+, -) +...Positivdarstellung -...Negativdarstellung	BS 1 (+, -) BS 2 (+, -) BS 3 (+, -) BS 4 (+, -) BS 5 (+, -)	BS 2 (-) BS 3 (-) BS 4 (-) BS 5 (+, -)	BS 1 (+, -) BS 2 (+, -) BS 3 (+, -) BS 4 (+, -) BS 5 (+, -)

Tabelle 22: Versuchsbedingungen

6.2.2 Ergebnisse

Die Fehlerzahl beim Lesen des Textes steht in keinem Zusammenhang zu den Lichtsituationen, unter denen sie ermittelt wurden. Dies deckt sich mit den Erfahrungen, daß sich ungünstige Beleuchtungs- und Sehbedingungen im Kurzzeitversuch nicht auswirken (VÖLKER, 1999).

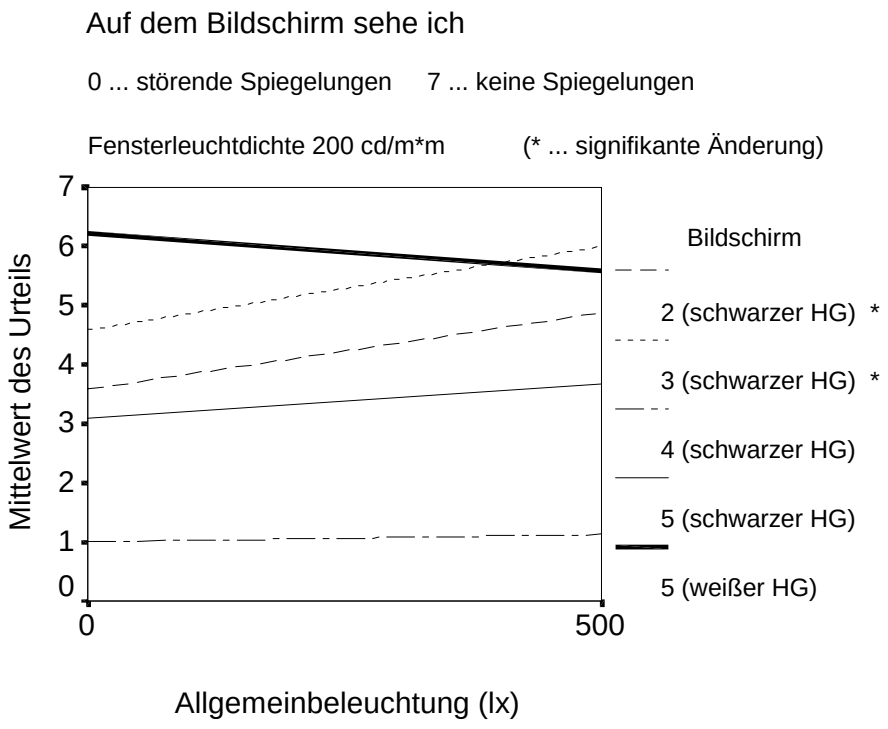


Bild 30: Bewertung der Spiegelung in Abhängigkeit von der Allgemeinbeleuchtung

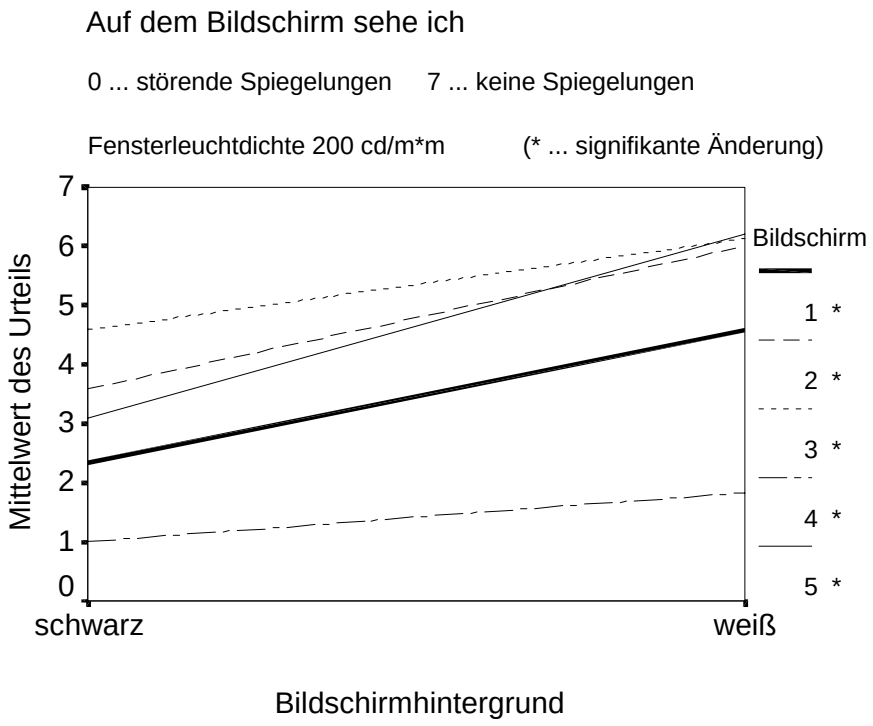


Bild 31: Bewertung der Spiegelung in Abhängigkeit vom Bildschirmhintergrund (Fensterleuchtdichte 200 cd/m^2)

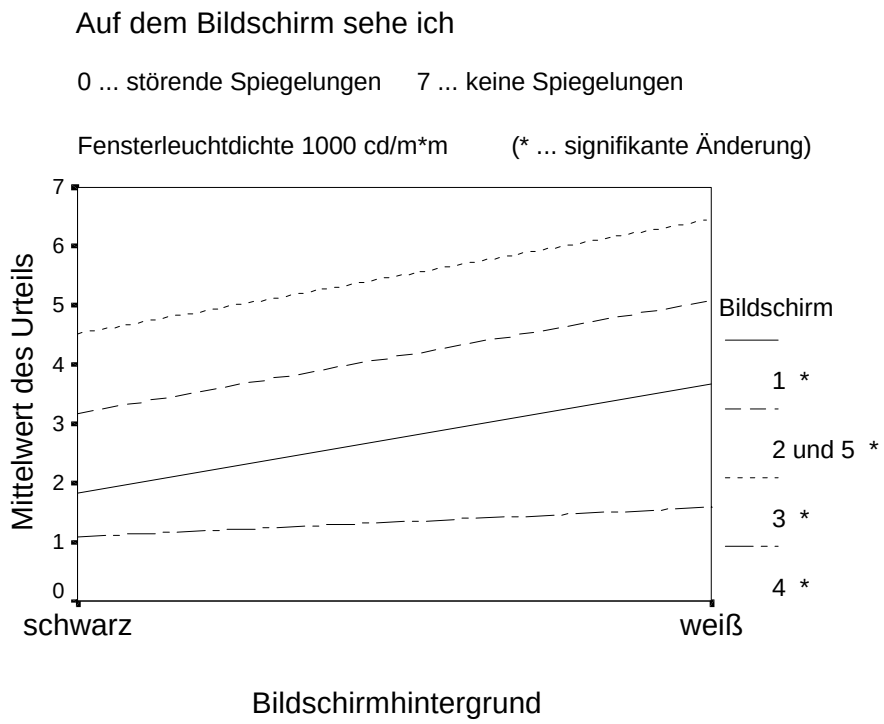


Bild 32: Bewertung der Spiegelung in Abhängigkeit vom Bildschirmhintergrund (Fensterleuchtdichte 1000 cd/m^2)

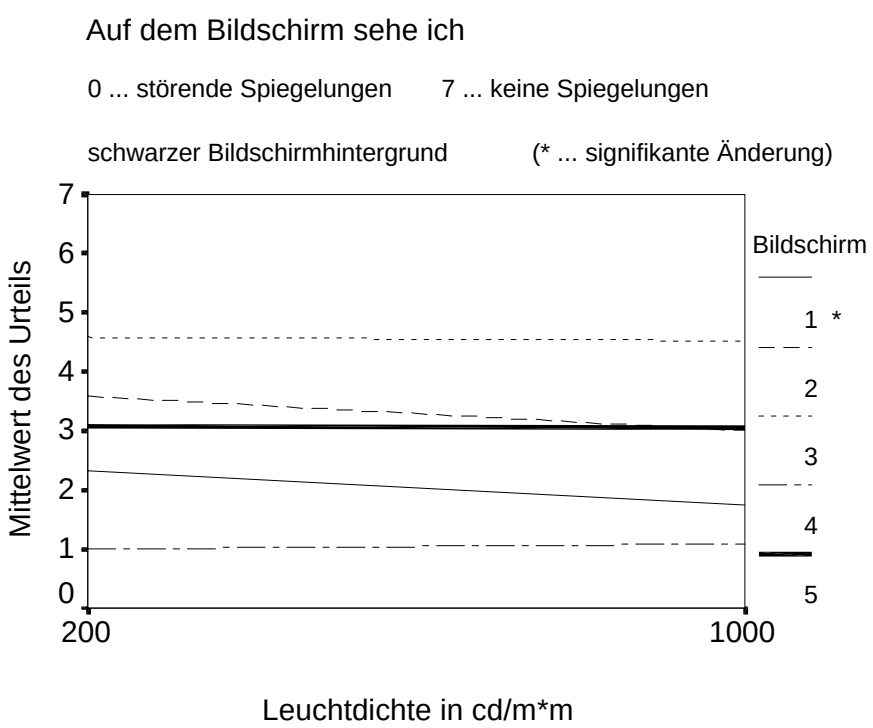


Bild 33: Bewertung der Spiegelung in Abhängigkeit von der sich spiegelnden Leuchtdichte (schwarzer Bildschirmhintergrund)

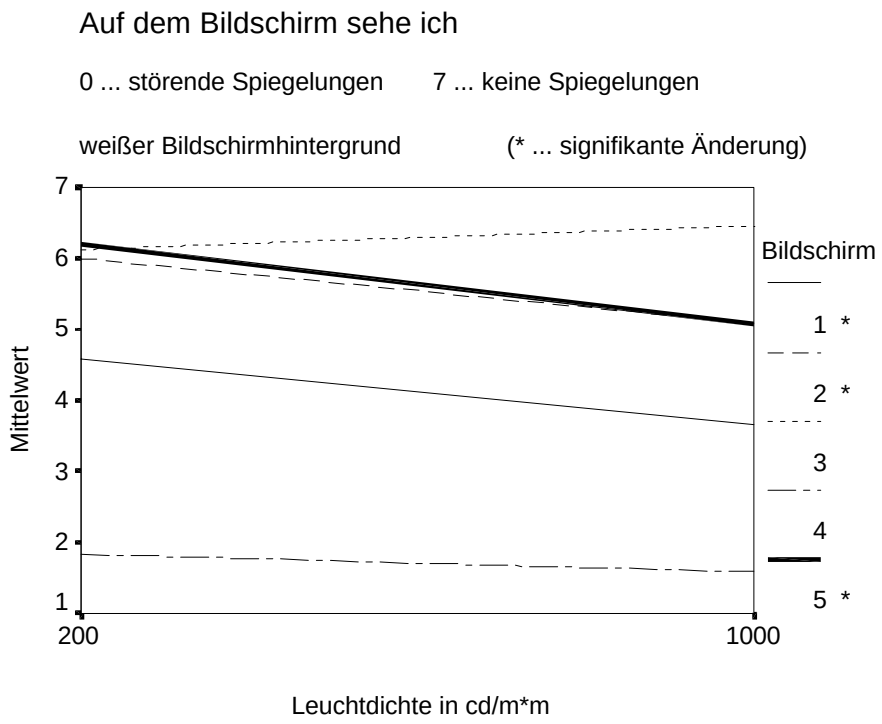


Bild 34: Bewertung der Spiegelung in Abhängigkeit von der spiegelnden Leuchtdichte (weißer Bildschirmhintergrund)

Die Urteile zur störenden Spiegelung für die untersuchten 3 Situationen sind in den Bildern 30 bis 34 dargestellt. Die Änderung des Mittelwertes in Abhängigkeit vom angegebenen Parameter wurde mit dem t-Test für gepaarte Stichproben analysiert. Signifikante Änderungen (Irrtumswahrscheinlichkeit 5%) sind in der Legende mit * gekennzeichnet.

Der Einfluß der Allgemeinbeleuchtung ist nur bei den Bildschirmen 2 und 3 signifikant. Untersucht wurde dabei jedoch nur der weiße Bildschirmhintergrund. Für den schwarzen Bildschirmhintergrund werden überall signifikant schlechtere Urteile als für den weißen Bildschirmhintergrund abgegeben (Bild 30).

Der Einfluß der sich störenden Leuchtdichte auf das Urteil ist sehr gering (Bilder 33 und 34). Für den schwarzen Bildschirmhintergrund gibt es nur bei Bildschirm 1 eine signifikante Änderung des Mittelwertes. Beim weißen Bildschirmhintergrund gibt es bei 3 Bildschirmen signifikante Änderungen, die jedoch nur gering sind. Rückschlüsse auf maximal zulässige Leuchtdichten und auf Bildschirmklassifikationen lassen sich aus den Urteilen nicht ableiten.

6.3 Bewertung von Lichtschutzeinrichtungen

6.3.1 Versuchsaufbau und -durchführung

Der Versuchsaufbau entsprach dem in Bild 26 angegebenen. Die Folien und Lamellen wurden nacheinander vor dem künstlichen Fenster plaziert. Tabelle 23 gibt eine Übersicht über die untersuchten 8 Lichtschutzeinrichtungen. Bei drei Lichtschutzeinrichtungen fand die Befragung zusätzlich mit einer Allgemeinbeleuchtung von 500 lx (KL) statt.

Bezeichnung	Lichtschutzeinrichtung
keine	Fenster
Folie 1	Metallfolie
Folie 1 + KL	Metallfolie + 500 lx
Folie 2	Metallfolie
Folie 3	Metallfolie
Horizontal 1	Lamelle, 50mm weiß
Horizontal 2	Lamelle, 50mm weiß, perforiert
Horizontal 2 + KL	-“- +500 lx
Horizontal 3	50mm, verspiegelt, teilperforiert
Vertikal 1	Vertikallamelle
Vertikal 1 + KL	Vertikallamelle + 500 lx
Vertikal 2	Vertikallamelle

Tabelle 23: Untersuchte Lichtschutzeinrichtungen
(KL ... Allgemeinbeleuchtung=500lx)

Alle 24 Versuchspersonen bewerteten jede Lichtsituation in Tabelle 23 mit dem Fragebogen FB 3 (Anhang). Bewertet wurden nur die Bildschirme 1, 2 und 3, dabei jeweils Positiv- und Negativdarstellung.

	L_{max} (cd/m²)	L_{min} (cd/m²)	ρ_{dif} (%)	τ_{dif} (%)	$\beta\tau,_{dif}$ (%)
keine	17000	17000			
Folie 1	300	300	83,2	1,2	1,76
Folie 2	400	400	74,5	2.2	2,35
Folie 3	1400	1400	12,7	8,1	8,24
Horizontal 1	250	100	71,6	-	1,03
Horizontal 2	1500	250	76,0	-	5,15
Horizontal 3	400	100	59,0	-	1,47
Vertikal 1	400	200	86,1	7,5	1,76
Vertikal 2	2500	1300	56,3	51,4	11,18

Tabelle 24: Lichttechnische Kennzahlen der Lichtschutzeinrichtungen

Für die einzelnen Lichtschutzeinrichtungen wurde der diffuse Reflexionsgrad (außen) bei diffusem Lichteinfall - ρ_{dif}, der diffuse Transmissionsgrad bei diffusem Lichteinfall - τ_{dif} und der Leuchtdichtefaktor bei diffuser Einstrahlung - $\beta\tau,_{dif}$ gemessen.

6.3.2 Ergebnisse

In den Bilder 35 bis 37 ist Mittelwert und Standardabweichung aller Urteile dargestellt. Zusätzlich zur Bewertung der Lichtschutzeinrichtungen wurden die Ergebnisse aus dem vorherigen Kapitel 6.2 mit angegeben (200 und 1000 cd/m²). Der Einfluß des Bildschirmhintergrundes ist deutlich sichtbar. Der Einfluß der Allgemeinbeleuchtung (0 bzw. 500 lx) ist nur an einer Stelle signifikant (Vertikal 1, Bildschirm 2, schwarzer HG).

Nimmt man die Wertung 3,5 als neutral an und betrachtet alle darüber liegenden als „positiv“, so ergibt sich die Zusammenstellung in Tabelle 25. Den untersuchten Bildschirmen sind die nach dieser Wertung zulässigen Lichtschutzeinrichtungen zuge-

ordnet. Für die einzelnen Bildschirmklassen ergeben sich daraus maximal zulässigen Fenster-Leuchtdichten (Tabelle 26). Die Ergebnisse des Flachbildschirmes unterscheiden sich dabei wesentlich von denen des Bildschirmes 1 und sind deshalb separat angegeben.

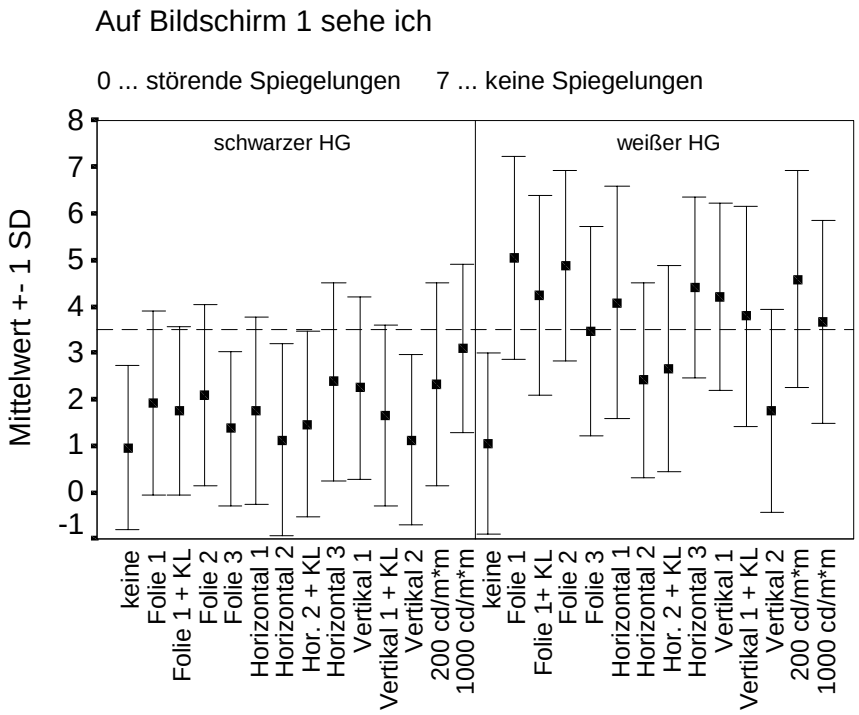


Bild 35: Mittelwert und Standardabweichung der Urteile für Bildschirm 1

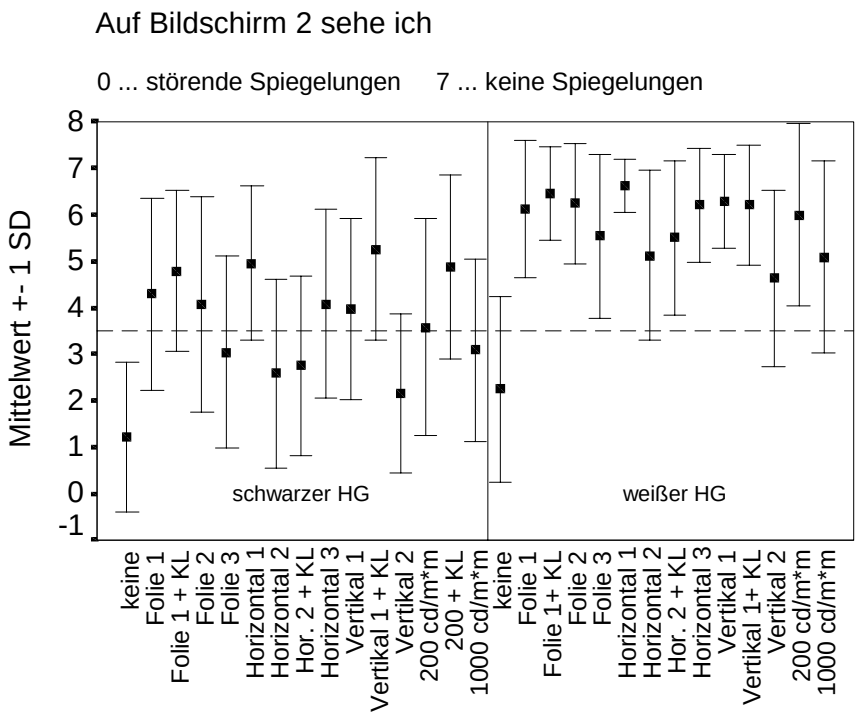


Bild 36: Mittelwert und Standardabweichung der Urteile für Bildschirm 2

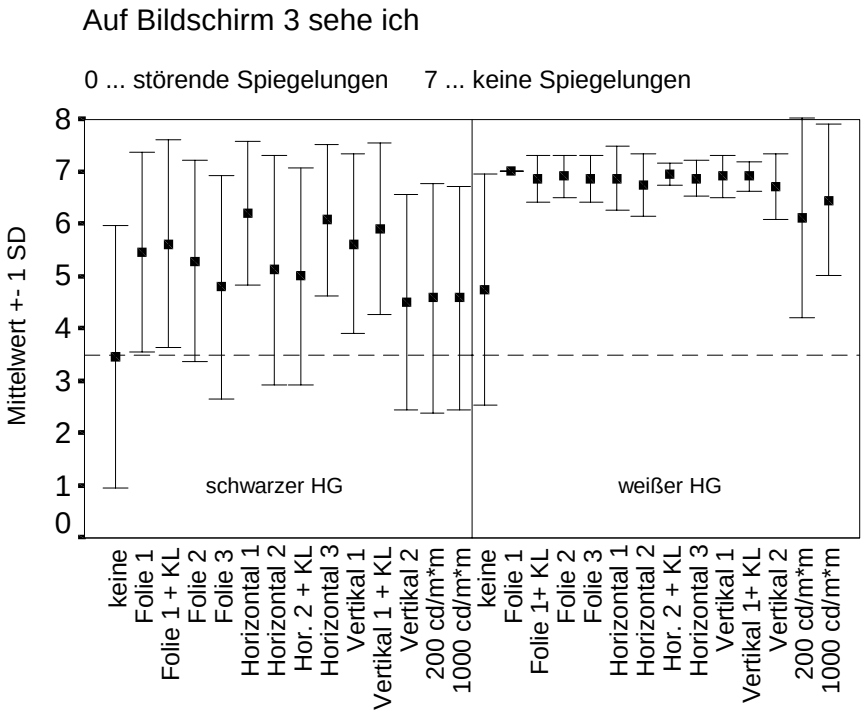


Bild 37: Mittelwert und Standardabweichung der Urteile für Bildschirm 3

	zulässige Lichtschutz-einrichtungen	maximale Leuchtdichte in cd/m²	Klasse nach ISO 9241-7
Bildschirm 1 schwarzer HG	keine		II
Bildschirm 1 weißer HG	Folie 1 Folie 2 Horizontal 1 Horizontal 3 Vertikal 1 Wertung Kapitel 6.2.2 Wertung Kapitel 6.2.2	300 400 250 400 400 200 1000	II
Bildschirm 2 schwarzer HG	Folie 1 Folie 2 Horizontal 1 Horizontal 3 Vertikal 1 Wertung Kapitel 6.2.2	300 400 250 400 400 200	I
Bildschirm 2 weißer HG	alle	bis 2500	I
Bildschirm 3 schwarzer HG	alle	bis 2500	I
Bildschirm 3 weißer HG	alle Fenster ohne Licht-schutz	bis 2500 17000	I

Tabelle 25: Nach der Beurteilung der Versuchspersonen zulässige Lichtschutzeinrichtungen für die einzelnen Bildschirme und Bildschirmdarstellungen

Klasse	Bildschirmhintergrund	zulässige Leuchtdichte
II	schwarz weiß	unter 200 cd/m^2 1000 cd/m^2
I	schwarz weiß	400 cd/m^2 2500 cd/m^2
Flachbildschirm	schwarz weiß	2500 cd/m^2 17000 cd/m^2

Tabelle 26: Bildschirmklassen und zulässige Leuchtdichten

In den Bildern 38 und 39 sind die Urteile für die Bildschirme 1 und 2 über die maximalen Leuchtdichten der Lichtschutzeinrichtung aufgetragen. Die Regressionsgerade verdeutlicht den Zusammenhang.

Die Bilder 40 bis 42 zeigen den Versuch, die Spiegelungen auf Meßgrößen wie Kontrast, Kontrastverhältnis (Bezug auf Ausgangskontrast) oder Muster der Lichtschutzeinrichtung zurückzuführen. Es ergibt sich kein bildschirmunabhängiger Zusammenhang. Bei Bildschirm 1 wird auch bei hohen Kontrasten (bis 14) über störenden Spiegelungen geklagt. Bei Bildschirm 2 wird bei Kontrasten von kleiner als 6 über Spiegelungen geklagt, das entspricht einer Kontraständerung auf 30 % (Bild 41).
Störende Muster werden bei fast allen örtlich nicht gleichmäßig leuchtenden Flächen beklagt. Leuchtdichteunterschiede von mehr als 1:4 werden ausschließlich negativ beurteilt (Bild 42).

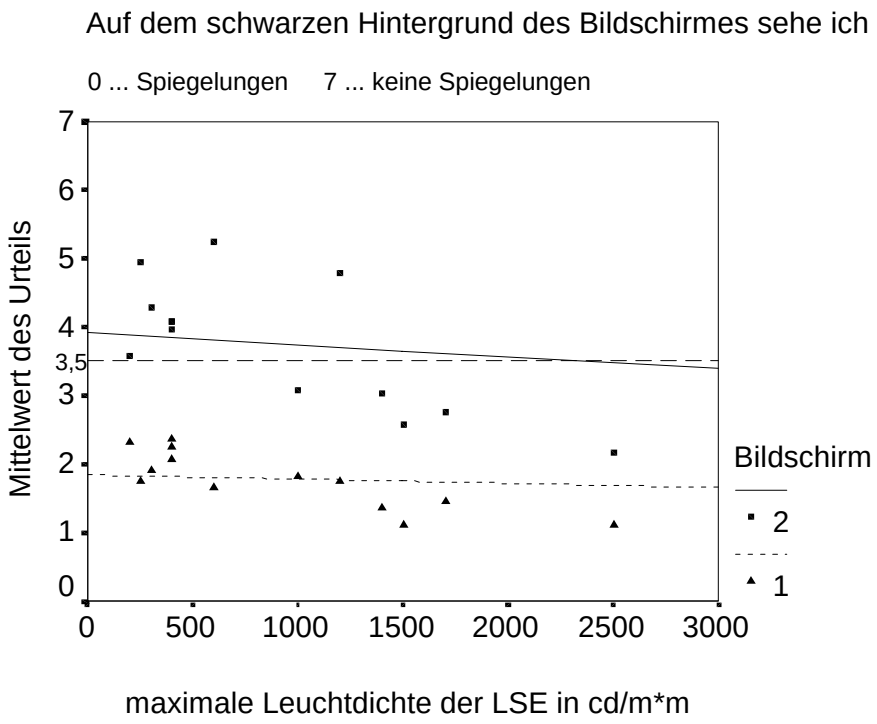


Bild 38: Mittleres Urteil in Abhängigkeit von der maximalen Leuchtdichte der Lichtschutzeinrichtung (schwarzer Bildschirmhintergrund)

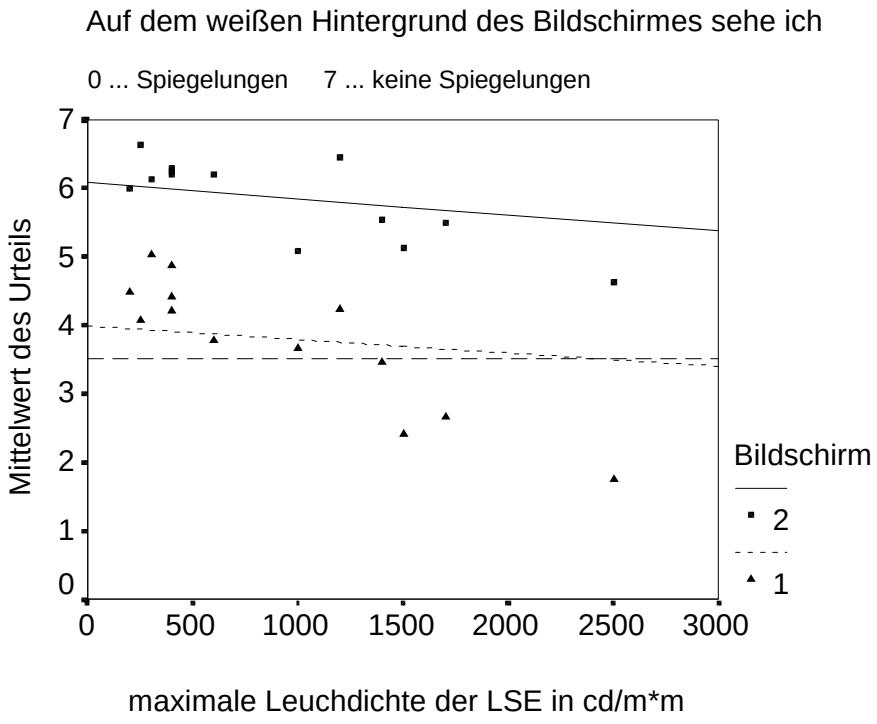


Bild 39: Mittleres Urteil in Abhängigkeit von der maximalen Leuchtdichte der Lichtschutzeinrichtung (weißer Bildschirmhintergrund)

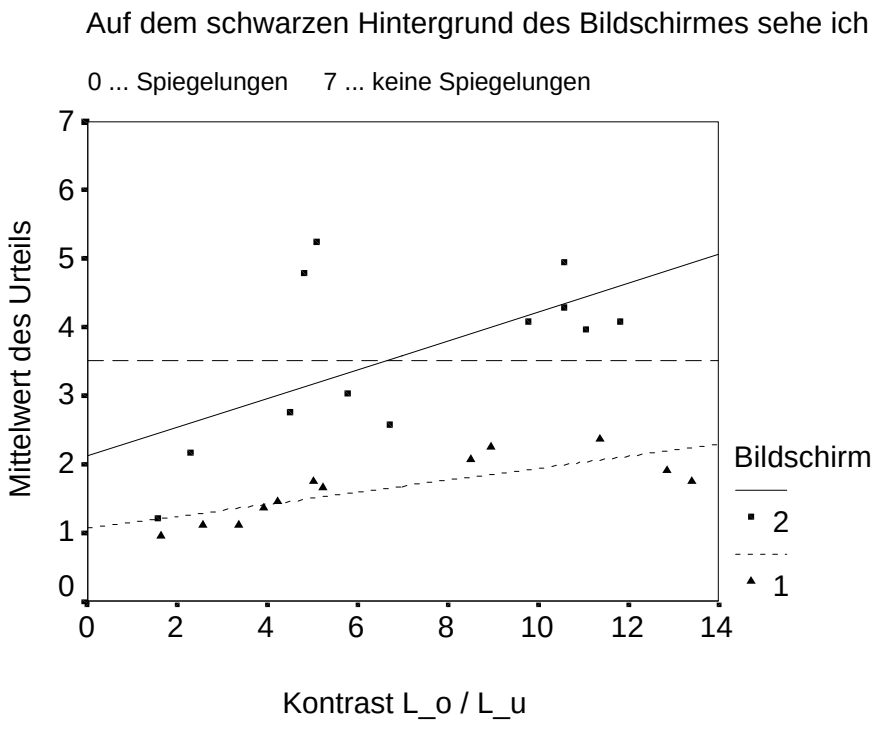


Bild 40: Mittleres Urteil in Abhängigkeit vom Bildschirmkontrast

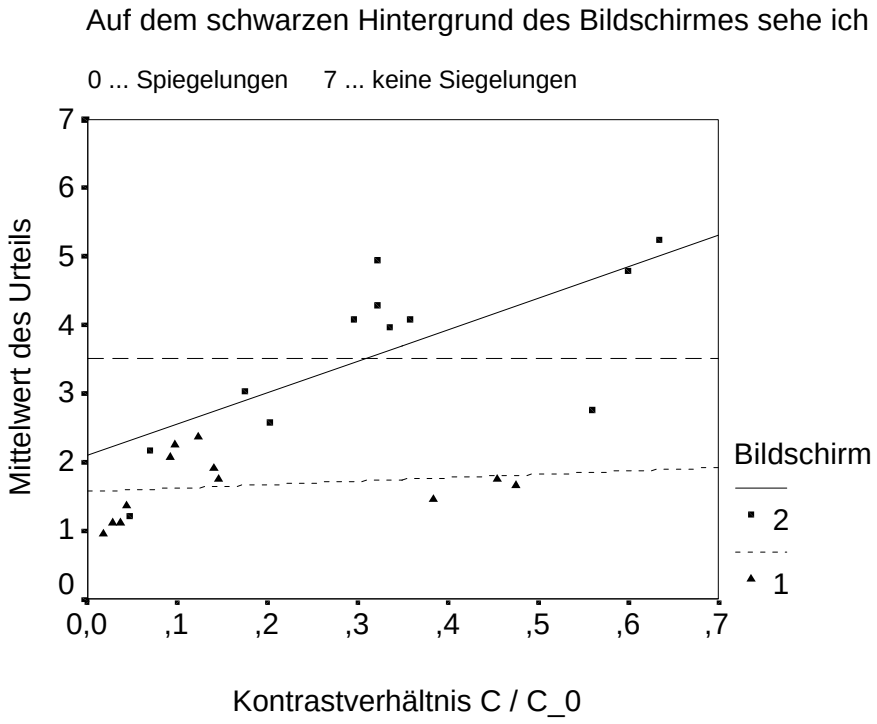


Bild 41: Mittleres Urteil in Abhängigkeit vom Kontrastverhältnis
(C_o...Kontrast des Bildschirmes ohne Fremdlicht)

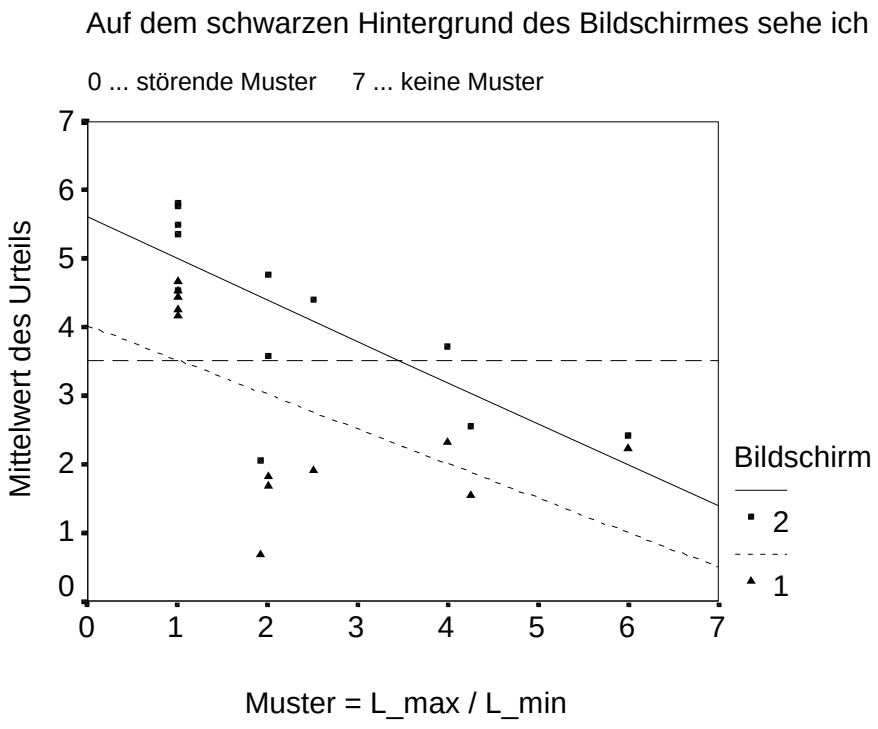


Bild 42: Mittleres Urteil in Abhängigkeit vom Muster der Lichtschutzeinrichtung

Im 1. Teil des Fragebogens FB 3 sollten die Helligkeit im Raum und die Blendung beim Blick zum Fenster bewertet werden. Nach der Bewertung der Helligkeit im Raum wäre eine horizontale Beleuchtungsstärke von 280 lx und eine vertikale Beleuchtungsstärke von 320 lx als minimaler Wert anzusetzen (Bilder 43 und 44).
Die Mittelwerte und Standardabweichungen der Blendungsbewertung für die einzelnen Lichtschutzeinrichtungen sind in Bild 45 angegeben. Die Blendurteile korrelieren sehr gut mit der Leuchtdichte der Lichtschutzeinrichtung (Bild 46). Bei einem zulässigen Blendwert von 5,25 (siehe Kapitel 3.1.2) ist eine Blendleuchtdichte von 1300 cd/m^2 zulässig.

Für alle untersuchten Lichtschutzeinrichtungen wurde mit dem Leuchtdichteanalysator der DGI-Wert gemessen und in Bild 47 den Blendurteilen gegenübergestellt. Die Werte korrelieren sehr gut (r=0,91). Die sich ergebende Regressionsgerade entspricht fast dem theoretischen Zusammenhang (Kapitel 3.1.2).

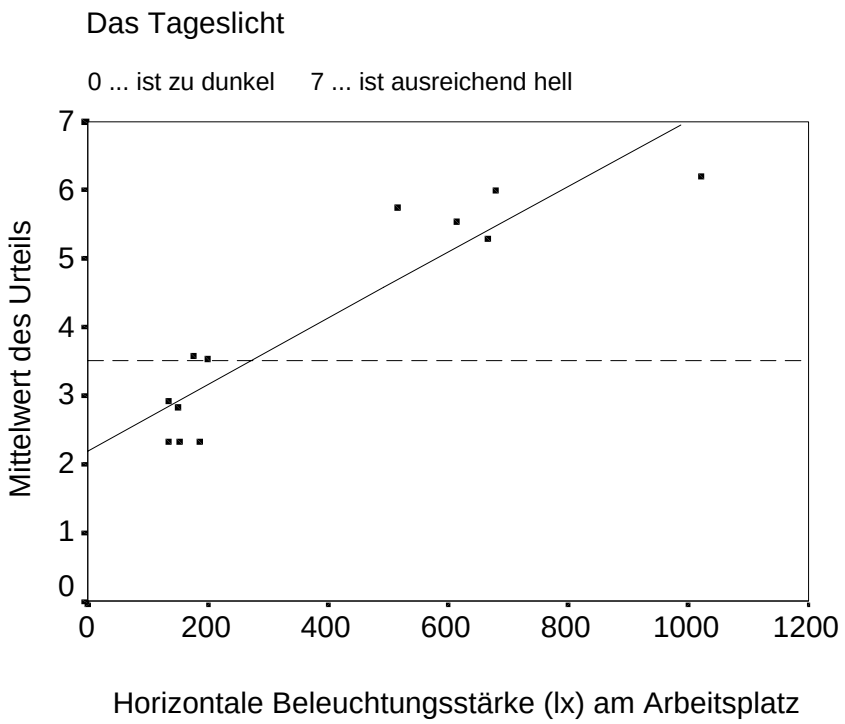


Bild 43: Bewertung der Helligkeit des Tageslichtes in Abhängigkeit von der horizontalen Beleuchtungsstärke am Arbeitsplatz

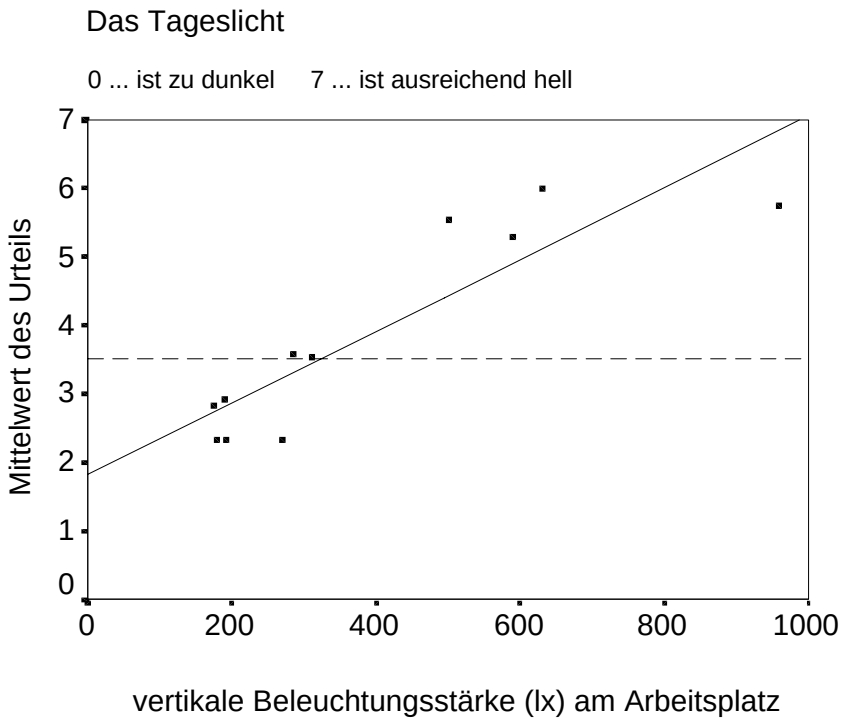


Bild 44: Bewertung der Helligkeit des Tageslichtes in Abhängigkeit von der vertikalen Beleuchtungsstärke am Arbeitsplatz

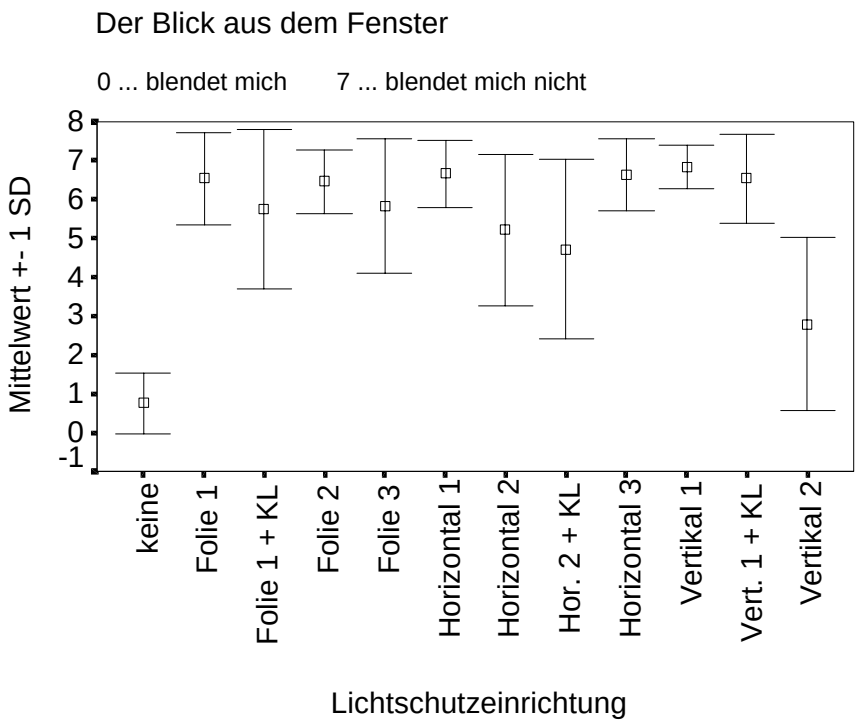


Bild 45: Blendungsbewertung beim Blick aus dem Fenster für die untersuchten Lichtschutzeinrichtungen

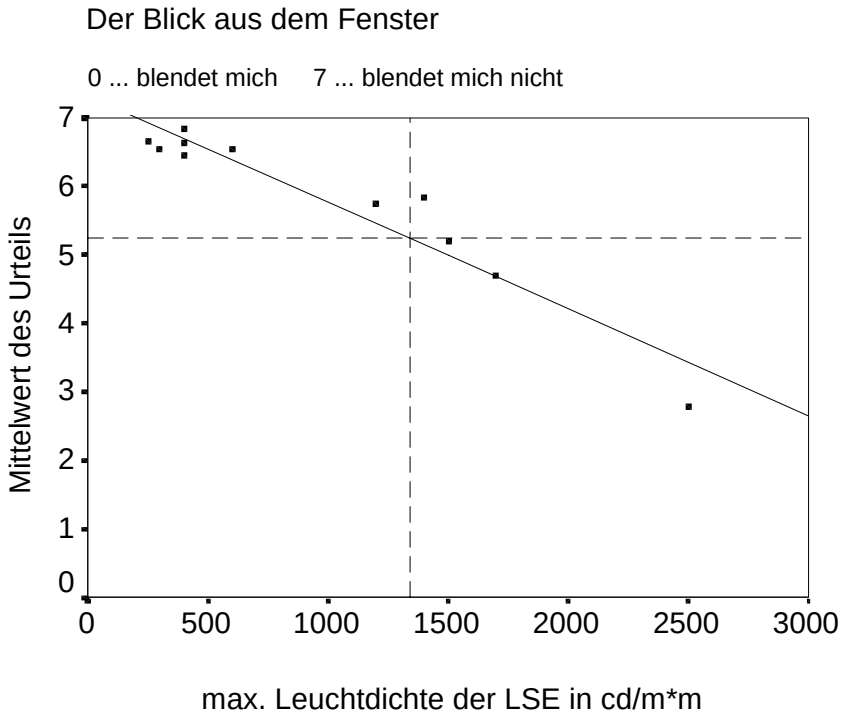


Bild 46: Zusammenhang zwischen maximaler Leuchtdichte der LSE und Blendungsbewertung beim Blick aus dem Fenster

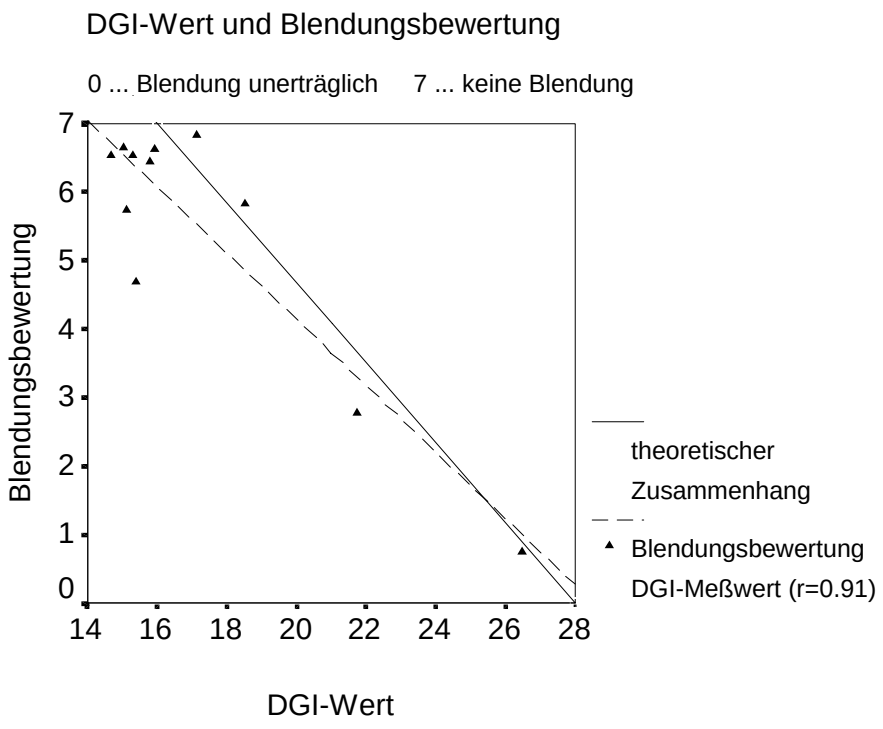


Bild 47: DGI-Wert und Blendurteil

7 Bewertung von Lichtschutzeinrichtungen am realen Fenster

Am künstlichen Fenster war die Bewertung der Lichtschutzeinrichtungen nur mit Einschränkungen möglich. So konnte beispielsweise die Sicht nach außen und die Blendung durch die direkte Sonne nicht untersucht werden. Zu diesem Zweck wurde eine Befragung an einem realen Fenster mit dem Fragebogen FB 4 durchgeführt.

7.1 Durchführung der Untersuchung und Messungen

Die Befragung sollte bei klarem Himmel und Sonnenschein stattfinden. Leider waren im Untersuchungszeitraum die Wetterbedingungen sehr instabil. Deshalb mußte aus Zeitgründen die Untersuchung nach 6 Versuchspersonen abgebrochen werden. Zusätzlich zur Befragung fanden lichttechnische Messungen (Tabelle 28) und eine Einschätzung durch die Versuchsleiter (Tabelle 29) statt. Die Versuchsbedingungen sind in Tabelle 27 zusammengestellt. Die Lichtschutzeinrichtung Horizontal 3 ist eine verspiegelte Horizontal-Lamelle, die diesmal unter zwei Bedingungen getestet wurde: im geschlossenen Zustand und im offenen (lichtlenkenden) Zustand.

Raumgröße	2.80 m x 4.00 m
Raumhöhe	2,60 m
Fenstergröße	1.30 m x 0,75 m (mittig an der kurzen Wand)
Himmelsrichtung	Südost
Sonnenstand	ca. 15°
Untersuchungsmonat, Uhrzeit	Dezember, 10.00 Uhr bis 12.00 Uhr
Arbeitsplatz 1	Blick zum Fenster, Arbeitsplatz direkt von der Sonne beschienen
Arbeitsplatz 2	Blick zum Fenster, Arbeitsplatz nicht direkt von der Sonne beschienen
Leuchtdichte des Himmels	ca. 25000 cd/m^2
Lichtfarbe des Tageslichtes im Raum ohne Lichtschutz	4700 K
Beleuchtungsstärke am Arbeitsplatz 2 ohne Lichtschutz	ca 600 lx

Tabelle 27: Untersuchungsparameter

Lichtschutz	L (cd/m^2)	Lichtfarbe (K)	E_h (lx) Arbeitsplatz 2	Leuchtdichtefaktor bei Sonneneinstrahlung $\beta_{\tau,dir}$
Folie 1	588	4950	35	2,26
Folie 2	1100	4500	38	4,4
Folie 3	2150	5900	51	8,6
Horizontal 1	880	4200	134	3,31
Horizontal 2	1580	4300	189	6,58
Horizontal 3 auf	15000	4250	188	57,69
Horizontal 3 zu	8600	4100	78	33,08
Vertikal 1	740	3710	469	3,36
Vertikal 2	12000	4600	926	55,05

Tabelle 28: Meßergebnisse

0 ... keine Blendung 2 ... Blendung merkbar 4 ... Blendung störend 6 ... Blendung unerträglich	direkte Blendung		Reflexblendung an sehr gut entspiegeltem Bildschirm	
Lichtschutz	direkte Sonne	Himmelsleuchtdichte (25000 cd/m²)	direkte Sonne	Himmelsleuchtdichte (25000 cd/m²)
Folie 1	6	0	4	3
Folie 2	6	0	4	1
Folie 3	6	0	4	6
Horizontal 1	0	0	4	4
Horizontal 2	6	0	4	6
Horizontal 3 auf	6	5	4	3
Horizontal 3 zu	2	1	3	0
Vertikal 1	0	0	0	0
Vertikal 2	6	6	6	6

Tabelle 29: Bewertungen durch die Versuchsleiter

7.2 Ergebnisse

Die im Vorfeld der Befragung gemachte Einschätzung durch die Versuchsleiter (Tabelle 29) korreliert gut (*r* im Bereich 0,7 ... 0,8) mit den mittleren Urteilen der Versuchspersonen.

Die Wertungen der Versuchspersonen hängen im wesentlichen davon ab, ob sich die Sonne im Blickfeld befindet oder nicht. Dies hat erwartungsgemäß Einfluß auf die Blendungsbewertung, aber auch auf die Bewertung der Raumhelligkeit und der Sicht nach außen. Sicher spielen Adaptationsvorgänge dabei eine Rolle. Die Bilder 48, 49 und 50 zeigen diese deutlichen Unterschiede in der Bewertung. In Bild 51 ist die Blendungsbewertung in Zusammenhang mit der Leuchtdichte der Lichtschutzeinrichtung dargestellt. Für ein minimal zulässiges Urteil von 5,25 ergibt sich aus der Regression eine Leuchtdichte von 1500 cd/m².

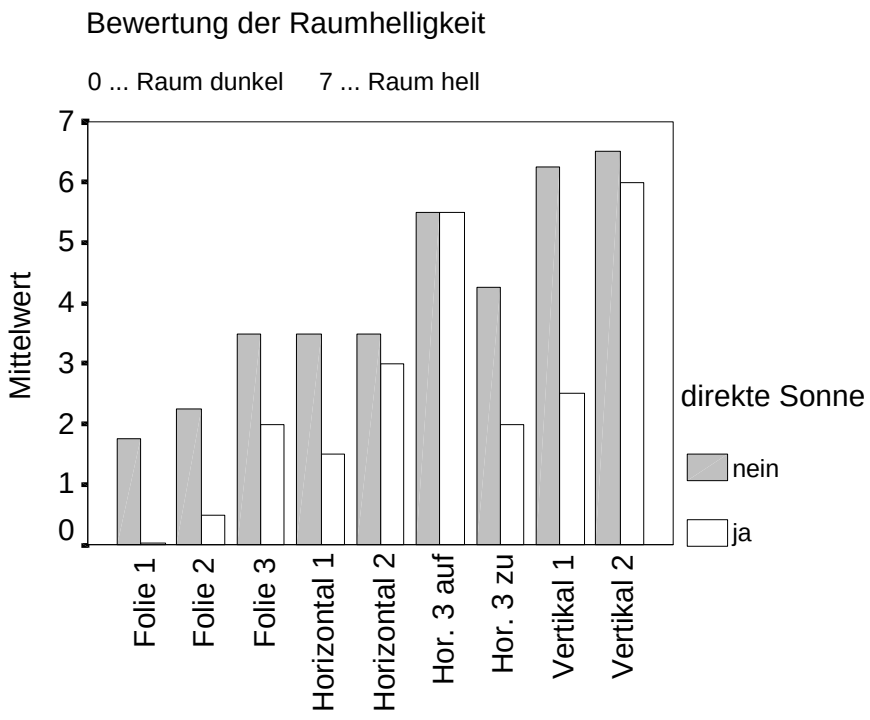


Bild 48: Bewertung der Raumhelligkeit

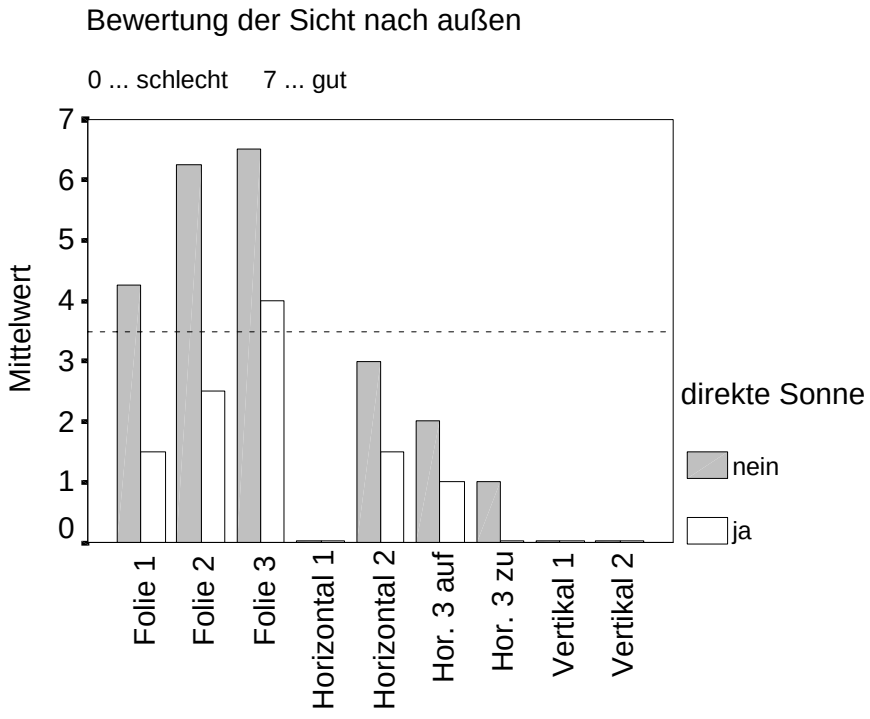


Bild 49: Bewertung der Sicht nach außen

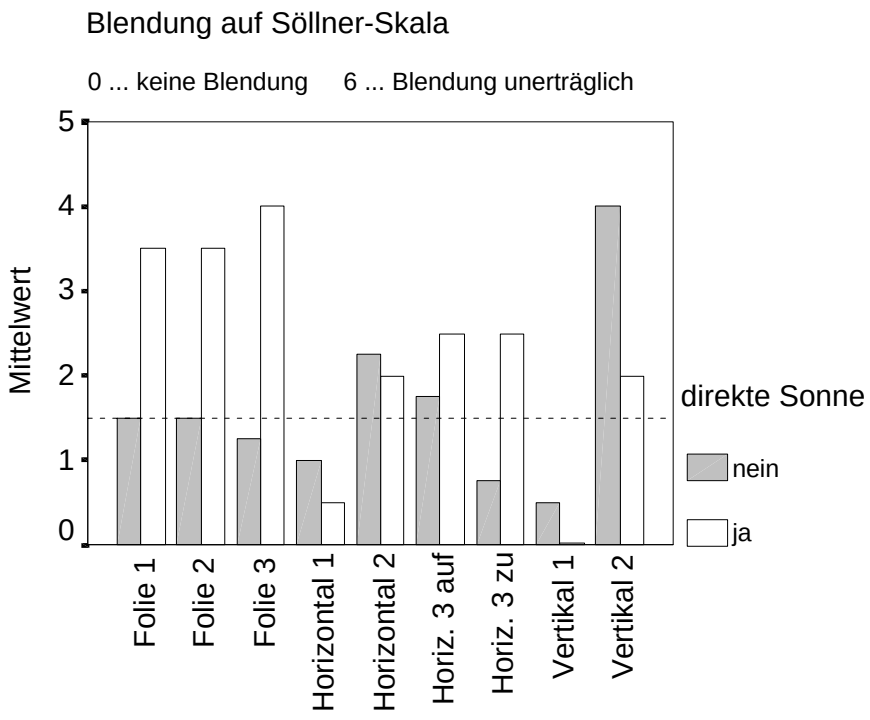


Bild 50: Bewertung der Blendung auf der Söllner-Skala

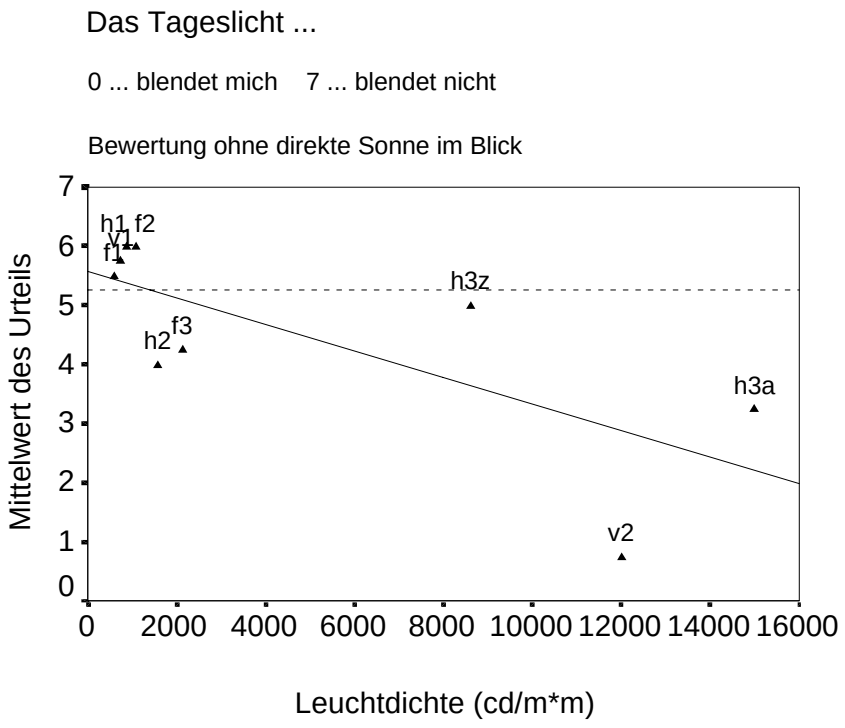


Bild 51: Blendungsbewertung in Abhängigkeit von der Leuchtdichte (Abkürzungen siehe Tabelle 30), Regression und Grenzwert für Güteklasse 1

Im zweiten Teil des Fragebogens 4 sollten die Versuchspersonen angeben, was sie positiv oder negativ an der Lichtschutzeinrichtung empfinden. In den Tabellen 30 und 31 sind die Punkte angegeben, die von mindestens 50 % der Versuchspersonen angegeben wurden.

Lichtschutz	keine Blendung	ausreichend hell	ausreichende Sicht
Folie 1 (f1)			
Folie 2 (f2)			
Folie 3 (f3)			83 %
Horizontal 1 (h1)	83 %		
Horizontal 2 (h2)		50 %	
Horizontal 3 auf (h3a)		83 %	
Horizontal 3 zu (h3z)		50 %	
Vertikal 1 (v1)	83 %		
Vertikal 2 (v2)		100 %	

Tabelle 30: „Was empfinden Sie positiv?“

Lichtschutz	Blendung	zu dunkel	keine Sicht	unangenehmer Raumeindruck
Folie 1	66 %	66 %		50 %
Folie 2	50 %	83 %		
Folie 3	66 %	50 %		
Horizontal 1			100 %	
Horizontal 2	50 %			
Horizontal 3 auf				
Horizontal 3 zu			100 %	
Vertikal 1			100 %	
Vertikal 2			100 %	

Tabelle 31: „Was empfinden Sie negativ?“

7.3 Schlußfolgerungen

Dieser Untersuchungsteil zeigt die Problematik der Lichtschutzeinrichtungen nochmals deutlich in allen Dimensionen. Es ist kaum möglich, alle Forderungen zur vollen Zufriedenheit zu erfüllen. Blendfreiheit wird mit geringerer Beleuchtungsstärke und weniger Sicht nach außen erkauft. In folgenden werden die Vor- und Nachteile der einzelnen Systeme zusammengefaßt.

Folien

Vorteil: - gute Sicht nach außen

Nachteile: - Blendung bei direkter Sonne
- niedriges Beleuchtungsstärkeniveau

Horizontal-Lamellen

Vorteile: - bei hohem Sonnenstand gute Sicht nach außen
- zufriedenstellendes Beleuchtungsstärkeniveau möglich
- kaum Blendung

Nachteil: - bei niedrigem Sonnenstand keine Sicht nach außen

Horizontal-Lamellen mit Lichtlenkung

Vorteil: - hohes Beleuchtungsniveau

Nachteil: - höhere Blendung als bei geschlossener Lamelle möglich

Vertikal-Lamellen

Vorteile: - Es können die Arbeitsplätze mit direkter Sonne verschattet werden, aus den anderen Blickrichtungen ist dann eine gute Sicht nach außen gewährleistet.
- hohes Beleuchtungsstärkeniveau

Nachteil: - Blendgefahr bei zu hohem Transmissionsgrad

Aus den genannten Ergebnissen läßt sich kein System als „das Beste“ ermitteln. Auch innerhalb der Systeme kann es große Unterschiede geben.

8 Praxisuntersuchungen

8.1 Versuchsdurchführung

16 Versuchspersonen an verschiedenen Büroarbeitsplätzen wurden mit einem Fragebogen zum Tageslicht befragt. Von den Versuchspersonen trugen 8 eine Brille oder Kontaktlinsen. Die Verteilung nach Alter und Geschlecht zeigt Tabelle 32.

Alter	männlich	weiblich
20 bis 29	6	2
30 bis 39	2	5
40 bis 49		1

Tabelle 32: Altersverteilung der Versuchspersonen

Alle untersuchten Arbeitsplätze hatten direkten Fensterbezug. Die Raumgröße lag zwischen 24 m^2 und 60 m^2. An 14 Arbeitsplätzen befand sich ein Bildschirm.

Die Versuchspersonen wurden zur Helligkeit im Raum und am Arbeitsplatz und zur Blendung befragt. Dabei kam eine 5-stufige Skala zum Einsatz (Bild 52). Die meßtechnische Erfassung erfolgte analog Kapitel 3.3.

Bewerten Sie die Blendung durch direktes Sonnenlicht

keine Blendung vorhanden **1** **2** **3** **4** **5** Blendung unerträglich

Schauen Sie sich im Raum um und bewerten Sie die gesamte Helligkeit

viel zu dunkel	**1**
etwas zu dunkel	**2**
gerade richtig	**3**
etwas zu hell	**4**
viel zu hell	**5**

Bild 52: Aufbau des Fragebogens bei den Feldversuchen (Beispielfragen)

8.2 Ergebnisse

Bewertung	E_h in lx	E_v in lx zum Fenster	E_v in lx nach vorn	E_z in lx
Raumhelligkeit	0,694	0,668	0,665	0,784
	745 lx	*755 lx*	*200 lx*	*875 lx*
Helligkeit am Arbeitsplatz	0,682	0,702	0,665	0,557
	1160 lx	*1115 lx*	*1140 lx*	*1150 lx*
Blendung durch Tageslicht		*0,512*		*0,728*
		1300 lx		*1380 lx*

Tabelle 33: Korrelation zwischen Bewertungen und Meßwerten der Beleuchtungsstärke und aus der Regression berechnete Beleuchtungsstärkewerte (kursiv)

In Tabelle 33 sind die Koeffizienten für ermittelten Korrelationen angegeben. Die Bewertung der Raumhelligkeit und der Helligkeit am Arbeitsplatz korreliert mit allen gemessenen Beleuchtungsstärken. Ein deutlicher Zusammenhang besteht zwischen der Raumhelligkeit und der zylindrischen Beleuchtungsstärke.

Anhand der Regressionsgerade und der Wertung 3 „gerade richtig“ wurden die günstigen Beleuchtungsstärkewerte in Tabelle 33 ermittelt. Für die Blendungsbewertung wurde ein Grenzwert von 2 verwendet (siehe Kap. 3.1.2). Die Bilder 53 und 54 zeigen beispielhaft den Zusammenhang zwischen Meßwert und Urteil.

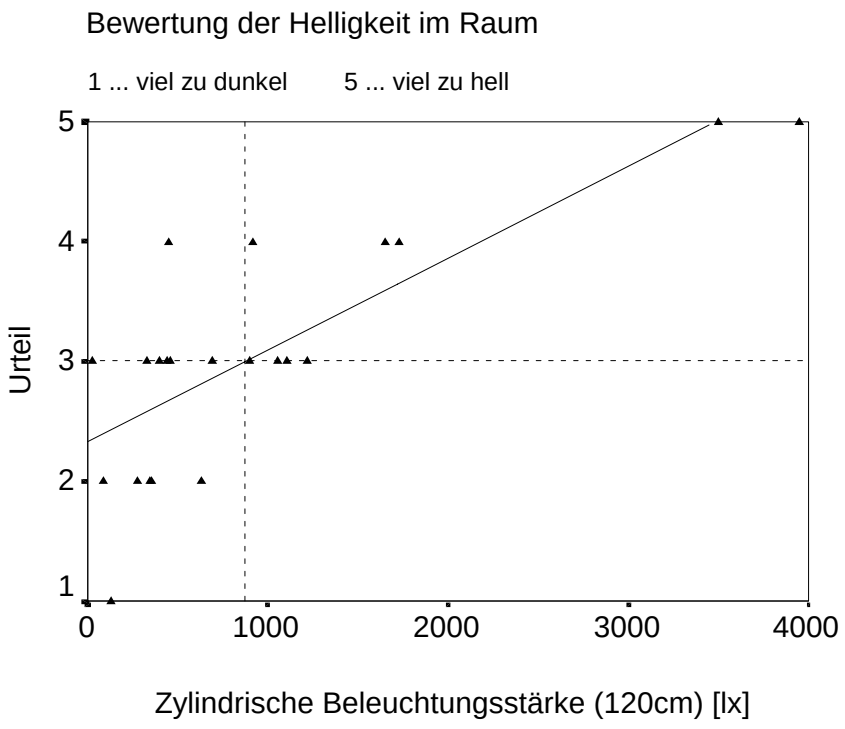


Bild 53: Zusammenhang zwischen der Bewertung der Raumhelligkeit und der zylindrischen Beleuchtungsstärke

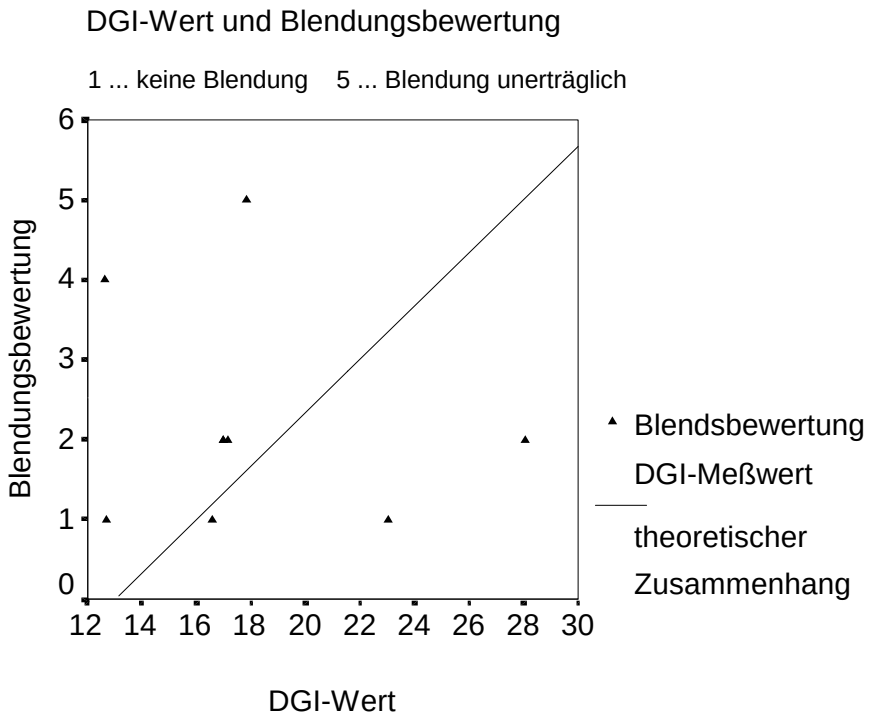


Bild 54: DGI-Wert und Blendungsbewertung

9 Zusammenfassung und Ausblick

9.1 Ergebnisse der Messungen und Befragungen

In mehreren Versuchsreihen wurde versucht, Lichtschutzeinrichtungen hinsichtlich ihrer Wirkung und Anwendbarkeit zu charakterisieren. Hierzu wurden zunächst Untersuchungen zu den Sehbedingungen gemacht, die durch die Lichtschutzeinrichtungen zu gewährleisten sind. Das betrifft vor allem die Leuchtdichten, die zu Direktblendung und Reflexblendung am Bildschirm führen können. Für verschiedene Bildschirmklassen wurden daher Grenzleuchtdichten ermittelt. In realen Büroräumen und in einem Feldversuch wurden Messungen und Befragungen zu horizontalen, vertikalen und zylindrischen Beleuchtungsstärken durchgeführt. Betrachtet wurde dabei ebenfalls das Zusammenwirken von Tageslicht und künstlicher Beleuchtung.

Die Messung der Leuchtdichen der Fenster und Lichtschutzeinrichtungen erfolgte mit dem Leuchtdichte-Analysator, einer Leuchtdichte-Kamera, die ortsaufgelöst die Leuchtdichte bestimmt. Da auch geometrische Daten mit erfaßt werden, können auch DGI-Werte gemessen werden.

Die Befragungen von Versuchspersonen erfolgten mit Fragebögen (Anhang). Bestand eine ausreichend gute Korrelation zwischen den Wertungen und den lichttechnischen Meßwerten, dann konnten anhand von Regressionen Rückschlüsse auf günstige Werte für Beleuchtungsstärken und Leuchtdichten gezogen werden. Dabei wurde die Wertung 3,5 als Mittelpunkt der Gegensatzskala (das heißt als Beginn der positiven Bewertung) in die lichttechnische Größe umgerechnet. Bei den ermittelten Werten handelt es sich demzufolge um Minimal- bzw. Maximalwerte. Für Blendwerte nach der Söllner-Skala wurde ein Wert von 1,5 (Güteklasse 1) als Grenzwert verwendet.

Die Ergebnisse der einzelnen Untersuchungsabschnitte sind in Tabelle 34 zusammensgestellt.

Kapitel	Lichttechnische Größe	Ergebnis
4.3.1	Gesamtbeleuchtungsstärke	minimal 560 lx
4.3.3	Horizontale Beleuchtungsstärke des Tageslichtes	minimal 150 lx ab 1000 lx Blendung
	Zylindrische Beleuchtungsstärke	ab 600 lx Blendung
	Vertikale Beleuchtungsstärke am Auge (Blick zum Bildschirm)	ab 350 lx Blendung bei Sonne ab 1200 lx Blendung
	Vertikale Beleuchtungsstärke am BS	maximal 850 lx
4.3.4	Künstliche Beleuchtung	Wenn das Tageslichtniveau unter 500 lx liegt, wird eine zusätzliche künstliche Beleuchtung gewünscht
5.4.1	Zulässige Blendleuchtdichten für Bildschirme	schwarzer Hintergrund Klasse II: 400 cd/m^2 Klasse I: 1500 cd/m^2 weißer Hintergrund Klasse II: 1000 cd/m^2 Klasse I: 2000 cd/m^2
6.3.2	Zulässige Blendleuchtdichten für Bildschirme	schwarzer Hintergrund Klasse II: unter 200 cd/m^2 Klasse I: 400 cd/m^2 weißer Hintergrund Klasse II: 1000 cd/m^2 Klasse I: 2500 cd/m^2
	Zulässige Blendleuchtdichte für Blick zum Fenster	1300 cd/m^2
	Horizontale Beleuchtungsstärke des Tageslichtes	minimal 270 lx
	Zylindrische Beleuchtungsstärke	minimal 320 lx
7.2	Zulässige Blendleuchtdichte für Blick zum Fenster	1500 cd/m^2
8.2	Horizontale Beleuchtungsstärke des Tageslichtes	745 lx
	Zylindrische Beleuchtungsstärke	875 lx, ab 1380 lx Blendung
	Vertikale Beleuchtungsstärke Blick zum Fenster	755 lx, ab 1300 lx Blendung
	Vertikale Beleuchtungsstärke Blick zum Bildschirm	200 lx

Tabelle 34: Zusammenfassung der Untersuchungsergebnisse

Aus der Zusammenfassung aller Untersuchungsergebnisse können folgende Richtwerte geschlußfolgert werden:

Gesamtbeleuchtungsstärke:	**minimal 500 lx**
Zylindrische Beleuchtungsstärke des Tageslichtes:	**300 bis 1400 lx**
Vertikale Beleuchtungsstärke in Richtung Fenster:	**800 bis 1300 lx**
Vertikale Beleuchtungsstärke am Bildschirm:	**maximal 850 lx**

Zulässige Blendleuchtdichten für Bildschirme:

schwarzer Hintergrund

Klasse II: unter 200 cd/m²

Klasse I: 400 cd/m²

weißer Hintergrund

Klasse II: 1000 cd/m²

Klasse I: 2000 cd/m²

Die Schlußfolgerungen für zulässige Blendleuchtdichten am Bildschim können nur für die untersuchten Bildschimklassen I und II getroffen werden. Der schlechteste der untersuchten Bildschirm war ein Bildschim mit vorgesetzter nicht entspiegelter Glasscheibe. Nach ISO 9241-7 ist er für den weißen Bildschirmhintergrund der Klasse II zuzuordnen. Ausgehend von dieser Tatsache erscheint eine Klasse III nicht sinnvoll. Untersuchungen dazu müssen das Thema weiterer Forschung sein.

9.2 Allgemeine Anmerkungen zu den untersuchten Lichtschutzeinrichtungen

Alle untersuchten Lichtschutzeinrichtungen weisen Vor- und Nachteile auf, die es bei der Anwendung abzuwägen gibt. Es läßt sich kein „gutes“ und kein „schlechtes“ System festlegen.

Lichtschutzfolien

Lichtschutzfolien gewährleiten eine sehr gute Sicht nach außen. Da sie das Licht nicht streuen, ergeben sich jedoch Probleme bei direkter Sonneneinstrahlung. Trotz

niedrigem Transmissionsgrad der Folien führt die Leuchtdichte der Sonne zu Blendung. Die geringe Transmission führt zu niedrigen Beleuchtungsstärkeniveaus. Für Räume ohne direkte Sonne sind sie zu empfehlen.

Horizontal-Lamellen

Sie bieten bei hohem Sonnenstand eine gute Sicht nach außen, müssen bei tief stehender Sonne jedoch geschlossen werden um Blendung zu verhindern. Lamellen mit Lichtlenkung sorgen für ein hohes Beleuchtungsniveau und gleichzeitige Vermeidung von Blendung

Vertikal-Lamellen

Durch die Einstellung der Lamellenwinkels können die Arbeitsplätze mit direkter Sonne verschattet werden, während aus den anderen Blickrichtungen immer noch eine gute Sicht nach außen gewährleistet werden kann. Durch die diffuse Lichttransmission kann auch bei geschlossenen Lamellen ein hohes Beleuchtungsstärkeniveau im Raum erreicht werden. Blendgefahr besteht bei zu hohem Transmissionsgrad des Lamellenmaterials.

9.3. Offene Probleme

Es wurde kein Bildschirm der Klasse III untersucht. Ein Vergleich der ermittelten Ergebnisse mit den Ergebnissen der Klasse III steht noch aus und sollte Gegenstand einer weiteren Untersuchung sein.

Die eingesetzte Leuchtdichtemeßtechnik eignet sich prizipiell auch für die Bewertung von Bildschirmarbeitsplätzen und wurde dafür im Rahmen dieser Arbeit auch eingesetzt. Eine Weiterentwicklung für die automatische Erfassung von Bildschirmkontrasten ist notwendig und könnte in der Zukunft Praxisuntersuchungen erleichtern.

Aus der Vielzahl von möglichen Lichtschutzeinrichtungen konnten für diese Untersuchung nur 8 ausgewählt werden. Die genannten Ergebnisse können nicht automatisch auf andere Systeme übertragen werden.

10 Literaturverzeichnis

Arve Augdal: "Using a CCD-Camera as a sensor for indoor lighting control"; TC im IDAS Projekt 1999

Aydinli, S.; Kaase, H.: Lichttechnische und ergonomische Bewertung von Anlagen zur Abschirmung von Tageslicht im Büro. Wirtschaftsverlag NW Bremerhaven 1993 (Schriftenreihe der Bundesanstalt für Arbeitsschutz, Fb 672)

Baer, R.: Innenraumbeleuchtung mit Tageslicht. Lehrbrief TU Ilmenau 1998

Bartenbach, Ch.; Klinger, M.: Tageslicht. Tagungsband Drittes Symposium Innovative Lichttechnik in Gebäuden, OTTI 1997, S. 51-78

Bartenbach, Ch.: Beleuchtung für Bildschirmarbeitsplätze. Minimierung der visuellen Belastung. Tagungsband Fünftes Symposium Innovative Lichttechnik in Gebäuden, OTTI 1999, 11-23

Berutto, V.; Fontoynout, M.: "Applications of CCD-Cameras to lighting research: Review and extension to the measurement of glare indices"; 23. CIE-Session, New Dehli, Seiten 192-195, 1995

Buntkiel-Kuck, K.: Tageslichtsysteme und ihre Anwendung. Zeitschrift Licht 7-8/94, S. 624-628

CIE-report, TC-3.07 "Guide to recommended practice of daylight measurement"; 1994

CIE: Guide on Daylight of Building interiors. Draft 1990

DIANE Projekt Tageslichtnutzung, Bundesamt für Energiewirtschaft der Schweiz
Band 1: Tageslichtnutzung in Gebäuden - Denkanstöße, EDMZ Nr. 805.169.1 d
Band 2: Systeme der Tageslichtnutzung, EDMZ Nr. 805.169.2 d

DIANE Projekt Tageslichtnutzung: Regeln für gutes Tageslicht, Merkblatt DIANE, EDMZ Nr. 805.165 d
Bauen mit Tageslicht, Merkblatt DIANE, EDMZ Nr. 805.167 d
Arbeiten mit Tageslicht, Merkblatt DIANE, EDMZ Nr. 805.168 d

Fischer, U: Tageslichttechnik. Verlagsgesellschaft R. Mülle, Köln, 1982

Gall, D.: "Leuchtdichte-Analysatoren eröffnen neue Möglichkeiten in der Lichtmeßtechnik"; Licht 50 (7-8), Seiten 698-700, 1998

Gall, D.; Vandahl, C.; Nevoigt, J.; Wolf, S.: Leuchtdichteanalytik in Räumen mit Tageslicht. Tagungsband 6. Symposium Innovative Lichttechnik in Gebäuden, OTTI 2000

Gall, D.; Vandahl, C.; Greiner Mai, U.; Wolf, S.; Helm, H.-P.: Einzelplatzbeleuchtung und Allgemeinbeleuchtung am Arbeitsplatz. Schriftenreihe der Bundesanstalt für Arbeitsschutz Fb 753, Wirtschaftsverlag NW Bremerhaven 1996

Geuzendam, C.: Tageslichtsysteme, Stand der Technik und vielversprechende Entwicklungen. Tagungsband Viertes Symposium Innovative Lichttechnik in Gebäuden, OTTI 1998, S. 63-82

Hahne, H.: Sonnenschutz für Büros. in Die BG (1994) 1, S. 53-56

Hahne, H.: Tageslicht und Sonnenschutz im Büro. Hinweise für die ergonomische Arbeitsplatzgestaltung. Schrift der Bundesanstalt für Arbeitsschutz

ISO 9241-7: Ergonomische Anforderungen für Bürotätigkeiten mit Bildschirmgeräten - Teil 7: Anforderungen an visuelle Anzeigen bezüglich Reflexionen

Jordanow, W.; Vandahl, C.: "Anwendung des Leuchtdichte-Analysators bei der Messung von Industriearbeitsplätzen"; Tagung Licht 98, Bregenz, S. 242-248

Jungjohann, J.; Kovach, A.; Gombert, A.: Entwicklung und Bewertung von neuen Elementen zur verstärken Tageslichtnutzung durch Ray-Tracing Methoden am Beispiel eines neuen Sonnenschutzelements. Tagungsband Zweites Symposium Innovative Lichttechnik in Gebäuden, OTTI 1996, S. 171-174

Kaase, H.; Aydinli, S.: IEA SHCP Task 21, Daylight in Buildings. Eine internationale Arbeitsgruppe koordiniert weltweit Untersuchungen über Tageslicht in Gebäuden. Tagungsband Fünftes Symposium Innovative Lichttechnik in Gebäuden, OTTI 1999, S. 66-84

Kischkoweit-Lopin, M.: Überblick über die Möglichkeiten Tageslichtlenkender Bauteile. Tagungsband Fünftes Symposium Innovative Lichttechnik in Gebäuden, OTTI 1999, S. 50-55

Klingler, M.: Tageslichtlenkung und Sonnenschutz. Zeitschrift Licht 7-8/94, S. 618-623

Miloni, R. P.: Selektive Lichtmodulation in polyvalenten Gebäudehüllen am Beispiel von Schul- und Verwaltungsbauten. Tagungsband Viertes Symposium Innovative Lichttechnik in Gebäuden, OTTI 1998, S. 165-177

Moeck, M.; Selkowitz, S. S.: Computerunterstützes Entwerfen und Bewerten von Tageslichtsystemen. Tagungsband Zweites Symposium Innovative Lichttechnik in Gebäuden, OTTI 1996, 47-62

Nevoigt, J.; Gall, D.: "Strategien zur meßtechnischen Bewertung von Beleuchtungssituationen im Innenraum mit Tageslicht"; Bericht EU-Projekt IDAS 1998

Nevoigt, J.: "Aspekte der Nutzerakzeptanz bei der Tageslichtbewertung im Innenraum"; Tagung Lux Junior 97, Dörnfeld, Bandseiten 236-244

Oligmüller, D.: Sonnenschutz und Lichtlenkung. Anforderungen an eine Verschattungsanlage mit Tageslichtlenkung. Tagungsband Viertes Symposium Innovative Lichttechnik in Gebäuden, OTTI 1998, S. 179-185

Pohl, W.; Scheiring, Ch.: Charakterisierung von Tageslichtsystemen. Tagungsband Viertes Symposium Innovative Lichttechnik in Gebäuden, OTTI 1998, S. 133-140

Rea, M. S.; Jeffrey, I. G.: "A new luminance and image analysis system for lighting and vision"; J. Illum. Eng. Soc. 19 (1), Seiten 64-72, 1990

Scheiring, Ch.; Pohl, W.: Integrative Planung von Sonnenschutzsystemen. Tagungsband Fünftes Symposium Innovative Lichttechnik in Gebäuden, OTTI 1999, S. 176-177

Schierz, Ch.: Beeinflussung von Arbeitsbedingungen durch Sonnen- und Wetterschutzsysteme. Bericht Institut für Hygiene und Arbeitsphysiologie der ETH Zürich 1991

Schmidt, F.; Krüger, U.: Eigenschaften von digitalen 1Chip CCD-Kameras bei der Anwendung zur Farbbeurteilung und Farbdarstellung. Tagungsband 3/1999, DFWG

Sick, F.: Zur Beurteilung der Tageslichtqualität in der Praxis. Tagungsband Fünftes Symposium Innovative Lichttechnik in Gebäuden, OTTI 1999, S. 178-192

Steininger, U.: "SiView, fotorealistische Lichtplanung in der Anwendung"; 4. Symposium "Innovative Lichttechnik in Gebäuden", 1998, S. 225-234

Söllner, G.: Ein einfaches System zur Blendungsbewertung. Zeitschrift Lichttechnik 17 (1965) 5, S. 59A-66A

Vandahl, C.: Zur Festlegung von Gütemerkmalen der Einzelplatzbeleuchtung. Dissertation TU Ilmenau 1999

VIS: Beschattung von Bildschirmarbeitsplätzen - praktische Hinweise zur Umsetzung der EU-Bildschirmrichtlinie. Info Heft des Verbandes für innenliegenden Sicht- und Sonnenschutz e. V. (VIS, Krefeld)

Völker, S.: Eignung von Methoden zur Ermittlung eines notwendigen Beleuchtungsniveaus. Dissertation TU Ilmenau 1999

Wienold, J.: Neue Bewertungskriterien für Tageslichtsysteme. Tagungsband Viertes Symposium Innovative Lichttechnik in Gebäuden, OTTI 1998, Nachtrag

Wienold, J.; Schossig, P.: Tageslicht am Arbeitsplatz - Messung, Bewertung und Nutzerakzeptanz von neuen Tageslichtsystemen, Tagungsband Viertes Symposium Innovative Lichttechnik in Gebäuden, OTTI 1999, S. 56-60

Wirth, H.; Wittwer, V.: Konzepte für den transparenten Sonnenschutz. Tagungsband Viertes Symposium Innovative Lichttechnik in Gebäuden, OTTI 1998, S. 141-145

Wirth, H.; Bühler Ch.; Wittwer, V.: Statischer Sonnenschutz - vergleichende Bewertung. Tagungsband Fünftes Symposium Innovative Lichttechnik in Gebäuden, OTTI 1999, S. 85-88

Witting, W.: Minimierung der visuellen Belastung bei Bildschirmarbeit durch innovative Kunst- und Tageslichtsysteme. Ein quantitativer Leistungsvergleich. Tagungsband Viertes Symposium Innovative Lichttechnik in Gebäuden, OTTI 1998, S. 245-260

Wolf, S.; Gall, D.: Nevoigt, J.: "Leuchtdichte-Analysatoren zur Messung anlagenspezifischer Blendungsparameter"; Licht 11-12/98, S. 1040-1043

11 Anhang

FB 1: Fragebogen zur Raumbewertung mit natürlichem Tageslicht

FB 2: Fragebogen zur Bildschirmbewertung

FB 3: Fragebogen zur Raum- und Bildschirmbewertung

FB 4: Fragebogen zur Bewertung des Lichtschutzes mit natürlichem Tageslicht

Leuchtdichtebilder aller Lichtschutzeinrichtungen

Probandenkennzahl		Datum	
Versuchleiter		Uhrzeit	
Variante			

Fragebogen 1

zur Bewertung von Tageslicht

Wir bitten Sie, den Raum und die Lichtsituation anhand vorgegebener Aussagen zu bewerten.

Die Aussagen sind in Form der folgenden Skala vorgegeben:

Beispiel:

Die dargebotene Lichtsituation ...

belästigt mich oooooooooooooooooxoooooo stört mich nicht

stimmt mich wohl ooooooooooooxoooooooooooo stimmt mich unwohl

Die Aussagen an den Enden der Skala bezeichnen extreme Wahrnehmungen und Empfindungen. Auf der Skala zwischen den beiden Extremen sollen Sie Ihre persönliche Empfindung kennzeichnen (z. B. durch ein **x** wie oben zu sehen).

Nehmen Sie bitte zu jedem Aussagepaar einzeln und unabhängig vom vorherigen Stellung. Wir weisen darauf hin, daß es keine falschen oder schlechten Urteile gibt. Die Auswertung erfolgt anonym.

Haben Sie noch Fragen, dann wenden Sie sich jetzt an den Versuchsleiter.

Schauen Sie sich im Raum um und bewerten Sie folgende Aussagen!

Der Raum insgesamt ...

wirkt angenehm	oooooooooooooooooooooooo	wirkt unangenehm
ist dunkel	oooooooooooooooooooooooo	ist hell
ist abwechslungsreich	oooooooooooooooooooooooo	ist eintönig
zu ungleichmäßig beleuchtet	oooooooooooooooooooooooo	gleichmäßig beleuchtet

Das künstliche Licht ...

blendet mich nicht	oooooooooooooooooooooooo	blendet mich
ist zu dunkel	oooooooooooooooooooooooo	ist ausreichend hell

Die Arbeitsfläche ...

ist dunkel	oooooooooooooooooooooooo	ist ausreichend hell
ist gleichmäßig beleuchtet	oooooooooooooooooooooooo	ist zu ungleichmäßig beleuchtet

Der Blick aus dem Fenster ...

ist angenehm	oooooooooooooooooooooooo	ist unangenehm
blendet mich nicht	oooooooooooooooooooooooo	blendet mich
belebt mich	oooooooooooooooooooooooo	ermüdet mich
belästigt mich	oooooooooooooooooooooooo	stört mich nicht

Das Tageslicht ...

blendet mich nicht	oooooooooooooooooooooooo	blendet mich
ist zu dunkel	oooooooooooooooooooooooo	ist ausreichend hell
ist unauffällig	oooooooooooooooooooooooo	ist grell

Reflexionen von Sonnenlicht ...

blenden mich nicht	oooooooooooooooooooooooo	blenden mich
lenken mich ab	oooooooooooooooooooooooo	stören mich nicht
sind unauffällig	oooooooooooooooooooooooo	sind grell

Schauen Sie nun auf den Bildschirm und bewerten Sie folgende Aussagen !

Auf dem Bildschirm ...

kann ich gut lesen oooooooooooooooooooooooo kann ich schlecht lesen

sehe ich Spiegelungen oooooooooooooooooooooooo sehe ich keine Spiegelungen

Beim Blick auf den Monitor werde ich durch direktes Tageslicht ...

geblendet oooooooooooooooooooooooo nicht geblendet

Schauen Sie bitte direkt aus dem Fenster und geben Sie an, wie stark Sie geblendet werden !

- o keine Blendung
- o
- o Blendung merkbar
- o
- o Blendung störend
- o
- o Blendung unerträglich

Könnten Sie sich vorstellen, ständig in einem fensterlosen Raum zu arbeiten?

O ja

O nein

Warum nicht? Geben Sie einen oder mehrere Gründe an.

_____

_____

_____

_____

_____

_____

_____

_____

_____

_____

_____

_____

_____

Probandenkennzahl		Datum	
Versuchleiter		Uhrzeit	
Lichtschutz		künstliche Beleuchtung	
Leuchtdichte			
Bildschirm		Abschnitt	

Fragebogen 2

zur Bewertung von Tageslicht

Fehlerzahl: _____

Schauen Sie auf den Bildschirm und bewerten Sie folgende Aussagen !

Auf dem Bildschirm ...

kann ich gut lesen oooooooooooooooooooooo kann ich schlecht lesen

sehe ich Spiegelungen oooooooooooooooooooooo sehe ich keine Spiegelungen

Probandenkennzahl		Datum	
Versuchleiter		Uhrzeit	
Lichtschutz		künstliche Beleuchtung	

Fragebogen 3

zur Bewertung von Tageslicht

Schauen Sie sich im Raum um und bewerten Sie folgende Aussagen !

Der Blick aus dem Fenster ...

ist angenehm	oooooooooooooooooooooooo	ist unangenehm
blendet mich nicht	oooooooooooooooooooooooo	blendet mich
belebt mich	oooooooooooooooooooooooo	ermüdet mich
belästigt mich	oooooooooooooooooooooooo	stört mich nicht

Das Tageslicht ...

blendet mich nicht	oooooooooooooooooooooooo	blendet mich
ist zu dunkel	oooooooooooooooooooooooo	ist ausreichend hell
ist unauffällig	oooooooooooooooooooooooo	ist grell

Schauen Sie auf den Bildschirm 1 und bewerten Sie folgende Aussagen !

Auf dem weißen Hintergrund des Bildschirmes ...

kann ich gut lesen	oooooooooooooooooooooooo	kann ich schlecht lesen
sehe ich Spiegelungen	oooooooooooooooooooooooo	sehe ich keine Spiegelungen
sehe ich keine störenden Muster	oooooooooooooooooooooooo	sehe ich störende Muster

Auf dem schwarzen Hintergrund des Bildschirmes ...

kann ich gut lesen	oooooooooooooooooooooooo	kann ich schlecht lesen
sehe ich Spiegelungen	oooooooooooooooooooooooo	sehe ich keine Spiegelungen
sehe ich keine störenden Muster	oooooooooooooooooooooooo	sehe ich störende Muster

Schauen Sie auf den Bildschirm 2 und bewerten Sie folgende Aussagen !

Auf dem weißen Hintergrund des Bildschirmes ...

kann ich gut lesen	oooooooooooooooooooooooo	kann ich schlecht lesen
sehe ich Spiegelungen	oooooooooooooooooooooooo	sehe ich keine Spiegelungen
sehe ich keine störenden Muster	oooooooooooooooooooooooo	sehe ich störende Muster

Auf dem schwarzen Hintergrund des Bildschirmes ...

kann ich gut lesen	oooooooooooooooooooooooo	kann ich schlecht lesen
sehe ich Spiegelungen	oooooooooooooooooooooooo	sehe ich keine Spiegelungen
sehe ich keine störenden Muster	oooooooooooooooooooooooo	sehe ich störende Muster

Schauen Sie auf den Bildschirm 3 und bewerten Sie folgende Aussagen !

Auf dem weißen Hintergrund des Bildschirmes ...

kann ich gut lesen	oooooooooooooooooooooooo	kann ich schlecht lesen
sehe ich Spiegelungen	oooooooooooooooooooooooo	sehe ich keine Spiegelungen
sehe ich keine störenden Muster	oooooooooooooooooooooooo	sehe ich störende Muster

Auf dem schwarzen Hintergrund des Bildschirmes ...

kann ich gut lesen	oooooooooooooooooooooooo	kann ich schlecht lesen
sehe ich Spiegelungen	oooooooooooooooooooooooo	sehe ich keine Spiegelungen
sehe ich keine störenden Muster	oooooooooooooooooooooooo	sehe ich störende Muster

Probandenkennzahl		Datum	
Versuchsnummer		Uhrzeit	
Wetter		Lichtschutz	

Fragebogen 4

zur Bewertung von Tageslicht

Schauen Sie sich im Raum um und bewerten Sie folgende Aussagen !

Der Raum insgesamt ...

wirkt angenehm	oooooooooooooooooooooooo	wirkt unangenehm
ist dunkel	oooooooooooooooooooooooo	ist hell
ist abwechslungsreich	oooooooooooooooooooooooo	ist eintönig
zu ungleichmäßig beleuchtet	oooooooooooooooooooooooo	gleichmäßig beleuchtet
wirkt natürlich	oooooooooooooooooooooooo	wirkt unnatürlich

Die Arbeitsfläche ...

ist dunkel	oooooooooooooooooooooooo	ist ausreichend hell
ist gleichmäßig beleuchtet	oooooooooooooooooooooooo	ist zu ungleichmäßig beleuchtet

Der Blick zum Fenster ...

ist angenehm	oooooooooooooooooooooooo	ist unangenehm
blendet mich nicht	oooooooooooooooooooooooo	blendet mich
belästigt mich	oooooooooooooooooooooooo	stört mich nicht
Sicht nach außen ist gut	oooooooooooooooooooooooo	Sicht nach außen ist schlecht

Das Tageslicht ...

blendet mich nicht	oooooooooooooooooooooooo	blendet mich
ist zu dunkel	oooooooooooooooooooooooo	ist ausreichend hell
ist unauffällig	oooooooooooooooooooooooo	ist grell
wirkt natürlich	oooooooooooooooooooooooo	wirkt unnatürlich

Bitte bewerten Sie die vorhandene Sonnenschutz-einrichtung !

Was empfinden Sie positiv an der Sonnenschutzeinrichtung ?

o keine Blendung durch Tageslicht

o ausreichende Helligkeit trotz Sonnenschutz

o ausreichende Sicht nach außen

Welche Mängel können Sie an der Sonnenschutzeinrichtung feststellen ?

o Blendung durch direktes Sonnenlicht

o ungleichmäßige Beleuchtung

o keine ausreichende Versorgung des Innenraums mit Tageslicht vorhanden

o keine visuelle Sichtverbindung nach außen

o unangenehmer Raumeindruck

Schauen Sie bitte direkt zum Fenster und geben Sie an, wie stark Sie geblendet werden !

o keine Blendung

o

o Blendung merkbar

o

o Blendung störend

o

o Blendung unerträglich

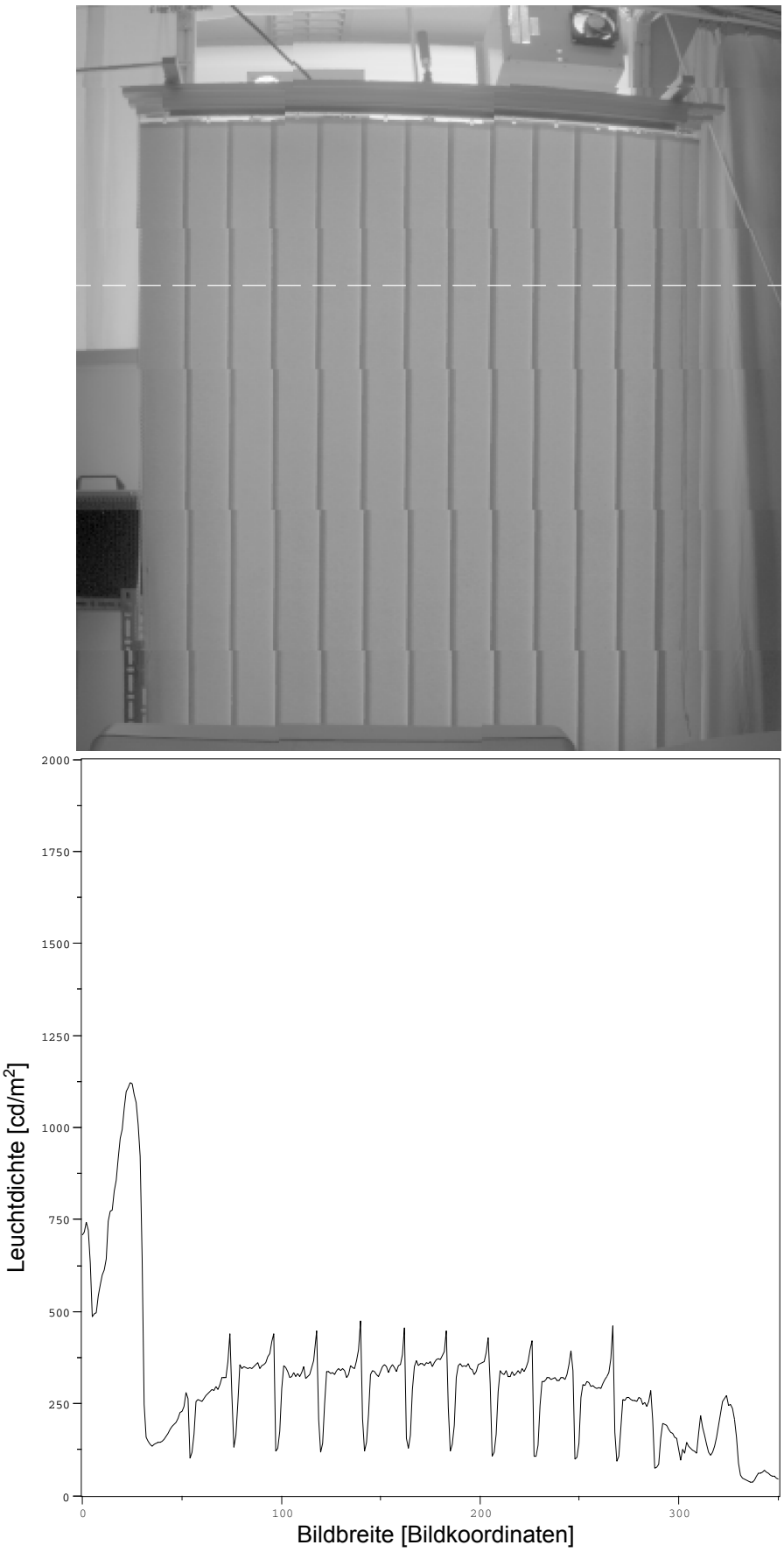


Bild 55: Leuchtdichteverteilung Vertikal 1 (geschlossen)

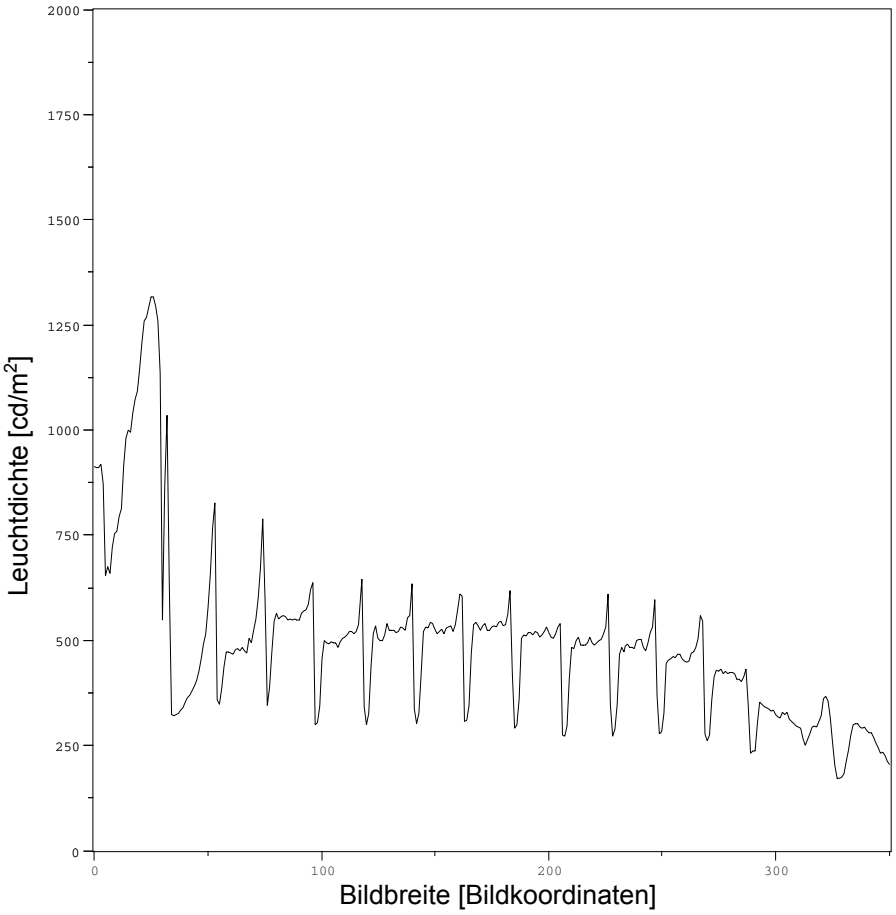


Bild 56: Leuchtdichteverteilung Vertikal 1 + künstliche Beleuchtung

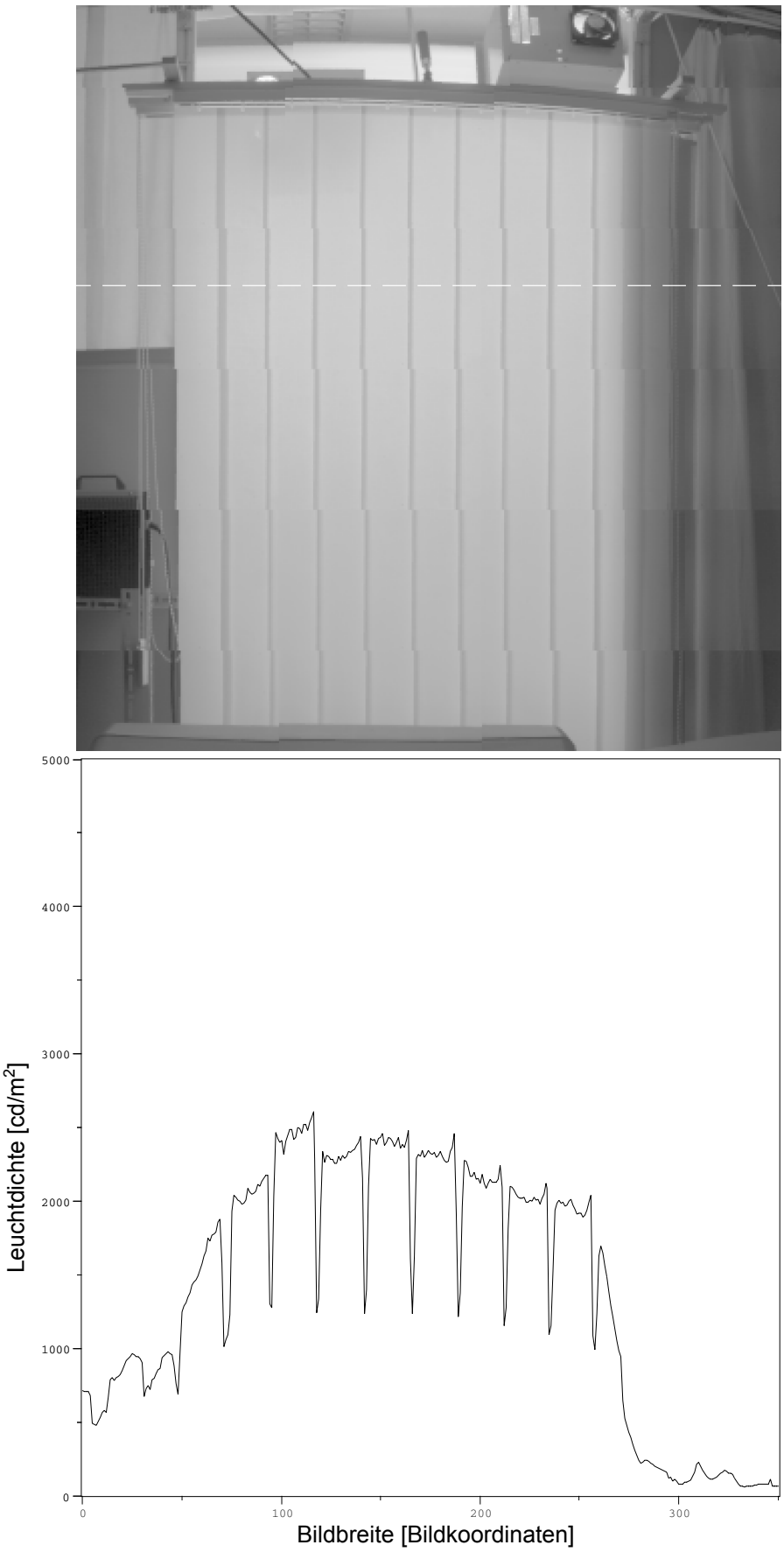
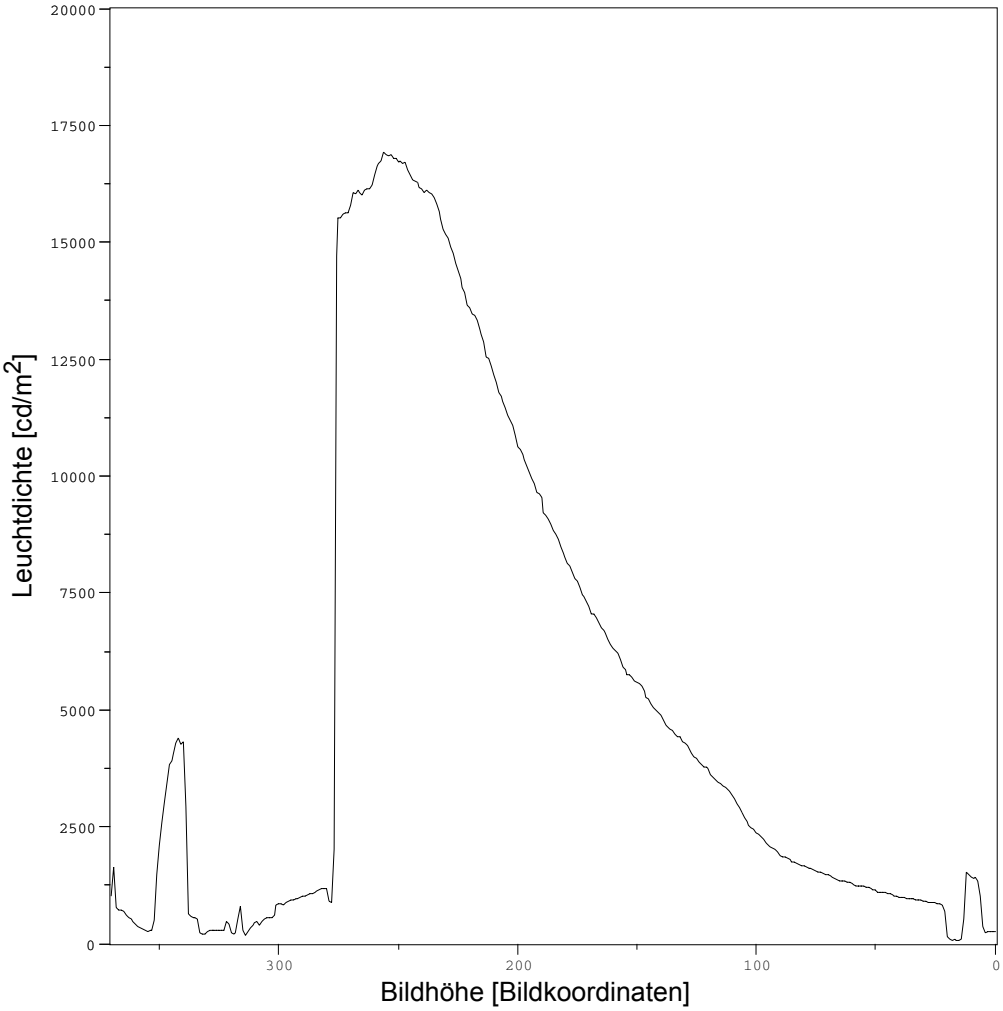


Bild 57: Leuchtdichteverteilung Vertikal 2 (geschlossen)



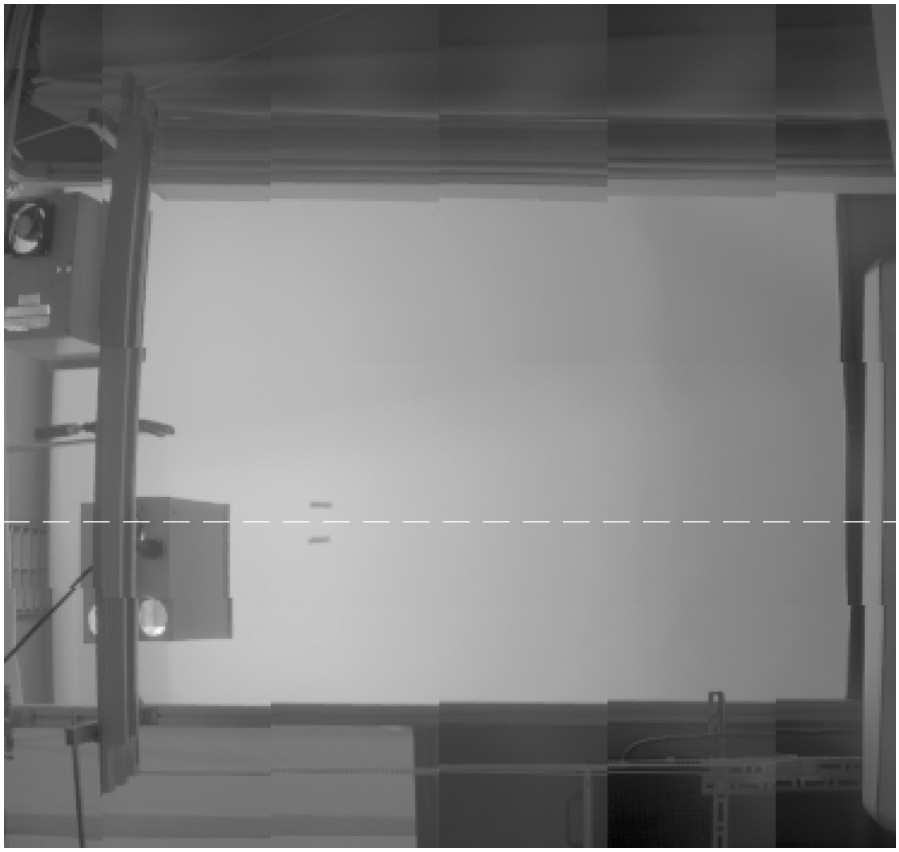
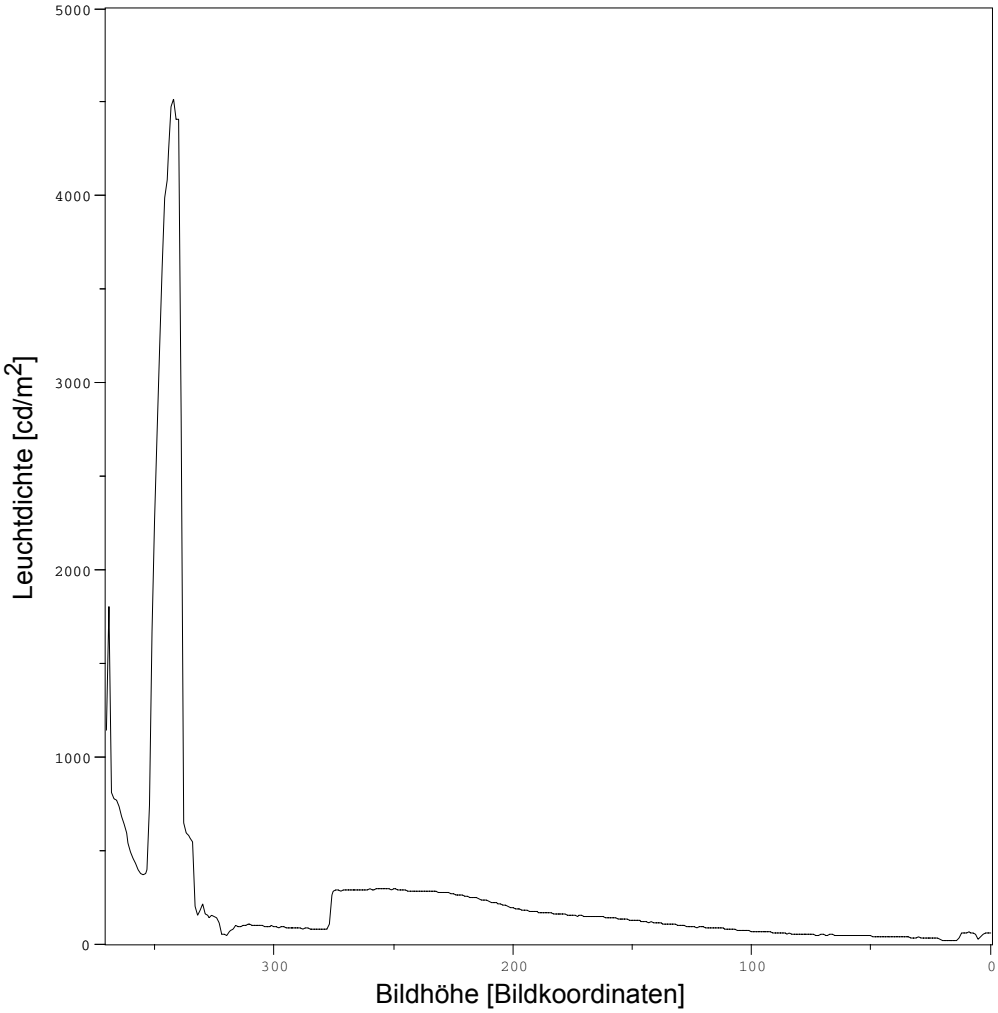


Bild 58: Leuchtdichteverteilung künstliches Fenster ohne Lichtschutz



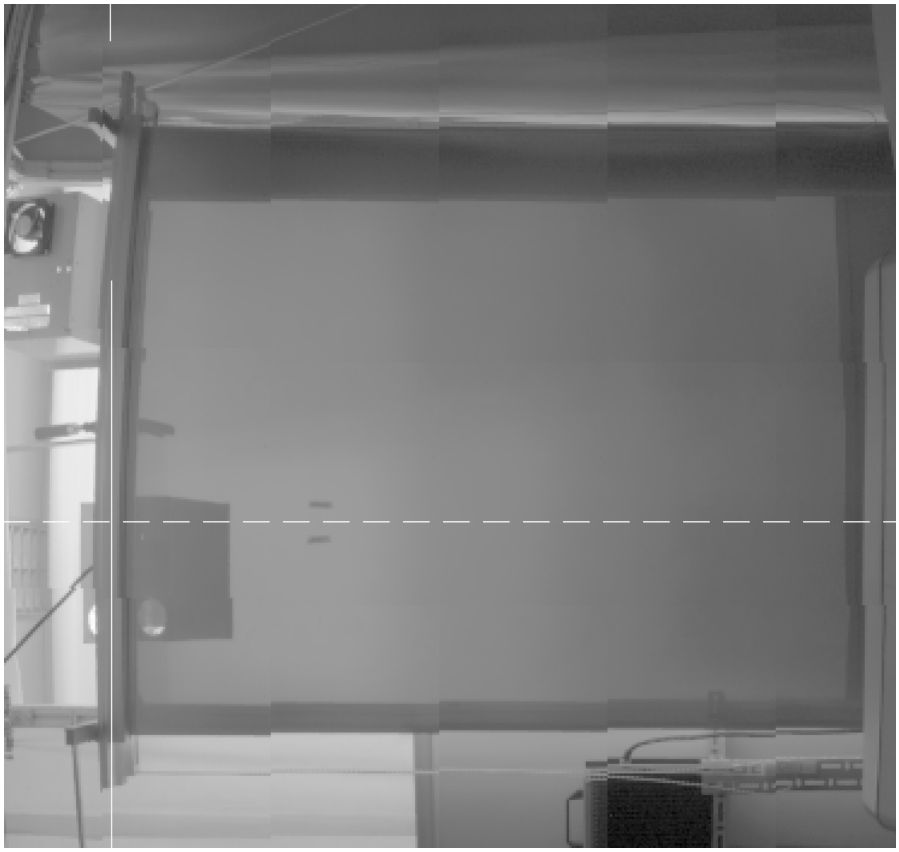
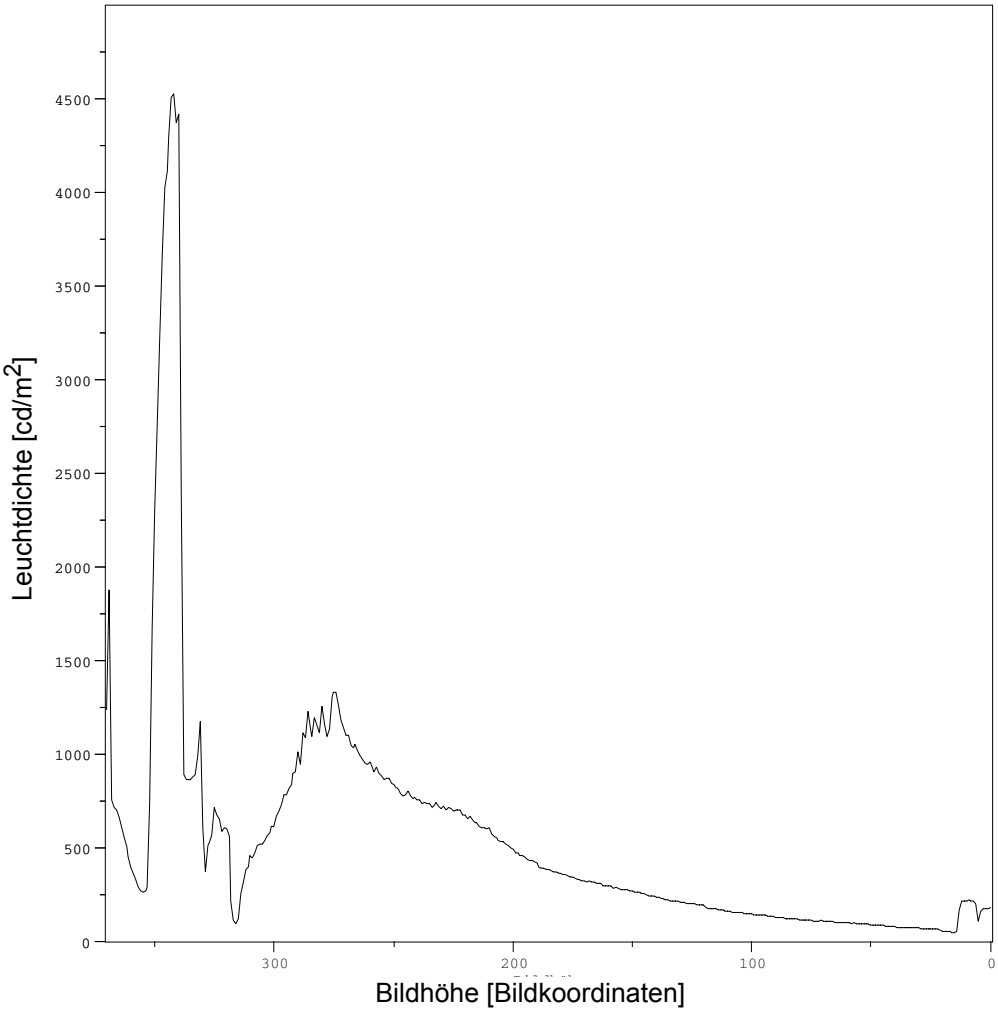


Bild 59: Leuchtdichteverteilung Folie 1



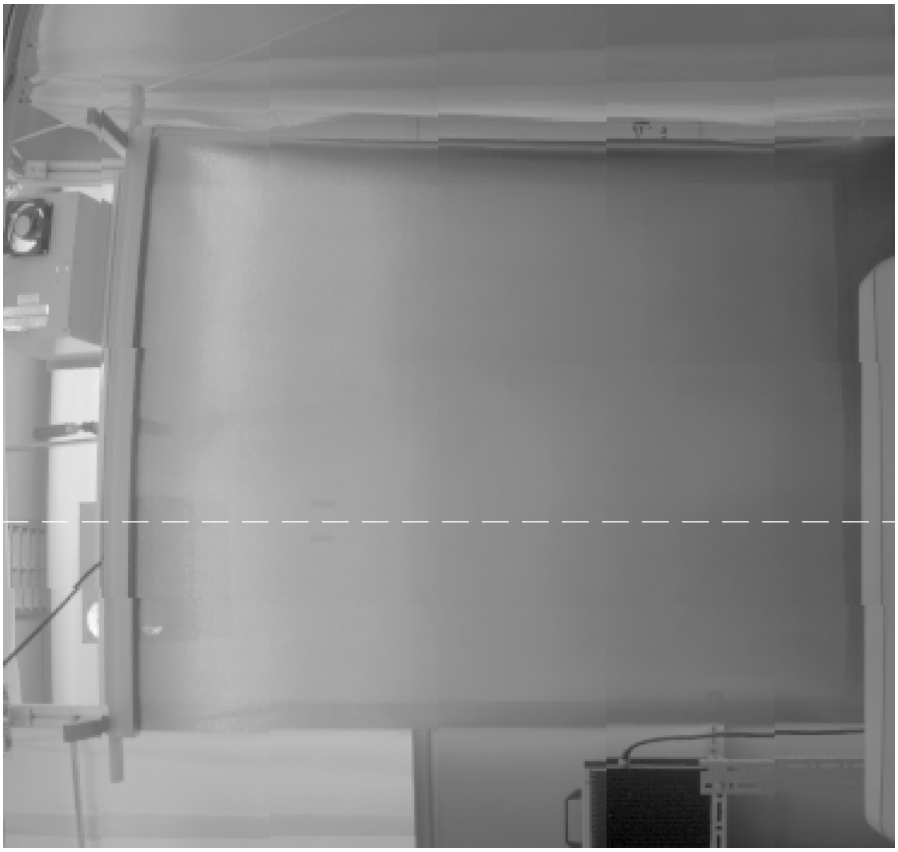
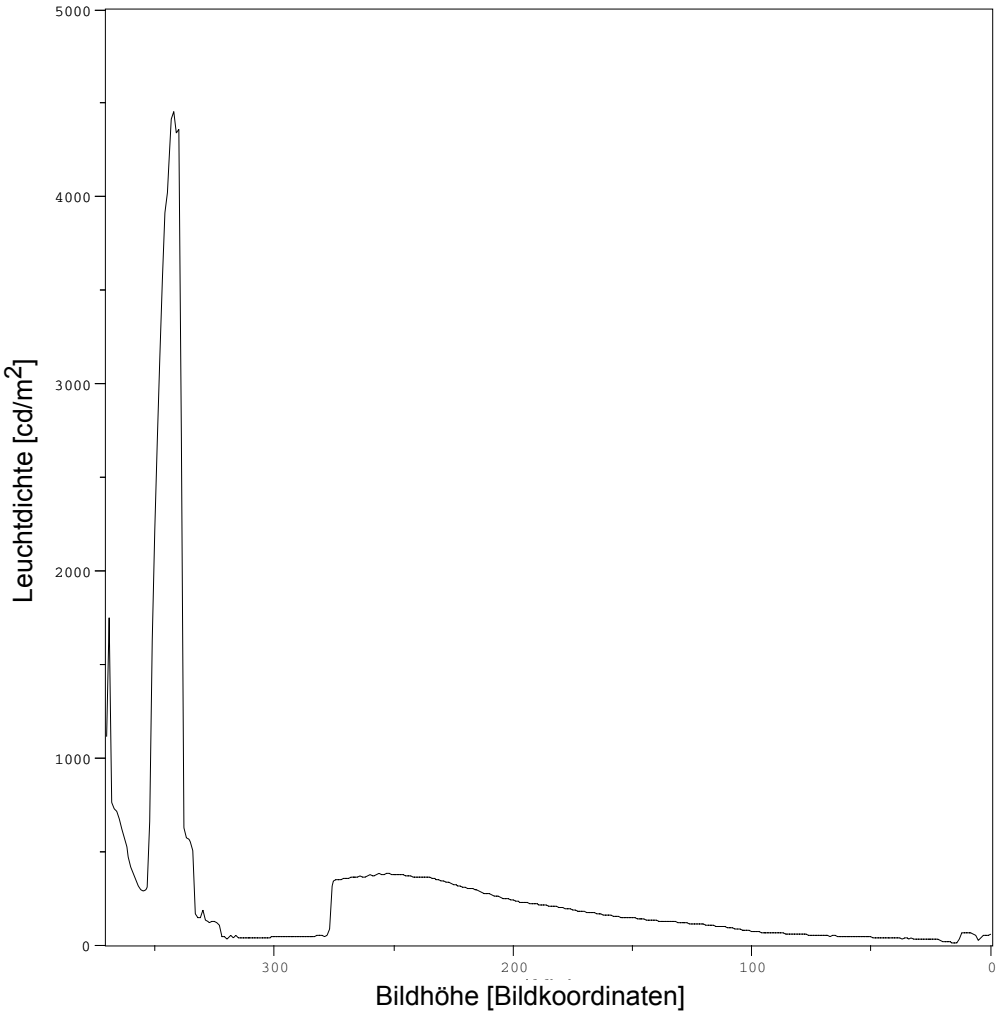


Bild 60: Leuchtdichteverteilung Folie 1 + künstliche Beleuchtung



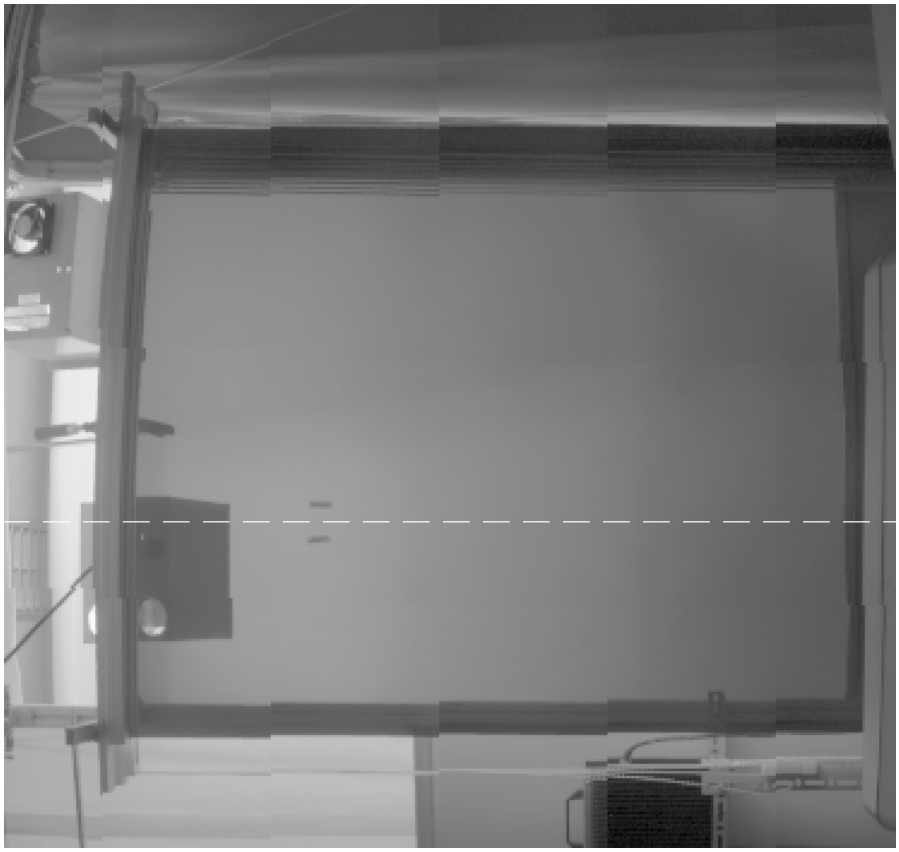
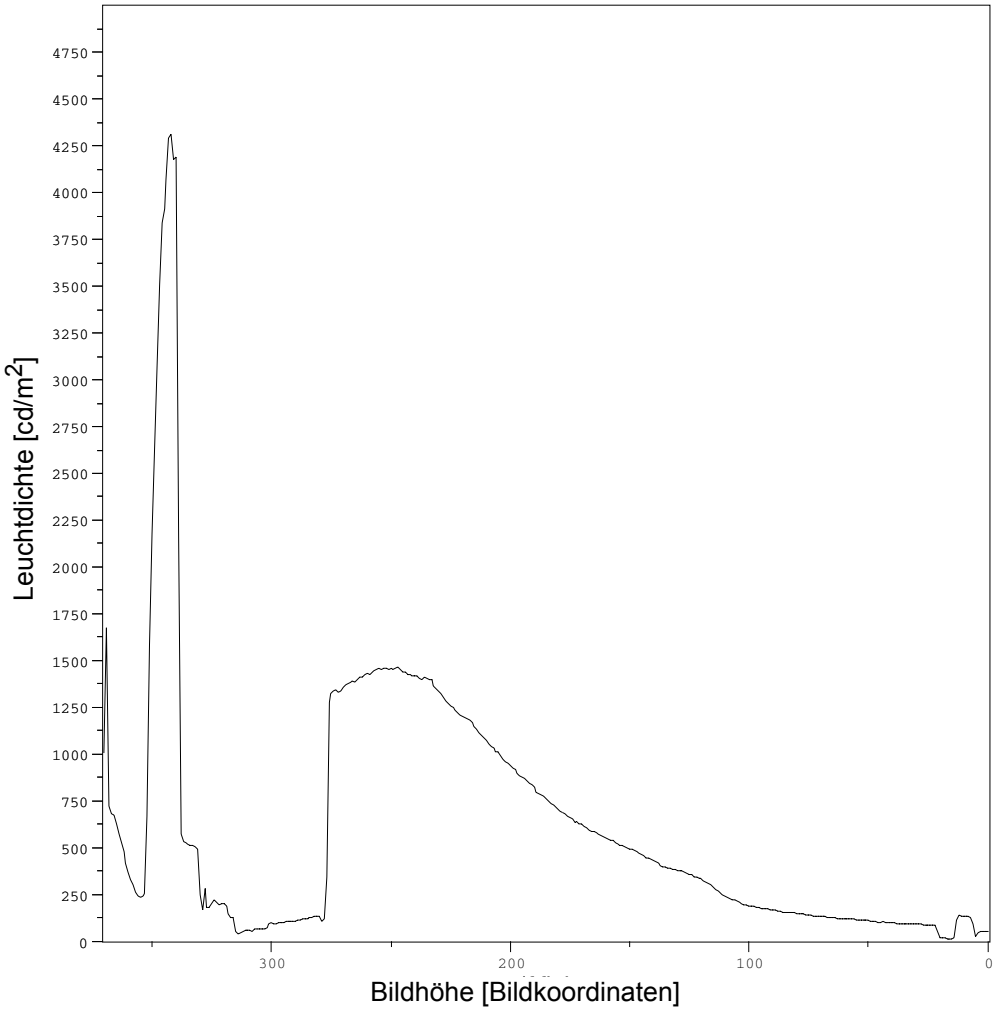


Bild 61: Leuchtdichteverteilung Folie 2



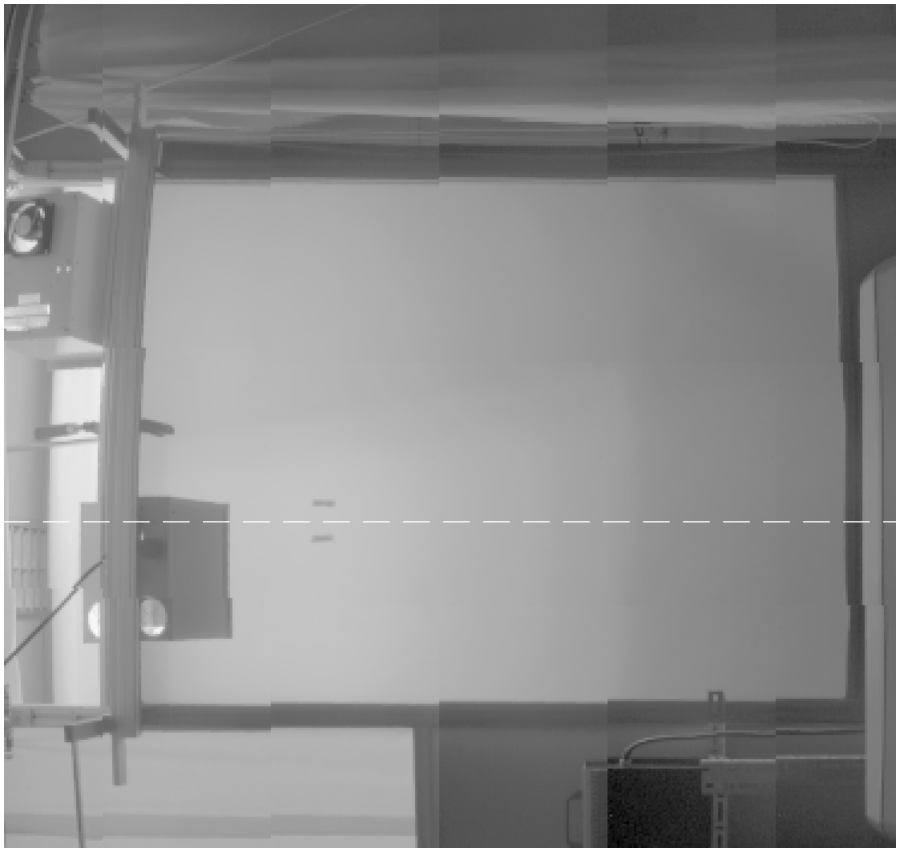
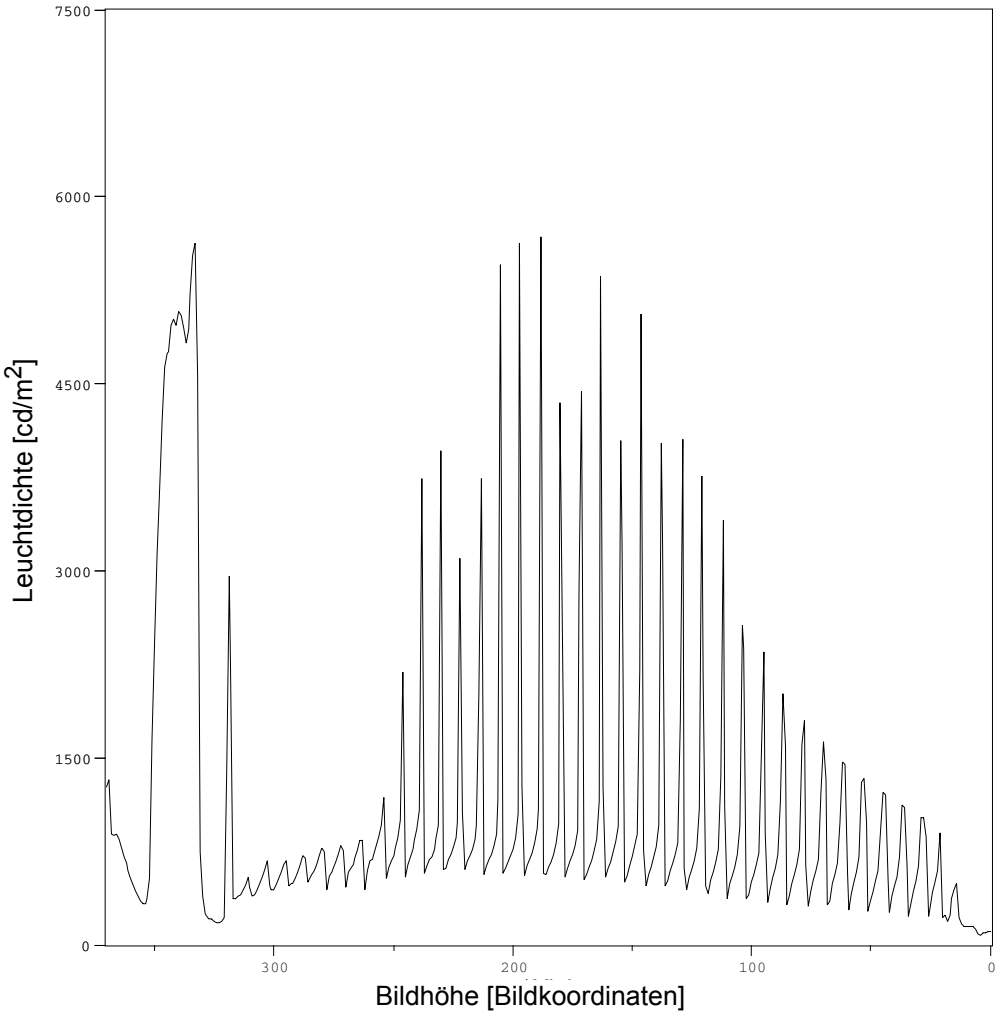


Bild 62: Leuchtdichteverteilung Folie 3



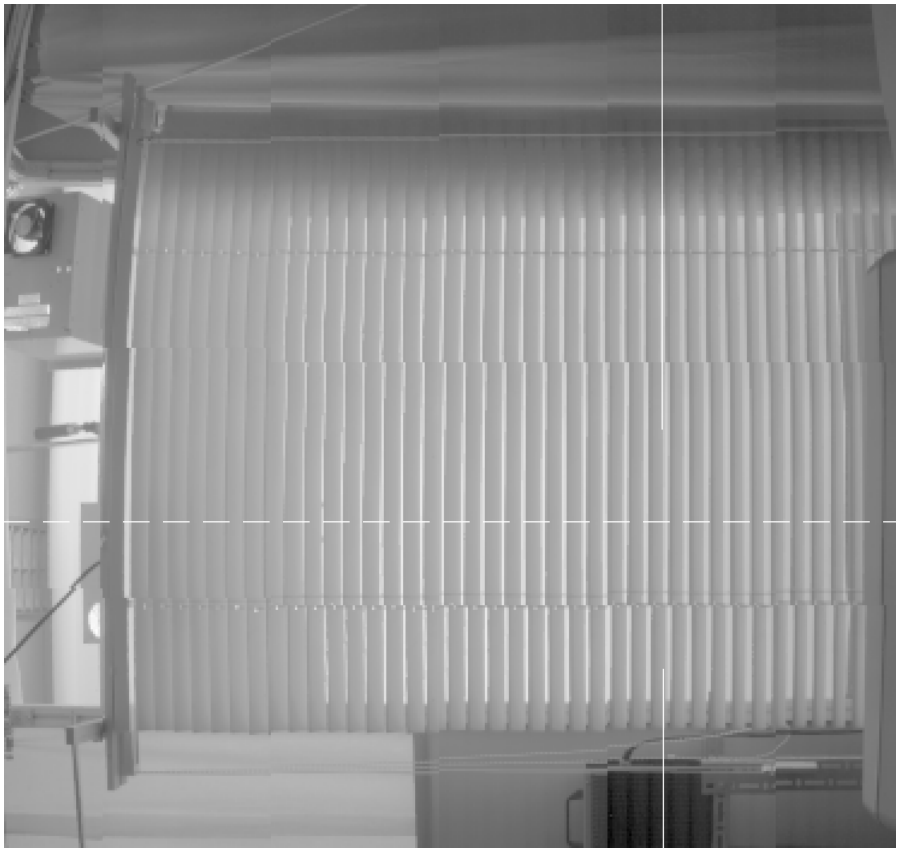


Bild 63: Leuchtdichteverteilung Horizontal 1 (45° geöffnet)

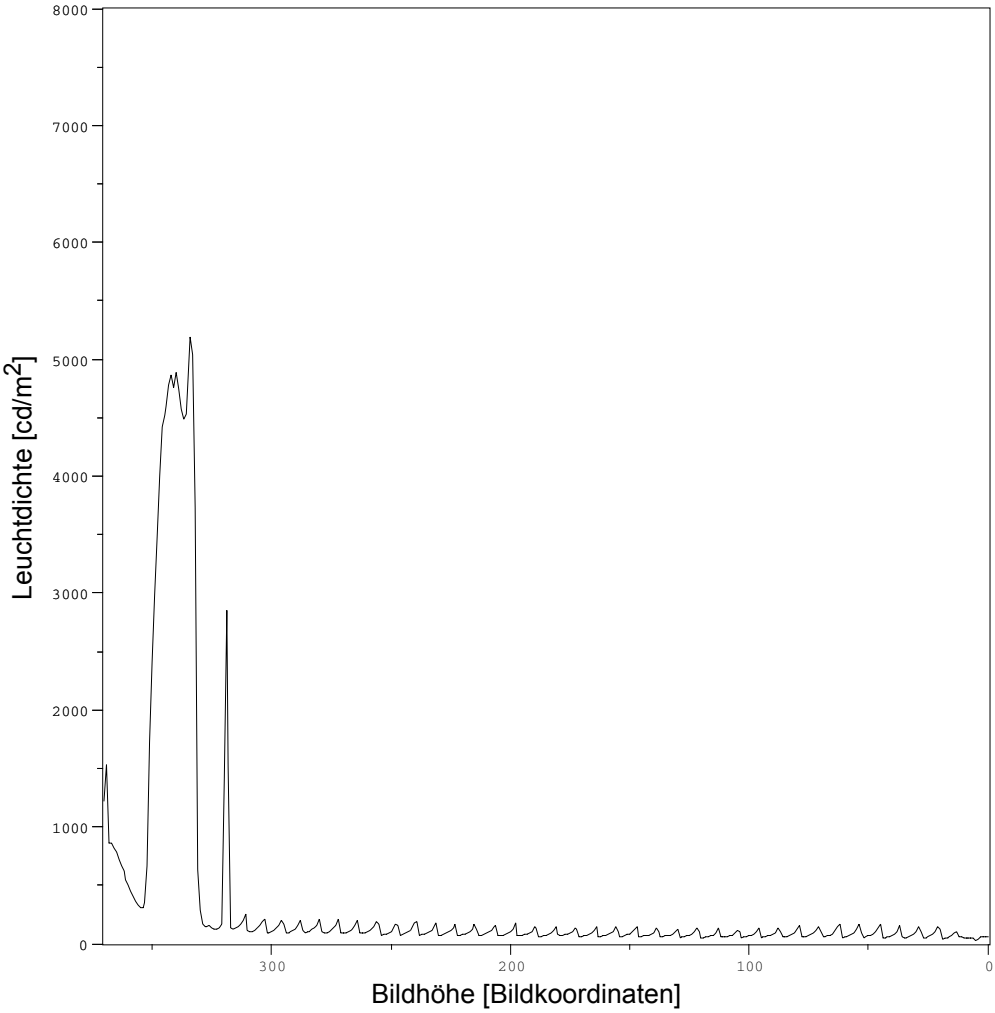
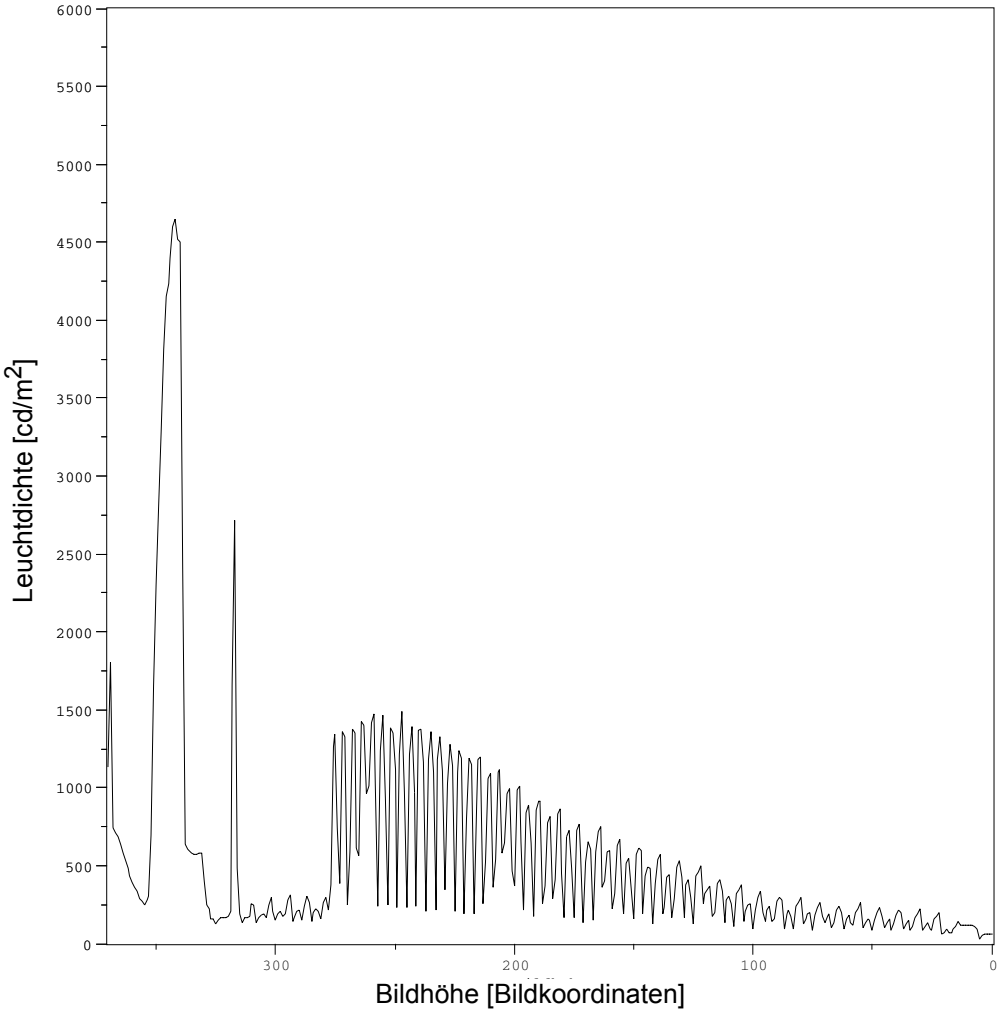


Bild 64: Leuchtdichteverteilung Horizontal 1 (geschlossen)



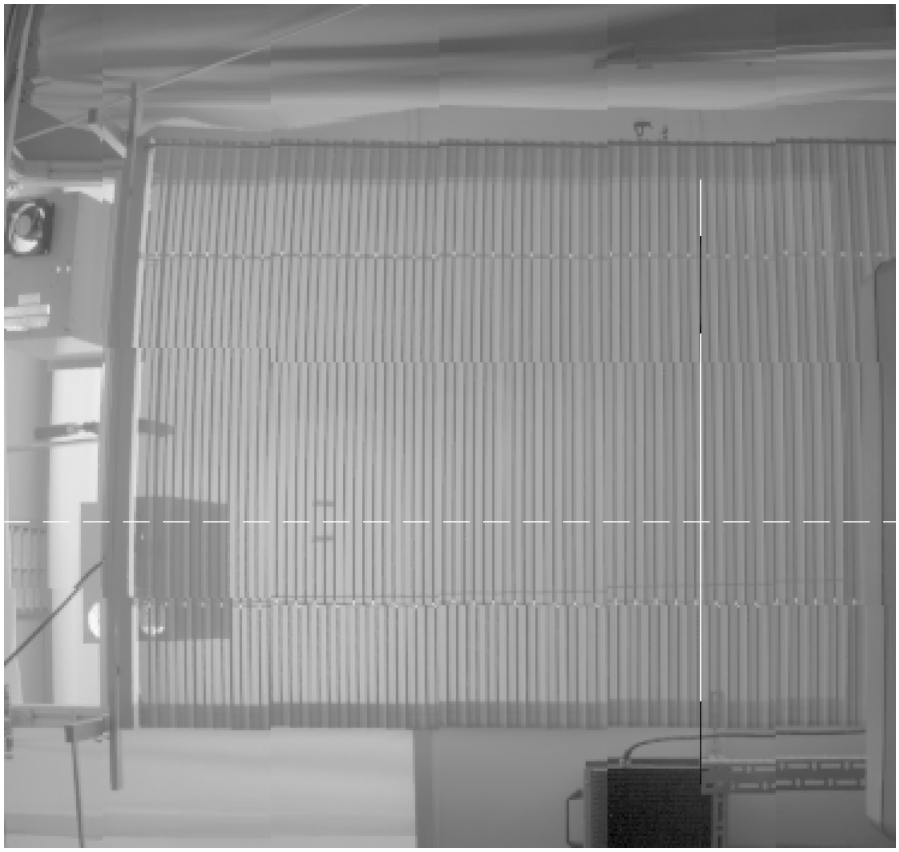
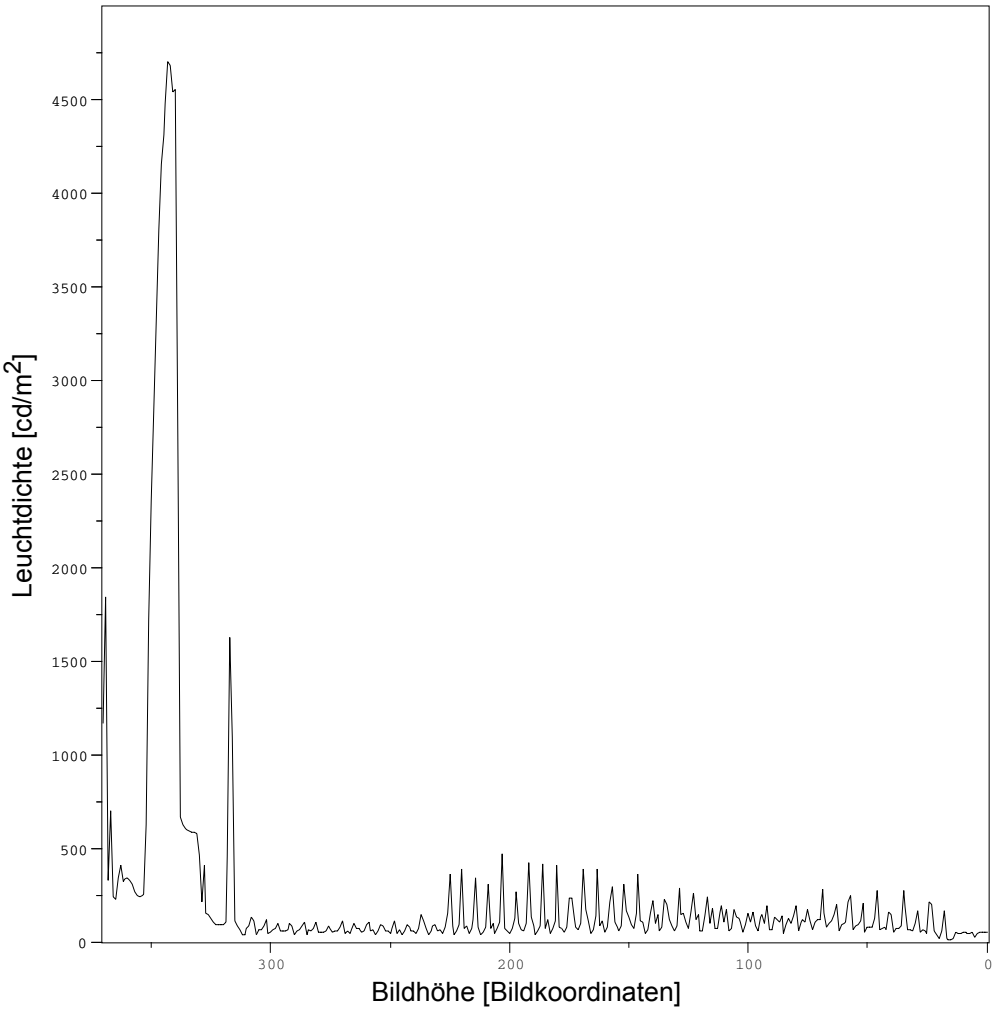


Bild 65: Leuchtdichteverteilung Horizontal 2 (geschlossen)



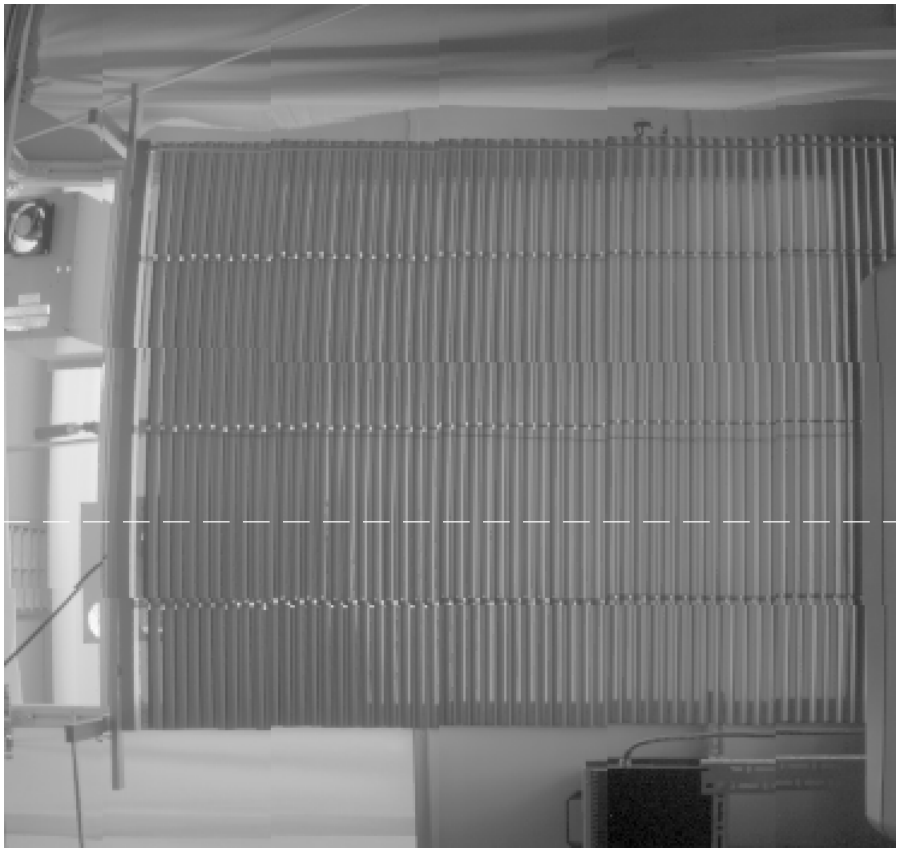


Bild 66: Leuchtdichteverteilung Horizontal 3 (geschlossen)