

# Zur Festlegung von Güte Merkmalen der Einzelplatzbeleuchtung

Dissertation zur Erlangung des wissenschaftlichen Grades  
Doktoringenieur (Dr.-Ing.)

der Fakultät Maschinenbau der  
Technischen Universität Ilmenau

vorgelegt am 16. Juni 1998  
von Diplomingenieurin Cornelia Vandahl,  
geboren am 17. Dezember 1968 in Döbeln



# Vorwort

Licht dient den Menschen zum Sehen. Die Lichttechnik ist deshalb bemüht, optimale Sehbedingungen zu schaffen, damit Arbeitsleistung und Wohlbefinden positiv beeinflusst werden. Um gute Sehbedingungen zu gewährleisten, existieren Vorschriften, in denen die einzelnen lichttechnischen Güte Merkmale festgelegt sind. Nachdem viele Jahrzehnte die Allgemeinbeleuchtung als Beleuchtungssystem empfohlen wurde, ist in der letzten Zeit ein Trend zur Mehrkomponentenbeleuchtung (Kombination von Einzelplatz- und Allgemeinbeleuchtung oder ähnliches) zu beobachten. Die Akzeptanz derartiger Beleuchtungssysteme ist sehr groß, da hier individuelle Wünsche der Nutzer besser realisierbar sind. Die mitunter sehr unterschiedlichen Vorstellungen der Nutzer müssen von der Leuchtenindustrie berücksichtigt werden, daher sind für dieses Beleuchtungssystem natürlich auch Normen notwendig. Seit 1994 gibt es die DIN 5035, Teil 8 (»Beleuchtung mit künstlichem Licht, Einzelplatzbeleuchtung.«), in der die Güte Merkmale der Einzelplatzbeleuchtung festgelegt sind. 1996 wurde an der TU Ilmenau ein Forschungsprojekt abgeschlossen, in dem versucht wurde, alle wichtigen Güte Merkmale der Einzelplatzbeleuchtung grundlegend experimentell zu untersuchen [Gall96a]. Die vorliegende Arbeit soll ausgewählte Untersuchungsergebnisse darstellen und erläutern, die für den Konstrukteur, den Planer und den Anwender von Einzelplatzleuchten besonders wichtig sind.

Für das Zustandekommen dieser Arbeit möchte ich der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und deren fachlichem Betreuer Herrn Dr. Hahne danken. Weiterhin danke den Studenten und Probanden, die in langwierigen Versuchsreihen wertvolles Zahlenmaterial zusammentrugen. Ein ganz besonderer Dank gilt meinem Betreuer Herrn Prof. Dr. Gall für die vielen Ratschläge und Hinweise. Seine theoretischen Überlegungen zum untersuchten Thema dienten als Grundlage der Meßreihen. Das Zustandekommen des Forschungsprojektes ist seiner Initiative zu verdanken.

Meinem Mann ein herzliches Dankeschön für die geduldige Unterstützung und die kritische Durchsicht des Manuskriptes.

Ilmenau, am 16. Juni 1998

Cornelia Vandahl



# Inhalt

Inhalt.....	3
Verwendete Abkürzungen.....	7
Erläuterung verwendeter Begriffe und Bezeichnungen.....	9
1 Themenstellung und Einordnung dieser Arbeit.....	11
2 Vorhandene Untersuchungsergebnisse und Normen zur Einzelplatzbeleuchtung und Kombinierten Beleuchtung.....	15
3 Beschreibung der durchgeführten Untersuchung.....	27
3.1 Allgemeines.....	27
3.2 Versuchsstrategie.....	27
3.3 Auswahl der Untersuchungsmethoden.....	32
3.3.1 Übersicht.....	32
3.3.2 Fragebögen.....	33
3.3.3 Wunscheinstellungen.....	34
3.3.4 Leistungstests.....	35
3.4 Statistische Auswertung.....	35
3.4.1 Angewendete statistische Verfahren.....	35
3.4.2 Zuordnung von Zahlenwerten zu den Urteilen.....	37

3.4.3 Überprüfung der Normalverteilung .....	37
3.4.4 Das Skalenniveau der Ausgangsdaten.....	39
3.5 Lichttechnische Messungen .....	44
4 Ergebnisse der Untersuchung .....	45
4.1 Beleuchtungsniveau .....	45
4.1.1 Laboruntersuchung.....	45
4.1.1.1 Vergleich von Allgemeinbeleuchtungsstärken (Fragebogen 2).....	45
4.1.1.2 Bewertung von Beleuchtungsstärken (Fragebogen 4).....	47
4.1.1.3 Bewertung des Beleuchtungsstärkeverhältnisses (Fragebogen 4).....	49
4.1.1.4 Vergleich verschiedener Lichtsituationen (Fragebogen 2).....	50
4.1.1.5 Konzentrations-Verlaufs-Test (KVT).....	51
4.1.1.6 Mathematischer Leistungstest I.....	51
4.1.1.7 Einstellung der gewünschten Beleuchtungsstärke der Einzelplatzleuchte.....	53
4.1.1.8 Mathematischer Leistungstest II.....	55
4.1.2 Untersuchung an Versuchsplätzen .....	56
4.1.2.1 Bewertung der Leuchten (Fragebogen 5a).....	56
4.1.2.2 Eigene Einstellung der Leuchten (Fragebogen 5b).....	57
4.1.3 Feldversuche (Fragebogen 6).....	58
4.1.4 Zusammenfassung der Ergebnisse zum Beleuchtungsniveau .....	62
4.2 Größe der beleuchteten Fläche.....	63
4.2.1 Laboruntersuchung .....	63
4.2.1.1 Nutzung der Arbeitsfläche während der Arbeit am Schreibtisch und Erfahrungen mit Einzelplatzleuchten (Fragebogen 1) .....	63
4.2.1.2 Gewünschte Größe der beleuchteten Fläche (Fragebogen 3) .....	65
4.2.1.3 Mathematischer Leistungstest II.....	65
4.2.1.4 Bewertung der Größe der beleuchteten Fläche (Fragebogen 4).....	66

4.2.1.5 Bewertung des Überganges (Fragebogen 4).....	67
4.2.2 Untersuchung an Versuchsplätzen .....	68
4.2.2.1 Bewertung der Leuchten (Fragebogen 5a) .....	68
4.2.2.2 Eigene Einstellung der Leuchten (Fragebogen 5b) .....	68
4.2.3 Feldversuche (Fragebogen 6).....	69
4.2.4 Zusammenfassung der Ergebnisse zur Größe der beleuchteten Fläche.....	70
4.3 Gleichmäßigkeit innerhalb der Hauptarbeitsfläche.....	71
4.3.1 Laboruntersuchung .....	71
4.3.1.1 Merkbare »Ungleichmäßigkeiten« .....	72
4.3.1.2 Störende »Ungleichmäßigkeit«.....	73
4.3.1.3 Optimale Gleichmäßigkeit .....	76
4.3.2 Untersuchung an Versuchsplätzen .....	76
4.3.2.1 Bewertung der Leuchten (Fragebogen 5a).....	76
4.3.2.2 Eigene Einstellung der Leuchten (Fragebogen 5b) .....	78
4.3.3 Feldversuche (Fragebogen 6).....	78
4.3.4 Zusammenfassung der Ergebnisse zur Gleichmäßigkeit .....	80
5 Zusammenfassung und Vergleich.....	81
5.1 Untersuchungsergebnisse .....	81
5.2 Vergleich der Ergebnisse mit Angaben aus der Literatur.....	85
5.3 Vergleich der Ergebnisse mit Angaben aus der DIN 5035 .....	86
5.4 Offene Probleme.....	86
6.1 Laborversuche.....	97
6.1.2 Fragebogen 2.....	98
6.1.3 Fragebogen 3.....	100
6.1.4 Fragebogen 4.....	102
6.1.5 Wunscheinstellung der Einzelplatzbeleuchtungsstärke .....	104
6.1.6 Konzentrations-Verlaufs-Test.....	104

6.1.7 Mathematischer Leistungstest I.....	105
6.1.8 Mathematischer Leistungstest II.....	105
6.2 Untersuchung an Versuchsplätzen.....	106
6.2.1 Fragebogen 2.....	106
6.2.2 Fragebogen 5a.....	106
6.2.3 Fragebogen 5b.....	110
6.3 Feldversuche - Fragebogen 6.....	112



# Verwendete Abkürzungen

AF	Arbeitsfläche
EPL	Einzelplatzleuchte
$E_{Allg}$	Allgemeinbeleuchtungsstärke
$E_{Allg\ m}$	mittlere Allgemeinbeleuchtungsstärke
$E_{Allg\ max}$	maximale Allgemeinbeleuchtungsstärke
$E_{Allg\ min}$	minimale Allgemeinbeleuchtungsstärke
$E_{Epl}$	Einzelplatzbeleuchtungsstärke
$E_{Epl\ m}$	mittlere Einzelplatzbeleuchtungsstärke
$E_{Epl\ max}$	maximale Einzelplatzbeleuchtungsstärke
$E_{Epl\ min}$	minimale Einzelplatzbeleuchtungsstärke
$E_{Ges} = E_{Allg} + E_{Epl}$	Gesamtbeleuchtungsstärke
$E_{Ges\ m}$	mittlere Gesamtbeleuchtungsstärke
$E_h$	horizontale Beleuchtungsstärke
$E_v$	vertikale Beleuchtungsstärke
$E_z$	zylindrische Beleuchtungsstärke
FB	Fragebogen
$g_1 = E_{min} / E_m$	Gleichmäßigkeit der Beleuchtungsstärke
$g_2 = E_{min} / E_{max}$	Gleichmäßigkeit der Beleuchtungsstärke
$g_2 = L_{min} / L_{max}$	Gleichmäßigkeit der Leuchtdichte
$L_{max}$	maximale Leuchtdichte
$L_{min}$	minimale Leuchtdichte
$L_U$	Umfeldleuchtdichte
$\bar{x}$	Mittelwert
r	Korrelationskoeffizient
s	Standardabweichung
v	Variabilitätskoeffizient

$$V = E_{\text{Allg}} : E_{\text{Epl}}$$

Beleuchtungsstärkeverhältnis

$\Omega$

Raumwinkel

$\eta_{\text{B HA}}$

Beleuchtungswirkungsgrad der Einzelplatzleuchte

→

siehe

# Erläuterung verwendeter Begriffe und Bezeichnungen

<b>2K-Beleuchtung</b>	→ Kombinierte Beleuchtung
<b>Allgemeinbeleuchtung</b>	Beleuchtung eines Raumes, die nicht arbeitsplatzbezogen ist. Im allgemeinen wird diese Beleuchtungsart mit Leuchten realisiert, die gleichmäßig an der Decke verteilt sind.
<b>Allgemeinbeleuchtungsstärke</b> ( $E_{\text{Allg}}$ )	Beleuchtungsstärke (minimale, maximale, mittlere), die nur durch die → Allgemeinbeleuchtung hervorgerufen wird.
<b>Arbeitsfläche</b>	Nach [DIN 4543/1]: »Arbeitsfläche ist die erforderliche Fläche der Platten von z. B. Arbeitstischen und Tischkombinationen, gegebenenfalls mit beigegebenen Bürocontainern in Tischhöhe erweitert.«
<b>Arbeitsplatzleuchte</b>	→ Einzelplatzleuchte
<b>Beleuchtungsstärkeverhältnis</b> ( $V = E_{\text{Allg}} : E_{\text{Epl}}$ )	Verhältnis zwischen → Allgemeinbeleuchtungsstärke und → Einzelplatzbeleuchtungsstärke. Das Verhältnis kann als solches (z. B. 1 : 3) oder als Zahlenwert (z. B. 0,3) angegeben sein.
<b>Einzelplatzbeleuchtung</b>	Beleuchtung eines Arbeitsplatzes mit einer Einzelplatzleuchte. Wenn die Einzelplatzbeleuchtung gemeinsam mit einer → Allgemeinbeleuchtung betrieben wird, nennt man das System → Kombinierte Beleuchtung oder auch 2K-Beleuchtung.
<b>Einzelplatzbeleuchtungsstärke</b> ( $E_{\text{Epl}}$ )	Beleuchtungsstärke (minimale, maximale, mittlere), die nur durch die → Einzelplatzbeleuchtung hervorgerufen wird.

<b>Einzelplatzleuchte</b>	Leuchte, die einem bestimmten Arbeitsplatz zugeordnet ist und im allgemeinen nur diesen beleuchtet. Der Nutzer des Arbeitsplatzes kann individuelle Einstellungen an dieser Leuchte nach seinen Wünschen vornehmen. Einzelplatzleuchten können Tischleuchten, Stehleuchten, Maschinenleuchten oder sonstige dem Arbeitsplatz zugeordnete Sonderleuchten sein.
<b>Gesamtbeleuchtungsstärke</b> ( $E_{\text{Ges}} = E_{\text{Allg}} + E_{\text{Epl}}$ )	Beleuchtungsstärke (minimale, maximale, mittlere), die durch die → Einzelplatzbeleuchtung und die → Allgemeinbeleuchtung gemeinsam hervorgerufen wird.
<b>Gleichmäßigkeit</b> ( $g_1 = E_{\text{min}} / E_{\text{m}} = L_{\text{min}} / L_{\text{m}}$ , $g_2 = E_{\text{min}} / E_{\text{max}} = L_{\text{min}} / L_{\text{max}}$ )	Verhältnis zwischen minimaler und mittlerer Beleuchtungsstärke (Leuchtdichte) ( $g_1$ ) bzw. zwischen minimaler und maximaler Beleuchtungsstärke (Leuchtdichte) ( $g_2$ ).
<b>Größe der beleuchteten Fläche</b>	Größe der Fläche, die durch die → Einzelplatzleuchte beleuchtet wird.
<b>Hauptarbeitsfläche</b>	Fläche auf dem Schreibtisch, innerhalb der die hauptsächlichen Tätigkeiten verrichtet werden.
<b>Kombinierte Beleuchtung</b> (= 2K-Beleuchtung)	Beleuchtungssystem, das aus einer Kombination aus einer → Allgemeinbeleuchtung und einer weiteren Komponente besteht. (→ Einzelplatzbeleuchtung, → Mehrkomponentenbeleuchtung)
<b>Mehrkomponentenbeleuchtung</b>	Beleuchtungssystem, das aus zwei oder mehr Beleuchtungskomponenten besteht (Spezialfall: → Kombinierte Beleuchtung)
<b>Nebearbeitsfläche</b>	Fläche, die an die → Hauptarbeitsfläche grenzt und alle anderen Flächen des Schreibtisches einschließt.
<b>Stehleuchte</b>	→ Einzelplatzleuchte
<b>Tischleuchte</b>	→ Einzelplatzleuchte

# I Themenstellung und Einordnung dieser Arbeit

Bis vor einiger Zeit wurde für die Beleuchtung von Arbeitsplätzen die Allgemeinbeleuchtung empfohlen und auch zum größten Teil angewendet. Dabei wird der gesamte Raum durch an der Decke angebrachte Leuchten gleichmäßig ausgeleuchtet. Die bislang übliche Bewertung der Güte von Beleuchtungsanlagen (Beleuchtungsniveau, Gleichmäßigkeit, Blendungsfreiheit, Körperwiedergabe u. a.) war ausschließlich auf die Allgemeinbeleuchtung zugeschnitten.

Wenn die Anordnung der Arbeitsplätze im Raum bekannt ist, kann die arbeitsplatzorientierte Allgemeinbeleuchtung zur Anwendung kommen. Die Leuchten sind dann an der Decke den Arbeitsplätzen entsprechend positioniert.

Seit einiger Zeit ist zu beobachten, daß bei der Beleuchtung von Büroarbeitsplätzen nicht nur das System der Allgemeinbeleuchtung angewendet wird. Immer öfter verwenden Lichtplaner und Architekten sogenannte Mehrkomponentensysteme. Es handelt es sich dabei um Systeme, die aus einer Allgemeinbeleuchtung und einer oder mehreren weiteren Beleuchtungskomponenten bestehen. Tabelle 1 gibt dazu eine Übersicht.

Die Akzeptanz von Mehrkomponentensystemen ist sehr hoch. Planer und Nutzer wählen sie vor allem wegen ihren individuellen Möglichkeiten. Die Vielseitigkeit der Beleuchtung, die sich mit diesem System realisieren läßt, bringt natürlich auch Probleme mit sich. Es ist schwierig, allgemeingültige Regeln aufzustellen. Für die Beleuchtung mit Einzelplatzleuchten gibt es seit 1994 die DIN 5035, Teil 8 (»Beleuchtung mit künstlichem Licht, Einzelplatzbeleuchtung.«) **[DIN 5035/8]**. Darin sind die Gütemerkmale der Einzelplatzbeleuchtung im Zusammenwirken mit einer Allgemeinbeleuchtung für Büroarbeitsplätze festgelegt. Der zur Zeit vorliegende EU-Normentwurf zur angewandten Lichttechnik **[NE96]** enthält eine Unterteilung der Nutzebene in Arbeitsbereich und Umgebungsbereich. Für die Bereiche werden die Gütemerkmale gesondert festgelegt. So wird z. B. für den Umgebungsbereich eine um eine Stufe niedrigere Beleuchtungsstärke gefordert als für den Arbeitsbereich. Es bietet sich also geradezu an, den Arbeitsbereich mit einer Einzelplatzleuchte zusätzlich zur Allgemeinbeleuchtung zu beleuchten. Für die Beleuchtung des Umgebungsbereiches kann die Allgemeinbeleuchtung dann entsprechend geringer dimensioniert werden.

System	1. Komponente	2. Komponente	3. und weitere Komponenten	Anwendungsbeispiel	
Allgemeinbeleuchtung	Allgemeinbeleuchtung gleichmäßig an der Decke verteilt	—	—	Arbeitsräume mit örtlich variablen Arbeitsplätzen	
Arbeitsplatzorientierte Allgemeinbeleuchtung	den Arbeitsplätzen zugeordnete Allgemeinbeleuchtung	—	—	Arbeitsräume mit ortsfesten Arbeitsplätzen	
Mehrkomponentenbeleuchtung					
	Sonderfall: Kombinierte Beleuchtung (auch 2K-Beleuchtung genannt)	Allgemeinbeleuchtung	Einzelplatzleuchte oder Stehleuchte oder Maschinenleuchte	—	Büroarbeitsplatz, Maschinenbeleuchtung
		Allgemeinbeleuchtung	Einzelplatzleuchte oder Stehleuchte o. a.	z. B. Wandleuchte	repräsentative Büro- und Beratungsräume

Tabelle 1: Überblick über Beleuchtungssysteme

In einem Zeitraum von zwei Jahren wurden an der TU Ilmenau ein Forschungsprojekt [Gall96a] durchgeführt, in dem versucht wurde, alle wichtigen Gütemerkmale der Einzelplatzbeleuchtung für Büroarbeitsplätze grundlegend experimentell zu untersuchen. Das Ziel war es, die notwendigen Bedingungen für eine gute Sehleistung und einen hohen Sehkomfort bei Anwendung einer Einzelplatzleuchte zu finden. Die Untersuchung beschränkte sich auf Büroarbeitsplätze ohne Bildschirm. Untersucht wurde das Kombinierte System, das aus Allgemeinbeleuchtung und Einzelplatzleuchte besteht. Die bearbeiteten Themenkomplexe sind in Tabelle 2 dargestellt.

Trotz Einschränkung der Untersuchung auf Tischleuchten (Stehleuchten wurden nicht untersucht) und Ausklammerung von Bildschirmarbeitsplätzen war es nicht möglich, alle Gütemerkmale vollständig und systematisch abzuarbeiten. Das Thema muß in weiteren, vertiefenden Untersuchungen fortgeführt werden.

<b>Grundsatzuntersuchungen im Labor</b>	<b>Untersuchung an Versuchsarbeitsplätzen</b>	<b>Feldversuche</b>
Untersuchung von Güte-merkmalen im Labor unter definierten Bedingungen	Untersuchung von 9 typischen Vertretern von Einzelplatzleuchten unter praxisüblichen Bedingungen im Laborraum zur Schaffung einer Bewertungsgrundlage zur Charakterisierung der Leuchten	Befragungen und Messungen an realen Büroarbeitsplätzen zur Überprüfung der Laboruntersuchungen
40 Versuchspersonen	40 Versuchspersonen	100 Arbeitsplätze

**untersuchte Güteermkmale**

- Nennbeleuchtungsstärke
- minimal zulässige Größe der Hauptarbeitsflächen
- zulässige »Ungleichmäßigkeiten« innerhalb der Hauptarbeitsflächen
- Relationen zwischen der Einzelplatz- und Allgemeinbeleuchtung
- förderliches Leuchtdichteverhältnis von Haupt- und Nebenarbeitsfläche

**weitere untersuchte Güteermkmale, die nicht Inhalt dieser Arbeit sind:**

- Blendwirkung bei Einzelplatzbeleuchtung
- Wirkung unterschiedlicher Lichtfarben
- Lichtrichtung und Körperwiedergabe

*Tabelle 2: Übersicht über die Themenkomplexe*

In der vorliegende Arbeit wurden aus dem Gesamtkomplex der untersuchten Güteermkmale der Kombinierten Beleuchtung einige wichtige ausgewählt und vertiefend ausgewertet. Dazu werden zunächst vorhandene Normen und vorliegende Literatur zur Kombinierten Beleuchtung dargestellt. Anschließend erfolgt die Vorstellung des durchgeführten Versuches, die Herangehensweise an die statistische Auswertung und die Ergebnisse zu den Güteermkmalen Nennbeleuchtungsstärke, notwendige Größe der beleuchteten Fläche und Gleichmäßigkeit innerhalb dieser Fläche. Am Ende des jeweiligen Abschnittes sind die Untersuchungsergebnisse zusammengefaßt und tabellarisch dargestellt. Das ermöglicht einen schnellen Überblick. In Kapitel 5 erfolgt eine Zusammenfassung der Teilergebnisse und ein Vergleich mit Angaben aus der Literatur und aus der Normung. Im Anhang sind die verwendeten Fragebögen und die jeweiligen Versuchsbedingungen enthalten.





## 2 Vorhandene Untersuchungsergebnisse und Normen zur Einzelplatzbeleuchtung und Kombinierten Beleuchtung

Die Planung des hier beschriebenen Versuches stützte sich vor allem auf bereits vorhandene, zum größten Teil jedoch theoretische Überlegungen verschiedener Autoren.

Die Ursprünge der Lichttechnik sind in der Einzelplatzbeleuchtung zu finden. Fackel und Kerze konnten nur kleine Bereiche beleuchten. Erst die elektrische Beleuchtung machte den Übergang zur Allgemeinbeleuchtung möglich.

In der lichttechnischen Literatur vergangener Jahrzehnte finden sich umfangreiche Abhandlungen über Einzelplatzleuchten. In einem 1938 herausgegebenem »Handbuch der Lichttechnik« beschreibt Laue verschiedene Bauformen von Einzelplatzleuchten [Sewig38]. Diese lichttechnisch sehr gut durchdachten Leuchten ermöglichten schon damals gute Lichtverhältnisse bei geringem Energieverbrauch. Wittig stellt an selber Stelle Regeln für die Verwendung von Einzelplatzleuchten auf. Er fordert eine Allgemeinbeleuchtung zur Aufhellung des Raumes und Verhinderung zu großer Leuchtdichteunterschiede. Die Einzelplatzbeleuchtung ermöglicht eine Änderung der Raummöblierung bei gleichzeitiger Erhaltung der lichttechnischen Güteermkmale.

In [Weigel52] und [Köhler52] wird eine Bevorzugung der Allgemeinbeleuchtung gegenüber der Einzelplatzbeleuchtung empfohlen. Diese Überlegung stützt sich auf eine Untersuchung von Schumacher, die besagt, daß eine hohe Kontrastempfindlichkeit nur dann erreicht wird, wenn das Umfeld die gleiche Leuchtdichte wie das Beobachtungsfeld hat [Schumacher40]. Über die Größe des Umfeldes wird in beiden Arbeiten leider nichts ausgesagt.

Hartmann beschreibt eine Studie, die ebenfalls den Einfluß der Umfeldleuchtdichte auf die Detailwahrnehmung untersucht [Hartmann66]. Die Ergebnisse zeigen, daß es für jede Sehobjektgröße und für jeden Kontrast eine optimale Umfeldgröße und -leuchtdichte gibt. Die Detailwahrnehmung verbessert sich, wenn die Leuchtdichte zum Rand des Gesichtsfeldes hin abfällt, da sich auf diese Weise das Streulicht im Auge verringert. Diese Überlegungen führen zu einer Befürwortung der Einzelplatzbeleuchtung.

In der Beleuchtungsnorm der DDR war seit 1981 die Kombinierte Beleuchtung ab einer Nennbeleuchtungsstärke von 400 lx vorgesehen [TGL81]. Es existierte eine sehr umfangreiche

Projektierungshilfe, in der alle Gütemerkmale der Einzelplatzbeleuchtung festgeschrieben waren [VEM81]. In diese Projektierungshilfe flossen vor allem theoretische Überlegungen von Gall ein, die im folgenden kurz vorgestellt werden sollen ([Gall83a], [Gall83b] und [Gall84]).

In [Gall83a] wird die Kombinierte Beleuchtung definiert und klar von der Allgemeinbeleuchtung und der arbeitsplatzorientierten Allgemeinbeleuchtung abgegrenzt: »Unter Kombiniertes Beleuchtung soll ein Beleuchtungssystem verstanden werden, das stark arbeitsplatzbezogen ausgerichtet ist und die erforderlichen Beleuchtungsstärken auf der Arbeitsfläche sowie einen erforderlichen Allgemeinbeleuchtungsanteil garantiert. Dabei soll dieses System gegenüber der Allgemeinbeleuchtung oder der arbeitsplatzorientierten Allgemeinbeleuchtung nach Möglichkeit energetische Vorteile aufweisen.« Betrachtungen zum Verhältnis Allgemeinbeleuchtung zu Einzelplatzbeleuchtung erfolgen in Form einer Zusammenstellung verschiedener Literaturstellen zu diesem Thema.

Weiterhin wird in [Gall83a] ein Beleuchtungswirkungsgrad definiert: »Man kann die Effektivität der Einzelplatzleuchte durch den Lichtstromanteil charakterisieren, der von dem Lampenlichtstrom auf die zu betrachtende Fläche trifft. Dieses Verhältnis soll, ..., als Beleuchtungswirkungsgrad bezeichnet werden, wobei bei der Kombinierten Beleuchtung der Lichtstromanteil interessiert, der auf die Hauptarbeitsfläche trifft.

$$\eta_{B,HA} = \frac{\Phi_{e,HA}}{\Phi_{e,La}}$$

$\eta_{B,HA}$  Beleuchtungswirkungsgrad der Hauptarbeitsfläche,

$\Phi_{e,HA}$  Lichtstrom, der von der Einzelplatzleuchte auf die Hauptarbeitsfläche trifft,

$\Phi_{e,La}$  Lampenlichtstrom der in der Einzelplatzleuchte verwendeten Lampe.

... Als Mindestgröße für den Beleuchtungswirkungsgrad der Hauptarbeitsfläche wird ... folgende Forderung erhoben:  $\eta_{B,HA} \geq 0,06$ « [Gall83a].

In [Gall83b] sind Betrachtungen zur notwendigen Größe der beleuchteten Flächen enthalten. Das perimetrische Gesichtsfeld des Menschen ist bekannt. Daraus läßt sich die notwendige Gesichtsfeldgröße jedoch nicht direkt ableiten, weil das perimetrische Gesichtsfeld den gesamten Bereich kennzeichnet, in dem Lichtreize wahrgenommen werden. In die Betrachtungen müssen physio-psychologische Grundfunktionen mit einbezogen werden, da die Sehschärfe und die Kontrastempfindlichkeit von der Netzhautstelle abhängen. Daraus legt der Autor das sogenannte Auffälligkeitsgebiet fest und bezieht sich dabei auf [Kalff52]. Als Umfeldgröße werden  $20^\circ$  als sinnvoll angegeben. Außerhalb dieses Winkels sinken die Sehschärfe auf 10 % und das Kontrastempfinden auf 15 % ab [Kalff52]. Folglich sollte die Hauptarbeitsfläche diesem Winkel ent-

sprechend angepaßt werden. Für die Nebenarbeitsfläche wird ein Winkel von 45° angegeben. Das Leuchtdichteverhältnis zwischen Haupt- und Nebenarbeitsfläche sollte 3...5 : 1 betragen.

Aus dem angegebenen Schwinkel, der die Hauptarbeitsfläche einschließen sollte, und üblichen ergonomischen Größen (Augenhöhe über Tisch 38 bis 48 cm [Lange78], Sehentfernung für Büroarbeiten 35 bis 80 cm [Baer89]) läßt sich die notwendige Größe der Hauptarbeitsfläche ermitteln. In [Baer89] ist das ausführlich dargestellt. Aus den oben genannten Rahmenbedingungen ergibt sich eine etwa kreisförmige Fläche von ca. 60 cm Durchmesser.

In [Gall84] werden Möglichkeiten der Ermittlung lichttechnischer Parameter von Einzelplatzleuchten vorgestellt. Zur Leuchtendokumentation eignen sich Isolux- und Isocandela-Diagramme. [Feix86] stellt eine Untersuchung zur Lichtfarbe bei der Kombinierten Beleuchtung vor. Dabei wird festgestellt, daß in Bereichen, in denen keine hohe Farbwiedergebe notwendig ist, die Wahl der Lichtfarben am Arbeitsplatz ebenfalls unbedeutend ist.

Alle bisher aufgeführten Überlegungen flossen in die Projektierungsvorschrift [VEM81] ein. Diese enthält neben den in Tabelle 3 zusammengestellten Güteigenschaften auch Hinweise zur Festlegung von Haupt- und Nebenarbeitsflächen aus den geometrischen Gegebenheiten, zum Aufstellort der Leuchte unter Beachtung von Schattigkeit, Körperwiedergabe und Reflexblendung sowie zu Wartungs- und Projektierungsbeleuchtungsstärken. Der Anteil von Allgemeinbeleuchtung und Einzelplatzbeleuchtung bei vorgegebener Nennbeleuchtungsstärke ist tabellarisch gegeben (Tabelle 4).

---

Größe der Hauptarbeitsfläche	20° Gesichtsfeld (entspricht etwa ø 60 cm)
Größe der Nebenarbeitsfläche	45° Gesichtsfeld
Gleichmäßigkeit der Einzelplatzbeleuchtung	$E_{\min}/E_{\text{mittel}} \geq 0,5$
Beleuchtungsstärkeverhältnis	$1 < E_{\text{HA}}/E_{\text{NA}} < 5$ (entspricht $E_{\text{Ges}}/E_{\text{Allg}}$ )
Gleichmäßigkeit der Allgemeinbeleuchtung	für $E_{\text{Allg}} \geq 250 \text{ lx}$ : $E_{\min}/E_{\text{mittel}} \geq 0,5$ für $E_{\text{Allg}} < 250 \text{ lx}$ : $E_{\min}/E_{\text{mittel}} > 0,33$
Blendung	Blendschutzwinkel 20° Leuchtdichtebegrenzung im oberen Halbraum: 300 $\text{cm}^2/\text{m}^2$

---

Tabelle 3: In der Projektierungsvorschrift [VEM81] geforderte Güteigenschaften

$E_{n, KB}$	Allgemeinbeleuchtungsanteil			Hauptarbeitsfläche Einzelplatzbeleuchtungsanteil			Nebenarbeitsfläche			
	$E_A$	$E'_A$	$E''_A$	$E_{eH}$	$E'_{eH}$	$E''_{eH}$	$E_{eN}$ Min	Max	$E'_{eN}$ Min	Max
3000	0,125 $E_n$	0,13 $E_n$	0,08 $E_n$	0,9 $E_n$	1,13 $E_n$	0,72 $E_n$	0,18 ...	0,9 $E_n$	0,23 ...	1,13 $E_n$
2000	300	375	240	1700	2125	1360	340 ...	1700	425 ...	2125
1400	300	375	240	1100	1375	880	220 ...	1100	275 ...	1375
1000	200	250	160	800	1000	800	160 ...	800	200 ...	1000
750	140	175	112	610	763	610	122 ...	610	153 ...	763
600	140	175	112	460	575	368	92 ...	460	115 ...	575
400	140	175	112	260	325	208	52 ...	260	65 ...	325
250	140	175	112	110	138	88	22 ...	110	28 ...	138
190	140	175	112	50	63	40	10 ...	50	13 ...	63

Tabelle 4: Beleuchtungsstärken für die Kombinierte Beleuchtung aus [VEM81]

- $E_{n, KB}$  ... Nennbeleuchtungsstärke,
- $E_A$  ... Allgemeinbeleuchtungsstärkeanteil,
- $E_{eH}$  ... Beleuchtungsstärke der EPL auf der Hauptarbeitsfläche,
- $E_{eN}$  ... Beleuchtungsstärke der EPL auf der Nebenarbeitsfläche,
- $E^3$  ... Projektierungswert
- $E''$  ... Wartungswert

Auch in der Bundesrepublik Deutschland wurde die Einzelplatzbeleuchtung nie ganz aus den Augen verloren. Hentschel und Pusch [Hentschel78] betrachten Reflexe und Kontrastwiedergabe für verschiedene Leuchtensysteme (Deckenleuchte, Arbeitsplatzleuchte, 2K-Beleuchtung). Die Einzelplatzleuchte ist unabhängig von der Leuchtenanordnung an der Decke und erfüllt damit für flexible Möblierung alle gestellten Anforderungen sehr gut. Das Licht kann optimal von der Seite auf die Arbeitsfläche gelangen. Es sind hohe Beleuchtungsstärken realisierbar. Die Kombination mit einer Allgemeinbeleuchtung ist notwendig, um eine visuelle Kommunikation und ausgewogene Leuchtdichteverhältnisse zu gewährleisten. Vorteile dieses Systems sind gute Sehbedingungen und Energieeinsparung. Folgende Beleuchtungsstärkewerte werden als ideal angegeben. Maigatter empfiehlt ebenfalls 60 % Allgemeinbeleuchtung und 40 % Einzelplatzbeleuchtung (Tabelle 5) [Maigatter79].

---

Allgemeinbeleuchtungsstärke	$E_{Allg} = 0,6 E_{Ges}$
Einzelplatzbeleuchtungsstärke	$E_{Epl} = 0,4 E_{Ges}$

---

Tabelle 5: Ideale Beleuchtungsstärken nach [Hentschel78] und [Maigatter79]

Kalthoff und Klein [**Kalthoff78**] beschäftigten sich ebenfalls mit der Zwei-Komponentenbeleuchtung. Eine reine Einzelplatzbeleuchtung ist danach nicht zu empfehlen, da die Sicherheit der Nutzer nicht gegeben ist. Zudem entsteht ein »Höhleeffekt«. Die unterschiedlichen Adaptationsniveaus können Probleme bereiten.

Für Fischer [**Fischer80**] war vor allem der Wunsch nach Energieeinsparung ein Grund, über die Einzelplatzbeleuchtung nachzudenken. Der Autor beschäftigt sich mit der Frage nach dem Anteil der Allgemeinbeleuchtung. Dazu fanden Untersuchungen in einem Versuchsraum und einem Großraumbüro statt. Bei einer Gesamtbeleuchtungsstärke von 1000 lx wurde das Verhältnis zwischen Allgemeinbeleuchtung und Einzelplatzbeleuchtung variiert. Als Ergebnis steht die Feststellung, daß eine reine Allgemeinbeleuchtung am besten akzeptiert wird und eine Einzelplatzbeleuchtung nicht sinnvoll erscheint.

Leebek und Ellens beschreiben die Untersuchung von 30 Tischleuchten [**Leebek83**]. Messungen an diesen erbrachten sehr große Ungleichmäßigkeiten der Beleuchtungsstärke. Deshalb wird stets eine Kombination mit einer Allgemeinbeleuchtung empfohlen. Zur Bewertung der Einzelplatzleuchte schlagen die Autoren eine Leuchtenwirkungsgrad LE (Local Efficiency) vor:

$$LE = \frac{E_{\min} \cdot A}{\Phi} \cdot 100\%$$

$E_{\min}$  ... minimale Beleuchtungsstärke auf der Arbeitsfläche

$A$  ... Arbeitsfläche

$\Phi$  ... Lichtstrom der Lampe

Dieser Wirkungsgrad ist dem aus [**Gall83a**] sehr ähnlich. Der Unterschied besteht darin, daß hier die minimale Beleuchtungsstärke auf der Arbeitsfläche verwendet wird. Dadurch wird es möglich, die Gleichmäßigkeit auf der Arbeitsfläche mit zu bewerten.

Herbst beschreibt eine Untersuchung [**Herbst85**], in der die Akzeptanz verschiedener Beleuchtungssysteme am Bildschirmarbeitsplatz analysiert wurde. Als Beleuchtungssystem kamen zwei direktstrahlende Deckenleuchten (tief-breit-strahlend, stark tiefstrahlend) und individuell schaltbare indirektstrahlende Stehleuchten zum Einsatz. Zusätzlich zu den Stehleuchten war eine Orientierungsbeleuchtung vorhanden. Dieses indirekte System wurde von den Nutzern eindeutig bevorzugt. Als wichtige Gütekriterien wurden dabei Blendschutz, Schutz vor Glanz und Spiegelungen sowie eine angenehme Lichtfarbe ermittelt.

Richter [**Richter86**] regt ein Umdenken in der Bürobeleuchtung an. Eine Humanisierung und Individualisierung scheint notwendig, da gleichmäßig helle Großraumbüros schlecht akzeptiert werden. Eine ständige Zunahme von Bildschirmen an den Arbeitsplätzen sowie ge-

mischte Schaufgaben regen außerdem dazu an, über neue Lösungen nachzudenken. Richter empfiehlt eine Unterteilung in »Raumzonen ohne Arbeitsplätze« und »Arbeitszonen«. In den Arbeitszonen befinden sich Arbeitsflächen. Für die einzelnen Zonen und Flächen werden differenzierte Gütemerkmale vorgeschlagen (Tabelle 6).

Raumzone ohne Arbeitsflächen (würde bei der Kombinierten Beleuchtung durch die Allgemeinbeleuchtung beleuchtet)	auf Wänden $E_{V_m} > 0,33 E_{n_{AF}}$ $L_{Wände} : L_{AF} = 1 : 5$ $E_z : E_n = 0,56$ $g_l = 0,80$
Arbeitszone (entspricht bei der Kombinierten Beleuchtung der Nebenarbeitsfläche)	$E_n = 400 \text{ lx} - 500 \text{ lx}$ $E_{min} : E_m = 1 : 1,5$ $E_z : E_n = 0,4$ Blendungsbegrenzung
Arbeitsfläche (entspricht bei der Kombinierten Beleuchtung der Hauptarbeitsfläche)	$E_n > 500 \text{ lx}$ $E_{min} : E_m > 1 : 1,5$ $L_m = 140 \text{ cd/m}^2$ horizontal auf $r = 0,8$ $CRF_m = 0,93$ $CRF_{min} = 0,85$

Tabelle 6: Vorgeschlagene Gütemerkmale für die Beleuchtung einzelner Raumzonen [Richter86]

In [Schmidt-Clausen89] wird eine Untersuchung zur »Beleuchtung eines Arbeitsplatzes mit erhöhten Anforderungen im Bereich der Elektronik und Feinmechanik« vorgestellt. Es wird festgestellt, daß wesentlich höhere Beleuchtungsstärken nötig sind als in der DIN gefordert werden [DIN5035/2]. Da die Lichtrichtung und das Verhältnis von zylindrischer zu horizontaler Beleuchtungsstärke wichtige Kriterien sind, wurden diese für verschiedene Tätigkeitsgruppen ermittelt. Realisierbar sind diese Forderungen am besten mit einer zusätzlichen Einzelplatzbeleuchtung. Geforderte Nennbeleuchtungsstärken und Lichtrichtungen sind in Tabelle 7 angegeben.

In einer umfangreichen Studie [Çakir94] wurde der »Stand der Beleuchtungstechnik in deutschen Büros« ermittelt. Es zeigte sich, daß 19 % der Arbeitsräume mit einer Kombinierten Beleuchtung und 4 % mit einer Einzelplatzbeleuchtung ausgestattet sind. Es ist eine hohe Akzeptanz dieser Systeme erkennbar. In Vergleich zur Allgemeinbeleuchtung wird die Kombinierte Beleuchtung besser bewertet. Weitere Ergebnisse finden sich in [Çakir97].

Tätigkeitsgruppe	nur diffuse Beleuchtung		gerichtete und diffuse Beleuchtung		Lichteinfallswinkel bei zusätzlicher gerichteter Bel.	
	$E_h$ in lx	$E_z/E_h$	$E_h$ in lx	$E_z/E_h$	vertikale Kompon. $\beta$ in °	horizontale Kompon. $\varepsilon$ in °
<i>zahntechnisches Laboratorium</i>						
Wachsmodellierung	2900	0,4 - 0,45	3500	0,4 - 0,45	50 - 70	175 - 180
Keramikbearbeitung	3000	0,45 - 0,5	6200	0,3	90	—
Ausarbeitung	3300	0,45	6800	0,3	70	185
<i>Goldschmiedewerkstatt</i>						
einfache Montage	—	—	1700	0,5	65 - 80	ca. 60
feinmech. Bearbeitung	—	—	3100	0,4	65 - 80	ca. 60
Schmelzen von Silber	—	—	2900	0,4	70 - 80	ca. 60
<i>Elektrotechnische Firma</i>						
mechanische Montage	700	0,45	850	0,5	40 - 50	130 - 180
elmech. Montage	900	0,4 - 0,5	1250	0,5 - 0,55	40 - 60	125 - 180
Platinenlöten	900	0,4 - 0,45	1000	0,6 - 0,65	40 - 60	125 - 190
Prüfplatz	1000	0,55	1100	0,55	50 - 60	60 - 65

Tabelle 7: Nennbeleuchtungsstärke und Lichtrichtung nach [Schmidt-Clausen89] für Arbeitsplätze mit erhöhten Anforderungen

In einer Untersuchung der Universität Karlsruhe [Bodmann95] wurden 8 Beleuchtungssysteme in ihren Güteigenschaften untersucht. Darunter befanden sich auch zwei kombinierte Systeme (direkte und indirekte Allgemeinbeleuchtung jeweils in Verbindung mit einer Einzelplatzleuchte). Der Anteil der Allgemeinbeleuchtung betrug dabei 38 % bzw. 48 %. Es wurde insgesamt eine hohe Nutzerakzeptanz festgestellt. Kombinierte Systeme können bei beliebig angeordneten Arbeitsplätzen eine gute Beleuchtungsqualität ermöglichen, vorausgesetzt, die Einzelplatzleuchten haben eine geeignete Lichtverteilung und Abschirmung. Es sollten Empfehlungen zur Ausrichtung flexibler Einzelplatzleuchten angegeben werden.

In DIN 5035, Teil 1 [DIN5035/1] wird angegeben, daß für besondere Sehaufgaben eine Einzelplatzbeleuchtung in Verbindung mit einer Allgemeinbeleuchtung zur Anwendung kommen kann. Mit Teil 8 [DIN5035/8] dieser Norm existiert seit einiger Zeit eine Vorschrift, in der die Güteigenschaften der Einzelplatzbeleuchtung festgelegt sind. Sie gilt für Büroräume und büroähnliche Räume. Die festgelegten Güteigenschaften werden in Tabelle 8 zusammengefaßt.

Hauptarbeitsfläche	Definiert als der Teil der Arbeitsfläche, auf dem sich die Sehtätigkeit vorwiegend vollzieht. Es können mehrere Hauptarbeitsflächen pro Arbeitsplatz existieren. Die Fläche sollte mindestens 600 mm × 600 mm betragen.
Allgemeinbeleuchtungsstärke	Muß den Forderungen nach DIN 5035/1 und 2 entsprechen.
Einzelplatzbeleuchtungsstärke	Die maximale zusätzliche Einzelplatzbeleuchtungsstärke wird in Abhängigkeit vom Reflexionsgrad der Arbeitsfläche wie folgt festgelegt: $\begin{array}{ll} \rho < 0,3 & E_{\text{Epl}} = 0,5 \cdot E_{\text{Allg}} \\ 0,3 \leq \rho < 0,4 & E_{\text{Epl}} = 1,0 \cdot E_{\text{Allg}} \\ 0,4 \leq \rho < 0,5 & E_{\text{Epl}} = 1,5 \cdot E_{\text{Allg}} \\ 0,5 \leq \rho & E_{\text{Epl}} = 2,0 \cdot E_{\text{Allg}} \end{array}$
Gleichmäßigkeit	Örtlich 1 : 10 Zeitliche Gleichmäßigkeit muß gewährleistet sein
Blendung	Mittlere Leuchtdichte der unter Blickwinkeln bis zu 30° oberhalb der Horizontalen gesehenen leuchtenden Flächen von Arbeitsplatzleuchten max. 1000 cd/m <sup>2</sup> . (max. 200 cd/m <sup>2</sup> , falls der Abstand zum Auge < 800 mm)
Lichtfarbe	warmweiß oder neutralweiß
Farbwiedergabe	mindestens Stufe 2A

Tabelle 8: Güte Merkmale nach [DIN5035/8]

Der im Rahmen der neuen EU-Normung zur Zeit vorliegende Entwurf zur angewandten Lichttechnik [NE96] enthält eine Unterteilung der Nutzebene in Arbeits- und Umgebungsbereich. Der Arbeitsbereich ist der Bereich, in dem die Sehaufgabe ausgeführt wird. Der Umgebungsbereich schließt unmittelbar daran an. Für die beiden Bereiche werden die Güte Merkmale gesondert festgelegt. Eine Übersicht dazu gibt Tabelle 9. Im Gegensatz zur deutschen Norm sind die in der europäischen Norm angegebenen Beleuchtungsstärken Wertungswerte. Diese Werte dürfen zu keiner Zeit unterschritten werden. In der Planung muß dazu je nach Verschmutzungsgrad ein entsprechender Projektierungsfaktor gewählt werden.

Die Einteilung der Nutzebene in Arbeits- und Umgebungsbereich erweist sich beim Einsatz von Einzelplatzleuchten im System der Kombinierten Beleuchtung als sehr positiv. Die in dieser Arbeit verwendete Unterteilung in Haupt- und Nebenarbeitsfläche ist der Einteilung in [NE96] gleichzusetzen. Dort wird gefordert, die Beleuchtungsstärke des Umgebungsbereiches eine Stufe niedriger als die des Arbeitsbereiches zu wählen. Günstig wäre es deshalb, die Allgemeinbeleuchtung für den Umgebungsbereich zu dimensionieren und den Arbeitsbereich mit einer Einzelplatzleuchte aufzuhellen.



Leuchtdichte	ausgewogene Adaptationsleuchtdichte ist erforderlich Vermeidung von zu hohen Leuchtdichten (Blendung), zu hohen Leuchtdichteunterschieden (ständige Umadaptation) und zu geringen Leuchtdichten und Leuchtdichteunterschieden (Ermüdung, unattraktive Arbeitsumgebung)
Reflexionsgrade	Decke: 0,6 ... 0,9 Wände: 0,3 ... 0,8 Arbeitsfläche: 0,2 ... 0,5
Beleuchtungsstärken im Arbeitsbereich	Für normale Sehbedingungen im Büro: 300 bis 750 lx Bei erhöhten Ansprüchen sollte die Beleuchtungsstärke erhöht werden.
Beleuchtungsstärken im Umgebungsbereich	Jeweils eine Stufe unter der Beleuchtungsstärke des Arbeitsbereiches (wenn Beleuchtungsstärke des Arbeitsbereiches $\leq 200$ lx, dann gleiche Stufe)
Gleichmäßigkeit im Arbeitsbereich (Formel nicht angegeben)	$\geq 0,8$
Gleichmäßigkeit im Umgebungsbereich	$\geq 0,5$

Tabelle 9: Festlegung der Güteermkmale nach [NE96]

Schon seit Jahren gibt es in England vielfältige Untersuchungen zum Thema Einzelplatzbeleuchtung. Nachfolgend werden diese kurz zusammengefaßt und wichtige Ergebnisse dargestellt. Boyce beschreibt eine Untersuchung, deren Ziel die Ermittlung der Akzeptanz der örtlichen Beleuchtung war [Boyce79]. In 1-Personen-Büros kamen 4 Einzelplatzleuchten und 2 Allgemeinbeleuchtungssysteme zum Einsatz. 10 Versuchspersonen schätzten die Beleuchtungsanlagen mit Hilfe von Fragebögen ein, absolvierten Leistungstests und stellten die Tischleuchten nach ihren Wünschen ein. Dabei wurde sowohl die Tageslicht- als auch die Nachtsituation betrachtet. Das so ermittelte beste Leuchtensystem (wichtige Kriterien dabei: Gleichmäßigkeit, Blendfreiheit, Flimmerfreiheit und Flexibilität) wurde an 20 Versuchspersonen durch Leistungstests und einen Fragebogen näher untersucht. Folgende allgemeine Ergebnisse können formuliert werden:

1. Möglichst große gleichmäßig beleuchtete Fläche (1 m<sup>2</sup>), keine hohen Beleuchtungsstärken außerhalb dieser Fläche
2. Flexible Positionierbarkeit zur Anpassung an die Sehaufgabe und zur Verhinderung von Reflexblendung
3. Individuelle Variation der Helligkeit

4. Allgemeinbeleuchtung mindestens 150 lx oder entsprechendes Tageslicht
5. Richtige Auswahl der Lichtquelle (Dimmbarkeit, Gleichmäßigkeit, Flimmern, Effektivität)
6. Leuchtenkopfposition darf keine Blendung bei anderen Personen im Raum verursachen.

Insgesamt hat sich in der Untersuchung kein wesentlicher Nachteil der Einzelplatzbeleuchtung gegenüber der Allgemeinbeleuchtung herausgestellt.

Bean und Hopkins [Bean80] beschreiben eine Versuchsreihe zu folgenden Fragen:

- Wie groß muß die Allgemeinbeleuchtungsstärke mindestens sein?
- Wie groß sollte das Verhältnis zwischen der Beleuchtung der Arbeitsaufgabe und der des Hintergrundes sein?

Dabei wurde in einem Versuchsaufbau die Gesamtbeleuchtungsstärke auf dem Arbeitsplatz auf 200 lx und 400 lx konstant gehalten. Bei Änderung der Allgemeinbeleuchtung wurde die Einzelplatzbeleuchtung jeweils entsprechend angepaßt. Als Ergebnis steht die Feststellung, daß die Allgemeinbeleuchtungsstärke mindestens 200 lx betragen muß. Die höchste Zufriedenheit herrschte bei den Versuchspersonen, wenn Arbeitsaufgabe und Hintergrund die gleiche Beleuchtungsstärke aufwiesen.

Mit verschiedenen Leistungstests und Befragungen untersuchten Slater und Boyce [Slater90] die Wirkung der Beleuchtungsstärkeverteilung auf der Arbeitsfläche. Die durchgeführten Leistungstests brachten keine signifikanten Ergebnisse. Die subjektiven Urteile hängen sehr stark von der jeweiligen Arbeitsaufgabe ab. Wichtig scheint dabei die Größe der Arbeitsaufgabe. Diese kann unter Umständen den gesamten Tisch einnehmen, im allgemeinen reicht jedoch ein Durchmesser von 1m vollkommen aus. Die Ergebnisse sind in Tabelle 10 zusammengefaßt. Zu den gleichen Ergebnissen gelangt Saunders in einer Studie [Saunders69].

---

Gleichmäßigkeit $g_2$ auf der Arbeitsaufgabe (entspricht der Hauptarbeitsfläche)	$g_2 = 0,7$
Gleichmäßigkeit $g_2$ auf dem Tisch (entspricht der Nebenarbeitsfläche)	$g_2 = 0,5$

---

*Tabelle 10: Ergebnisse aus [Slater90]*

Im gleichen Raum wie Slater und Boyce untersuchten Slater, Perry und Carter [Slater93] die Wirkung von Leuchtdichteunterschieden zwischen Arbeitsplätzen. Allgemein wird festgestellt, daß die Gleichmäßigkeit Einfluß auf die Erscheinung eines Raumes hat. Die Ergebnisse zeigen, daß ein Leuchtdichteverhältnis von 0,7 zwischen verschiedenen Arbeitsplätzen allgemein akzeptiert wird (dieser Wert wurde auch schon von Saunders ermittelt [Saunders69]). Unter

bestimmten Bedingungen wird auch ein geringeres Verhältnis akzeptiert. Bei geringen Beleuchtungsstärken (untersucht wurden 350 bis 730 lx) wird eine höhere Gleichmäßigkeit gewünscht. Die Untersuchungen fanden in einem relativ sterilen Labor mit sehr kritischen Beobachtern statt.

Carter und Slater veröffentlichten 1992 eine weitere Untersuchung zu dieser Thematik [Carter92]. Diese beschäftigt sich mit der Akzeptanz von Beleuchtungsunterschieden zwischen der Arbeitsaufgabe und daran angrenzender Gebiete. Hier wird ein Verhältnis von 0,5 als befriedigend angegeben (Tabelle 11).

---

Beleuchtungsstärkeverhältnis zwischen Arbeitsaufgabe und angrenzendem Gebiet	$E_{NA}/E_{HA} = 0,5$
--	-----------------------

---

*Tabelle 11: Ergebnisse aus [Carter92]*

Carter, Slater u. a. untersuchten in einer Studie den Einfluß der Lichtverteilung in einem nicht gleichmäßig beleuchteten Büro [Carter94]. Auch hier wurden Befragungen und Leistungstests durchgeführt, wobei letztere keine signifikanten Ergebnisse erbrachten. Als entscheidend für die positive Bewertung der Helligkeit eines Raumes zeigte sich die Leuchtdichte der Wände, besonders die in Blickrichtung. Eine negative Bewertung der Gleichmäßigkeit ergab sich einerseits bei starken Leuchtdichtekontrasten zwischen Haupt- und Nebenarbeitsflächen innerhalb eines Gesichtsfeldbereiches von 40° und andererseits bei Vorhandensein von dunklen Flächen außerhalb des 40°-Bereiches.



## 3 Beschreibung der durchgeführten Untersuchung

### 3.1 Allgemeines

In einer sehr umfangreichen Versuchsreihe wurden alle Gütemerkmale, die bei einer Kombination von Einzelplatz- und Allgemeinbeleuchtung relevant sind, untersucht. Ziel war es, diejenigen Werte für die einzelnen Gütemerkmale zu ermitteln, bei denen Sehleistung, Arbeitsleistung und Wohlbefinden optimal sind. Die Ermittlung solcher Werte ist nur durch Versuchsreihen mit einer ausreichend großen Zahl von Versuchspersonen möglich. Diese Untersuchungen können sowohl im Labor als auch in Form von Feldversuchen durchgeführt werden. Bei der Festlegung der Versuchsstrategie wurde von der Überlegung ausgegangen, daß jede Variante eine Reihe von Nachteilen mit sich bringt. Aus diesem Grund fanden die Versuchsreihen sowohl im Labor als auch an realen Büroarbeitsplätzen statt.

Der festgelegte Zeitrahmen für die Untersuchungen ließ leider nicht zu, alle möglichen Einflußparameter, die auf die einzelnen Gütemerkmale wirken, zu untersuchen. Bei der Betrachtung der Resultate muß deshalb immer beachtet werden, daß es sich hier um eine Grundsatzuntersuchung handelte, bei der auch Fragen offen geblieben sind. Die Gütekriterien Blendung, Körperwiedergabe und Zwielight konnten nur orientierend untersucht werden. Desweiteren mußte die Untersuchung auf Büroarbeitsplätze ohne Bildschirm reduziert werden.

### 3.2 Versuchsstrategie

Mit Hilfe von Laboruntersuchungen sollten zunächst die Gütemerkmale im einzelnen untersucht werden. Laborversuche haben den Vorteil, daß die meisten Einflußgrößen erfaßbar und vor allem stabil sind. So konnte die Wirkung verschiedener Parameter auf jedes Gütemerkmal ziemlich genau erfaßt werden. Die bei Laboruntersuchungen zwangsläufig vorhandenen Nachteile (z. B. fehlendes Tageslicht, steriler Raumeindruck) wurden dabei in Kauf genommen. Der Gesamtkomplex der Laboruntersuchungen wurde in 8 Teilaufgaben abgearbeitet. Die einzelnen Arbeiten waren so gestaltet, daß eine Gesamtauswertung möglich war. Es wurden bewußt Wie-

derholungen und Überschneidungen von Befragungen und Tests durchgeführt, um einen nachträglichen Zusammenschluß der Teilergebnisse zu gewährleisten.

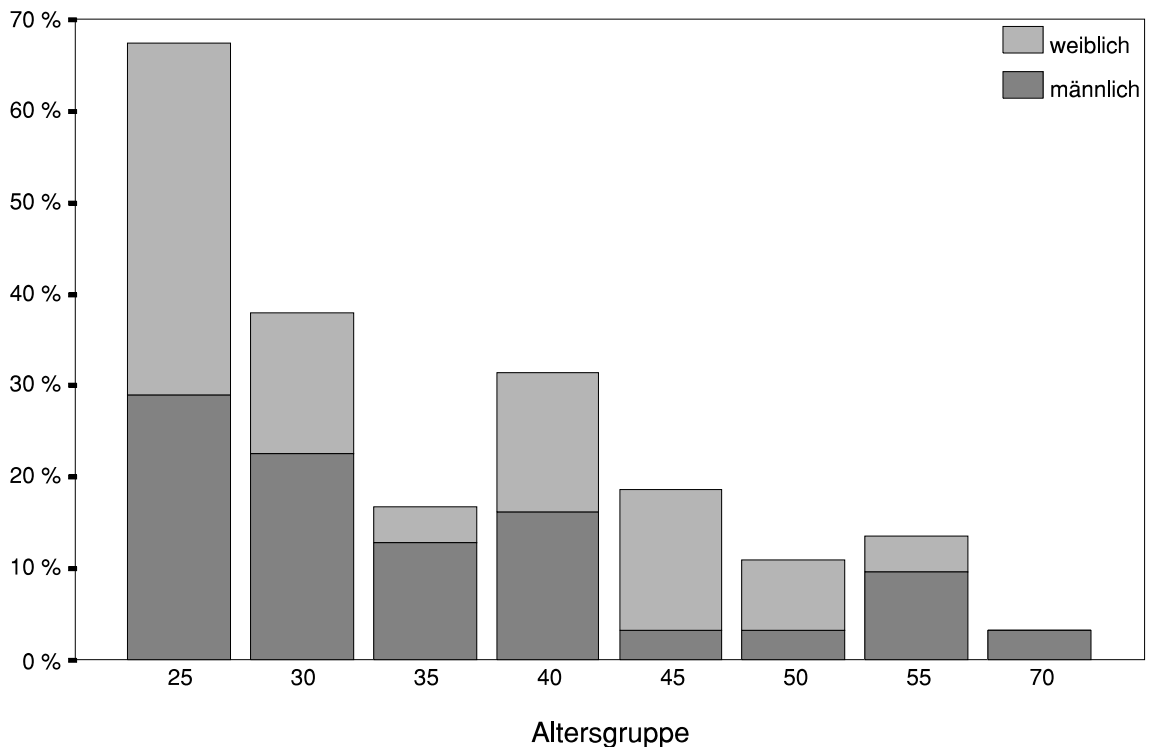


Bild 1: Altersverteilung der Versuchspersonen im Laborversuch und an den Versuchsplätzen (männlich und weiblich je 100 %)

Die Laborversuche erfolgten mit 40 Versuchspersonen, deren Alters-, Geschlechts- und Tätigkeitsverteilung etwa der der Bevölkerung entsprach. Die Altersverteilung ist in Bild 1 dargestellt. Vor Beginn der einzelnen Versuchsreihen wurde eine Voruntersuchung vorgenommen. Dabei wurde jede Versuchsperson mit dem prinzipiellen Ablauf und den Räumlichkeiten des Labors vertraut gemacht. Gleichzeitig wurden wichtige Probandendaten (Alter, Visus, ...) aufgenommen.

Die Untersuchungen im Labor erstreckten sich über einen Zeitraum von maximal 2 Stunden. Die Untersuchungen fanden in einem Raum (5 m × 3,5 m × 3 m) statt, in dem die Parameter Lichtfarbe und Reflexionsgrad der Wände und der Arbeitsfläche variierbar waren (Bild 4). Um nicht erfaßbare Einflüsse aus der Untersuchung auszuschließen, wurde das Tageslicht eliminiert und die Einrichtung des Raumes auf ein Minimum beschränkt. Als »Einzelplatzleuchte« wurde ein Laboraufbau verwendet, der die Leuchte nur simulierte. Über einen Spiegel wurde das Licht eines Scheinwerfers auf den Versuchstisch gebracht (Bild 2). Bei den Untersuchungen zur Gleichmäßigkeit wurde ein Overheadprojektor als Leuchte verwendet (Bild 3). Speziell gestaltete Folien variierten Leuchtdichtestrukturierungen und Helligkeit.

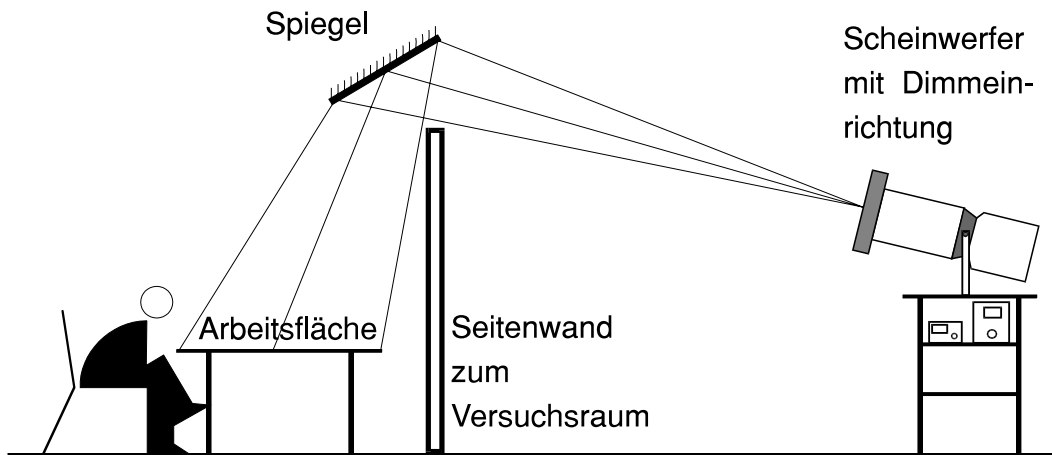


Bild 2: Scheinwerfer als Einzelplatzleuchte

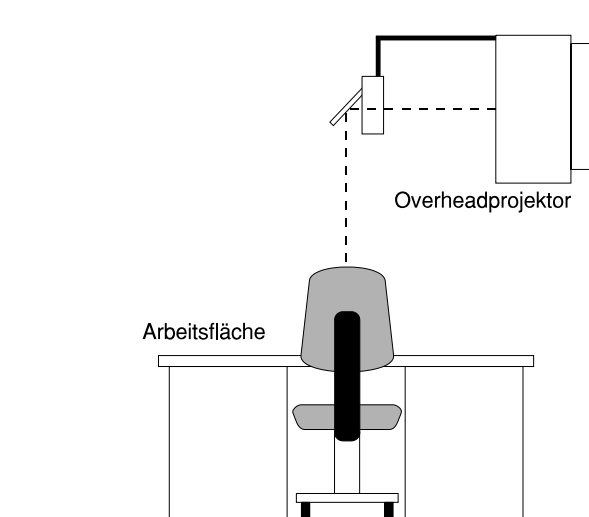


Bild 3: Overheadprojektor als Einzelplatzleuchte

Die Allgemeinbeleuchtung wurde mit freistrahrenden Leuchtstofflampen realisiert, die so angeordnet waren, daß keine Blendung auftreten konnte. Beleuchtungsstärke der Allgemeinbeleuchtung und der Einzelplatzbeleuchtung waren einstellbar. Für die einzelnen Untersuchungsabschnitte wurden die Raumparameter entsprechend angepaßt.

Die Untersuchung an Versuchsarbeitsplätzen stellt eine Übergangsform zwischen Labor- und Feldstudie dar. In einem Laborraum wurden Befragungen an realen, zur Zeit üblichen Einzelplatzleuchten (Tabelle 44,

Anhang) durchgeführt. Dabei wurden die lichttechnischen Parameter der Leuchten erfaßt und mit den Befragungsergebnissen verglichen. Bei dieser Untersuchung war der Laborcharakter der Untersuchung zum Teil noch vorhanden. Auch hier wurde das Tageslicht eliminiert und der Raum nur mit dem Nötigsten ausgestattet.

Die Allgemeinbeleuchtung bestand aus Anbauleuchten mit mattem Spiegelraster. Die oben genannten Angaben zu den Versuchspersonen treffen auch auf diese Untersuchung zu. Die 9 ausgewählten Einzelplatzleuchten wurden nacheinander auf den Schreibtischen (Bild 5) dargeboten. Bei der Auswahl der Leuchten wurde auf Vielfältigkeit hinsichtlich Lichtquelle, Raster und Verstellmöglichkeiten geachtet [Kelling94].



*Bild 4: Versuchsraum für die Laborversuche*



*Bild 5 Raum für die Untersuchungen an den Versuchsarbeitsplätzen*

Die Feldversuche dienten dem Vergleich der Untersuchungsergebnisse aus dem Labor mit Befragungsergebnissen aus der Praxis. Bei dieser Untersuchung hat man eine große Streuung der Meßergebnisse zu erwarten, da hier eine Vielzahl von Parametern wirkt, die im Labor ausgeschlossen werden können. Bei Felduntersuchungen ist es mitunter nicht einmal möglich, diese Parameter zu erfassen. Trotzdem hatten die Felduntersuchungen eine große Bedeutung im Rahmen dieser Forschung. An den untersuchten Arbeitsplätzen arbeiten Personen bereits über einen langen Zeitraum. Erfahrungen und langjährige Nutzungsgewohnheiten konnten erfragt werden. Grundsätzliche Tendenzen können die Laborergebnisse bestätigen oder widerlegen.

Die Felduntersuchungen fanden an 100 Büroarbeitsplätzen statt. Die Büroräume wurden in verschiedenen Verwaltungen im Thüringer Raum und in Berlin ausgewählt. Aufgrund der Beschäftigungsstruktur in Verwaltungen gelang es nicht, aus allen Gruppen der Bevölkerung Personen einzubeziehen. So überwiegen die weiblichen Personen deutlich. Die Altersstruktur ist im Bild 6 ersichtlich. Im Vorfeld der Befragungen fanden keine Untersuchungen der einzelnen Probanden statt. Daten, die sich auf die Person bezogen, wurden nur im Fragebogen erfaßt. Dabei wurde auf richtige Angaben seitens der Versuchspersonen vertraut. Die Probanden wurden vorher über das Stattfinden der Befragung informiert.



In den Verwaltungen wurden verschiedene Arten von Büroräumen vorgefunden. Dabei handelte es sich überwiegend um kleinere Büroräume für ein bis drei Personen. Die Arbeitsplätze waren in Fensternähe angeordnet, der Tageslichtanteil war gering bis sehr hoch. Eine geringe Anzahl von größeren Büroräumen (8 bis 20 Personen) wurde ebenfalls in die Untersuchung einbezogen (Tabelle 12).

Anzahl der Arbeitsplätze im Raum	Anzahl der untersuchten Plätze
1	22
2	21
3	12
4 - 5	5
25	1

Tabelle 12: Anzahl der untersuchten Arbeitsplätze im Feldversuch

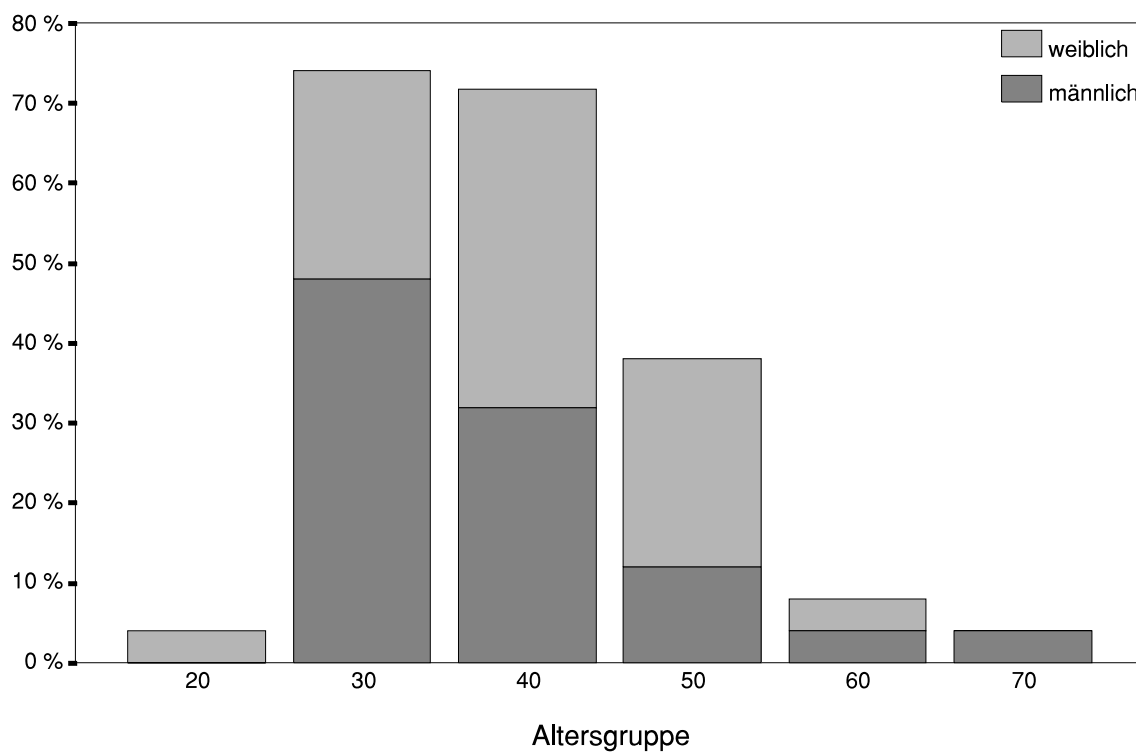


Bild 6: Verteilung der Versuchspersonen im Feldversuch (männlich und weiblich je 100 %)

### 3.3 Auswahl der Untersuchungsmethoden

#### 3.3.1 Übersicht

Die Festlegung von Güteigenschaften kann nach physiologischen und psychologischen Kriterien erfolgen. Um sichere Ergebnisse zu erhalten, ist es günstig, beide Kriterien zu verwenden. Dies wurde bisher bei allen in Ilmenau durchgeführten lichttechnischen Untersuchungen mit Erfolg so praktiziert. In Tabelle 13 ist eine Systematik der Verfahren dargestellt (nach [Gall96c], [Völker98]). Die für diese Untersuchung festgelegten Methoden sind in Tabelle 14 aufgeführt.

physiologische Kriterien	physiologisch-optische Verfahren	Schwellenverfahren (Schwellenleuchtdichte, Schwellenkontrast, Störtoleranz)
	arbeitsphysiologische Verfahren	Leistungsmessung, Fehlerbestimmung (Leistungstest) Ermüdung (obere Hörfrequenz, Flimmerverschmelzungsfrequenz, Puls, Blutdruck)
psychologische Kriterien	psychologische Verfahren	Bewertung von Lichtsituationen Erlebnisverlauf Bestimmung von Optimum und Maximum verschiedener Größen

Tabelle 13: Verfahren zur Bestimmung von Güteigenschaften nach [Gall96c]

physiologisch-optische Verfahren	Einstellung des Optimums von Beleuchtungsstärke und Größe der beleuchteten Fläche Einstellung von merkbarer »Ungleichmäßigkeit«
arbeitsphysiologische Verfahren	Mathematischer Leistungstest Konzentrations-Verlaufs-Test
psychologische Verfahren	Bewertung von verschiedenen Lichtsituationen mit Fragebögen (Bipolare Rating-Skala, Auswahl aus vorgegebenen Antworten) Einstellung von störender »Ungleichmäßigkeit«, optimaler Gleichmäßigkeit

Tabelle 14: Gewählte Untersuchungsmethoden und ihre Zuordnung zu den Verfahren aus Tabelle 13

Empirische Datenerhebung		zugehörige Untersuchungsmethoden
Zählen	Qualitative Merkmale	Auswahl aus vorgegebene Antworten
	Quantitative Merkmale	Wunscheinstellung
Urteilen	Rangordnung	
	Ähnlichkeitspaarvergleich	
	Rating-Skala	Fragebögen mit Rating-Skala
Testen		Leistungstests
Befragen (enthält Elemente aus Zählen und Urteilen)	mündlich	
	schriftlich	Fragebögen mit Rating-Skala und vorgegebenen Antworten
Beobachten		erfolgt ständig durch Versuchsleiter
Physiologische Messung		

Tabelle 15: Möglichkeiten der empirischen Datenerhebung nach [Bortz84]

Ermüdungsmessungen wurden im Rahmen dieser Forschung nicht durchgeführt, da in vergangenen Kurzzeit-Untersuchungen [GreinerMai90], [Kirsten92] keine signifikanten Ergebnisse erzielt wurden. Diese sind nur in Langzeitstests zu erreichen [Gall96c], [Völker98].

Die Bestimmung von Güte Merkmalen der Beleuchtung erfolgt empirisch. Die empirische Forschung bietet verschiedenen Möglichkeiten der Datenerhebung, die in Tabelle 15 zusammengefaßt sind. Die in Tabelle 14 gewählten Untersuchungsverfahren sind entsprechend zugeordnet. Ziel jeder empirischen Datenerhebung ist es, Ausschnitte der Realität möglichst genau zu beschreiben und abzubilden.

### 3.3.2 Fragebögen

Es gibt sehr viele Möglichkeiten, Fragebögen zu gestalten. Daraus wurden zwei ausgewählt, die für alle Fragebögen Verwendung fand. Dies waren die Rating-Skala (*rating*, engl. = Einschätzung) und die Möglichkeit, aus vorgegebenen Antworten eine oder mehrere zutreffende auszuwählen (Bild 7).

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. In den Fragebögen 5a und 5b (Bild 7) wurde die Mitte der Skala noch einmal besonders gekennzeichnet. Dieser Punkt entspricht der Wertung »genau richtig«. Bei den Fragen 9 bis 11 in Fragebogen 5a handelt es sich ebenfalls um eine Rating-Skala. Dabei sind die einzel-



nehmen (z. B. beim Einstellen des optimalen Leuchtenortes). Die Ergebnisse werden entsprechend protokolliert.

### 3.3.4 Leistungstests

Im hier beschriebene Teil des Forschungsprojektes kamen 2 Leistungstests zum Einsatz. Der *Konzentrations-Verlaufstest (KVT)* [Wolfram89] wurde bereits in [GreinerMai90] als günstig für die Ermittlung von Lichteinflüssen auf die Leistung herausgestellt. Er wurde deshalb auch hier verwendet. Die Versuchsbedingungen sind im Anhang angegeben. Der Proband soll 60 Karten (6 cm × 6 cm) mit jeweils 36 zweistelligen Zahlen durchsehen und nach dem Vorhandensein der Zahlen 63 und/oder 43 sortieren. Die Aufgabe muß unter Zeitdruck absolviert werden. Ermittelt werden Fehlerzahl und Arbeitszeit. Aus diesen Rohwerten werden mittels vorhandener Tabellen [Wolfram89] normierte Werte für Fehler, Zeit und deren Kombination ermittelt. Der Test ist visuell sehr anspruchsvoll. Um eventuelle Lerneffekte zu eliminieren, wurde die Reihenfolge der zwei durchgeführten Tests bei der Hälfte der Versuchspersonen vertauscht.

Ein weiterer Test wurde speziell für diese Versuchsreihe entwickelt. Dabei handelt es sich um eine abgewandelte Form bekannter Rechentests [GreinerMai90]. Der *Mathematische Leistungstest* bestand aus 15 Rechenaufgaben, bei denen jeweils 3 Ziffern durch Addition und bzw. oder Subtraktion verknüpft werden sollten. Die Testkonfiguration wurde derart an die spezielle Situation der Kombinierten Beleuchtung angepaßt, daß sich Aufgaben und Ergebnisse auf verschiedenen Arbeitsblättern und damit an verschiedenen Orten auf der Arbeitsfläche befanden. Somit konnte die Wirkung unterschiedlicher Beleuchtung von Haupt- und Nebenarbeitsfläche erfaßt werden. Das Lösen der Aufgaben erfolgte unter Zeitdruck. Protokolliert wurde Fehlerzahl und Rechenzeit. Die Versuchsbedingungen sind im Anhang enthalten. Da es sich bei diesem Test um eine »Neuentwicklung« handelt, liegen keine Normwerte vor. Ein Ansprechen des Tests auf verschiedene Lichtsituationen zeigt sich nicht bei allen Tests und dann auch nur durch eine Änderung der Arbeitszeit. Die Fehlerzahlen waren in allen Situationen sehr klein und zeigten keine Änderungen mit der Lichtsituation.

## 3.4 Statistische Auswertung

### 3.4.1 Angewendete statistische Verfahren

Zur Analyse und Darstellung von Zusammenhängen bietet die Statistik sehr viele Verfahren, aus denen die in Tabelle 16 dargestellten für die Auswertung der vorliegenden Daten ausgewählt wurden.

Verfahren	Bemerkungen, Festlegungen
Häufigkeitsdarstellung	Angabe der Anzahl (absolut oder prozentual) von beobachteten Werten)
Mittelwert $\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$	gebräuchliche Darstellung von Meßergebnissen für normalverteilte Daten
Standardabweichung $s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$	
Variabilitätskoeffizient $v = \frac{s}{\bar{x}} \cdot 100 \%$	wird zum einfachen Vergleich von Standardabweichungen angegeben
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
Kolmogorow-Smirnow-Test [Bronstein89]	parameterfreier Test zur Überprüfung der Normalverteilung Ablehnung der Normalverteilung bei $p < 0,05$
t-Test [Claus78], [Büh194]	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 $r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{(n-1) s_x s_y}$	$(x_i - \bar{x})$ 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



normalverteilten Antworten bei ca. 77 %. Dies wird im Rahmen dieser Untersuchung als ausreichend angesehen. Für Fragebogen 4 liegt der Anteil nur bei 53 %. Abweichungen von der Normalverteilung ergeben sich im allgemeinen dadurch, daß bei extremen Lichtsituationen die Skala für die Bewertung nicht mehr ausreicht und sich die Antworten an einem Ende stauen.

Für die jeweils ersten 4 Fragen der Fragebögen 5a und 5b wurde die Skala zunächst (entgegen den in Kapitel 3.4.2 gemachten Angaben) in 5 Abschnitte unterteilt. Bei der späteren Auswertung zeigte sich jedoch, daß die so gewonnenen Daten nicht normalverteilt sind. Bei der Neuskalierung nach Bild 8, Kapitel 3.4.2, wurde die Skala dann in 8 Abschnitte unterteilt. Dabei mußte in Kauf genommen werden, daß die Ränder nur 2 Teilungen enthielten. Der Kolmogorow-Smirnow-Test ergab, daß die neu gewonnenen Daten des Fragebogens 5a zu 55 % normalverteilt sind.

Bei Fragebogen 5b ist das nur bei 28 % der Fall. Das läßt sich damit erklären, daß hier jeder Proband seinen selbst eingestellten Leuchtenort bewertete. Die abgegebenen Antworten beziehen sich deshalb auf unterschiedliche Situationen und sind nicht vergleichbar. Bei der weiteren Auswertung muß das berücksichtigt werden. Tests, die auf Normalverteilung beruhen, können bei diesen Daten nicht angewendet werden.

Die Antworten auf die Fragen 9 und 11 des Fragebogens 5a sind nach der *Söllner-Skala* skaliert (4-stufig) [Söllner65]. Es ergaben sich keine normalverteilten Antworten. Eine nachträgliche Neuskalierung war hier nicht möglich. Bei Frage 11 wurde durchgängig dieselbe Wertung abgegeben, deshalb wurde sie nicht weiter in die Auswertung einbezogen. Die mit Fragebogen 6 gewonnenen Daten sind fast ausschließlich normalverteilt. In Tabelle 17 sind für alle Fragebögen und für alle Items die Anzahl und die Prozentzahl der normalverteilten Antworten angegeben.

FB	Frage (Item)	Anzahl der Reize	Normalverteilte Antworten Anzahl und %
2	1	14	7 (50,0 %)
	2	12	8 (66,6 %)
	3	14	12 (85,7 %)
	4	14	12 (85,7 %)
	5	5	3 (60,0%)
	6	14	11 (78,6 %)
	7	14	13 (92,8 %)
	8	2	1 (50,0 %)
	9	14	11 (78,6 %)
	10	14	12 (85,7 %)
	11	14	11 (78,6 %)
	12	14	12 (85,7 %)
	13	14	9 (64,3 %)



FB	Frage (Item)	Anzahl der Reize	Normalverteilte Antworten Anzahl und %	
4	1	32	19	(59,4 %)
	2	32	15	(46,8 %)
	3	32	16	(50,0 %)
	4	32	11	(34,4 %)
	5	32	25	(78,1 %)
	6	32	27	(84,4 %)
	7	32	10	(32,3 %)
	8	32	13	(40,6 %)
5a	1	9	7	(77,7 %)
	2	9	5	(55,5 %)
	3	9	5	(55,5 %)
	4	9	3	(33,3 %)
	9	9	0	
	10	9	0	
5b	1.1	9	5	(55,5 %)
	1.2	9	2	(22,2 %)
	1.3	9	1	(11,1 %)
	1.4	9	2	(22,2 %)
6	2 A 1	6	5	(83,3 %)
	2 A 2	6	5	(83,3 %)
	2 A 3	6	6	(100 %)
	2 A 4	6	5	(83,3 %)
	2 A 5	6	5	(83,3 %)
	2 A 6	6	6	(100 %)
	2 B	6	6	(100 %)
	2 C	6	6	(100 %)
	2 D 1	6	6	(100 %)
	2 D 2	6	6	(100 %)
	2 D 3	6	4	(66,6 %)
	2 D 4	6	6	(100 %)
	2 E	6	2	(33,3 %)

Tabelle 17: Absolute Anzahl und prozentualer Anteil normalverteilter Antworten

### 3.4.4 Das Skalenniveau der Ausgangsdaten

Wie schon in Kapitel 3.3.1 beschrieben, ist es Ziel der Untersuchung, einen Ausschnitt aus der Realität möglichst genau abzubilden und zu beschreiben. Dabei ist es notwendig, einzelne Merkmale zu skalieren und zueinander in Zusammenhang zu bringen.

Die Anwendung statistischer Methoden setzt Kenntnisse über die Merkmale der vorhandenen Daten voraus. Dies trifft vor allem auf das verwendete Skalenniveau und die statistische Verteilungsform der Daten zu. Nach [Claus78] wurde eine Übersicht erstellt, die die einzelnen Skalentypen und Auswertemethoden aufzeigt (Tabelle 18).

Skalentyp	Voraussetzungen	zulässige Verteilungscharakteristika	zulässige Prüfverfahren
Nominalskala	Bestimmbarkeit der Gleichheit oder Ungleichheit von Elementen	absolute, relative, prozentuale Häufigkeiten, Modalwert	C2-Verfahren
Ordinalskala	zusätzlich: Bestimmbarkeit von Größer-Kleiner-Unterschieden	zusätzlich: kumulierte Häufigkeiten, Rangpositionen, Median, Quartile	zusätzlich: verteilungsfreie Verfahren H-Test, Kolmogorow-Smirnow-Test, U-Test
Intervallskala	zusätzlich: Bestimmbarkeit von gleichen Intervallen und Festlegung eines relativen Nullpunktes	zusätzlich: arithmetisches Mittel, Standardabweichung, Varianz, Schiefe, Exzeß	zusätzlich: parametrische, auf Normalverteilung beruhende Verfahren t-Test, F-Test, Varianzanalyse
Proportionalskala	zusätzlich: Bestimmbarkeit gleicher Proportionen, Existenz eines absoluten Nullpunktes	zusätzlich: geometrisches Mittel, Variabilitätskoeffizient	

Tabelle 18: Skalentypen nach [Claus78]

Untersuchungsverfahren	Skalenniveau	Auswerteverfahren
Wunscheinstellung der Beleuchtungsstärke und der Größe der beleuchteten Fläche	Intervallskala	Mittelwertbildung Standardabweichung t-Test (Voraussetzung: Daten sind normalverteilt)
Wunscheinstellung der Gleichmäßigkeit	Ordinalskala (Anmerkung: Den Probanden wurden Leuchtdichtestrukturen stufenweise dargeboten. Der Abstand zwischen den einzelnen Stufen war nicht gleich)	Median Quartile
Fragebogen (Auswahl aus vorgegebenen Antworten)	Nominalskala	Häufigkeiten
Fragebogen (Rating-Skala)	Intervallskala (oder Ordinalskala)	

Tabelle 19: Festlegung des Skalenniveaus

Zur Auswertung der Fragebögen wurden allen abgegebenen Wertungen Zahlenwerte zugeordnet (Kapitel 3.4.2). Die Ergebnisse der Leistungstests liegen als Zahlenwerte vor (z. T. mit Einheit, z. B. Sekunden). Ebenso verhält es sich mit durch den Probanden eingestellten Werten (z. B. Beleuchtungsstärke, Gleichmäßigkeit). Bevor eine statistische Weiterverarbeitung erfolgen kann, muß eine Aussage über das vorhandene Skalenniveau getroffen werden. Tabelle 19 gibt dazu eine Übersicht.

Die Zuordnung des Intervallniveaus zur Rating-Skala ist umstritten. Teilweise wird davon ausgegangen, daß die Probanden die Skala zwischen den beiden Polen automatisch intervallskalieren. In [Bortz84] wird das dagegen angezweifelt. Für die Söllner-Skala wurde eine Untersuchung in [Haubner79] vorgestellt, die die Gleichabständigkeit bestätigt.

Analog dazu wurde das vorliegende Zahlenmaterial auf Gleichabständigkeit überprüft. Die Vorgehensweise wurde [Schmits89] und [Haubner70] entnommen. Zu den relativen kumulierten Häufigkeiten der abgegebenen Wertungen wurden aus der normierten Normalverteilungsdichte  $\Phi(x)$  (Bild 9) die entsprechenden z-Werte ermittelt (Tabelle 20). Sind die Abstände zwischen den ermittelten z-Werten gleich groß, ist so die Intervallskala nachgewiesen. Grafisch läßt sich dieser Zusammenhang in Bild 10 verdeutlichen. Dargestellt ist die Regression zwischen Urteil und z-Wert. Der Anstieg der Geraden zeigt die Abständigkeit der Skala. Würden alle Geraden den gleichen Anstieg haben, wäre die Gleichmäßigkeit nachgewiesen.

Urteil	0	1	2	3	4	5	6	7
rel. kumulierte Häufigkeit der Lichtsituation 1	35,9	56,4	71,8	71,8	79,5	89,7	97,4	100
z-Wert	-0,36	0,16	0,58	0,58	0,82	1,26	1,94	$\infty$
rel. kumulierte Häufigkeit der Lichtsituation 2	7,7	17,9	25,6	35,9	43,6	61,5	76,9	100
z-Wert	-1,43	-0,92	-0,66	-0,36	-0,16	0,29	0,74	$\infty$

Tabelle 20: Urteile und z-Werte der Lichtsituationen 1 und 2 (Frage »heller Arbeitsbereich - dunkler Arbeitsbereich«, FB 4)

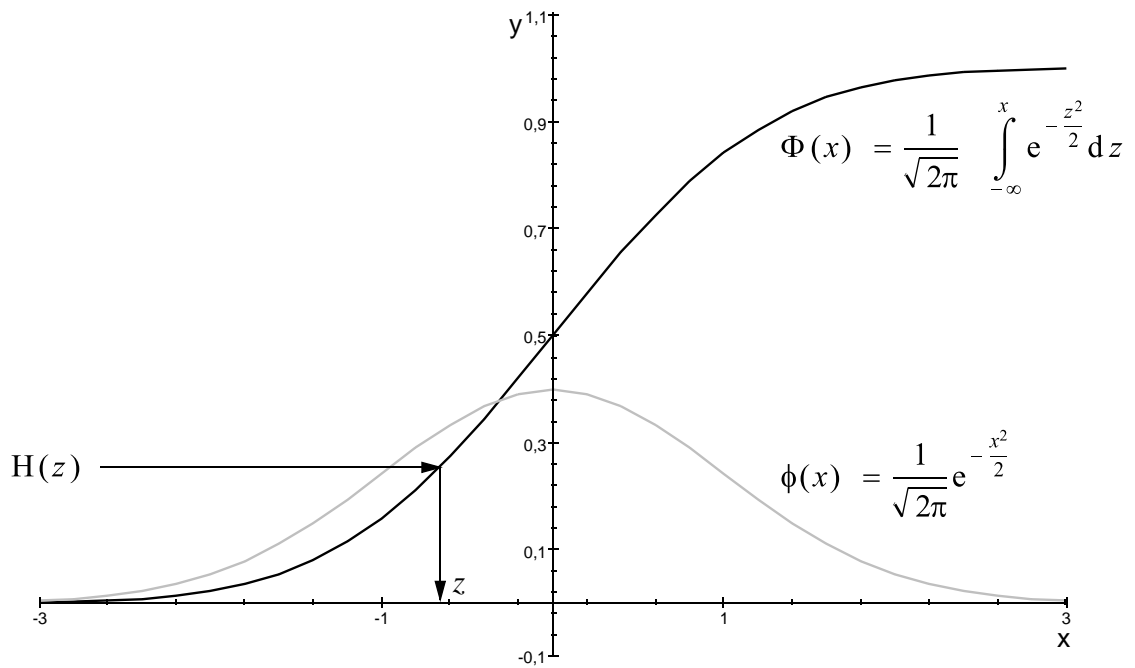


Bild 9: Normierte Normalverteilung und Normalverteilungsdichte

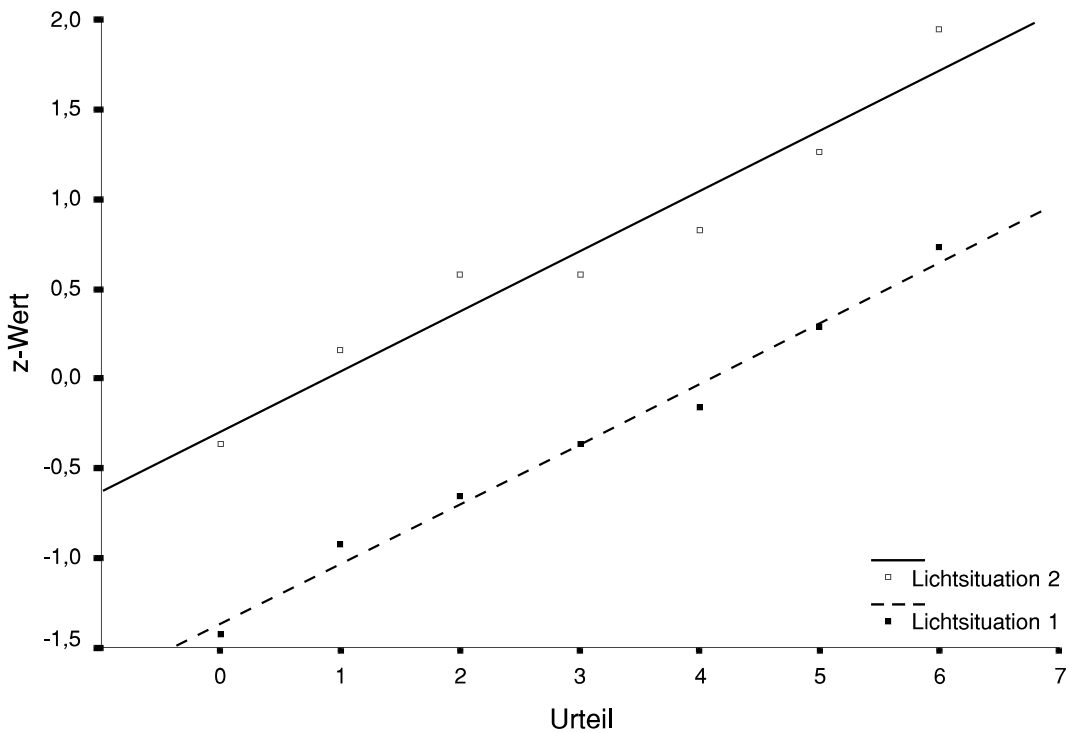


Bild 10: Regression zwischen Urteil und z-Wert

Die Regression zwischen Urteil und z-Wert wurde in 554 Fällen durchgeführt. 11 Fälle wurden aus der Auswertung gestrichen, da hier nur 3 oder weniger z-Werte vorhanden waren. Das

waren Lichtsituationen, bei denen die vorgegebene Skala zur Beurteilung nicht ausreichte und sich die Wertungen deshalb an einem Ende stauten. Es war fast ausnahmslos eine gute Geradenanpassung möglich. Die Größe des Korrelationskoeffizienten  $r$  betrug im Mittel 0,966 (Standardabweichung 0,047). Nur bei 26 Regressionen lag der Korrelationskoeffizienten  $r$  unter einem Wert von 0,9. In Tabelle 21 sind die mittleren Anstiege für die untersuchten Fragebögen und für jedes Item angegeben. Die Standardabweichungen sind relativ zum Mittelwert gering (Angabe der Variabilitätskoeffizienten zum besseren Vergleich), so daß hier von einer zufälligen Streuung ausgegangen wird.

Im weiteren Verlauf der Auswertung wird deshalb von einer Intervallskala ausgegangen. Für die Fragen 9 und 10 des Fragebogens 5a und die Frage 1 in Fragebogen 5b wurde im Kapitel 3.4.3 keine Normalverteilung festgestellt. Für eine Intervallskala ist das jedoch eine Voraussetzung, die sich aus dem beschriebenen Nachweisverfahren ergibt. In der weiteren Auswertung werden diese Daten nicht als intervallskaliert betrachtet.

FB	Frage (Item)	Anzahl der Reize	Normalverteilte Antworten (Kap. 3.4.3)	$\bar{x}$	s	v
2	1	14	50,0 %	0,42	0,07	16,6 %
	2	12	66,6 %	0,51	0,08	15,7 %
	3	14	85,7 %	0,55	0,09	16,4 %
	4	14	85,7 %	0,57	0,08	14,0 %
	5	5	60,0%	0,46	0,16	34,8 %
	6	14	78,6 %	0,45	0,07	15,5 %
	7	14	92,8 %	0,53	0,10	18,9 %
	8	2	50,0 %	0,29	0,02	6,9 %
	9	14	78,6 %	0,47	0,05	10,6 %
	10	14	85,7 %	0,44	0,06	12,7 %
	11	14	78,6 %	0,56	0,06	13,6 %
	12	14	85,7 %	0,54	0,07	12,9 %
	13	14	64,3 %	0,46	0,12	26,1 %
4	1	32	59,4 %	0,37	0,06	16,2 %
	2	32	46,8 %	0,42	0,13	30,9 %
	3	32	50,0 %	0,36	0,08	22,2 %
	4	32	34,4 %	0,31	0,07	22,6 %
	5	32	78,1 %	0,41	0,07	17,1 %
	6	32	84,4 %	0,55	0,08	14,5 %
	7	32	32,3 %	0,45	0,14	31,1 %
	8	32	40,6 %	0,40	0,07	17,5 %
5a	1	9	77,7 %	0,73	0,12	16,4 %
	2	9	55,5 %	0,93	0,32	34,4 %
	3	9	55,5 %	0,84	0,17	20,2 %
	4	9	33,3 %	0,78	0,17	21,8 %

FB	Frage (Item)	Anzahl der Reize	Normalverteilte Antworten (Kap. 3.4.3)	$\bar{x}$	s	v
5a	9	9	0	1,81	0,23	12,7 %
	10	9	0	1,48	0,28	18,9 %
5b	1.1	9	55,5 %	0,78	0,20	25,6 %
	1.2	9	22,2 %	0,76	0,19	25,0 %
	1.3	9	11,1 %	0,86	0,15	17,4 %
	1.4	9	22,2 %	0,77	0,22	28,6 %
6	2 A 1	6	83,3 %	0,31	0,12	38,7 %
	2 A 2	6	83,3 %	0,35	0,12	34,3 %
	2 A 3	6	100 %	0,35	0,16	45,7 %
	2 A 4	6	83,3 %	0,45	0,18	40,0 %
	2 A 5	6	83,3 %	0,30	0,10	33,3 %
	2 A 6	6	100 %	0,33	0,21	63,6 %
	2 B	6	100 %	0,31	0,10	32,3 %
	2 C	6	100 %	0,46	0,13	28,3 %
	2 D 1	6	100 %	0,35	0,10	28,6 %
	2 D 2	6	100 %	0,44	0,19	43,2 %
	2 D 3	6	66,6 %	0,43	0,19	44,2 %
	2 D 4	6	100 %	0,43	0,21	48,8 %
2 E	6	33,3 %	0,36	0,14	38,9 %	

Tabelle 21: Mittelwerte, Standardabweichungen und Variabilitätskoeffizienten für die Anstiege der Korrelationsgeraden

### 3.5 Lichttechnische Messungen

In umfangreichen lichttechnischen Messungen wurden alle Parameter aufgenommen, die für die jeweilige Untersuchung und deren Auswertung wichtig waren. Dazu gehören Beleuchtungsstärke und Farbtemperatur (gemessen mit MINOLTA Chroma-Meter xy-1), Reflexionsgrad (gemessen mit  $\rho_{\text{diff}}$ -Meter 512 der Firma PRC Krochmann) und Leuchtdichte (L1000 der Firma LMT,  $f_1$ -Fehler 2,2 %). Aus den gemessenen Größen wurden die Größen Gleichmäßigkeit, Körperwiedergabe und Schattigkeit berechnet.

Parallel zur Untersuchungsreihe wurde eine neue Leuchtdichtemeßtechnik entwickelt [Wolf95], [Stefanov95]. Dabei werden mit einer CCD-Kamera Leuchtdichteszenen örtlich aufgelöst erfaßt und zur Auswertung gespeichert. Diese Technik kam bei dieser Versuchsreihe erstmalig zur Anwendung und erwies sich vor allem in den Feldversuchen als sehr nützlich. Innerhalb kurzer Zeit können damit große Raumbereiche lichttechnisch vermessen werden. Die Auswertung kann zu einem späteren Zeitpunkt erfolgen. Es lassen sich nachträglich einzelne Meßwerte (z. B. Punktleuchtdichten, Leuchtdichteverläufe) extrahieren und zur Auswertung heranziehen.

## 4 Ergebnisse der Untersuchung

### 4.1 Beleuchtungsniveau

#### 4.1.1 Laboruntersuchung

Das Beleuchtungsniveau und die Leuchtdichte der Arbeitsfläche sind die wichtigsten Güte-merkmale des hier untersuchten Beleuchtungssystems. Die in diesem Kapitel beschriebenen Laboruntersuchungen beziehen sich ausschließlich auf die Beleuchtungsstärke, da sich diese Größe während des Versuchsablaufes schneller und leichter bestimmen ließ. Durch Angabe des Reflexionsgrades der Arbeitsfläche (diffuse Oberfläche) kann jedoch problemlos auf Leuchtdichten geschlossen werden.

Ein wichtiger Parameter bei dieser Untersuchung ist das Verhältnis zwischen Einzelplatz- und Allgemeinbeleuchtungsstärke. Bei allen Angaben in den nächsten Kapiteln wird davon ausgegangen, daß die Einzelplatzleuchte die Hauptarbeitsfläche ausleuchtet. Die beleuchtete Fläche entspricht also der Hauptarbeitsfläche. Diese Voraussetzung läßt Schlüsse über das Leuchtdichteverhältnis zwischen Haupt- und Nebenarbeitsfläche zu.

Die Bestimmung des notwendigen Beleuchtungsniveaus war Ziel dieses Versuchsteils. Neben der Beleuchtungsstärke mußte auch der Reflexionsgrad der Arbeitsfläche variiert werden, da die Ergebnisse mit den Angaben aus [DIN5035/8] verglichen werden sollten. Die Reflexionsgradvorgaben wurden deshalb entsprechend [DIN5035/8] ausgewählt. Ein weiterer Parameter ist die Form des Überganges zwischen dem ausgeleuchteten Bereich und dessen Umfeld. Dieser kann in Form eines weichen (allmählichen) oder eines harten (scharfen) Überganges erfolgen. Nähere Angaben zur beleuchteten Fläche finden sich im Kapitel 4.2.

#### 4.1.1.1 Vergleich von Allgemeinbeleuchtungsstärken (Fragebogen 2)

Mit Hilfe des Fragebogens 2 (Anhang) sollten zwei Lichtsituationen (Tabelle 36, Anhang) mit Allgemeinbeleuchtungsstärken von 200 lx und 500 lx bewertet werden. Nach Ausfüllen des Fragebogens wurden die Probanden gefragt, ob die Beleuchtungsstärke ausreichend ist und ob eine zusätzliche Einzelplatzleuchte bessere Lichtverhältnisse schaffen könnte (Fragebogen 3, Anhang).

64 % der Versuchspersonen empfanden eine Beleuchtungsstärke von 500 lx als ausreichend. Trotzdem wünschten sich 90 % eine zusätzliche Einzelplatzleuchte, da sie sich eine Verbesserung der Lichtsituation vorstellen konnten. Gründe dafür sind in Tabelle 22 aufgeführt.

Grund	Prozent der Probanden
zur Verhinderung des Hand- und Körperschattens, der durch die Allgemeinbeleuchtung verursacht wird	15
zur Hervorhebung des Schreib- und Arbeitsbereiches	10
es wirkt insgesamt zu dunkel	12
merkbarer Unterschied zum Tageslicht	3
Schaffung einer angenehmeren Atmosphäre im Zimmer	5
für schwierigere Schreib- und Lesearbeiten ist es zu dunkel	8

Tabelle 22: Gründe für eine weitere Verbesserung der Lichtverhältnisse [Lange94]

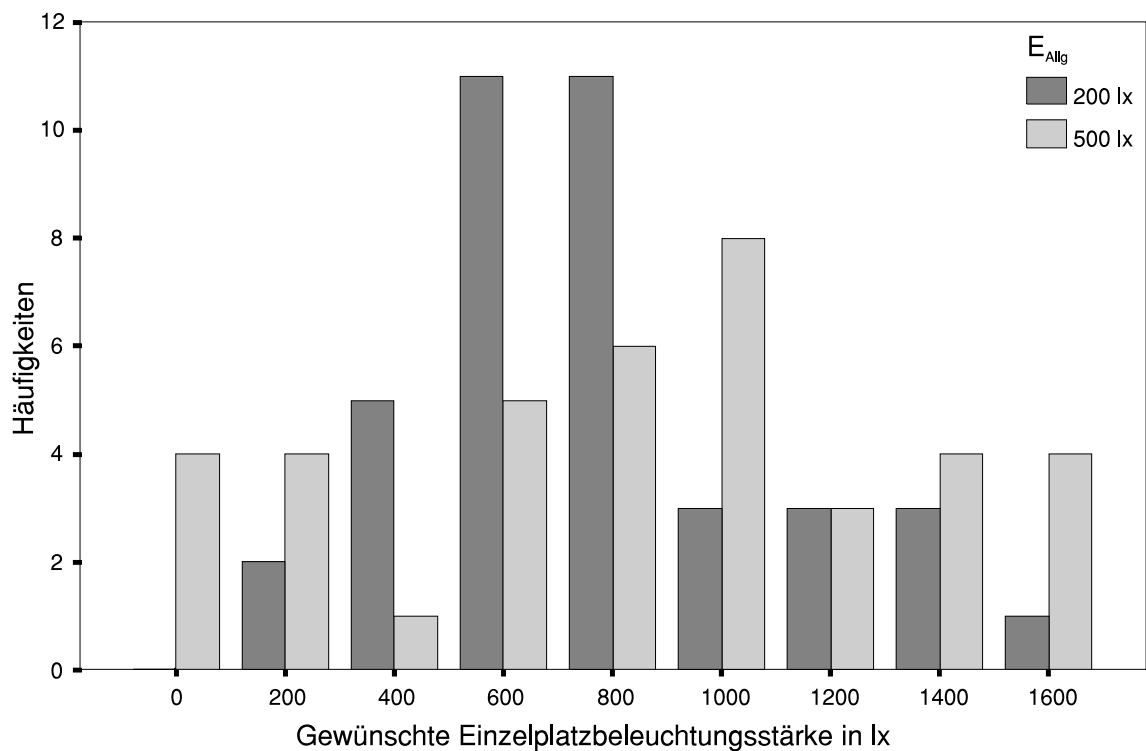


Bild 11: Gewünschte Einzelplatzbeleuchtungsstärken bei  $E_{Allg} = 200 \text{ lx}$  und  $E_{Allg} = 500 \text{ lx}$



Eine Allgemeinbeleuchtung von 200 lx bewerteten nur 10 % der Versuchspersonen als ausreichend hell. Alle Versuchspersonen (100 %) wünschten sich eine zusätzliche Einzelplatzleuchte. Die gewünschten Einzelplatzbeleuchtungsstärken für die zwei vorgegebenen Allgemeinbeleuchtungen sind im Bild 11 dargestellt.

Das Ergebnis der Bewertung der beiden Lichtsituationen mit Hilfe der Rating-Skala in Fragebogen 2 zeigt Bild 12. Die bessere Bewertung der 500 lx gegenüber der 200 lx ist deutlich zu erkennen. Mit dem t-Test wurden die Mittelwerte verglichen. Es ergeben sich bei allen Wertungen signifikante Unterschiede. Nur die Bewertung der Lichtfarbe erfolgt bei beiden Lichtsituationen gleich, was die Richtigkeit der Angaben bestätigt.

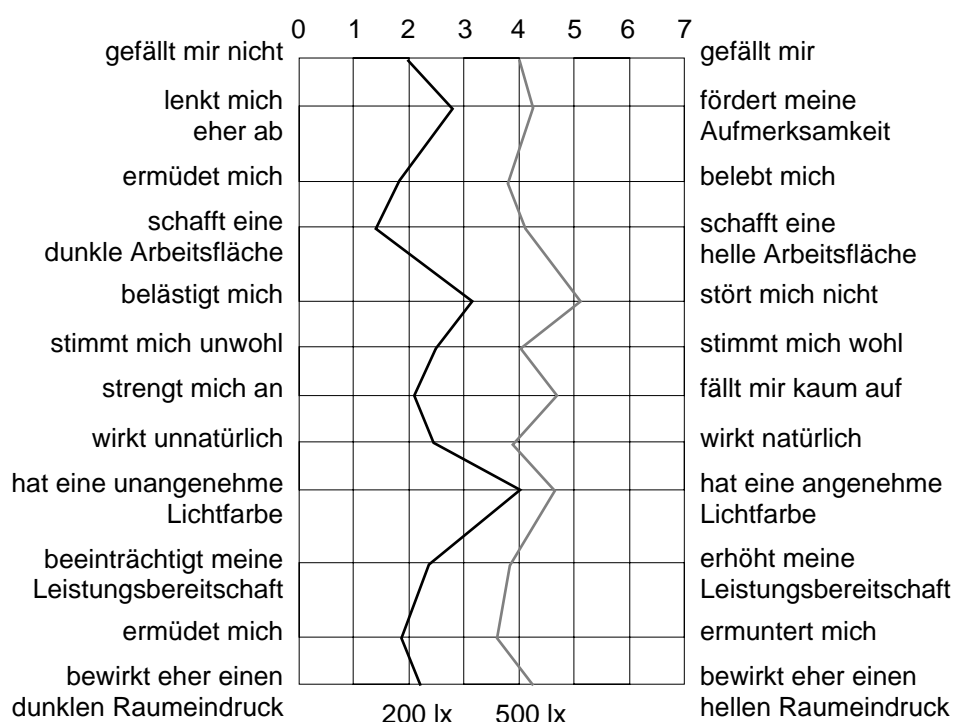


Bild 12: Bewertung von zwei Lichtsituationen ( $E_{Allg} = 200 \text{ lx}$  und  $500 \text{ lx}$ ),  $s = 1,206 \dots 2,371$ ,  $v = 34 \dots 90 \%$

#### 4.1.1.2 Bewertung von Beleuchtungsstärken (Fragebogen 4)

Durch den Fragebogen 4 sollten Lichtsituationen verschiedener Beleuchtungsstärken bewertet werden. Eine Zusammenstellung der Situationen ist in Tabelle 39 im Anhang enthalten. Insgesamt wurden 32 Lichtsituationen bewertet. In Bild 13 ist das Befragungsergebnis zur »Helligkeit auf der Arbeitsfläche« am Beispiel der Fläche  $60 \text{ cm} \times 60 \text{ cm}$  (weicher Übergang) dargestellt. Die gleichen Zusammenhänge (d. h. keine signifikanten Unterschiede) ergeben sich für die anderen untersuchten Flächen (A4, Greifraum) und für den harten Übergang.

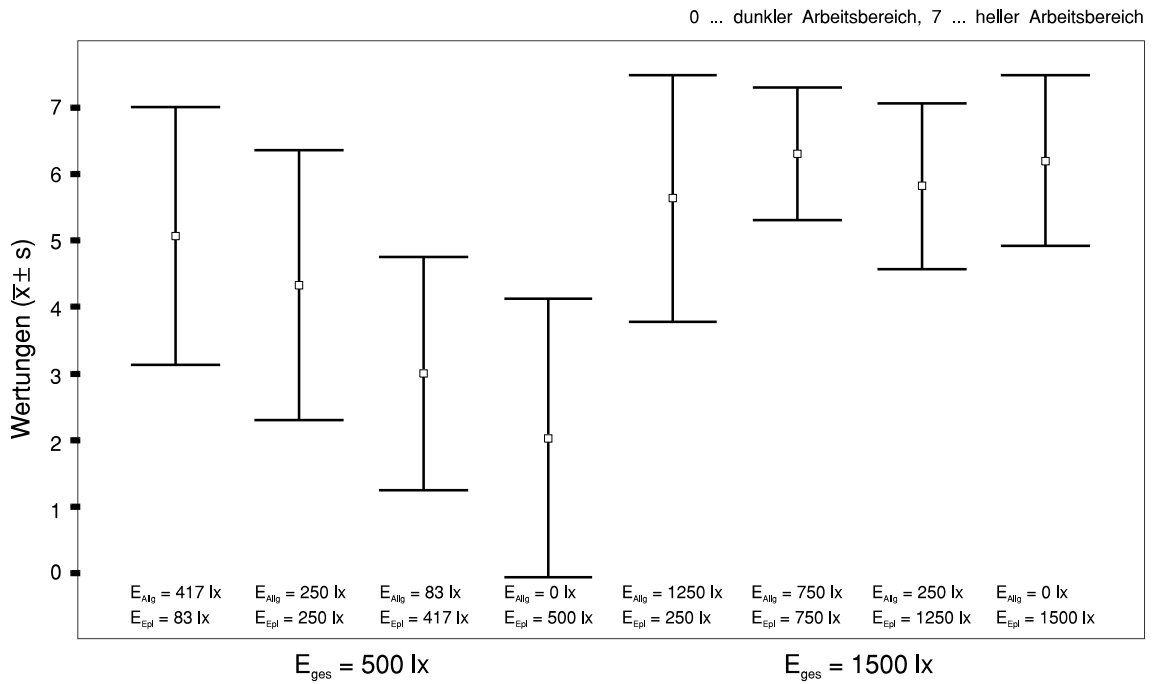


Bild 13: Bewertung der Helligkeit im Arbeitsbereich

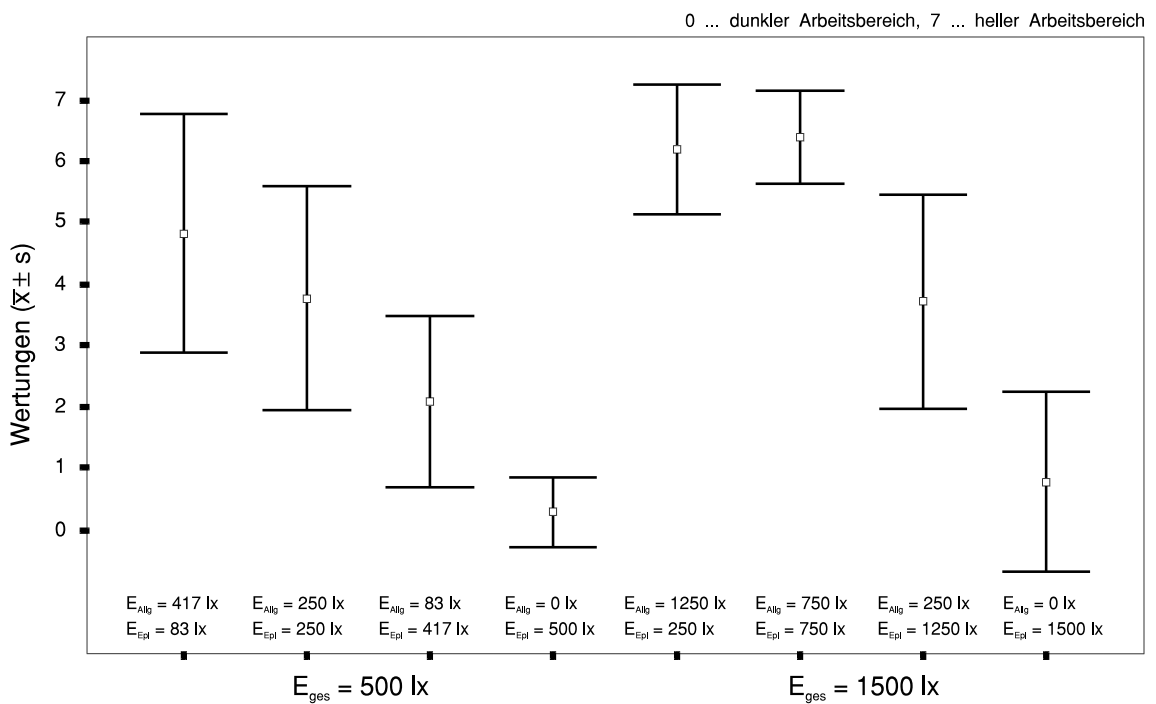


Bild 14: Bewertung der Raumbelligkeit

Grundsätzlich ergeben sich hier zwei verschiedene Tendenzen. Obwohl die Gesamtbeleuchtungsstärke auf der Arbeitsfläche bei den ersten 4 Situationen immer 500 lx betrug, wird die

Helligkeit mit geringer werdender Allgemeinbeleuchtungsstärke schlechter bewertet. Negativ, also »dunkel« ( $< 3,5$ ) wird gewertet, wenn die Allgemeinbeleuchtungsstärke weniger als 250 lx beträgt. Bei einer Gesamtbeleuchtungsstärke von 1500 lx hingegen werden alle Situationen als »hell« bewertet. Die Bewertung der Helligkeit im Raum ist in Bild 14 dargestellt. Hier ist deutlich zu erkennen, daß ein Mindestwert der Allgemeinbeleuchtungsstärke von 250 lx gefordert werden muß, um eine ausreichende Raumhelligkeit zu erreichen.

#### 4.1.1.3 Bewertung des Beleuchtungsstärkeverhältnisses (Fragebogen 4)

Bei den unter 4.1.1.2 beschriebenen 32 Lichtsituationen (Anhang, Tabelle 39) erfolgte weiterhin eine Beurteilung des Verhältnisses zwischen Allgemeinbeleuchtung und Einzelplatzbeleuchtung. In Bild 15 sind die Ergebnisse wiederum am Beispiel der Fläche  $60 \text{ cm} \times 60 \text{ cm}$  (weicher Übergang) dargestellt. Auch hier ergeben sich für Flächen von A4 und Greifraum, sowie für den harten Übergang die gleichen Zusammenhänge (keine signifikanten Unterschiede). Positive Bewertungen ( $> 3,5$ ) werden immer dann abgegeben, wenn die Allgemeinbeleuchtungsstärke 250 lx und größer ist. Dies geschieht selbst dann, wenn das Verhältnis sehr unausgewogen ist ( $E_{\text{Allg}} = 250 \text{ lx}$  und  $E_{\text{Epl}} = 1250 \text{ lx}$ ). Lichtsituationen ohne Allgemeinbeleuchtung werden dagegen negativ bewertet. Das Verhältnis selbst scheint für die Nutzer der Einzelplatzbeleuchtung in weiten Bereichen unwesentlich zu sein.

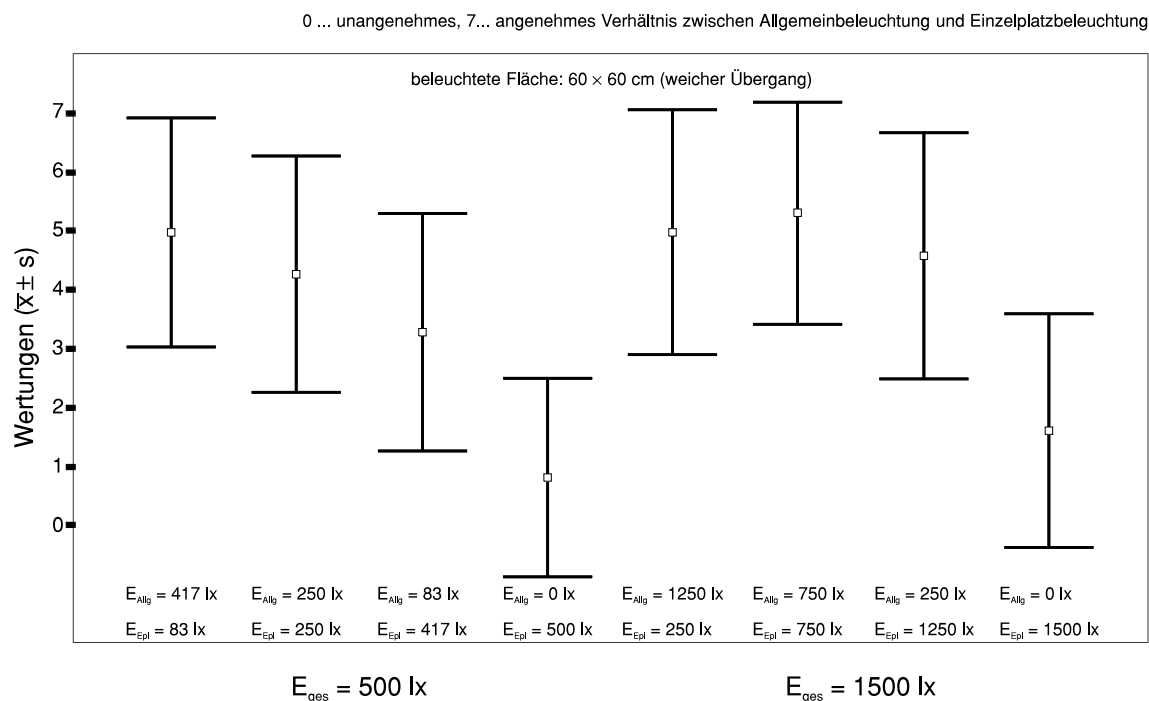


Bild 15: Bewertung des Verhältnisses zwischen Allgemein- und Einzelplatzbeleuchtung ( $60 \text{ cm} \times 60 \text{ cm}$ , weicher Übergang)

#### 4.1.1.4 Vergleich verschiedener Lichtsituationen (Fragebogen 2)

Mit diesem Fragebogen sollten drei verschiedene Beleuchtungssituationen beurteilt werden (Tabelle 37, Anhang). Bei allen 3 Situationen herrschte auf der Arbeitsfläche eine Gesamtbeleuchtungsstärke von 500 lx. In der ersten Situation wurde diese allein von der Allgemeinbeleuchtung realisiert, in der zweiten Situation je zur Hälfte durch Allgemein- und Einzelplatzbeleuchtung und in der dritten nur durch die Einzelplatzleuchte. Die beleuchtete Fläche war 60 cm × 60 cm groß (weicher Übergang).

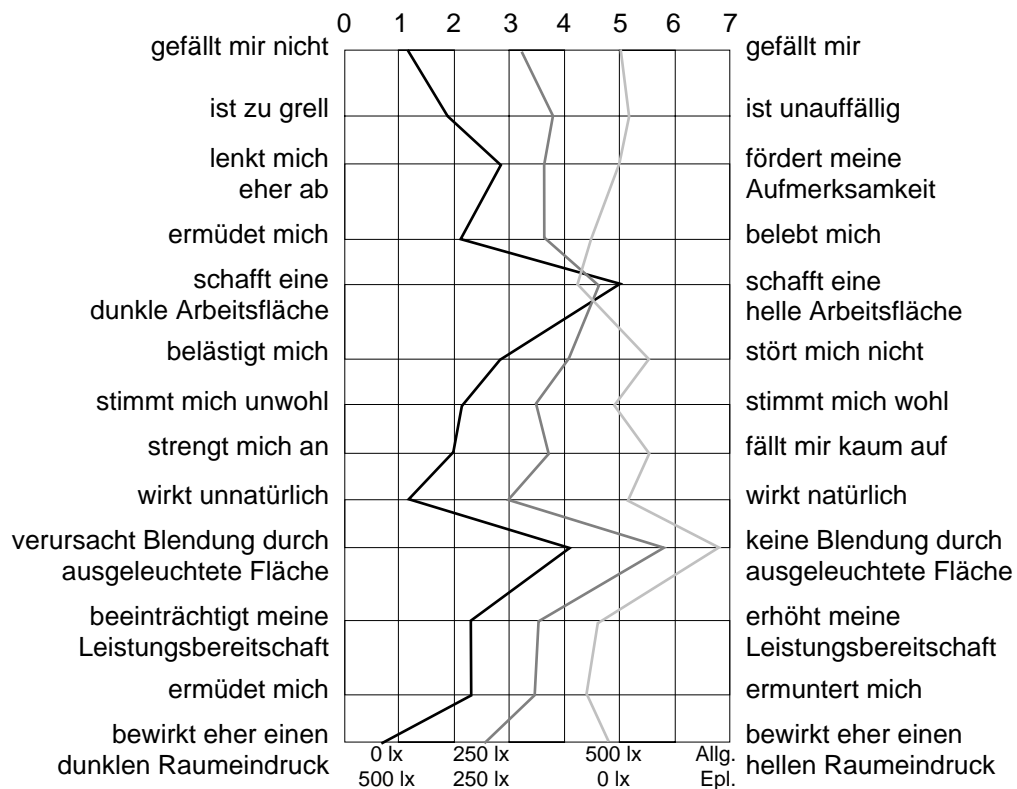


Bild 16: Mittelwerte der Urteile für die drei Lichtsituationen (Standardabweichung  $s$  ca. 1,8;  $v$  ca. 70 %)

Bild 16 zeigt die Ergebnisse der Befragung. Dargestellt ist der Mittelwert jedes Urteils über alle Probanden. Die Standardabweichung liegt im Bereich zwischen 1,5 und 2,5. Die Lichtsituation 1 (nur Allgemeinbeleuchtung) wird am besten bewertet, die Lichtsituation 3 (nur Einzelplatzbeleuchtung) dagegen sehr negativ eingeschätzt. Die Lichtsituation 2 belegt in allen Urteilen einen Zwischenwert. Die Bewertungen der drei Situationen unterscheiden sich signifikant voneinander (t-Test). Eine Ausnahme stellte die Frage: »schafft eine eher helle – schafft eine eher dunkle Arbeitsfläche« dar. Hier gaben die Probanden für die verschiedenen Lichtsituationen die gleiche Wertung ab. Da die Gesamtbeleuchtungsstärke auf der Arbeitsfläche für alle 3 Licht-

situationen immer die gleiche war, läßt sich dadurch schlußfolgern, daß die Versuchspersonen in der Lage waren, die Lichtsituationen richtig zu beurteilen.

Obwohl die Kombinierte Beleuchtung schlechter bewertet wird als die Allgemeinbeleuchtung, liegen die Urteile zum größten Teil im positiven Wertungsbereich (Urteile  $> 3,5$ ). Die Lichtsituation wird jedoch als etwas unnatürlich bewertet. Der Raumeindruck wird relativ dunkel bewertet, was nicht ganz mit vorherigen Ergebnissen übereinstimmt. Vermutlich spielt das fehlende Tageslicht im Laborraum eine Rolle.

#### **4.1.1.5 Konzentrations-Verlaufs-Test (KVT)**

Der KVT [Wolfram89] erlaubt Leistungs- und Ermüdungsmessung sowohl in Absolutwerten als auch als Verlaufsgröße innerhalb des Tests. Der KVT wurde bei zwei unterschiedlichen Beleuchtungssituationen durchgeführt (Tabelle 41, Anhang). Bei beiden Situationen herrschte eine Gesamtbeleuchtungsstärke von 500 lx. Diese wurde einmal nur durch die Allgemeinbeleuchtung und einmal je zur Hälfte durch Allgemein- und Einzelplatzbeleuchtung erzielt. Die Auswertung des KVT erfolgte mittels bereits vorhandener Tabellen [Wolfram89]. Dazu wurden die benötigten Bearbeitungszeiten und die Anzahl der fehlerhaft sortierten Karten ermittelt und in einen bewichteten Kombinationswert Zeit/Fehler transformiert. In ihm sind qualitative und quantitative Arbeitsleistung enthalten.

Der t-Test erbrachte keinen signifikanten Unterschied zwischen den Mittelwerten der beiden Tests. Der KVT wurde in der Hauptarbeitsfläche durchgeführt. Für beide Tests lag das Beleuchtungsniveau auf der Hauptarbeitsfläche bei 500 lx. Das Testergebnis zeigt, daß bei der Erledigung von Aufgaben in der Hauptarbeitsfläche während der Untersuchung kein Unterschied bezüglich der Art der Bereitstellung des benötigten Lichts besteht. Zu beachten ist, daß es sich hier um einen Kurzzeittest (Arbeitszeit ca. 10 min) handelt.

Ein Einfluß durch Ermüdung bzw. Lerneffekte auf das Ergebnis wurde durch die Variation des Versuchsablaufs weitestgehend ausgeschlossen. Es zeigte sich, daß der Lerneffekt hier nicht zu vernachlässigen ist. Zwischen dem ersten und dem zweiten Testdurchlauf zeigten sich signifikante Unterschiede.

#### **4.1.1.6 Mathematischer Leistungstest I**

Der Test bestand aus jeweils 15 Rechenaufgaben, bei denen jeweils 3 Ziffern durch Addition oder Subtraktion verknüpft werden sollten. Die Lösung der Aufgaben erfolgte unter Zeitdruck. Damit sollte für den Probanden eine Belastungssituation geschaffen werden. Zusätzlich wurde der Proband zu einem Blickwechsel zwischen dem Aufgaben- (innerhalb) und dem Lösungsblatt (außerhalb der Hauptarbeitsfläche) gezwungen. Mit diesem Test sollten verschiedene Beleuch-

tungsstärkeverhältnisse zwischen Allgemein- und Einzelplatzbeleuchtung hinsichtlich ihres Einflusses auf die Arbeitsleistung getestet werden.

Der Leistungstest fand für zwei Arbeitsoberflächen mit den Reflexionsgrad  $\rho_2 = 0,33$  und  $\rho_4 = 0,72$  statt. Die Werte der Beleuchtungsstärke sind im Anhang angegeben (Tabelle 42). Jeder Teil des Leistungstests begann mit zwei fest vorgegebenen Beleuchtungssituationen. Für die dritte Beleuchtungssituation war es dem Probanden möglich, die zusätzliche Einzelplatzbeleuchtung nach seinen Wünschen durch den Versuchsleiter einstellen zu lassen. Um eventuelle Ermüdungserscheinungen oder Lerneffekte in der Auswertung kompensieren zu können, wurde die Reihenfolge der einzelnen Befragungen variiert.

Die Auswertung mit Hilfe des t-Tests zeigte, daß es keine signifikanten Unterschiede zwischen den Beleuchtungssituationen gibt. Das trifft sowohl für die Arbeitsgeschwindigkeit als auch für die Fehlerzahl zu. Deshalb konnte nur das zweite Ziel des Tests, die Wunscheinstellung durch den Probanden, in die weitere Auswertung einbezogen werden. Der Vorteil bestand an dieser Stelle darin, daß die Probanden vor Ihrer Einstellung einer Belastungssituation ausgesetzt waren und auch die Einstellung der Lichtsituation mit dem Ziel einer optimalen Arbeitsleistung erfolgen sollte.

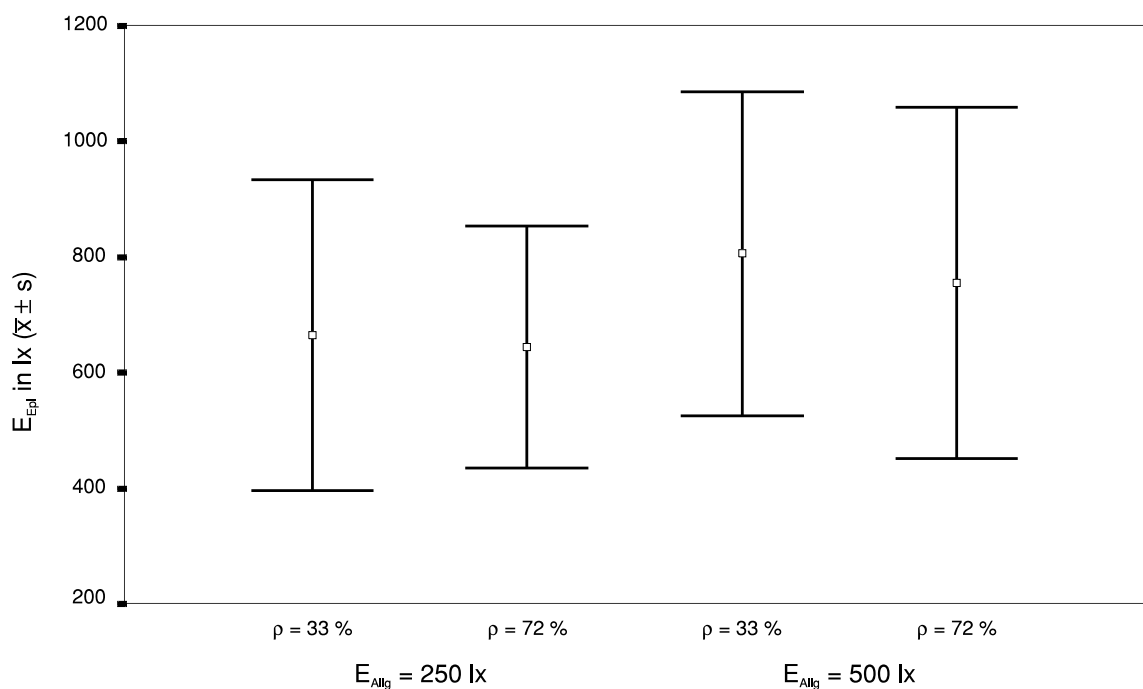


Bild 17: Darstellung des Mittelwertes und der Standardabweichung der ermittelten  $E_{Epl}$  für alle Probanden in Abhängigkeit vom Reflexionsgrad  $\rho$  und der Allgemeinbeleuchtungsstärke  $E_{Allg}$

In Bild 17 ist die durchschnittlich zusätzlich gewählte Einzelplatzbeleuchtungsstärke dargestellt. Über 80 % der Probanden wählten dabei zusätzliche mittlere Einzelplatzbeleuchtungsstärken im Bereich von 500 lx bis 1000 lx unabhängig vom Allgemeinbeleuchtungsniveau. Anhand der in Bild 17 dargestellten Mittelwerte zeigten sich keine Unterschiede bei gleicher Allgemeinbeleuchtung zwischen den zwei Reflexionsgraden der Arbeitsfläche (t-Test). Auch die Mittelwerte zwischen den zwei vorgegebenen Allgemeinbeleuchtungen bei gleichen Reflexionsgraden unterscheiden sich nur um 100 lx bzw. 150 lx. Bemerkenswert dabei ist, daß bei Erhöhung des Allgemeinbeleuchtungsniveaus, von  $E_{\text{Allg}} = 250$  lx auf  $E_{\text{Allg}} = 500$  lx sich die zusätzlich geforderte Beleuchtungsstärke der Einzelplatzleuchte ebenfalls erhöhte. Dadurch steigt die mittlere Gesamtbeleuchtungsstärke der Hauptarbeitsfläche mit der Allgemeinbeleuchtungsstärke.

Die resultierenden mittleren Beleuchtungsstärkeverhältnisse zwischen der Allgemeinbeleuchtung und der zusätzlichen Einzelplatzbeleuchtung betragen für  $E_{\text{Allg}} = 250$  lx unabhängig vom Reflexionsgrad der Arbeitsfläche ca. 2,6. Für  $E_{\text{Allg}} = 500$  lx wurde für beide Reflexionsgrade ein mittleres Beleuchtungsstärkeverhältnis von ca. 1,5 ermittelt. Alle Ergebnisse sind in Tabelle 23 (Spalte L-Test) angegeben.

#### **4.1.1.7 Einstellung der gewünschten Beleuchtungsstärke der Einzelplatzleuchte**

Die Probanden sollten bei vorgegebener Allgemeinbeleuchtung eine zusätzliche Einzelplatzbeleuchtung so einstellen lassen, daß sie die Beleuchtung unter den gestellten Anforderungen (Sehaufgabe mit Blickwechsel zwischen Haupt- und Nebenarbeitsfläche) als angenehm empfanden. Im Gegensatz zu den im vorherigen Kapitel ermittelten Beleuchtungsstärkewerten erfolgte hier die Einstellung der gewünschten Beleuchtungsstärken unter dem Blickwinkel »Annehmlichkeit«.

Als Sehaufgaben dienten ein weißes Blatt Papier der Größe A4 (bedruckt) und verschiedene kleine Objekte auf dem Arbeitstisch. Die Einstellung wurde für fünf Reflexionsgrade der Arbeitsoberfläche ( $\rho_1 = 16$  %,  $\rho_2 = 33$  %,  $\rho_3 = 49$  %,  $\rho_4 = 72$  %,  $\rho_5 = 90$  %) durchgeführt. Die Einstellungen für die Allgemeinbeleuchtung sind dem Anhang zu entnehmen (Tabelle 40).

Die Mittelwerte und Standardabweichungen der Untersuchungsergebnisse sind in Tabelle 23 aufgeführt. Zusätzlich ist das sich daraus ergebene Beleuchtungsstärkeverhältnis  $V$  angegeben. Zum Vergleich werden die Ergebnisse der Einstellungen beim mathematischen Leistungstest (Kapitel 4.1.1.6) genannt. Es besteht eine gute Übereinstimmung der Ergebnisse der zwei Untersuchungen.

Es besteht keine Abhängigkeit der gewünschten Beleuchtungsstärkewerte vom Reflexionsgrad der Arbeitsfläche. Dies ist in Bild 18 dargestellt. Dort ist neben den gewünschten Beleuchtungsstärkeverhältnissen das nach [DIN5035/8] zulässige Verhältnis angegeben. In der DIN ist die zulässige Einzelplatzbeleuchtungsstärke vom Reflexionsgrad abhängig. In Bild 18 ist ebenfalls zu

erkennen, daß das gewünschte Verhältnis bei den Reflexionsgraden 33 % und 72 % über dem Verhältnis der anderen drei Reflexionsgrade liegt. Zwischen diesen beiden Gruppen ist ein signifikanter Unterschied nachweisbar (t-Test). Dieser Unterschied kann mit der Reihenfolge im Versuchsablauf erklärt werden. Einen erheblichen Einfluß auf die Wunscheinstellung des Probanden hat die Beleuchtungsstärke, die im vorherigen Versuchsabschnitt eingestellt war. Die Probanden haben sich an die vor der Befragung herrschenden hohen bzw. niedrigen Beleuchtungsniveaus gewöhnt und sich von diesen beeinflussen lassen. Der in Bild 18 dargestellte Verlauf des Verhältnisses hat für alle vier vorgegebenen Allgemeinbeleuchtungsstärken die gleiche Charakteristik. Durch Variation des Ablaufs hätte dieser Fehler vermieden werden können.

Zwischen Frauen und Männern gab es bei den Bewertungen keine signifikanten Unterschiede. Jedoch wählten die älteren Probanden während des Versuches signifikant höhere Beleuchtungsstärken als die jüngeren Probanden (t-Test). Der Einfluß des Wetters brachte ebenfalls bemerkenswerte Unterschiede bei den Bewertungen mit sich. Probanden, die aus einem sehr hohen Beleuchtungsniveau (Sonnenschein) zur Untersuchung kamen, wählten während des Versuches wesentlich höhere Beleuchtungsstärken als die anderen Probanden. Dieser Einfluß war trotz ausreichender Adaptationszeit nachweisbar. All diese Einflüsse führten zu den relativ hohen Standardabweichungen der in Tabelle 23 angegebenen Werte.

$E_{Allg}$	$\rho$	16 %	33 %	33 % (L-Test)	49 %	72 %	72 % (L-Test)	90 %
250 lx	$E_{Epl}$	552 lx	750 lx	665 lx	528 lx	766 lx	644 lx	587 lx
	s	247 lx	339 lx	268 lx	254 lx	355 lx	209 lx	272 lx
	V	1 : 2,2	1 : 3	1 : 2,7	1 : 2,2	1 : 3,1	1 : 2,6	1 : 2,3
500 lx	$E_{Epl}$	538 lx	756 lx	806 lx	540 lx	779 lx	756 lx	570 lx
	s	306 lx	401 lx	280 lx	292 lx	363 lx	304 lx	336 lx
	V	1 : 1,1	1 : 1,5	1 : 1,6	1 : 1,1	1 : 1,6	1 : 1,5	1 : 1,1
750 lx	$E_{Epl}$	495 lx	699 lx		521 lx	713 lx		517 lx
	s	327 lx	382 lx		341 lx	387 lx		329 lx
	V	1,4 : 1	1,1 : 1		1,4 : 1	1,1 : 1		1,4 : 1
1000 lx	$E_{Epl}$	467 lx	668 lx		486 lx	670 lx		468 lx
	s	344 lx	413 lx		380 lx	425 lx		384 lx
	V	2,2 : 1	1,4 : 1		2 : 1	1,4 : 1		2,2 : 1

Tabelle 23: Mittelwert und Standardabweichung der ermittelten  $E_{Epl}$  bei unterschiedlichen  $E_{Allg}$  und  $\rho$  der Arbeitsflächen. Zum Vergleich sind die Ergebnisse des mathematischen Leistungstests (L-Test) angegeben.



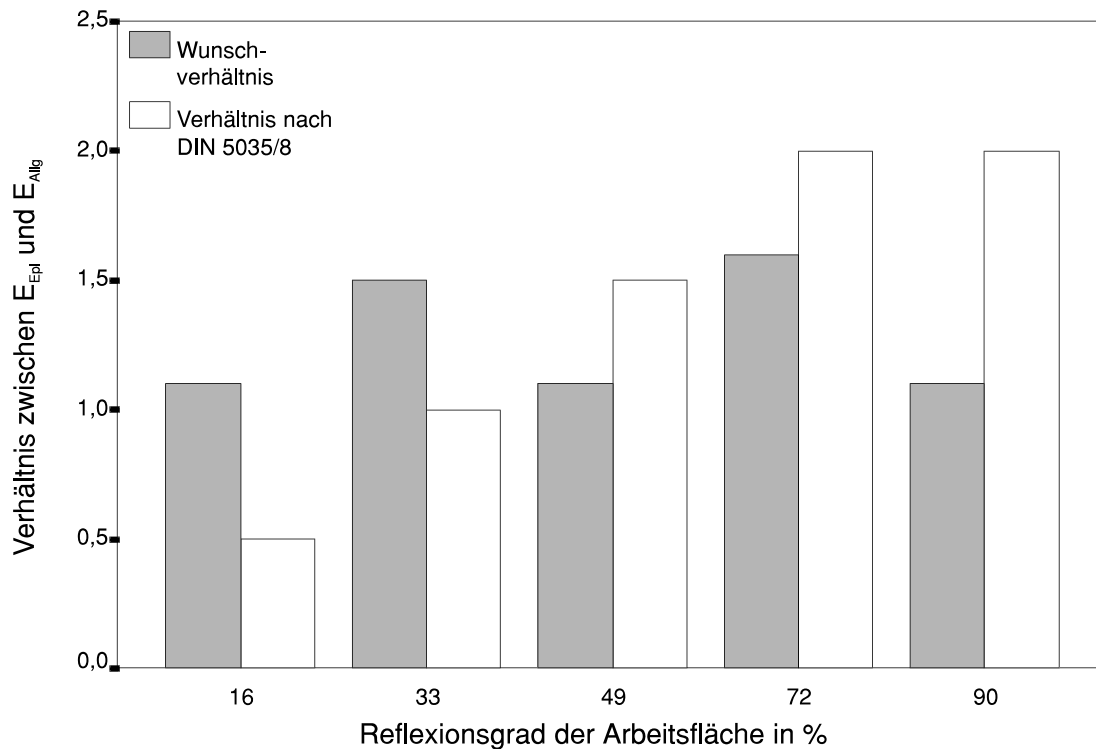


Bild 18: Gewünschtes Beleuchtungsstärkeverhältnis für  $E_{Allg} = 500 \text{ lx}$  in Abhängigkeit vom Reflexionsgrad der Arbeitsfläche, im Vergleich dazu das nach [DIN5035/8] zulässige Verhältnis

#### 4.1.1.8 Mathematischer Leistungstest II

Unter anderen Bedingungen wurde der Mathematische Leistungstest ein zweites Mal durchgeführt. Die Bedingungen sind im Anhang (Tabelle 43) enthalten. Auch hier erfolgte der Blickwechsel zwischen Aufgaben- und Ergebnisblatt. Die Größe der beleuchteten Fläche betrug A4 und Greifraum-Größe. Bei einer Größe von A4 befand sich das Aufgabenblatt außerhalb der beleuchteten Fläche. Die Auswertung erfolgt in diesem Kapitel unter dem Gesichtspunkt der Beleuchtungsstärke. In Kapitel 4.2.1.3 werden die Ergebnisse dieses Leistungstests noch einmal aufgegriffen. (Anmerkung: Keine Versuchsperson absolvierte den Test bei einem Versuchsdurchlauf zweimal.)

In Bild 19 sind die mittleren Rechenzeiten und die jeweilige Standardabweichung dargestellt. Außerdem ist bei vorhandener Einzelplatzleuchte die Größe der beleuchteten Fläche angegeben. Wenn man davon ausgeht, daß eine beleuchtete Fläche von A4 zu klein ist (Näheres in Kapitel 4.2), erscheint nur die Auswertung der »Greifraum«-Beleuchtung sinnvoll. Das beste Ergebnis ist bei einer Beleuchtung von  $E_{Allg} = 250 \text{ lx}$  und  $E_{Epl} = 500 \text{ lx}$  zu verzeichnen. Fast ebenso gute Testergebnisse finden sich bei  $E_{Epl} = 750 \text{ lx}$  (kein signifikanter Unterschied). Eine reine Allgemeinbeleuchtung von  $750 \text{ lx}$  bringt dagegen signifikant schlechtere Ergebnisse. Die Konzentration auf einen beschränkten (aber doch ausreichend großen) Bereich scheint sich positiv auszuwirken. Das Ergebnis dieses Kurzzeitversuches läßt sich jedoch nicht ohne weiteres verallgemeinern.

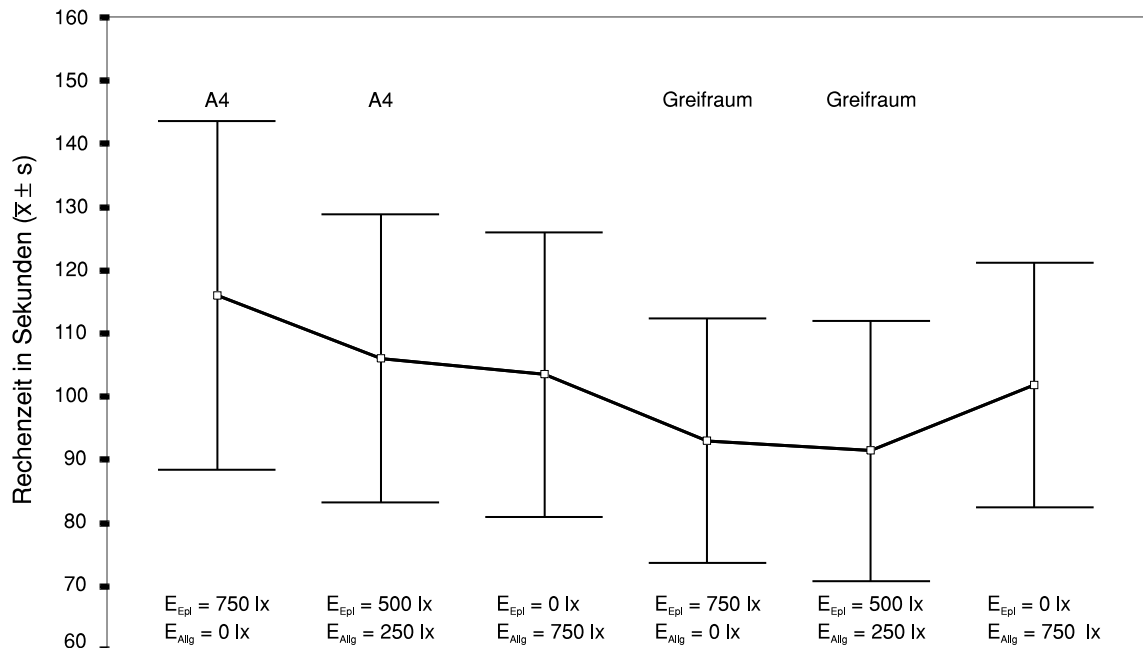


Bild 19: Mittelwerte und Standardabweichung der Rechenzeiten der einzelnen Tests

## 4.1.2 Untersuchung an Versuchsplätzen

### 4.1.2.1 Bewertung der Leuchten (Fragebogen 5a)

Mit dem Fragebogen 5a wurden 9 Leuchten beurteilt (Tabelle 44, Anhang), deren Einstellung vom Versuchsleiter vorgegeben wurde. Dabei befand sich die Leuchte in der linken Schreibtischcke. Die Einstellung war auf maximale Helligkeit und Gleichmäßigkeit in der Schreibtischmitte und auf Blendfreiheit ausgerichtet. Nicht bei allen Leuchten war das optimal möglich. Bewertet wurden die Einzelplatzleuchten bei eingeschalteter Allgemeinbeleuchtung (275 lx).

An dieser Stelle sollen die Antworten auf die Frage nach der vorhandenen Helligkeit ausgewertet werden. Interessant ist eine Gegenüberstellung des mittleren Urteils und der dazugehörigen Beleuchtungsstärken. Die Regressionsgerade in Bild 20 beschreibt diesen Zusammenhang. Die Wertung »genau richtig« liegt bei einer Gesamtbeleuchtungsstärke von 1200 lx. Die Allgemeinbeleuchtung betrug davon 275 lx. Als eindeutig »zu hell« oder »zu dunkel« wurde keine der Leuchten eingeschätzt.

Aus Bild 20 läßt sich entnehmen, daß die vorhandene mittlere Beleuchtungsstärke auf dem Arbeitsplatz und die Helligkeitsbewertung der Probanden gut korrelieren ( $r = 0,91$ ). Um eine Scheinkorrelation auszuschließen, wurde die Berechnung noch einmal ohne die Leuchte 7 durchgeführt. Dabei ergibt sich ein Korrelationskoeffizient von  $r = 0,72$ .

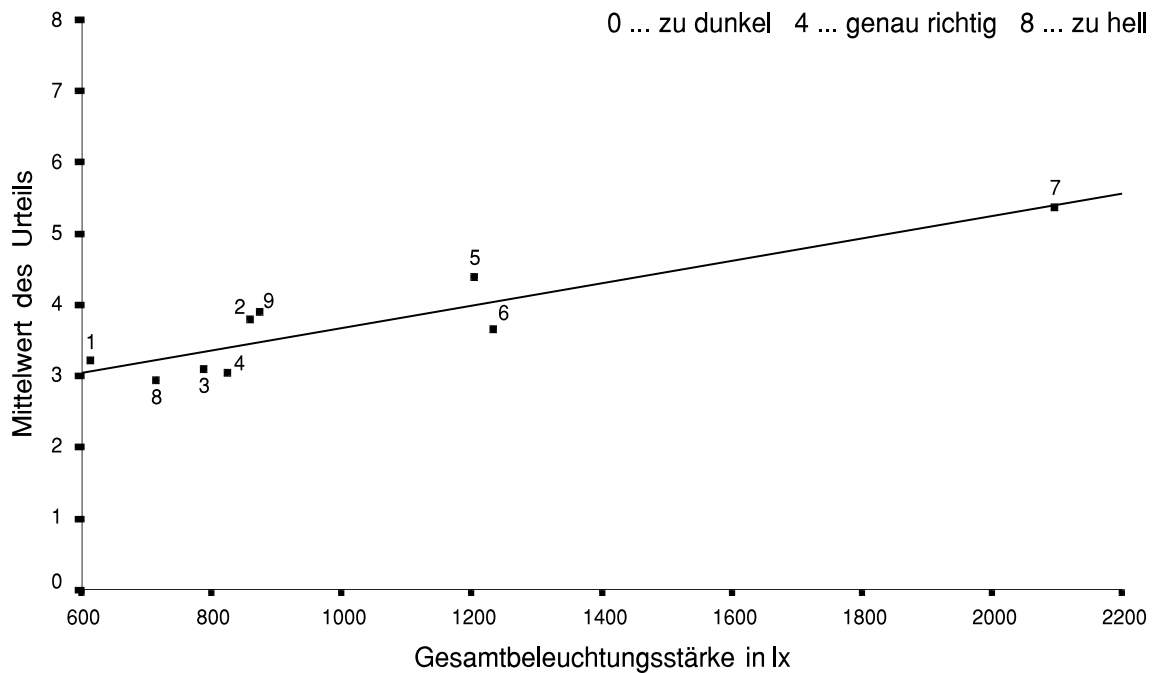


Bild 20: Korrelation zwischen vorhandener mittlerer Beleuchtungsstärke und Helligkeitsbewertung bei vorgegebenem Leuchtenort (Standardabweichung der 9 Mittelwerte:  $s = 0,65 \dots 0,97$ )

#### 4.1.2.2 Eigene Einstellung der Leuchten (Fragebogen 5b)

Nach der Bewertung der vorgegebenen Leuchten (wie in Kapitel 4.1.2.1. beschrieben) konnten sich die Versuchspersonen die Einzelplatzleuchten nach den eigenen Wünschen einstellen. Danach wurde mit Fragebogen 5b die neue Einstellung bewertet. Meßwerte und Urteile zeigten, daß immer versucht wurde, die Beleuchtungsstärke auf der Arbeitsfläche noch weiter zu erhöhen und dabei Blendung weitgehend zu vermeiden. Größe und Gleichmäßigkeit der ausgeleuchteten Fläche, Handlungs- und Sichtbehinderung sowie Schattenfreiheit im Arbeitsbereich spielten dagegen eine geringere Rolle.

Leuchte	Helligkeit Median und Quartilabstand der Antworten	$E_{Ges\ m}$ in lx vorher	$E_{Ges\ m}$ in lx nachher	Blendung Median und Quartilabstand der Antworten
1	4 (-1, +1)	614	554	4 (-0, +0)
2	5 (-1, +1)	859	906	4 (-0, +0)
3	5 (-1, +0)	734	722	4 (-0, +0)
4	5 (-1, +1)	824	894	4 (-0, +0)

Leuchte	Helligkeit Median und Quartilabstand der Antworten	$E_{\text{Ges m}}$ in lx vorher	$E_{\text{Ges m}}$ in lx nachher	Blendung Median und Quartilabstand der Antworten
5	4,5 (-0,5, +0,75)	1203	1243	4 (-0, +0)
6	5 (-0, +2)	1234	1285	4 (-0, +1)
7	4 (-0, +1,75)	2097	1876	4 (-0, +0)
8	5 (-1, +1)	715	752	5 (-1, +1)
9	5 (-1, +1)	874	997	5 (-1, +1)

Tabelle 24: Ergebnisse (Median und Quartilabstand) zur Helligkeit und Blendung nach Fragebogen 5b (0 ... schlechter, 4 ... gleich geblieben, 8 ... besser)

In Tabelle 24 ist der Median (in Klammern Quartilabstand) der Urteile zur Helligkeits- und Blendungsänderung angegeben. Weiterhin ist der Mittelwert der Gesamtbeleuchtungsstärke vor und nach der eigenen Einstellung aufgeführt. Für alle Leuchten wird eine geringe Verbesserung der Helligkeit angegeben, obwohl das die Mittelwerte der Beleuchtungsstärken nicht immer zeigen. Für zwei Leuchten wurde eine Verringerung der Blendung angegeben.

#### 4.1.3 Feldversuche (Fragebogen 6)

An den Arbeitsplätzen der Feldversuche herrschten die unterschiedlichsten Beleuchtungsstärken. Die Bilder 21 und 22 geben darüber Auskunft. In Bild 23 sind 4 mittlere Urteile über der vorhandenen Allgemeinbeleuchtungsstärke dargestellt. Die Änderungen der Urteile mit der Beleuchtungsstärke ist signifikant (Irrtumswahrscheinlichkeit 5 %). Die Urteile bewegen sich bei allen Beleuchtungsstärken im positiven Bereich (Wertungen im Bereich 3,5 bis 7 der Gegensatzskala). Ab 400 lx ist keine wesentliche Verbesserung der Urteile mehr ersichtlich. Der Anstieg der drei Urteile in Bild 24 ist nicht signifikant (Irrtumswahrscheinlichkeit 17 %), zeigt aber eine grundsätzliche Tendenz auf. Im Bereich von 600 lx bis 800 lx ist ein Maximum der Helligkeitsbewertung sichtbar. Die Zufriedenheit steigt mit der Beleuchtungsstärke.

Ein günstiges Beleuchtungsstärkeverhältnis ist aus Bild 25 nicht abzuleiten. Erkennbar ist jedoch eine steigende Zufriedenheit bei größeren Beleuchtungsstärkeverhältnissen. Ursache dafür könnte auch ein Anstieg der Allgemeinbeleuchtung sein, was ebenfalls zu einer wachsenden Zufriedenheit führt. Die gleiche Tendenz ist in Bild 26 zu verzeichnen. Ein Anstieg des Beleuchtungsstärkeverhältnisses bewirkt auch eine Verbesserung der Urteile. Das Urteil »Zufriedenheit« bewegt sich für ein Verhältnis von kleiner als 0,3 im negativen Bereich der Bewertungsskala, danach erfolgt ein leichter Anstieg im positivem Bereich. Der Anstieg der

Bewertung bis zu einem Verhältnis von 0,6 ist signifikant. Von diesem Ergebnis ausgehend, kann man annehmen, daß ein Beleuchtungsstärkeverhältnis von 1 : 3 günstig ist.

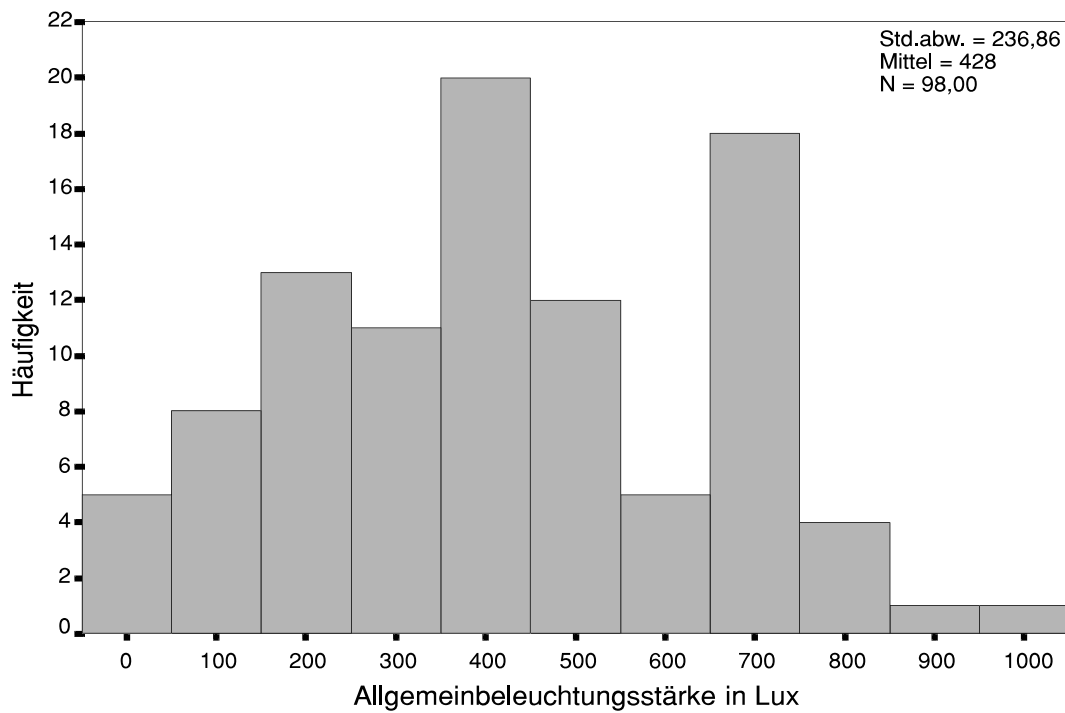


Bild 21: Häufigkeiten der vorgefundenen Allgemeinbeleuchtungsstärken

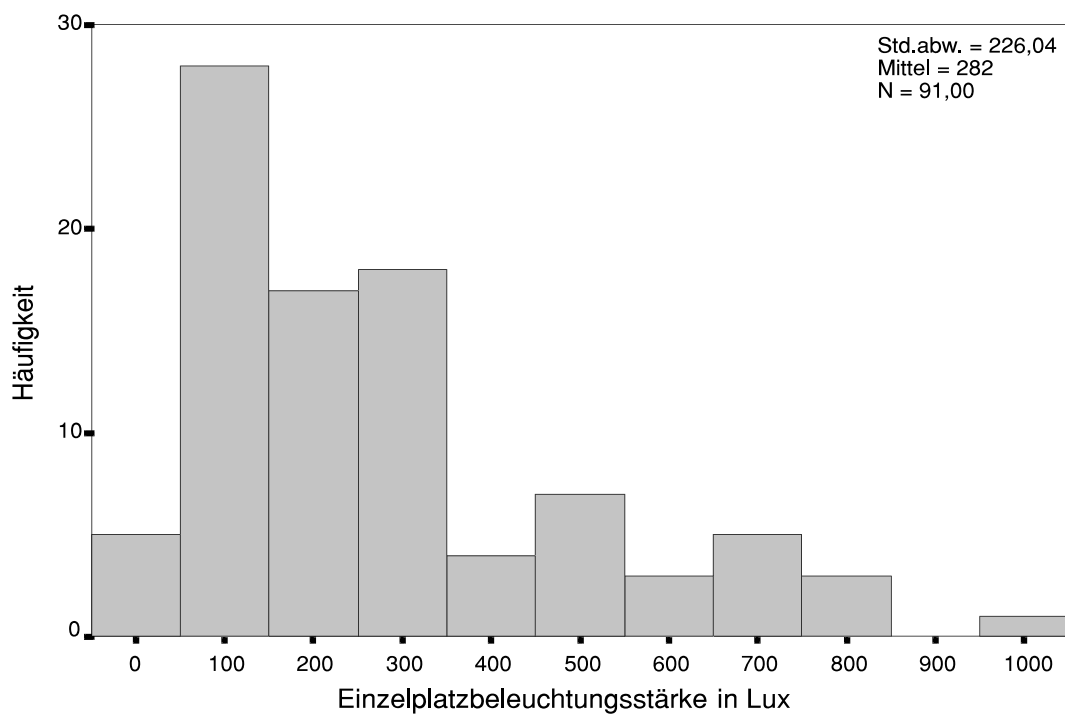


Bild 22: Häufigkeiten der vorgefundenen Einzelplatzbeleuchtungsstärken

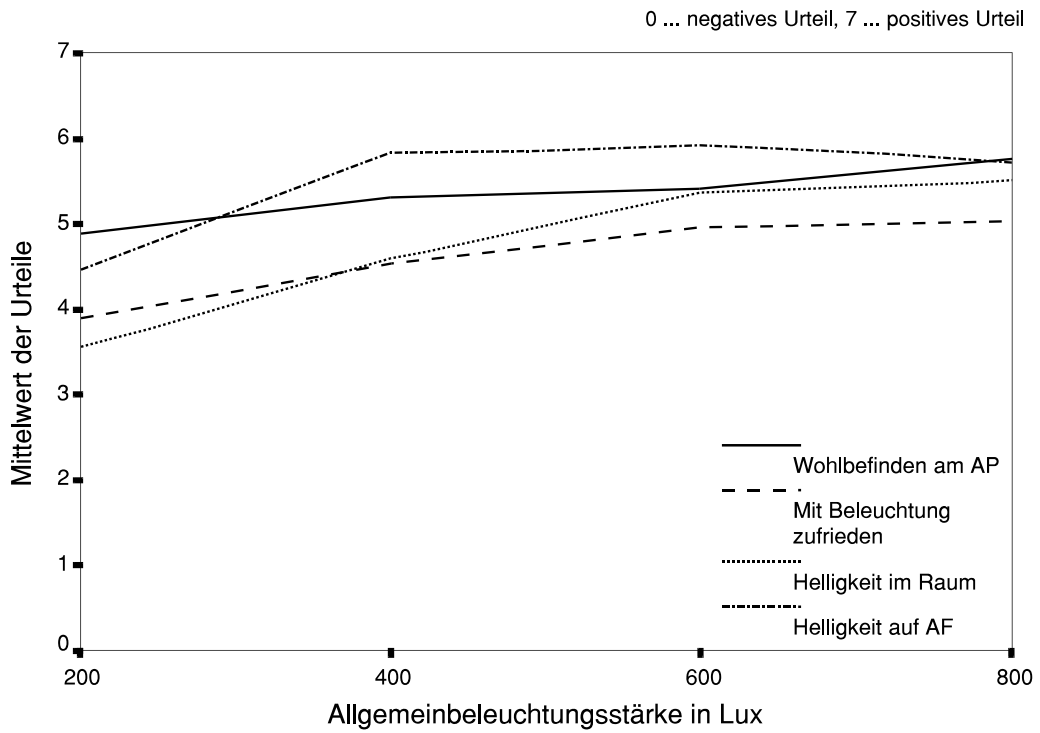


Bild 23: Verschiedene Urteile in Abhängigkeit von der Allgemeinbeleuchtungsstärke

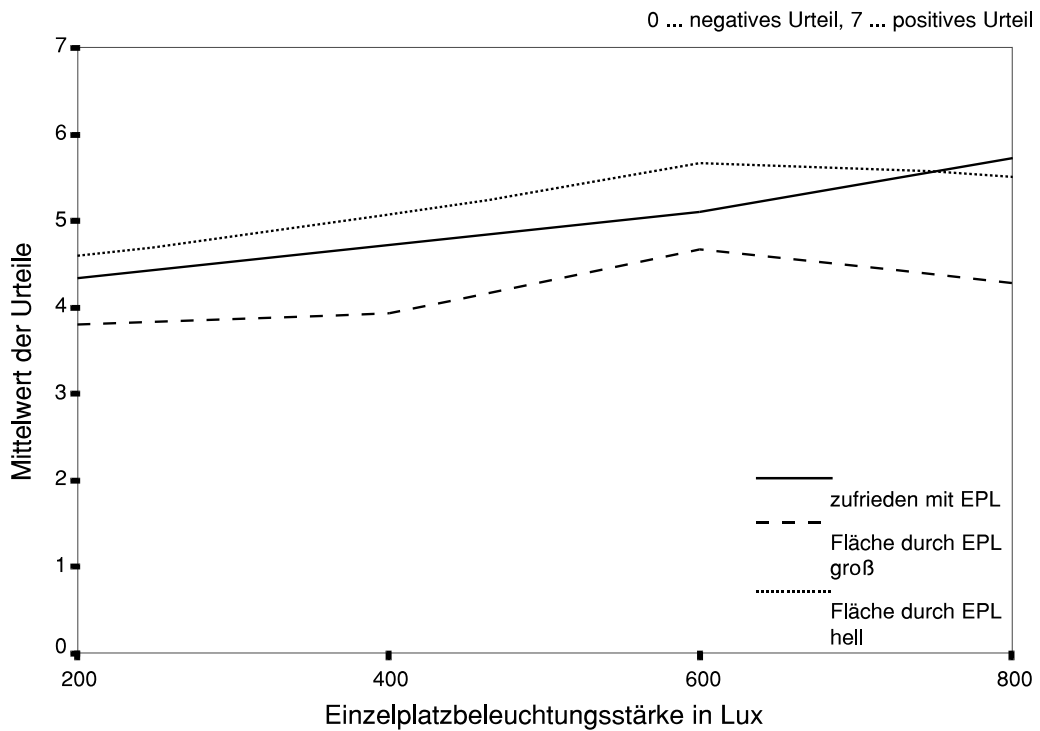


Bild 24: Verschiedene Urteile in Abhängigkeit von der Einzelplatzbeleuchtungsstärke (kein signifikanter Anstieg)

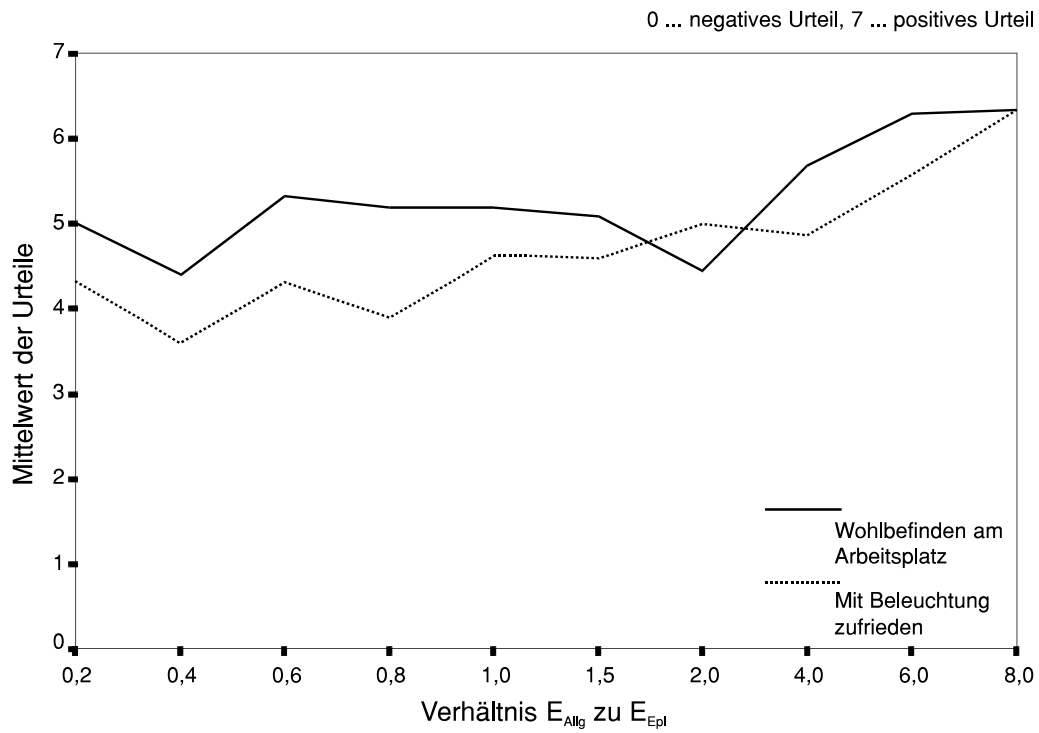


Bild 25: Mittelwert der Urteile in Abhängigkeit vom Beleuchtungsstärkeverhältnis

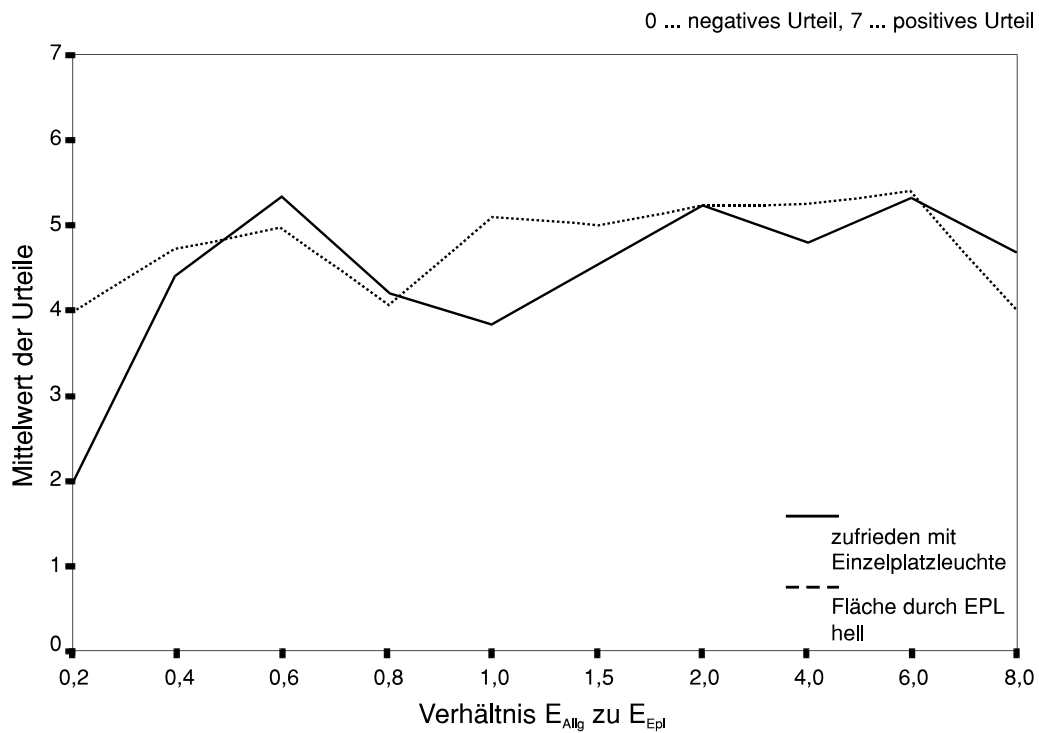


Bild 26: Mittelwert der Urteile in Abhängigkeit vom Beleuchtungsstärkeverhältnis

#### 4.1.4 Zusammenfassung der Ergebnisse zum Beleuchtungsniveau

Laborversuch		
Vergleich von Allgemeinbeleuchtungsstärken (Fragebogen 2)	Bei $E_{\text{Allg}} = 200 \text{ lx}$ fordern 100 % der Versuchspersonen eine zusätzliche Einzelplatzleuchte, bei $E_{\text{Allg}} = 500 \text{ lx}$ noch 90 %. Die gewünschten Beleuchtungsstärke streuen individuell sehr stark.	Kapitel 4.1.1.1
Bewertung von Beleuchtungsstärken (Fragebogen 4)	$E_{\text{Allg}} \geq 250 \text{ lx}$	4.1.1.2
Bewertung des Beleuchtungsstärkeverhältnisses (Fragebogen 4)	Bis 1:5, vorausgesetzt $E_{\text{Allg}} \geq 250 \text{ lx}$ .	4.1.1.3
Vergleich verschiedener Lichtsituationen (Fragebogen 2)	Die Kombinierte Beleuchtung wird bei gleicher Beleuchtungsstärke auf der Arbeitsfläche insgesamt schlechter bewertet als die reine Allgemeinbeleuchtung. Die Einzelplatzbeleuchtung ohne Allgemeinbeleuchtung wird am schlechtesten bewertet	4.1.1.4
Konzentrations-Verlaufs-Test (KVT)	Gleiche Leistung bei $E_{\text{Allg}} = 500 \text{ lx}, E_{\text{Epl}} = 0$ und $E_{\text{Allg}} = 250 \text{ lx}, E_{\text{Epl}} = 250 \text{ lx}$	4.1.1.5
Mathematischer Leistungstest I	$V = 1 : 1,5$ bis $1 : 1,27$ je nach vorgegebener $E_{\text{Allg}}$ , unabhängig von $\rho$ $E_{\text{Epl}} = 650 \dots 800 \text{ lx}$ , unabhängig von $\rho$	4.1.1.6
Einstellung der gewünschten Beleuchtungsstärke der Einzelplatzleuchte	$V = 2,2 : 1$ bis $1 : 3,1$ je nach vorgegebener $E_{\text{Allg}}$ , unabhängig von $\rho$ $E_{\text{Epl}} = 500 \dots 750 \text{ lx}$ , unabhängig von $\rho$	4.1.1.7
Mathematischer Leistungstest II	Bei ausreichend groß beleuchteter Fläche, bringt die Einzelplatzbeleuchtung eine Erhöhung der Leistung (Konzentration).	4.1.1.8
Untersuchung an Versuchsplätzen		
Bewertung der Leuchten (Fragebogen 5a)	$E_{\text{Ges}} = 1200 \text{ lx}$	4.1.2.1
Eigene Einstellung der Leuchten (Fragebogen 5b)	Die Beleuchtungsstärke spielt bei individueller Positionierung der Einzelplatzleuchte eine große Rolle.	4.1.2.2
Feldversuch		
Beurteilung der Lichtsituation (Fragebogen 6)	$E_{\text{Allg}} \geq 400 \text{ lx}$ $E_{\text{Epl}} \geq 600 \text{ lx}$ $V = 1 : 3$	4.1.3

Tabelle 25: Ergebnisse zum Beleuchtungsniveau



## 4.2 Größe der beleuchteten Fläche

### 4.2.1 Laboruntersuchung

Bei diesem Untersuchungsabschnitt soll die Größe der Hauptarbeitsfläche und die sich daraus ergebende notwendige Größe der beleuchteten Fläche ermittelt werden. Dies erfolgte unter Vorgabe verschiedener Parameter. Dazu gehören das Allgemeinbeleuchtungsniveau und das Beleuchtungsstärkeverhältnis. Ein weiterer Parameter ist die Form des Überganges zwischen der beleuchteten Hauptarbeitsfläche und der Nebenarbeitsfläche. Dieser kann allmählich (weich) oder abrupt (hart) erfolgen. Die Größe der beleuchteten Fläche wurde zur einfacheren Auswertung auf drei Maße begrenzt: A4, 60 cm × 60 cm und Greifraum. Der Begriff *Greifraum* wurde aus der Ergonomie entnommen. Er schließt den Raum ein, den der ausgestreckte Arm einer Person überstreichen kann [Lange78].

#### 4.2.1.1 Nutzung der Arbeitsfläche während der Arbeit am Schreibtisch und Erfahrungen mit Einzelplatzleuchten (Fragebogen 1)

Um langjährige Erfahrungen der Personen an ihren täglich genutzten Arbeitsplatz zu erfassen, wurde der Fragebogen 1 entwickelt (Anhang). Damit wurde ermittelt, daß 84 % der Probanden oft Schreibarbeiten erledigen und 63 % oft am Bildschirmgerät arbeiten. An der Schreibmaschine wird erwartungsgemäß kaum noch gearbeitet.

Die Größe des von den Probanden hauptsächlich genutzten Arbeitsbereiches an deren täglichen Arbeitsplätzen beträgt zwischen 30 cm × 40 cm und 100 cm × 60 cm. Die verschiedenen Größen des hauptsächlich genutzten Arbeitsbereiches und die jeweilige Häufigkeit sind Tabelle 26 zu entnehmen.

Breite × Tiefe in cm <sup>2</sup>	Häufigkeit in %
30 × 40	3,0
60 × 60	31,5
80 × 60	31,5
100 × 60	34,0

Tabelle 26: Größen und Häufigkeiten der hauptsächlich genutzten Arbeitsbereiche der Probanden

50 % der befragten Personen benutzen zur Beleuchtung ihres Arbeitsplatzes eine zusätzliche Einzelplatzleuchte. Diese Probanden gaben weiterhin an, welche Fläche die Einzelplatzleuchte auf ihrem Arbeitsplatz ausleuchtet. Die Größen der Flächen sind in Tabelle 27 dargestellt. Angegeben ist außerdem, ob die Größe der ausgeleuchteten Fläche als zu klein oder als optimal eingeschätzt wird.

beleuchtete Fläche	zu klein %	optimal %
A4	10	0
A3	30	5
60 cm × 60 cm	10	40
größer	0	5

Tabelle 27: Häufigkeiten der Probanden, die ihre durch eine Einzelplatzleuchte beleuchtete Arbeitsfläche zu klein oder optimal einschätzten [Lange94]

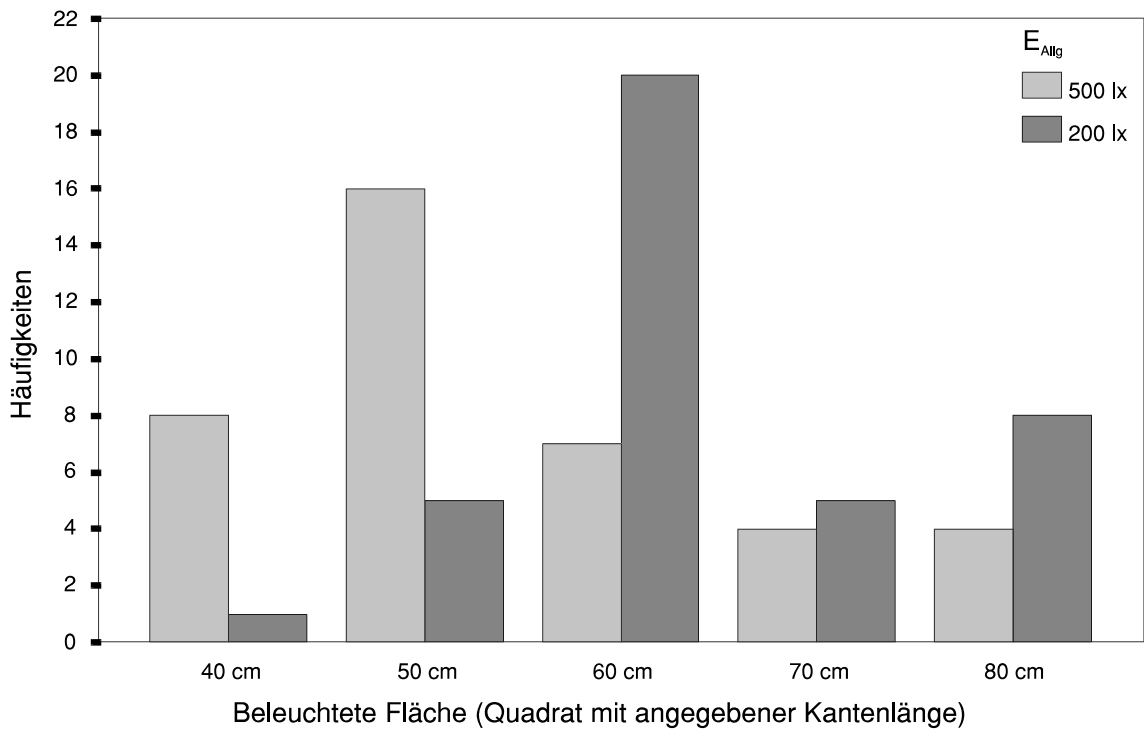


Bild 27: Gewünschte Größen der durch die zusätzliche Einzelplatzbeleuchtung ausgeleuchteten Fläche bei  $E_{Allg} = 200 \text{ lx}$  und  $E_{Allg} = 500 \text{ lx}$

#### 4.2.1.2 Gewünschte Größe der beleuchteten Fläche (Fragebogen 3)

Im Fragebogen 3 (Anhang) wurden nach der Bewertung von zwei Allgemeinbeleuchtungsstärken (200 lx und 500 lx) die Wünsche nach einer zusätzlichen Einzelplatzleuchte erfaßt. Die Ergebnisse zur Beleuchtungsstärke wurden bereits in Kapitel 4.1.1 erläutert. Die ermittelten Flächen, die beleuchtet werden sollen, sind Bild 27 zu entnehmen. Der Verlauf ist für beide Allgemeinbeleuchtungsstärken etwa gleich. Bei der geringeren Allgemeinbeleuchtungsstärke von 200 lx rückt das Maximum der Verteilung etwas in Richtung größere Fläche. Es kann geschlossen werden, daß Flächen der Größe 60 cm × 60 cm favorisiert werden, was für fast alle Anwendungsfälle ausreichend scheint

#### 4.2.1.3 Mathematischer Leistungstest II

Dieser Test (Kapitel 4.2.3 und Anhang, Tabelle 43) erfolgte wiederum mit Blickwechsel zwischen Aufgaben- und Ergebnisblatt, da dabei die Größe der von einer Einzelplatzleuchte ausgeleuchteten Arbeitsfläche eine besonders große Rolle spielt. Das ist speziell dann der Fall, wenn das Niveau der Allgemeinbeleuchtung sehr niedrig ist.

Mit Hilfe dieses Tests konnte bestimmt werden, welche Lichtsituationen solche Arbeiten erleichtern können. Dieser Test wurde unter 6 verschiedenen Lichtsituationen durchgeführt (Anhang, Tabelle 43). Es wurde eine Fläche von der Größe A4 bzw. der Greifraum beleuchtet. Die mittlere Beleuchtungsstärke auf der Hauptarbeitsfläche blieb konstant. Nur das Verhältnis zwischen der Allgemeinbeleuchtung und der Einzelplatzbeleuchtung variierte. Die Einzelplatzleuchte erzeugte immer einen weichen Übergang zwischen der Hauptarbeitsfläche und deren Umfeld. Bei einer beleuchteten Fläche von A4 befand sich das Aufgabenblatt außerhalb dieser Fläche.

Ziel dieses Tests war die Bestimmung von Zeit- und Fehlerunterschieden zwischen den Situationen, um daraus Rückschlüsse über eine günstigste Größe der durch die Einzelplatzleuchte ausgeleuchteten Fläche zu ziehen. Der Test bestand aus jeweils 15 Rechenaufgaben, bei denen jeweils 3 Ziffern durch Addition oder Subtraktion verknüpft werden sollten. Die Lösung der Aufgaben erfolgte unter Zeitdruck. Damit sollte eine Belastungssituation geschaffen werden.

Die aufgetretenen Fehler können für eine Auswertung nicht herangezogen werden, da die Verteilung und die Anzahl der Fehler in allen Teiltests nahezu gleich war. Die Zeiten zur Abarbeitung der Tests unterscheiden sich jedoch signifikant voneinander. In Bild 19 (Kapitel 4.1.1.8) ist zu erkennen, daß das beste Resultat bei einer Allgemeinbeleuchtungsstärke von  $E_{\text{Allg}} = 250 \text{ lx}$  in Kombination mit einer Einzelplatzbeleuchtungsstärke  $E_{\text{Epl}} = 500 \text{ lx}$  erzielt wird, wenn die ausgeleuchtete Fläche die Größe des Greifraumes hat. Die Beleuchtung des Greifraumes bringt signifikant bessere Ergebnisse als die der Fläche A4, der ständige Blickwechsel zwischen beleuch-

teter Fläche und Umfeld erwies sich also als ungünstig. Bei der Festlegung der Mindestgröße muß demzufolge beachtet werden, daß Flächen zwischen denen oft Blickwechsel stattfinden, mit durch die Einzelplatzleuchte zu beleuchten sind.

#### 4.2.1.4 Bewertung der Größe der beleuchteten Fläche (Fragebogen 4)

Mit Hilfe des Fragebogens 4 wurden die Größe der beleuchteten Arbeitsfläche und verschiedene Übergänge (hart, weich) zwischen Haupt- und Nebenarbeitsfläche bewertet. Als Parameter gehen hier die Beleuchtungsstärke und das Beleuchtungsstärkeverhältnis ein. Eine Parameterzusammenstellung ist in Tabelle 39 im Anhang enthalten. Insgesamt wurden 32 Lichtsituationen bewertet. Erwartungsgemäß spielt die Größe der ausgeleuchteten Fläche nur dann eine Rolle, wenn die Allgemeinbeleuchtung gegenüber der Einzelplatzbeleuchtung sehr gering ist. Dann ergibt sich notwendigerweise der Wunsch, die gesamte Schreibtischfläche durch die Einzelplatzleuchte auszuleuchten. Falls bei der Allgemeinbeleuchtung ein Mindestwert von 250 lx eingehalten wird, genügt die Beleuchtung einer Fläche von 60 cm × 60 cm, um positive Urteile (Wertung  $\geq 3,5$ ) zu erhalten (Bilder 28 und 29).

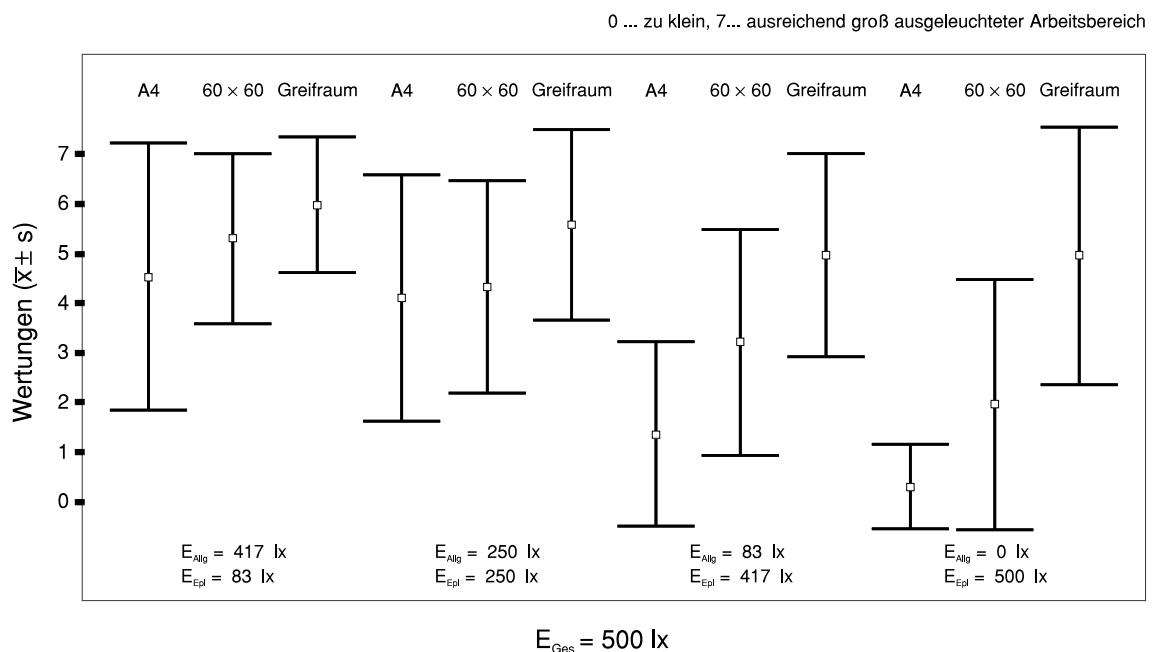
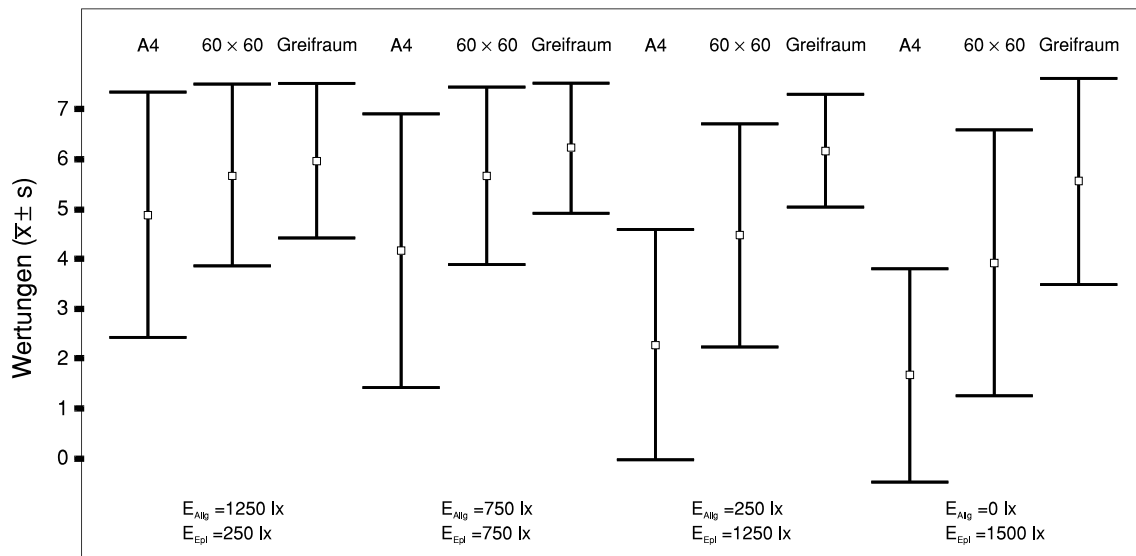


Bild 28: Bewertung der Größe der beleuchteten Fläche für  $E_{Ges} = 500 \text{ lx}$

0 ... zu klein, 7... ausreichend groß ausgeleuchteter Arbeitsbereich



$E_{Ges} = 1500 \text{ lx}$

Bild 29: Bewertung der Größe der beleuchteten Fläche für  $E_{Ges} = 1500 \text{ lx}$

0 ... unangenehmer, 7 ... angenehmer Übergang zwischen Arbeitsbereich und Umfeld

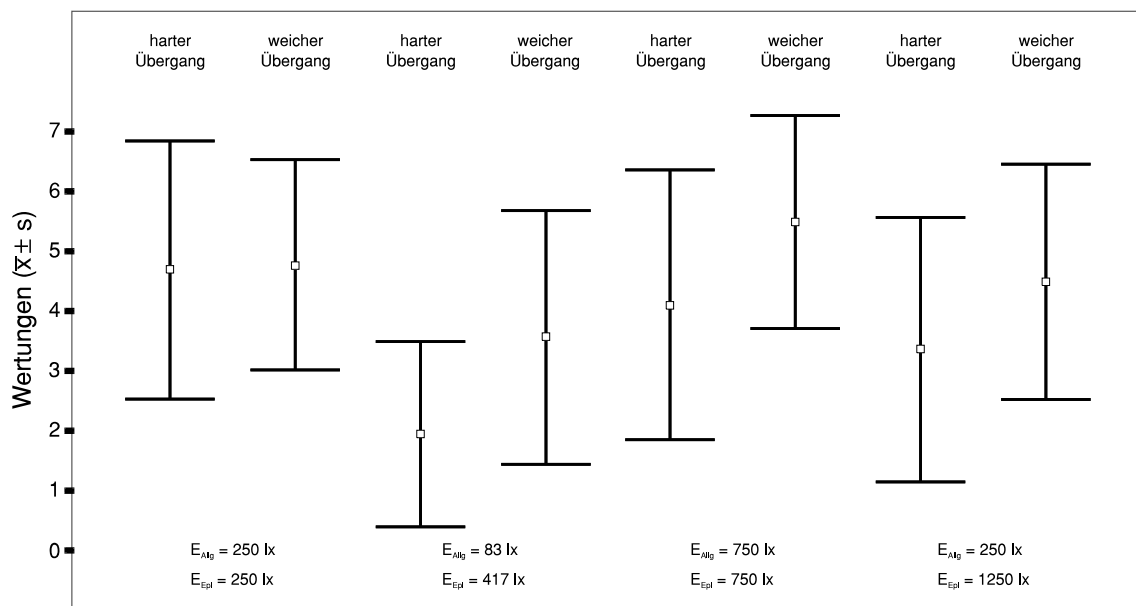


Bild 30: Bewertung des Überganges zwischen dem durch die Einzelplatzleuchte ausgeleuchteten Bereich und dessen Umfeld

#### 4.2.1.5 Bewertung des Überganges (Fragebogen 4)

In Fragebogen 4 wurde der Übergang zwischen dem durch die Einzelplatzleuchte ausgeleuchteten Bereich und dessen Umfeld bewertet. Der hier als »hart« bezeichnete Übergang war als scharfe Kante zwischen hellem und dunklen Bereich für die Versuchsperson deutlich sichtbar.

Bild 30 gibt die Mittelwerte und Standardabweichungen bei Beurteilung des Überganges an. Der harte Übergang wird nur dann als unangenehm bewertet, wenn die Allgemeinbeleuchtung mindestens 250 lx beträgt. Das deckt sich mit der bereits in vorherigen Kapiteln festgelegte Forderung von  $E_{\text{Allg}} \geq 250 \text{ lx}$ . Bei Vorhandensein einer ausreichend großen Allgemeinbeleuchtungsstärke wird selbst die extreme Situation einer deutlich sichtbaren Leuchtdichteänderung nicht als unangenehm bewertet. Bei derzeit auf dem Markt befindlichen Leuchten kommt dieser scharfe Übergang zwischen beleuchteter Fläche und Umfeld nicht vor. Es ist deshalb nicht nötig, einen den Übergang kennzeichnendes Gütemerkmal vorzusehen

## 4.2.2 Untersuchung an Versuchsplätzen

### 4.2.2.1 Bewertung der Leuchten (Fragebogen 5a)

Bei der Frage nach der Größe der ausgeleuchteten Fläche wurden alle Leuchten gut bewertet, die mehr als  $60 \text{ cm} \times 60 \text{ cm}$  beleuchten konnten. Die Wertung »zu groß« kommt praktisch nicht vor. Mittelwerte und Standardabweichungen der Wertungen sind in Tabelle 28 zusammengefaßt. Es ist eine deutliche Tendenz hin zur Beleuchtung des ganzen Schreibtisches zu erkennen.

Leuchte	$\bar{x}$	s	Leuchte	$\bar{x}$	s
1	2,47	1,41	6	2,38	1,29
2	4,32	1,35	7	3,97	0,6
3	3,37	1,15	8	3,83	1,28
4	2,37	1,23	9	4,08	0,93
5	3,72	0,72			

Tabelle 28: Bewertung der Größe der beleuchteten Fläche (Fragebogen 5a, Frage 2), Urteil: 0 ... zu klein, 4 ... genau richtig, 8 ... zu groß

### 4.2.2.2 Eigene Einstellung der Leuchten (Fragebogen 5b)

Wie in Kapitel 4.2.2.1 erläutert wurde, spielt bei der Einstellung der Einzelplatzleuchte nach den eigenen Wünschen die Größe der beleuchteten Fläche nur eine untergeordnete Rolle. Da immer versucht wird, eine maximale Helligkeit zu erreichen, war es kaum möglich, die beleuchtete Fläche zu vergrößern. Teilweise ist das Gegenteil der Fall. Die Bewertung zur Änderung der

Größe (Größe der beleuchteten Fläche »größer« - »kleiner«) lag im Median bei allen Leuchten bei 4 (Tabelle 29). Das entspricht der Wertung »gleich geblieben«, was auch den gemessenen Werten entspricht. Der Quartilabstand differiert geringfügig.

Leuchte	Median	Quartilabstand	Leuchte	Median	Quartilabstand
1	4	(-0, +0)	6	4	(-1, +1)
2	4	(-0, +1)	7	4	(-0, +0)
3	4	(-0, +1)	8	4	(-0, +1)
4	4	(-0, +1)	9	4	(-1, +0)
5	4	(-0, +1)			

*Tabelle 29: Bewertung der Größe der beleuchteten Fläche (Fragebogen 5b, Frage 1.2 ),  
Urteil: 0 ... kleiner, 4 ... gleich geblieben, 8 ... größer*

### 4.2.3 Feldversuche (Fragebogen 6)

Zur Größe der beleuchteten Fläche lassen sich anhand der Feldversuche keine eindeutigen Aussagen treffen.

#### 4.2.4 Zusammenfassung der Ergebnisse zur Größe der beleuchteten Fläche

<b>Laborversuch</b>		
Nutzung der Arbeitsfläche, Erfahrungen mit EPL (Fragebogen 1)	50 % der befragte Personen nutzen täglich eine Einzelplatzleuchte, bei davon 55 % wird dabei eine Fläche von 60 cm × 60 cm ausgeleuchtet, was als optimal bewertet wird.	Kapitel 4.2.1.1
Gewünschte Größe der beleuchteten Fläche (Fragebogen 3)	60 cm × 60 cm	4.2.1.2
Mathematischer Leistungstest II	A4 ungünstig Greifraum günstig	4.2.1.3
Bewertung der Größe der beleuchteten Fläche (Fragebogen 4)	60 cm × 60 cm, Bedingung: $E_{\text{Allg}} \geq 250 \text{ lx}$	4.2.1.4
Bewertung des Überganges (Fragebogen 4)	beliebig, Bedingung: $E_{\text{Allg}} \geq 250 \text{ lx}$	4.2.1.5
<b>Untersuchung an Versuchsplätzen</b>		
Bewertung der Leuchten (Fragebogen 5a)	60 cm × 60 cm	4.2.2.1
Eigene Einstellung der Leuchten (Fragebogen 5b)	Größe der Fläche wurde gegenüber der Vorgabe in 4.2.2.1 kaum verändert, spielt demzufolge keine große Rolle	4.2.2.2
<b>Feldversuch</b>		
Beurteilung der Lichtsituation (Fragebogen 6)	keine Aussage	4.2.3

Tabelle 30: Ergebnisse zur Größe der beleuchteten Fläche



## 4.3 Gleichmäßigkeit innerhalb der Hauptarbeitsfläche

### 4.3.1 Laboruntersuchung

In diesem Kapitel soll untersucht werden, welche Mindestgleichmäßigkeit auf der Hauptarbeitsfläche notwendig ist. Die Untersuchungen erfolgten mit verschiedenen vorgegebenen Allgemeinbeleuchtungsstärken, Einzelplatzbeleuchtungsstärken und Reflexionsgraden der Arbeitsoberfläche. Um die einzelnen Situationen vergleichbar zu machen, erfolgt die Auswertung durch Angabe von Leuchtdichten.

Die Gleichmäßigkeit wurde nach folgender Gleichung definiert:

$$g_2 = \frac{L_{\min}}{L_{\max}}$$

$L_{\min}$  ... minimale Leuchtdichte innerhalb der Hauptarbeitsfläche

$L_{\max}$  ... maximale Leuchtdichte innerhalb der Hauptarbeitsfläche

Bei den Untersuchungen zur Akzeptanz von Leuchtdichteunterschieden wurden dem Probanden verschiedene Gleichmäßigkeiten der Ausleuchtung seiner Arbeitsfläche geboten. Dabei wurden zusätzlich verschiedene Parameter variiert:

1. Leuchtdichteverteilung mit Randabfall als typische Verteilung von Einzelplatzleuchten
2. Streifenmuster der Leuchtdichte (Das Streifenmuster, als extreme Verteilung, wurde ausgewählt, um eventuelle Musterabhängigkeiten der Akzeptanz zu erfassen.)
3. Beleuchtungsstärke der Einzelplatzleuchte ( $E_{\text{Epl}} = 500 \text{ lx}; 1500 \text{ lx}$ )
4. Beleuchtungsstärke der Allgemeinbeleuchtung ( $E_{\text{Allg}} = 0 \text{ lx}; 500 \text{ lx}$ )
5. Reflexionsgrad der Arbeitsfläche ( $\rho = 0,33; 0,49; 0,7$  (strukturiert mit Kontrast 0,98 (Zeitung)))

Bei verschiedenen Parameterkombinationen wurde der Proband nach der merkbaren und störenden »Ungleichmäßigkeit« befragt (Schwellenbestimmung). Dabei wurde die Gleichmäßigkeit stufenweise verringert. Danach wurde nach der optimalen Gleichmäßigkeit für Arbeiten am Schreibtisch gefragt. Die Untersuchungsergebnisse wurden aus den Angaben der 40 Versuchspersonen ermittelt. Als statistische Kenngröße wurde der Median verwendet.

Anmerkung: Zum besseren Verständnis wurden die Versuchspersonen nach »Ungleichmäßigkeiten« gefragt. Obwohl dieser Begriff in der Lichttechnik nicht gebräuchlich ist, erwies es sich als günstig, ihn auch in den folgenden Ausführungen beizubehalten.

#### 4.3.1.1 Merkbare »Ungleichmäßigkeiten«

In Tabelle 31 ist der Median der merkbaren »Ungleichmäßigkeit« für alle untersuchten Situationen dargestellt. Für die Situationen mit einem Allgemeinbeleuchtungsanteil von 500 lx ist zusätzlich die Gleichmäßigkeit, die von der Einzelplatzleuchte allein erzeugt wird, angegeben.

$E_{\text{Allg}}$	$E_{\text{Epl}}$	$\rho$	Randabfall der Leuchtdichte			Streifenmuster der Leuchtdichte		
			$L_{\text{max}}$ [cd/m <sup>2</sup> ]	$L_{\text{min}}/L_{\text{max}}$ Gesamt- situation	$L_{\text{min}}/L_{\text{max}}$ der EPL allein	$L_{\text{max}}$ [cd/m <sup>2</sup> ]	$L_{\text{min}}/L_{\text{max}}$ Gesamt- situation	$L_{\text{min}}/L_{\text{max}}$ der EPL allein
0	500	0,33	43	0,55		45	0,66	
500	500		95	0,75	0,55	97	0,8	0,66
0	500	0,49	64	0,55		67	0,66	
500	500		141	0,75	0,55	145	0,77	0,61
0	500	0,7	91	0,55		97	0,61	
500	500	Struktur	201	0,75	0,55	201	0,75	0,55
0	1500	0,33	140	0,55		145	0,66	
500	1500		190	0,65	0,55	197	0,73	0,66
0	1500	0,49	206	0,55		215	0,66	
500	1500		283	0,65	0,55	292	0,73	0,66
0	1500	0,7	280	0,49		312	0,61	
500	1500	Struktur	404	0,65	0,55	404	0,65	0,55

Tabelle 31: Median der merkbaren »Ungleichmäßigkeit« für verschiedene Beleuchtungsstärken, Reflexionsgrade  $\rho$  der Arbeitsfläche und Leuchtdichtemuster

Bei einer Einzelplatzbeleuchtung ohne zusätzliche Allgemeinbeleuchtung wird ein Gleichmäßigkeitswert unter 0,55 als merkbarer Leuchtdichteunterschied empfunden. Durch Zuschalten einer Allgemeinbeleuchtung je nach Beleuchtungsstärkeverhältnis (untersuchte Verhältnisse 1 : 1 und 1 : 3) erhöht sich diese Schwelle auf 0,65 ... 0,75. d. h. gleichmäßigere Leuchtdichteverteilungen werden als merkbar »ungleichmäßig« wahrgenommen. In Tabelle 31 ist jeweils der Gleichmäßigkeitswert angegeben, der von der Einzelplatzleuchte allein erzeugt wird. Es scheint, daß die Versuchspersonen die Gleichmäßigkeit der Einzelplatzleuchte allein bewertet haben und nicht die der gesamten Lichtsituation.

In Bild 31 sind die Untersuchungsergebnisse für verschiedene maximale Leuchtdichten auf der Arbeitsfläche angegeben. Es ist zu erkennen, daß die Schwellenwerte in einem großen

Leuchtdichtebereich konstant sind. Läßt man ein Streifen-Leuchtdichtemuster bewerten, erhöht sich die Schwelle um etwa 0,1. Die Verwendung einer strukturierten Arbeitsfläche (untersucht: schwarze Schrift auf weißem Papier,  $K = 0,98$ ) hatte nur geringen Einfluß auf die Ergebnisse.

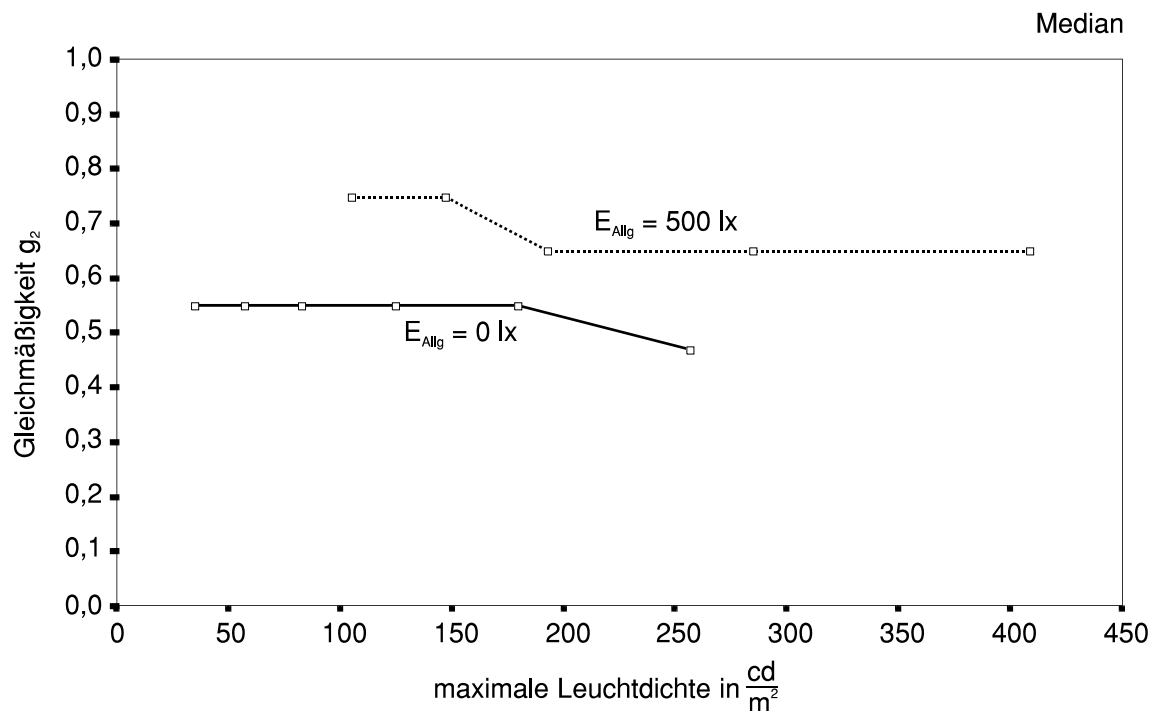


Bild 31.: Merkbare »Ungleichmäßigkeiten«, Median über alle Probanden (Randabfall-Leuchtdichtemuster)

#### 4.3.1.2 Störende »Ungleichmäßigkeit«

In Tabelle 32 ist der Median der störenden »Ungleichmäßigkeit« für alle untersuchten Situationen dargestellt. Wiederum ist für Situationen mit einem Allgemeinbeleuchtungsanteil von 500 lx zusätzlich die Gleichmäßigkeit, die von der Einzelplatzleuchte allein erzeugt wird, angegeben.

Bei einer Einzelplatzbeleuchtung ohne zusätzliche Allgemeinbeleuchtung wird eine Gleichmäßigkeitswert unter 0,36 als störend angegeben. Durch Zuschalten einer Allgemeinbeleuchtung je nach Beleuchtungsstärkeverhältnis erhöht sich diese Schwelle auf 0,5 ... 0,7. Auch hier tritt der Effekt auf, der in Kapitel 4.3.1.1 beschrieben wurde. Die Überlagerung einer gleichmäßigen Allgemeinbeleuchtung erhöht den Wert der störenden »Ungleichmäßigkeit« der Gesamtsituation. Die Einzelplatzleuchte hat dabei jedoch dieselbe Gleichmäßigkeit wie in der Situation ohne Allgemeinbeleuchtung. Die Versuchspersonen bewerteten also immer nur die Gleichmäßigkeit der Einzelplatzleuchte.

			Randabfall der Leuchtdichte			Streifenmuster der Leuchtdichte		
$E_{Allg}$	$E_{Epl}$	$\rho$	$L_{max}$ [cd/m <sup>2</sup> ]	$L_{min}/L_{max}$ Gesamtsi- tuation	$L_{min}/L_{max}$ der EPL allein	$L_{max}$ [cd/m <sup>2</sup> ]	$L_{min}/L_{max}$ Gesamtsi- tuation	$L_{min}/L_{max}$ der EPL allein
0	500	0,33	37	0,36		46	0,61	
500	500		92	0,71	0,43	95	0,75	0,55
0	500	0,49	56	0,36		64	0,55	
500	500		133	0,69	0,36	138	0,73	0,49
0	500	0,7	80	0,36		87	0,49	
500	500	Struktur	190	0,69	0,36	195	0,71	0,43
0	1500	0,33	121	0,36		147	0,61	
500	1500		180	0,57	0,43	199	0,69	0,61
0	1500	0,49	176	0,27		218	0,61	
500	1500		257	0,53	0,36	283	0,65	0,55
0	1500	0,7	252	0,27		281	0,49	
500	1500	Struktur	367	0,53	0,36	382	0,43	0,43

Tabelle 32: Median der störenden »Ungleichmäßigkeit« für verschiedene Beleuchtungsstärken, Reflexionsgrade  $\rho$  der Arbeitsfläche und Leuchtdichtemuster

In Bild 32 sind die Untersuchungsergebnisse grafisch dargestellt. Auch hier sind die Gleichmäßigkeiten in einem großen Leuchtdichtebereich konstant. Die Verwendung eines Streifen-Leuchtdichtemusters führte zu einer Erhöhung der störenden »Ungleichmäßigkeit« um Werte von ca. 0,05 bis 0,35.

Die »störende Ungleichmäßigkeit« sollte in der Praxis als Grenze gesehen werden. Gleichmäßigkeitswerte bei Einzelplatzleuchten sollten oberhalb dieser Grenze liegen. Im Vergleich zur Untersuchung in [Slater90] ergibt sich hier eine gute Übereinstimmung. Dort wurde eine Gleichmäßigkeit von 0,7 als günstig für Büroarbeitsplätze ermittelt. Vergleiche mit anderen Angaben aus der Literatur und der Normung ([Baer89], [DIN5035/1] und [DIN5035/8] lassen die aufgestellte Forderung jedoch sehr hart erscheinen. Die Ursache dafür liegt sicher darin, daß die Versuchspersonen eine leere Arbeitsfläche bewerteten. Eine strukturierte Arbeitsfläche (schwarze Schrift auf weißem Papier) ändert jedoch nichts an den ermittelten Werten. Ein real gestalteter Arbeitsplatz mit verschiedenen Arbeitsutensilien hätte eventuell andere Ergebnisse gebracht.

Die Bilder 33 und 34 sollen veranschaulichen, daß die Meßergebnisse zum Teil einer großen Streuung unterliegen. Die grau hinterlegte Box stellt das zweite und dritte Quartil (je 25% der

Werte) dar. Außerhalb befindet sich das erste und vierte Quartil. Dargestellt ist somit der Bereich, in dem sich die Angaben der Versuchspersonen bewegen.

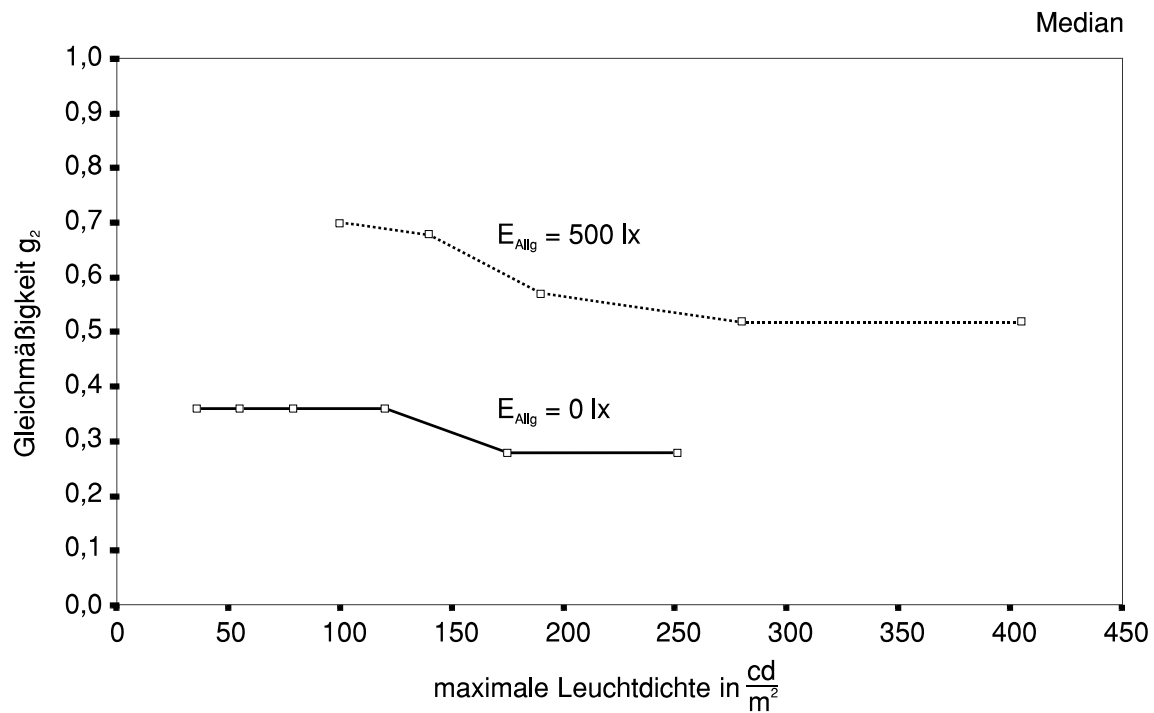


Bild 32: Störende »Ungleichmäßigkeiten«, Median über alle Probanden (Randabfall-Leuchtdichtemuster)

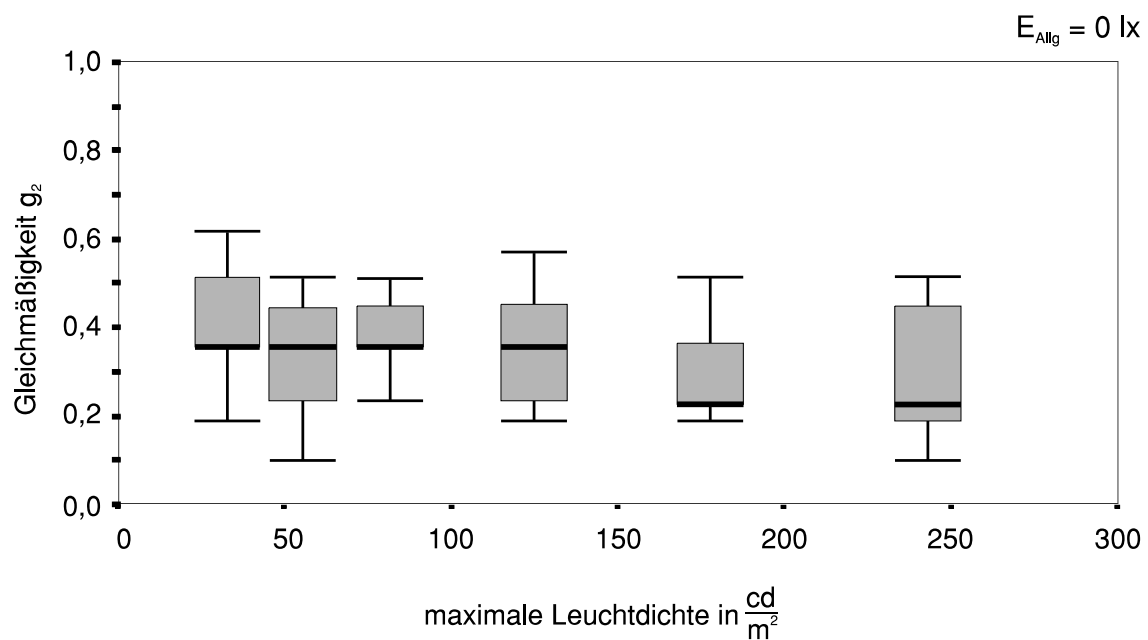


Bild 33: Störende »Ungleichmäßigkeiten« bei  $E_{Alg} = 0$ , Median mit Quartilabstand und ersten und vierten Quartil

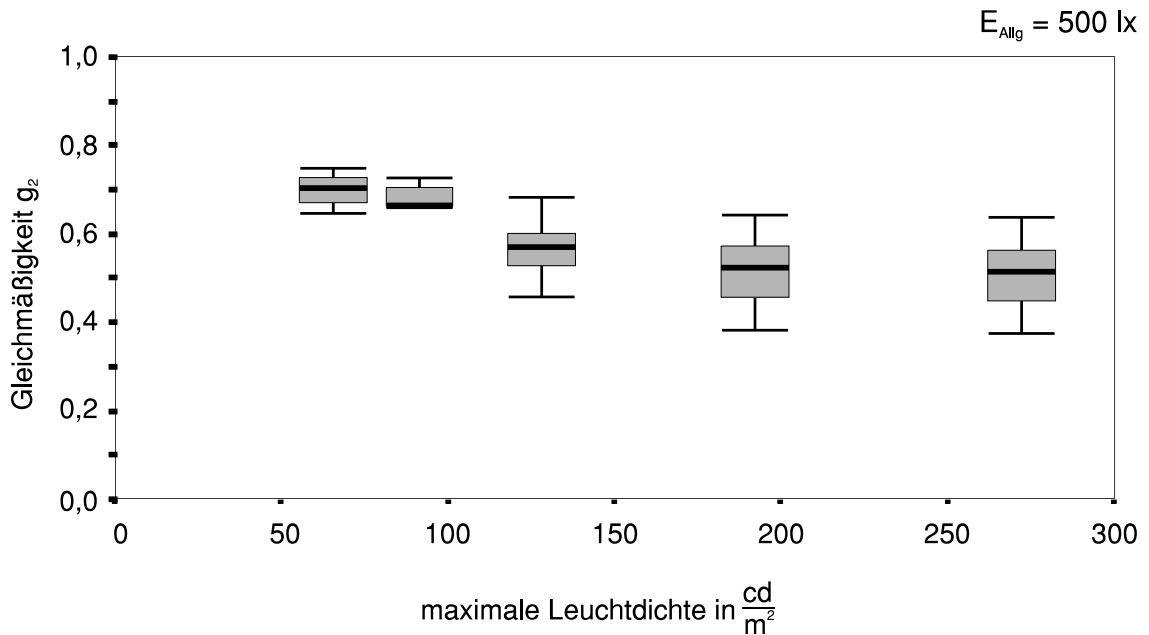


Bild 34: Störende »Ungleichmäßigkeiten« bei  $E_{Alg} = 500 \text{ lx}$ , Median mit Quartilabstand und ersten und vierten Quartil

### 4.3.1.3 Optimale Gleichmäßigkeit

Bei der Befragung nach der optimalen Gleichmäßigkeit ergeben sich die gleichen Tendenzen wie vorher beschrieben. Die Werte liegen alle oberhalb der Schwelle zur merkbaren »Ungleichmäßigkeit«. Die Versuchspersonen wünschen sich folglich einen vollkommen gleichmäßig ausgeleuchteten Arbeitsplatz. Da dies kaum möglich ist, muß man davon ausgehen, daß die Fragestellung falsch verstanden wurde und die Probanden »optimal« und »vollkommen gleichmäßig« gleichgesetzt haben.

## 4.3.2 Untersuchung an Versuchsplätzen

### 4.3.2.1 Bewertung der Leuchten (Fragebogen 5 a)

In den Bildern 35 und 36 ist der Median des Urteils »Helligkeitsunterschiede« (Frage 9) den vorhandenen Gleichmäßigkeiten  $g_1$  und  $g_2$  gegenübergestellt. Bei den gemessenen Gleichmäßigkeiten handelt es sich um die Gesamtgleichmäßigkeiten auf der bewerteten Arbeitsfläche (verursacht durch die Gesamtbeleuchtungsstärke). Die Gleichmäßigkeiten der Einzelplatzleuchten können Tabelle 44 (Anhang) entnommen werden.

Keine der Leuchten weist einen als störend bewerteten Helligkeitsunterschied auf, obwohl die vorhandenen Gleichmäßigkeiten zum Teil deutlich unter den in Kapitel 4.3.1 ermittelten Grenzen liegen. Offenbar sind die Anforderungen, die die Laboruntersuchung liefert, zu hoch. An real vorhandenen Leuchten scheinen »Ungleichmäßigkeiten« weniger kritisch bewertet zu wer-

den. In Tabelle 33 ist als Beispiel für die mit »merkbar« bewerteten Leuchten die Leuchte 1 aufgeführt, da diese die geringsten Gleichmäßigkeiten aufweist. Für die Leuchten 7 und 9 wird der Helligkeitsunterschied als »nicht vorhanden« beurteilt.

Leuchte	Median des Urteils	Gesamtgleichmäßigkeit		Gleichmäßigkeit der EPL	
		$g_1$	$g_2$	$g_1$	$g_2$
1	merkbar	0,33	0,12	0,12	0,03
7	nicht vorhanden	0,56	0,41	0,53	0,36
9	nicht vorhanden	0,62	0,42	0,47	0,27

Tabelle 33: Bewertung der Helligkeitsunterschiede und zugehörige Gleichmäßigkeiten

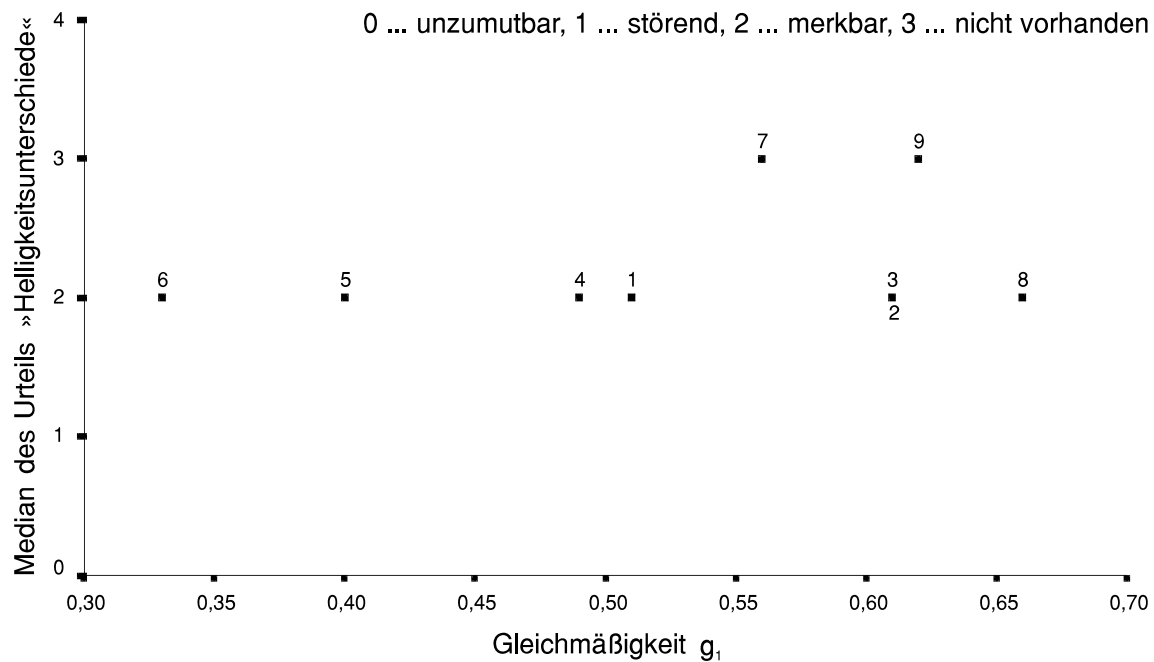


Bild 35 Gesamtgleichmäßigkeit  $g_1$  auf der Arbeitsfläche und Bewertung von Helligkeitsunterschieden im Arbeitsbereich durch die Probanden beim vorgegebenen Leuchtenort

Anmerkung: Die geringen Gleichmäßigkeiten der Leuchten 5 und 6 resultieren aus einem großen Beleuchtungsstärkemaximum in der Mitte der beleuchteten Fläche. Dies wurde jedoch nicht als störend empfunden.

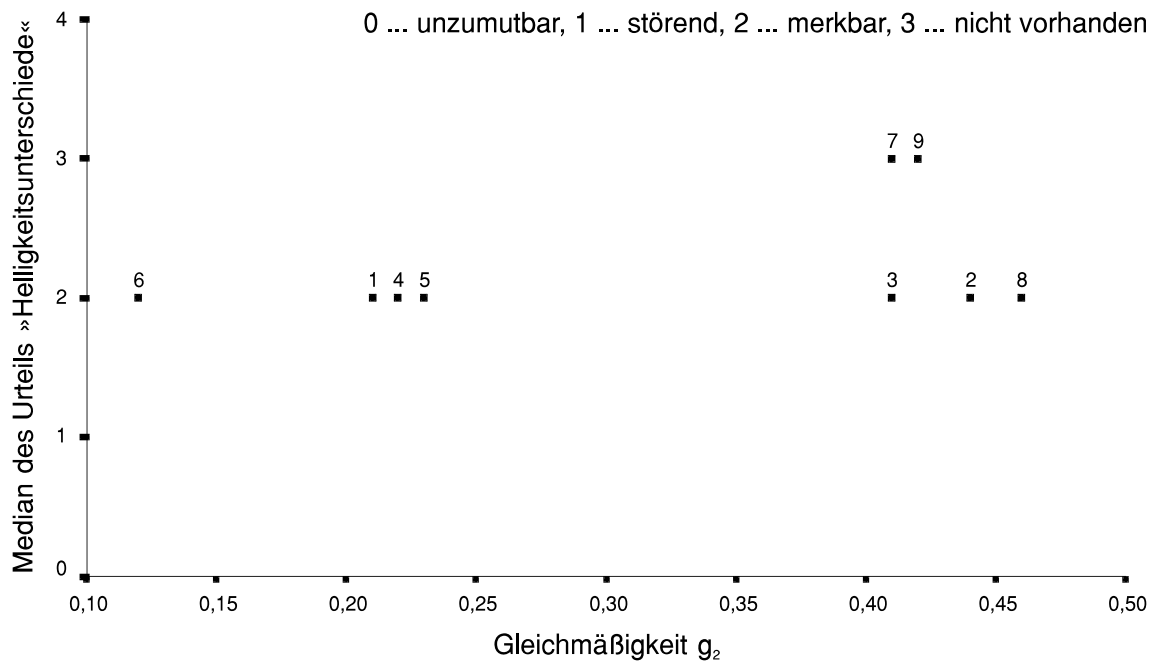


Bild 36: Gesamtgleichmäßigkeit  $g_2$  auf der Arbeitsfläche und Bewertung von Helligkeitsunterschieden im Arbeitsbereich durch die Probanden beim vorgegebenen Leuchtenort

#### 4.3.2.2 Eigene Einstellung der Leuchten (Fragebogen 5 b)

Bei der Gleichmäßigkeit der ausgeleuchteten Fläche konnten ganz leichte Verbesserungen notiert werden, was sich an Hand der Meßwerte verfolgen läßt. Frage 2 sollte klären, welche Beweggründe für das Verstellen der Einzelplatzleuchte im Vordergrund standen. Wie schon im Fragebogen 5a, erwiesen sich ausreichende Helligkeit der ausgeleuchteten Fläche und Blendfreiheit als die wichtigsten Faktoren. Die Punkte Größe und Gleichmäßigkeit der ausgeleuchteten Fläche, Handlungs- und Sichtbehinderung sowie Schattenfreiheit im Arbeitsbereich spielten hingegen eine geringere Rolle.

#### 4.3.3 Feldversuche (Fragebogen 6)

Eine Frage nach der Gleichmäßigkeit der beleuchteten Fläche war im Fragebogen nicht enthalten, da davon ausgegangen wurde, daß dieser Begriff für die Versuchspersonen nicht eindeutig zu verstehen war. Ergebnisse der Untersuchungen an Versuchsplätzen (Kap. 4.3.2) haben gezeigt, daß die Bewertung der Gleichmäßigkeit eng mit der Bewertung der Helligkeit zusammenhängt. Deshalb wurde in Bild 37 die Gleichmäßigkeit  $g_1$  (innerhalb einer Fläche von 60 cm × 60 cm) dem Urteil »Helligkeit der Arbeitsfläche« gegenübergestellt. Es ist ein signifikanter Anstieg des Urteils mit der Erhöhung der Gleichmäßigkeit zu erkennen. Das heißt, das bei geringen Gleichmäßigkeiten die Fläche als dunkler eingeschätzt wird, auch dann, wenn die mittlere Beleuchtungsstärke hoch ist.



Anmerkung: Es besteht keine Abhängigkeit der mittleren Gesamtbeleuchtungsstärke vom Gleichmäßigkeitswert  $g_1$  in Bild 37.

Bis zu einer Gesamtgleichmäßigkeit  $g_1$  von 0,3 ist eine deutliche Verbesserung erkennbar. Ab einer Gleichmäßigkeit von 0,6 konnten nur noch wenige Beobachtungen (nur 2 bis 8) in die Auswertung einbezogen werden, so daß diese Angaben weniger sicher sind. Eine ähnliche Tendenz ergibt sich, wenn man den Gleichmäßigkeiten das Urteil »Größe der beleuchteten Fläche« gegenüberstellt. Zu ungleichmäßig ausgeleuchtete Flächen werden als zu klein bewertet.

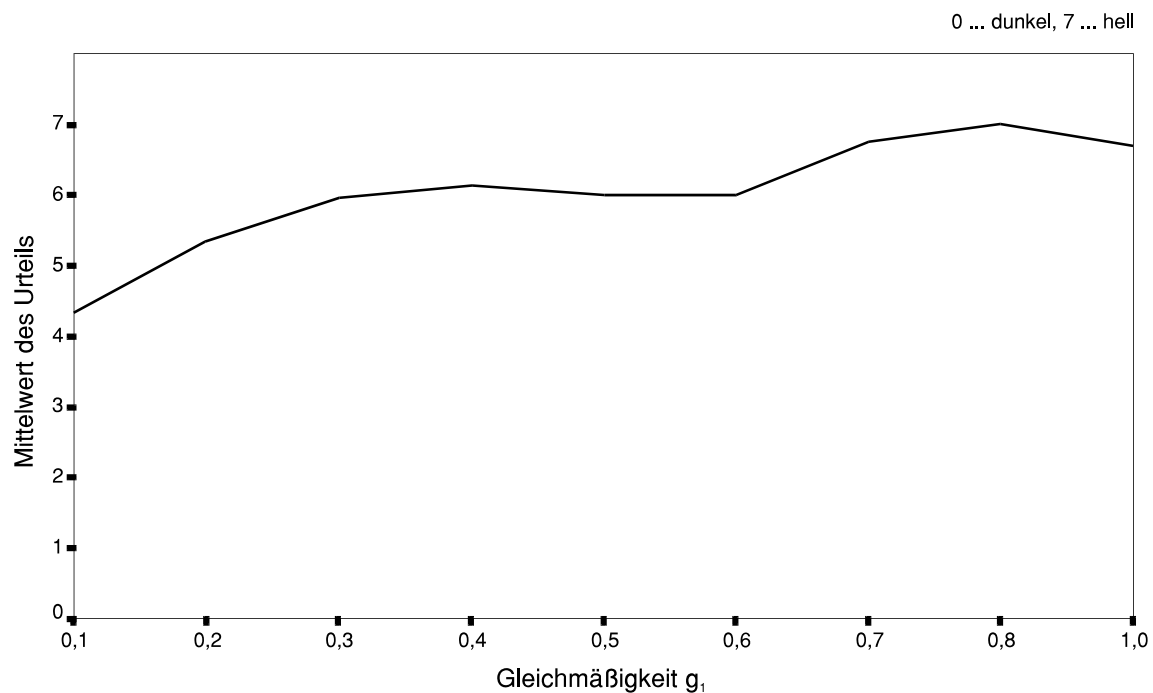


Bild 37: Urteil »Helligkeit der Arbeitsfläche« in Abhängigkeit von der Gleichmäßigkeit  $g_1$  innerhalb der Hauptarbeitsfläche (77 Fälle, Standardabweichung  $s \approx 1,5$ )

#### 4.3.4 Zusammenfassung der Ergebnisse zur Gleichmäßigkeit

Laborversuch		
Frage nach merkbarer »Ungleichmäßigkeit«	$g_{2 \text{ Epl}} = 0,55, g_{2 \text{ Ges}} = 0,75$	Kapitel 4.3.1.1
Frage nach störender »Ungleichmäßigkeit« (sollte Kriterium sein!)	$g_{2 \text{ Epl}} = 0,36, g_{2 \text{ Ges}} = 0,7$ bei hohen Beleuchtungsstärken ( $E_{\text{Epl}} > 500 \text{ lx}$ ) werden »Ungleichmäßigkeiten« etwas besser toleriert	4.3.1.2
Untersuchung an Versuchsplätzen		
Bewertung der Leuchten (Fragebogen 5a)	keine Leuchte mit störenden Helligkeitsunterschieden, Minimalwerte: $g_{1 \text{ Epl}} = 0,12, g_{1 \text{ Ges}} = 0,33$ $g_{2 \text{ Epl}} = 0,03, g_{2 \text{ Ges}} = 0,12$ 2 Leuchten mit »nicht merkbaren« Helligkeitsunterschieden: $g_{1 \text{ Epl}} = 0,53, g_{1 \text{ Ges}} = 0,56$ $g_{2 \text{ Epl}} = 0,36, g_{2 \text{ Ges}} = 0,41$	4.3.2.1
Eigene Einstellung der Leuchten (Fragebogen 5b)	keine Aussage	4.3.2.2
Feldversuch		
Beurteilung der Lichtsituation (Fragebogen 6)	$g_{1 \text{ Ges}} = 0,3$	4.3.3

Tabelle 34: Ergebnisse zur Gleichmäßigkeit

## 5 Zusammenfassung und Vergleich

Durch Labor- und Feldversuche konnte eine Vielzahl neuer Erkenntnisse zur Einzelplatzbeleuchtung in Kombination mit Allgemeinbeleuchtung (Kombinierte Beleuchtung) gewonnen werden. Durch Leistungstests und Befragungen wurden alle Gütemerkmale dieses Beleuchtungssystems untersucht.

Die Einzelplatzbeleuchtung ermöglicht mehr Individualität bei der Beleuchtung eines Arbeitsplatzes, wobei der Nutzer in einem gewissen Rahmen die Beleuchtung nach seinen Wünschen einstellen kann. Ziel dieser Untersuchung war es deshalb, Bereiche anzugeben, in denen sich die möglichen Werte bewegen sollten.

Im Labor fanden umfangreiche Untersuchungen zu den einzelnen Gütemerkmalen statt. Mit 40 Versuchspersonen wurden Befragungen und Leistungstests durchgeführt. Ebenfalls im Labor fanden Befragungen an Versuchsarbeitsplätzen statt. Die Probanden bewerteten dabei 9 reale Einzelplatzleuchten. Zur Prüfung der Ergebnisse der Laboruntersuchungen erfolgten Feldversuche an 100 Arbeitsplätzen in verschiedenen Büroräumen.

### 5.1 Untersuchungsergebnisse

In Tabelle 35 sind die Untersuchungsergebnisse der einzelnen Parameter zusammengefaßt. Vergleiche zu Angaben aus der Literatur und der Normung erfolgen in den nächsten Kapiteln, sind aber aus Gründen der Übersicht schon hier aufgeführt. Zum besseren Vergleich ist jeweils das Kapitel, in dem das Ergebnis ermittelt wurde, in der zweiten Spalte der Tabelle angegeben.

Parameter	Ergebnis aus Kapitel	Untersuchungsergebnis	Angaben aus der Literatur und der Normung
Gesamtbeleuchtungsstärke $E_{Ges} = E_{Allg} + E_{Epl}$	4.1.1.1 (Labor)	minimal 500 lx	<b>[Bodmann95]</b> kein höherer Lichtbedarf als bei Allgemeinbeleuchtung erkennbar
	4.1.1.5 (Labor)	für Leistungserbringung (Kurzzeitleistungstest) gleiche $E_{Ges}$ wie bei reiner $E_{Allg}$	<b>[DIN5035/2]</b> je nach Schaufgabe im Büro 300 bis 1000 lx
	4.1.2.1 (VP)	$E_{Ges} = 1200$ lx	<b>[Richter86]</b> $E_{Ges} > 500$ lx
Allgemeinbeleuchtungsstärke $E_{Allg}$	4.1.1.2 4.1.1.3 4.1.1.5 (Labor) 4.1.3 (Feld)	minimal 250 lx	<b>[VEM81]</b> minimal 140 lx abhängig von $E_{Ges}$ <b>[DIN5035/2]</b> je nach Schaufgabe im Büro 300 bis 1000 lx
Einzelplatzbeleuchtungsstärke $E_{Epl}$	4.1.1.6 4.1.1.7 (Labor) 4.1.3 (Feld)	500 bis 750 lx unabhängig von $E_{Allg}$ und unabhängig von $\rho$	<b>[Baer 89]</b> minimal 140 lx <b>[Boyce79]</b> minimal 150 lx <b>[Bean80]</b> minimal 200 lx <b>[DIN5035/8]</b> $0,5$ bis $2 \cdot E_{Allg}$ abhängig von $\rho$
Beleuchtungsstärkeverhältnis $V = E_{Allg} : E_{Epl}$ in der Literatur meist Angabe von: $E_{Allg} : E_{Ges}$	4.1.1.6 4.1.1.7 (Labor)	2 : 1 bis 1 : 3 unabhängig vom Reflexionsgrad der Arbeitsfläche entspricht: $E_{Allg} : E_{Ges} = 0,25 \dots 0,66$	<b>[VEM81]</b> $E_{Allg} : E_{Ges} = 0,125 \dots 0,73$ <b>[Baer89]</b> $E_{Allg} : E_{Ges} = 0,2 \dots 1$ <b>[Kalthoff78]</b> $E_{Allg} : E_{Ges} = 0,5 \dots 0,6$ <b>[Fischer80]</b> $E_{Allg} : E_{Ges} \geq 0,3$ <b>[Hentschel78], [Maigatter79]</b> $E_{Allg} : E_{Ges} = 0,6$ <b>[Boyce79]</b> $E_{Allg} : E_{Ges} \approx 0,15$ <b>[Carter92]</b> $E_{NA} : E_{HA} = E_{Allg} : E_{Ges} = 0,5$ <b>[DIN5035/8]</b> $E_{Allg} : E_{Epl} = 2 : 1 \dots 1 : 2$ abhängig vom Reflexionsgrad der Arbeitsfläche

Parameter	Ergebnis aus Kapitel	Untersuchungs ergebnis	Angaben aus der Literatur und der Normung
Größe der beleuchteten Fläche	4.2.1.2 4.2.1.3 4.2.1.4 4.2.1.5 (Labor)  4.2.2.1 (VP)	minimal 60 cm × 60 cm	[VEM81] ø 60 cm [DIN5035/8] minimal 60 cm × 60 cm
Gleichmäßigkeit der Einzelplatzbeleuchtung  $g_{1 \text{ Epl}} = L_{\text{Epl min}} : L_{\text{Epl m}}$ $g_{2 \text{ Epl}} = L_{\text{Epl min}} : L_{\text{Epl max}}$	4.3.1.2 (Labor)	$g_{2 \text{ Epl}} \geq 0,36$ entspricht: $g_{1 \text{ Epl}} \geq 0,68$	[Baer89] $g_{1 \text{ Epl}} = E_{\text{Epl min}} : E_{\text{Epl m}} \geq 0,5$
	4.3.2.1 (VP)	$g_{1 \text{ Epl}} \geq 0,12$ $g_{2 \text{ Epl}} \geq 0,03$	[VEM81] $g_{1 \text{ Epl}} = E_{\text{min}} : E_{\text{m}} \geq 0,5$ [DIN5035/8] $g_{2 \text{ Epl}} = E_{\text{min}}/E_{\text{max}} \geq 0,1$
Gleichmäßigkeit der Gesamtbeleuchtung  $g_{1 \text{ Ges}} = L_{\text{Ges min}} : L_{\text{Ges m}}$ $g_{2 \text{ Ges}} = L_{\text{Ges min}} : L_{\text{Ges max}}$	4.3.1.2 (Labor)	$g_{2 \text{ Ges}} \geq 0,65$ entspricht: $g_{1 \text{ Ges}} \geq 0,85$	[Slater90] $g_{2 \text{ Ges}} = 0,7$
	4.3.2.1 (VP)	$g_{1 \text{ Ges}} \geq 0,33$ $g_{2 \text{ Ges}} \geq 0,12$	[Richter86] $g_{1 \text{ Ges}} = E_{\text{min}}/E_{\text{m}} = 1 : 1,5 = 0,66$
	4.3.3 (Feld)	$g_{1 \text{ Ges}} \geq 0,3$	[VEM81] $g_{1 \text{ Ges}} = E_{\text{min}}/E_{\text{m}} > 0,33$ [DIN5035/1] $g_{1 \text{ Ges}} = E_{\text{min}}/E_{\text{m}} = 1 : 1,5 = 0,66$

Tabelle 35: Zusammenfassung aller Versuchsergebnisse  
(Labor = Laboruntersuchung, VP = Untersuchung an Versuchsplätzen, Feld = Felduntersuchung)

In Befragungen zur *Akzeptanz* und in individuelle Gesprächen mit den Versuchspersonen zeigte sich einen überwiegend positive Einstellung zur Einzelplatzleuchte. Eine ablehnende Haltung gegenüber der Einzelplatzleuchte wurde sehr viel seltener gezeigt, als gegenüber der Allgemeinbeleuchtung. Diese ablehnende Haltung gegenüber der Allgemeinbeleuchtung wurde vielfach damit begründet, diesem System mehr oder weniger »ausgeliefert« zu sein. Individuelle Einstellmöglichkeiten zu haben, ist ein wichtiges Kriterium bei der Bewertung dieses Beleuchtungsystems. Dadurch auftretende Nachteile treten in den Hintergrund.

Die Aussagen zur *Nennbeleuchtungsstärke* zeigen die große Individualität der Wünsche. 90 % der Versuchspersonen wünschen sich auch bei einer Allgemeinbeleuchtung von 500 lx noch eine zusätzliche Einzelplatzbeleuchtung, wobei die Angaben zur Beleuchtungsstärke stark

streuen. Energetisch und installationstechnisch läßt sich dieser stark schwankende Lichtbedarf mit einer Kombinierten Beleuchtung am besten befriedigen. Eine minimale Allgemeinbeleuchtungsstärke von 250 lx erwies sich in verschiedenen Teilversuchen als unbedingt nötig. Damit wird der Raum ausreichend aufgehellt und kann als Ganzes erfaßt werden. Es hat sich gezeigt, daß die in [DIN5035/2] geforderten Allgemeinbeleuchtungsstärken nicht erreicht werden müssen. Einen erheblichen Beitrag zur Gesamtbeleuchtungsstärke sollte die Einzelplatzleuchte bringen.

Als günstige Werte für die Einzelplatzbeleuchtungsstärke wurden 500 bis 750 lx festgestellt. Diese Werte wurden unabhängig von der vorhandenen Allgemeinbeleuchtungsstärke gefordert. Dadurch ergibt sich eine Gesamtbeleuchtungsstärke, die zum einen von der Allgemeinbeleuchtungsstärke abhängt und zum anderen deutlich über den Werten der Normung liegen kann. Tests zeigten, daß es für die kurzzeitige Leistungserbringung unerheblich ist, ob das Beleuchtungsniveau auf der Arbeitsfläche nur durch die Allgemeinbeleuchtung oder zum Teil durch die Einzelplatzleuchte erzeugt wird. Eine Beleuchtung nur durch Einzelplatzleuchten erwies sich als ungünstig. Bei ausreichend groß beleuchteter Fläche bringt die Einzelplatzbeleuchtung eine Erhöhung der Leistung (Kurzeittest). Bei der individuellen Einstellung bzw. Positionierung der Einzelplatzbeleuchtung spielt die Beleuchtungsstärke die größte Rolle, d. h. maximale Helligkeit (bei Minimierung der Blendung) ist das primäre Ziel jeder Einstellung.

Ein *Verhältnis* zwischen Allgemein- und Einzelplatzbeleuchtung von 1 : 2 bis 1 : 3 ergibt sich, wenn eine Mindest-Allgemeinbeleuchtungsstärke von 250 lx und eine Einzelplatzbeleuchtungsstärke von 500 bis 750 lx eingehalten wird. Wichtig ist, daß sich die Einzelplatzbeleuchtung deutlich vom restlichen Raum abhebt. Für die genannten Beleuchtungsstärkewerte beträgt der Leuchtdichteunterschied zwischen Arbeitsbereich und Umfeld 1 : 4, was als obere Grenze angesehen werden muß. Bei höheren Einzelplatzbeleuchtungsstärken sollte deshalb die Allgemeinbeleuchtung entsprechend angepaßt werden. Die bevorzugten Verhältnisse zwischen Allgemein- und Einzelplatzbeleuchtung erwiesen sich als unabhängig vom Reflexionsgrad der Arbeitsfläche.

Alle Einzeluntersuchungen zeigten, daß die *Mindestgröße* der beleuchteten Fläche 60 cm × 60 cm sein sollte. Voraussetzung hierfür ist jedoch wieder die Einhaltung der Mindest-Allgemeinbeleuchtungsstärke von 250 lx für die Raumaufhellung. Arbeitsflächen des Schreibtisches, zwischen denen häufig Blickwechsel erfolgen, gehören unbedingt zur Hauptarbeitsfläche und müssen entsprechend beleuchtet werden.

Die Laboruntersuchungen zur *Gleichmäßigkeit* bezogen sich auf den Wert  $g_2 = L_{\min} / L_{\max}$ . Es wurden sowohl Gleichmäßigkeiten der Einzelplatzbeleuchtung als auch der Gesamtbeleuchtung untersucht. Für die Einzelplatzbeleuchtung wurden Werte unter 0,36 als störend empfunden. Deshalb sollte dieser Wert auf keinen Fall unterschritten werden. Bei der Überlage-

rung einer Allgemeinbeleuchtung im Verhältnis 1 : 1 ( $E_{\text{Allg}} = E_{\text{Epl}} = 500 \text{ lx}$ ) ergab sich eine minimal geforderte Gesamtgleichmäßigkeit von etwa 0,7, was einer Gleichmäßigkeit der Einzelplatzbeleuchtung von wiederum 0,36 entspricht.

Die Untersuchung an Versuchsplätzen ergab deutlich geringere Anforderungen an die Gleichmäßigkeit. Bei keiner der untersuchten Leuchten wurden störende Helligkeitsunterschiede festgestellt, obwohl im Extremfall ein  $g_2$ -Wert von 0,03 dargeboten wurde. Die Gleichmäßigkeit spielt an realen Arbeitsplätzen keine dominierende Rolle.

## 5.2 Vergleich der Ergebnisse mit Angaben aus der Literatur

Angaben aus der Literatur wurden bereits in der Tabelle 35 dargestellt. Allgemein ergibt sich eine gute Übereinstimmung mit vorherigen Untersuchungen und Überlegungen. Für die Lösung einer Arbeitsaufgabe bei Kombiniertes Beleuchtung war die benötigte *Gesamtbeleuchtungsstärke* nicht höher als bei Allgemeinbeleuchtung. Dieses Ergebnis stimmt mit der Feststellung von [Bodmann95] überein. Rein subjektiv wird aber von vielen Nutzern ein höheres Beleuchtungsniveau gewünscht, was mit einer Kombiniertes Beleuchtung auch problemlos möglich ist.

In verschiedenen Literaturstellen werden Angaben über die minimale Beleuchtungsstärke der Einzelplatzleuchte gemacht. Diese liegen weit unter den in diesem Versuch ermittelten Werten. Eine minimale Allgemeinbeleuchtungsstärke als Absolutwert wurde in der Literatur bisher nicht angegeben. Meist wird ein Beleuchtungsstärkeverhältnis angegeben. Dieses wurde hier ebenfalls untersucht und für das Verhältnis  $E_{\text{Allg}} : E_{\text{Ges}}$  ein Bereich von 0,25 bis 0,66 festgestellt. Dieser stimmt mit den meisten Angaben aus der Literatur gut überein. Lediglich in [VEM81] und [Boyce79] werden kleinere Werte angegeben. Dann ist jedoch mit einer sehr großen Leuchtdichtedifferenz zwischen Haupt- und Nebenarbeitsfläche zu rechnen, was unter Umständen kritisch werden kann.

Zur *Größe der beleuchteten Fläche* finden sich in der Literatur nur wenige Angaben. Die Forderung aus [VEM81] stimmt mit dem Untersuchungsergebnis überein.

Die in den Laborversuchen ermittelten *Gleichmäßigkeiten* liegen höher als die Angaben in der Literatur. Die Ergebnisse, die an den Versuchsplätzen ermittelt wurden, liegen dagegen niedriger. Es ist davon auszugehen, daß die Untersuchungsmethode im Labor wenig geeignet war. Eventuell wurde auch die Fragestellung von den Versuchspersonen nicht richtig verstanden. Die Leuchten an den Versuchsplätzen wurden hinsichtlich der Gleichmäßigkeit alle positiv bewertet, so daß sich dadurch nur sehr geringe Anforderungen ableiten ließen.

### 5.3 Vergleich der Ergebnisse mit Angaben aus der DIN 5035

Mit der DIN 5035, Teil 8 [DIN5035/8] ist die Einzelplatzbeleuchtung in die Normung eingebracht wurden. Die darin und in [DIN5035/1] und [DIN5035/2] enthaltenen Forderungen sind in Tabelle 35 den Untersuchungsergebnissen gegenübergestellt. Teilweise kann eine sehr gute Übereinstimmung festgestellt werden. An anderen Stellen jedoch ergeben sich Unterschiede.

Es hat sich gezeigt, daß die geforderten *Allgemeinbeleuchtungsstärken* in der DIN nicht erreicht werden müssen. Hier zeigt sich ein Unterschied zur DIN, Teil 8, die die Allgemeinbeleuchtungsstärken aus Teil 2 fordert und die Einzelplatzleuchte als zusätzliche Leuchte dazu vorsieht.

Ein Minimalwert der Allgemeinbeleuchtungsstärke ist in der Normung bisher nicht vorgesehen. Als positiv hat sich eine Beleuchtungsstärke im Bereich von 250 lx bis 500 lx erwiesen. Als günstige Werte für die Einzelplatzbeleuchtungsstärke wurden 500 bis 750 lx festgestellt. Diese Werte wurden im Gegensatz zur DIN unabhängig von der vorhandenen Allgemeinbeleuchtungsstärke gefordert. Daraus ergibt sich eine Gesamtbeleuchtungsstärke, die deutlich über den Werten der Normung liegen kann. Die in Teil 8 geforderte Abhängigkeit der Einzelplatzbeleuchtungsstärke vom Reflexionsgrad der Arbeitsfläche konnte nicht bestätigt werden.

Ausgeleuchtete *Flächen* der Größe 60 cm × 60 cm oder mehr erwiesen sich als günstig, kleinere Flächen wurden abgelehnt. Dieses Untersuchungsergebnis stimmt mit der Forderung aus Teil 8 überein.

Die Untersuchungen zu örtlichen *Gleichmäßigkeiten* bezogen sich analog zu **DIN, Teil 8** auf den Wert  $g_2 = E_{\min} / E_{\max}$ . Der in den Laborversuchen ermittelte Gleichmäßigkeitswert von 0,36 liegt über dem geforderten Wert von 0,1. Die Untersuchung an Versuchsplätzen ergab einen Gleichmäßigkeitswert von  $g_2 = 0,03$ , was sicherlich zu gering ist. Es gibt daher keinen Anlaß, die Forderung der DIN anzuzweifeln.

### 5.4 Offene Probleme

Im Rahmen des an der TU Ilmenau durchgeführten Forschungsprojektes wurde versucht, alle für die Einzelplatzbeleuchtung relevanten Parameter zu untersuchen. Aus Dabeikonnten Blendung, Körperwiedergabe und Zwielicht jedoch nur orientierend betrachtet werden. Probleme, die sich im Zusammenhang mit Bildschirmen am Arbeitsplatz (z. B. Reflexblendung) und Tageslichteinflüssen ergeben, konnten im Rahmen diese Projektes nicht untersucht werden.

Für die in dieser Arbeit betrachteten Parameter sind fehlende Langzeitversuche das größte offene Problem. Alle Untersuchungsergebnisse wurden aus Kurzzeittests und Befragungen, die



nach relativ kurzem Aufenthalt am Versuchsplatz erfolgten, abgeleitet. Die durchgeführten Feldversuche konnten diesen Nachteil nicht kompensieren, da hier die Streuung der Ergebnisse sehr groß ist. In [Völker98] wurde festgestellt, daß sich Feldversuche für die Festlegung von Güte-merkmalen nicht gut eignen. Empfohlen werden dort real nachgebaute Arbeitsplätze im Labor, an denen auch Langzeitversuche durchgeführt werden.

Die im Versuch ermittelten Beleuchtungsstärken für die Allgemein- und die Einzelplatzbeleuchtung müssen durch Langzeitversuche bestätigt werden. Die große Differenz zwischen den im Labor und den an den Versuchsplätzen ermittelten notwendigen Gleichmäßigkeiten macht ebenfalls eine Überprüfung an realen Arbeitsplätzen im Labor notwendig.

Die Beschränkung der Untersuchung auf Bürorbeitsplätze wird der inzwischen weit verbreiteten Einzelplatzleuchte nicht gerecht. Maschinenleuchten, Zeichenbrettleuchten und Leuchten für verschiedene Sonderanwendungen sind noch ungenügend bzw. gar nicht untersucht. [Völker98] empfiehlt für Industriearbeitsplätze eine Allgemeinbeleuchtungsstärke von 250 lx und je nach Bedarf den Einsatz von Maschinenleuchten. Auf diesem Gebiet besteht weiter dringender Forschungsbedarf. Diese Forschungen können auf den vorliegenden Erkenntnissen aufbauen.



# Literaturverzeichnis

- [Baer89] Baer, R.: Beleuchtungstechnik, Grundlagen. Verlag Technik Berlin 1989
- [Bean80] Bean, A. R.; Hopkins, A. D.: Task and background lighting. *Lighting Research and Technology* 12 (1980) 4, S. 135–139
- [Bodmann95] Bodmann, H. W.; Eberbach, K.; Leszczynska, H.: Lichttechnische und ergonomische Gütekriterien der Einzelplatzbeleuchtung im Büro. Schriftenreihe der Bundesanstalt für Arbeitsschutz FB 712, Dortmund 1995
- [Bortz84] Bortz, J.: Lehrbuch der empirischen Forschung. Springer-Verlag Berlin 1984
- [Boyce79] Boyce, P. R.: Users attitudes to some types of local lighting. *Lighting Research and Technology* 11 (1979) 3, S. 158–165
- [Bronstein98] Bronstein, I. N.; Semendjajew, K. A.: Taschenbuch der Mathematik. 24. Auflage, BSB B. G. Teubner Verlagsgesellschaft Leipzig 1989
- [Bühl94] Bühl, A.; Zöfel, P.: SPSS für Windows Version 6. Addison Wesley 1994
- [Buschendorf94] Buschendorf, Th.: Untersuchungen zur Akzeptanz von Leuchtdichteunterschieden auf der Arbeitsfläche. Diplomarbeit TU Ilmenau 1994
- [Çakir94] Çakir, A. E.; Çakir, G.: Eine Untersuchung zum Stand der Beleuchtungstechnik in deutschen Büros. Ergonomic Institut für Arbeits- und Sozialforschung, Berlin 1994
- [Çakir97] Çakir, A. E.: Physiologische und psychologische Auswirkungen der Beleuchtungsqualität. 3. Symposium Innovative Lichttechnik in Gebäuden, OTTI-Technologie-Kolleg, Kloster Banz 1994, S. 31–38
- [Carter92] Carter, D. J.; Slater, A. I.: Illuminance diversity between adjacent working and ancillary spaces. *Proceedings CIBSE National Lighting Conference, Manchester 1992*, S. 178–197

- [Carter94] Carter, D. J.; Slater, A. I.; Perry, M. J.; Mansfield, K. P.; Loe, D. L.; Sandoval, J.: The influence of luminance distribution on subjective impressions and performance within a non-uniformly lit office. CIBSE National Lighting Conference 1994
- [CIE] Discomfort Glare in Interior Lighting. Technical Report CIE TC 3-13
- [Claus78] Claus, G.; Ebner, H.: Grundlagen der Statistik. Volk und Wissen Verlag Berlin 1978
- [Dubielzig94] Dubielzig, E.: Akzeptanz und Relevanz von Zwielicht am Arbeitsplatz. Studienarbeit TU Ilmenau 1994
- [DIN 4543] DIN 4543: Flächen für die Aufstellung und die Benutzung von Büromöbeln.
- [DIN5035/1] DIN 5035: Beleuchtung mit künstlichem Licht, Teil 1
- [DIN5035/2] DIN 5035: Beleuchtung mit künstlichem Licht, Teil 2
- [DIN5035/8] DIN 5035: Beleuchtung mit künstlichem Licht, Teil 8: Einzelplatzbeleuchtung
- [Feix86] Feix, W.: Lichtfarbe bei kombinierter Beleuchtung. Elektropraktiker 40 (1986) 1, S. 27-28
- [Fischer80] Fischer, D.: Allgemeinbeleuchtung und Arbeitsplatzbeleuchtung in Büros. Internationale Lichtrundschau 31 (1980) 4, S. 108-110
- [Gall83a] Gall, D.: Energieeinsparung durch Verwendung der Kombinierten Beleuchtung. Elektrie 37 (1983) 11, S. 569-572
- [Gall83b] Gall, D.: Ermittlung der für das photopische Sehen relevanten Gesichtsfeldgröße. Augenoptik 100 (1983) 3, S. 84-85
- [Gall84] Gall, D.: Ermittlung der lichttechnischen Parameter von Einzelplatzleuchten für die Kombinierte Beleuchtung. Elektropraktiker 38 (1984) 3, S. 93-96
- [Gall93] Gall, D.; Funk, Th.: Die Körperwiedergabeeigenschaft von Beleuchtungssystemen. Abschlußbericht TU Ilmenau 1993
- [Gall95] Gall, D.; Vandahl, C.; Greiner Mai, U.: New investigations in the field of local lighting with table luminaires. Postervortrag CIE Session '95, New Delhi 1.-3.11.95

- [Gall96a]** 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
- [Gall96b]** Gall, D.; Vandahl, C.; Greiner Mai, U.: Einzelplatzbeleuchtung und Allgemeinbeleuchtung am Arbeitsplatz. Licht 48 (1996) 7/8, S. 598-603, Licht 48 (1996) 9, S. 748-751, Licht 48 (1996) 11/12, S. 922-926, Licht 49 (1997) 1, S. 57-62, Licht 49 (1997) 11/12, S. 900-907
- [Gall96c]** Gall, D.; Völker, S.; Eberhard, S.; Wolf, S.; Helm, H.-P.: Nutzen einer besseren Beleuchtung. Abschlußbericht TU Ilmenau 1996, AiF-Nr.: 9955B
- [GreinerMai90]** Greiner Mai, U.: Methodenauswahl zur Bestimmung von Seh- und Arbeitsleistungen. Diplomarbeit TH Ilmenau 1990
- [Handrich93]** Handrich, R.: Untersuchungen zur Körperwiedergabe. Projektarbeit TU Ilmenau 1993
- [Handrich94]** Handrich, R.: Untersuchungen zu Lichtrichtung, Schattigkeit und Körperwiedergabe bei Einzelplatzbeleuchtung. Diplomarbeit TU Ilmenau 1994
- [Hartmann66]** Hartmann, E.: Der Einfluß der Umfeldleuchtdichte auf die Detailwahrnehmung. Lichttechnik 18 (1966) 7, S. 79A-81A
- [Haubner70]** Haubner, P.; Johanni, H.: Untersuchung über die psychologische Blendung in Innenräumen. Zeitschrift Lichttechnik 22 (1970) 6, S. 304-306, 22 (1970) 7, S. 345-347
- [Hentschel78]** Hentschel, H.-J.; Pusch, R.: Neues Beleuchtungskonzept für besseres Sehen und sinnvolle Energieanwendung. Siemens-Z. 52 (1978) 4, S. 185-187
- [Herbst85]** Herbst, C.-H.: Bildschirmarbeitsplatzbeleuchtung. Licht 37 (1985) 1, S. 26-31
- [Jansen54]** Jansen, J.: Beleuchtungstechnik, Band II: Innenbeleuchtung. Philips Technische Bibliothek 1954
- [Kalff52]** Kalff, L. C.: Comfortable Lighting - its study and realisation. Trans. Illum. Engng. Soc. 17 (1952) S. 227-239

- [Kalthoff78] Kalthoff, G. O.; Klein, E.: Zwei-Komponenten-Beleuchtung. Elektrodienst 20 (1978) 3, S. 7-9
- [Kelling93] Kelling, U.; Lange, H.-H.: Akzeptanz von Arbeitsplatzleuchten. Studienarbeit TU Ilmenau 1993
- [Kelling94] Kelling, U.: Vergleichende Untersuchungen an typischen Einzelplatzleuchten. Diplomarbeit TU Ilmenau 1994
- [Kirsten92] Kirsten, C.: Der Einfluß von Blendungsparametern auf Befindlichkeit und Leistung des Menschen. Diplomarbeit TU Ilmenau 1992
- [Köhler52] Köhler, W.: Lichttechnik. Helios-Verlag Berlin-Borsigwalde 1952
- [Lange94] Lange, H.-H.: Untersuchungen zur Akzeptanz der Beleuchtung von Haupt- und Nebenarbeitsflächen bei Einzelplatzbeleuchtung. Diplomarbeit TU Ilmenau 1994
- [Lange78] Lange, W.: Kleine Ergonomische Datensammlung. Bundesanstalt für Arbeitsschutz Dortmund 1978
- [Leebeek83] Leebeek, H. J.; Ellens, E.: Local Lighting with Table Luminaires. CIE 20th Session 1983, S. E25/1-E25/2
- [Maigatter79] Maigatter, W.: 2-K-Beleuchtung. Licht 31 (1979) 4, S. 166-167
- [Malotki80] Malotki, H. T. v.: Moderne Lichtplanung in einem Verwaltungsgebäude. Licht 32 (1980) 2, S. 76-78
- [NE96] DIN 5035 Angewandte Lichttechnik, Teil 2: Beleuchtung von Arbeitsstätten. EU-Normentwurf Juni 1996
- [Nevoigt94] Nevoigt, J.: Untersuchung von Blendung und blendungsartigen Erscheinungen an typischen Einzelplatzleuchten. Projektarbeit TU Ilmenau 1994
- [Peries94] Peries, A.: Akzeptanzen und Blendwirkungen bei Einzelplatzleuchten und Allgemeinbeleuchtung. Diplomarbeit TU Ilmenau 1994
- [Rammelt94] Rammelt, M.: Untersuchungen von Blendungserscheinungen bei Einzelplatzleuchten. Diplomarbeit TU Ilmenau 1994
- [Richter86] Richter, H.-J.: Müssen wir bei der Bürobeleuchtung umdenken? Licht 38 (1986) 6, S. 397-402
- [Riemann94a] Riemann, F.; Buschendorf, T.: Simulation einer Einzelplatzbeleuchte. Projektarbeit TU Ilmenau 1994

- [Riemann94b]** Riemann, F.: Untersuchungen zur Festlegung von Güte Merkmalen für die Einzelplatzbeleuchtung. Diplomarbeit TU Ilmenau 1994
- [Sachs92]** Sachs, L.: Angewandte Statistik. Springer-Verlag 1992
- [Sachs93]** Sachs, L.: Statistische Methoden. Springer-Verlag 1993
- [Saunders69]** Saunders, J. E.: The role of the level and diversity of horizontal illuminance in an appraisal of a simple office task. *Lighting Research and Technology* 1 (1969) 1, S. 37–46
- [Schmidt-Clausen89]** Schmidt-Clausen, H. J.; Finsterer, H.: Beleuchtung eines Arbeitsplatzes mit erhöhten Anforderungen im Bereich der Elektronik und Feinmechanik. Schriftenreihe der Bundesanstalt für Arbeitsschutz Fb 593, Wirtschaftsverlag NW Bremerhaven 1989
- [Schmits89]** Schmits, P. W.: Blendung durch kleine Lichtquelle hoher Leuchtdichte im peripheren Gesichtsfeld. Dissertation TU Berlin 1989
- [Schumacher40]** Schumacher, R. O.: Die Unterschiedsempfindlichkeit des helladaptierten menschlichen Auges. Dissertation TH Berlin, Verlag Ez & Rudolph Frankfurt/Main 1940
- [Sewig38]** Sewig, R.: Handbuch der Lichttechnik, 2. Teil: Beleuchtungstechnik. Verlag von Julius Springer Berlin 1938
- [Slater90]** Slater, A. I.; Boyce, P. R.: Illuminance uniformity on desks: Where is the limit? *Lighting Research and Technology* 22 (1990) 4, S. 165–174
- [Slater93]** Slater, A. I.; Perry, M. J.; Carter, D. J.: Illuminance differences between desks: Limits of Acceptability. *Lighting Research and Technology* 25 (1993) 3, S. 91–103
- [Söllner65]** Söllner, G.: Ein einfaches System zur Blendungsbewertung. *Zeitschrift Lichttechnik* 17 (1965) 5, S. 59A-66A
- [Stefanov95]** Stefanov, E.:  $V(\lambda)$ -Anpassung eines bildauflösenden Leuchtdichtempfängers, Dissertation TU Ilmenau 1995
- [TGL81]** TGL-200-0617: Beleuchtung mit künstlichem Licht. Ausgabe 1981
- [Vandahl95a]** Vandahl, C.; Greiner Mai, U.; Gall, D.: Laboruntersuchungen zu Güte Merkmalen der Einzelplatzbeleuchtung. Vortrag zur Tagung »Svetlo '95« in Bratislava am 22.3.95

- [Vandahl95b] Vandahl, C.; Gall, D.: Betrachtung zu Güte Merkmalen der Einzelplatzbeleuchtung. Tagungsband »Lux jun. '95«, Ilmenau 1995, S. 71-73
- [Vandahl96] Vandahl, C.; Gall, D.: Lichttechnische Parameter für die Beleuchtung von Arbeitsflächen durch Einzelplatzleuchten im System der Kombinierten Beleuchtung. Tagungsberichte »Licht '96«, Leipzig 1996, S. 339-347
- [VEM81] VEM-Projektierungsvorschrift 2.1/12.81: Beleuchtung mit künstlichem Licht, Teil 1 Innenraumbeleuchtung
- [Völker98] Völker, S.: Eignung von Methoden zur Ermittlung eines notwendigen Beleuchtungsniveaus. Dissertation TU Ilmenau 1998 (noch nicht veröffentlicht)
- [Weigel52] Weigel, R. G.: Grundzüge der Lichttechnik. W. Giradet Essen 1952
- [Wolf95] Wolf, S.: Örtlich aufgelöste Leuchtdichtemessung mit CCD-Kamera. Tagungsband »Lux jun. '95«, Ilmenau 1995, S. 98-100
- [Wolfram89] Wolfram, H.; Neumann, J.; Wiczorek, W.: Psychologische Leistungstests in der Neurologie und Psychiatrie. Verlag G. Thieme Leipzig 1989



## 6 Anhang



## 6.I Laborversuche

### 6.I.I Fragebogen I

#### FRAGEBOGEN 1

1. Meine tägliche Arbeitszeit beträgt ..... Stunden.

Innerhalb dieser Arbeitszeit bin ich ..... Stunden am Schreibtisch tätig.

Arbeit am Schreibtisch (Lesen, Schreiben u. ä.) oft oooooooooooooooooooooooooooooo nie

Arbeit am Bildschirmgerät oft oooooooooooooooooooooooooooooo nie

Arbeit an Schreibmaschine oft oooooooooooooooooooooooooooooo nie

Telefonieren oft oooooooooooooooooooooooooooooo nie

2. Zeichnen Sie bitte die Größe Ihres an Ihrem Arbeitsplatz hauptsächlich genutzten Bereiches auf dem Papier ein!

3. Skizzieren Sie bitte die grundsätzliche Aufteilung Ihres Schreibtisches!  
(Wo stehen zum Beispiel das Telefon, Ablagen, Arbeitsplatzleuchte u. a.)

4. Ist diese Aufteilung vorgegeben oder von Ihnen frei gewählt?

- vorgegeben
- frei gewählt

5. Wenn die Aufteilung vorgegeben ist, woran liegt das?  
(z. B. zu kurze Kabel am Telefon u. a.)

6. Benutzen Sie zur Beleuchtung Ihres Arbeitsplatzes eine zusätzliche Arbeitsplatzleuchte?

- ja
- nein

7. Wenn Sie die vorhergehende Frage mit ja beantwortet haben:

Welche Fläche leuchtet die Arbeitsplatzleuchte auf Ihrem Arbeitsplatz aus?

- ca. A4
- ca. A3
- ca 60 cm × 60 cm
- größer

8. Diese beleuchtete Fläche ist zur Bewältigung meiner Arbeitsaufgabe

- zu klein
- optimal
- zu groß

## 6.1.2 Fragebogen 2

$E_{\text{Allg}} : E_{\text{Epl}}$	$E_{\text{Allg}}$ in lx	$E_{\text{Epl}}$ in lx	$\rho$ in %	Fläche Übergang
1 : 0	500	0	65	60 cm × 60 cm weich
1 : 0	200	0	65	60 cm × 60 cm weich

Tabelle 36: Versuchsbedingungen zu Fragebogen 2, Vergleich von Allgemeinbeleuchtungsstärken  
(weich: weicher Übergang zwischen beleuchteter Fläche und Umfeld)

$E_{\text{Allg}} : E_{\text{Epl}}$	$E_{\text{Allg}}$ in lx	$E_{\text{Epl}}$ in lx	$\rho$ in %	Fläche Übergang
1 : 0	500	0	49	60 cm × 60 cm weich
1 : 1	250	250	49	60 cm × 60 cm weich
0 : 1	0	500	49	60 cm × 60 cm weich

Tabelle 37: Versuchsbedingungen zu Fragebogen 2, Vergleich verschiedener Lichtsituationen  
(weich: weicher Übergang zwischen beleuchteter Fläche und Umfeld)

## FRAGEBOGEN 2

Die dargebotene Lichtsituation ...

gefällt mir nicht	oooooooooooooooooooooooooooo	gefällt mir
ist unauffällig	oooooooooooooooooooooooooooo	ist zu grell
fördert meine Aufmerk- samkeit	oooooooooooooooooooooooooooo	lenkt mich eher ab
belebt mich	oooooooooooooooooooooooooooo	ermüdet mich
schafft eine eher dunkle Arbeitsfläche	oooooooooooooooooooooooooooo	schafft eine eher helle Arbeitsfläche
belästigt mich	oooooooooooooooooooooooooooo	stört mich nicht
stimmt mich wohl	oooooooooooooooooooooooooooo	stimmt mich unwohl
verursacht Blendung durch ausgeleuchtete Fläche	oooooooooooooooooooooooooooo	keine Blendung durch ausgeleuchtete Fläche
strengt mich an	oooooooooooooooooooooooooooo	fällt mir kaum auf
wirkt natürlich	oooooooooooooooooooooooooooo	wirkt unnatürlich
erhöht meine Leistungsbereitschaft	oooooooooooooooooooooooooooo	beeinträchtigt meine Leistungsbereitschaft
ermüdet mich	oooooooooooooooooooooooooooo	ermuntert mich
bewirkt eher einen hellen Raumeindruck	oooooooooooooooooooooooooooo	bewirkt eher einen dunklen Raumeindruck

Vielen Dank für Ihre Wertungen!

### 6.1.3 Fragebogen 3

$E_{\text{Allg}} : E_{\text{Epl}}$	$E_{\text{Allg}}$ in lx	$E_{\text{Epl}}$ in lx	$\rho$ in %	Fläche Übergang
1 : 0	500	0	65	60 cm × 60 cm weich
1 : 0	200	0	65	60 cm × 60cm weich

*Tabelle 38: Versuchsbedingungen zu Fragebogen 3  
(weich: weicher Übergang zwischen beleuchteter Fläche und Umfeld)*

### FRAGEBOGEN 3

(Die Fragen werden vom Versuchsleiter mündlich gestellt und die Antworten eingetragen)

Lichtsituation  $E_{\text{Epl}} = \dots \text{ lx}$

1. Finden Sie diese Beleuchtung hinsichtlich der Helligkeit ausreichend für Lese- und Schreifarbeiten?  
ja                       nein
2. Könnten Sie sich vorstellen, mit einer zusätzlichen Arbeitsplatzbeleuchtung bessere Lichtverhältnisse zu schaffen?  
ja                       nein
3. Wenn ja, geben Sie bitte Ihre Wünsche bezüglich Größe und Helligkeit an!  
(wird vom Versuchsleiter eingestellt)

Größe: .....

Beleuchtungsstärke: .....

### 6.1.4 Fragebogen 4

$E_{\text{Allg}} : E_{\text{Epl}}$	$E_{\text{Allg}}$ in lx	$E_{\text{Epl}}$ in lx	$\rho$ in %	A4 weich	60 × 60 weich	60 × 60 hart	Greifr. weich
1 : 0	500	0	65	×			
0 : 1	0	500	65	×	×	×	×
1 : 1	250	250	65	×	×	×	×
1 : 5	83	417	65	×	×	×	×
5 : 1	417	83	65	×	×	×	×
1 : 0	1500	0	65	×			
0 : 1	0	1500	65	×	×		×
1 : 1	750	750	65	×	×	×	×
1 : 5	250	1250	65	×	×	×	×
5 : 1	1250	250	65	×	×		×

Tabelle 39: Versuchsbedingungen zu Fragebogen 4  
(weich: weicher Übergang, hart: harter Übergang zwischen beleuchteter Fläche und Umfeld)



## FRAGEBOGEN 4

Die dargebotene Lichtsituation ...

gefällt mir nicht	oooooooooooooooooooooooooooo	gefällt mir
schafft einen dunklen Arbeitsbereich	oooooooooooooooooooooooooooo	schafft einen hellen Arbeitsbereich
bewirkt ein <b>angenehmes Verhältnis</b> zwischen Allgemeinbeleuchtung und Arbeitsplatzbeleuchtung	oooooooooooooooooooooooooooo	bewirkt ein <b>unangenehmes Verhältnis</b> zwischen Allgemeinbeleuchtung und Arbeitsplatzbeleuchtung
bewirkt einen durch die Arbeitsplatzleuchte <b>zu klein</b> ausgeleuchteten Arbeitsbereich	oooooooooooooooooooooooooooo	bewirkt einen durch die Arbeitsplatzleuchte <b>ausreichend groß</b> ausgeleuchteten Arbeitsbereich
wirkt natürlich	oooooooooooooooooooooooooooo	wirkt unnatürlich
erhöht meine Leistungsbereitschaft	oooooooooooooooooooooooooooo	beeinträchtigt meine Leistungsbereitschaft
bewirkt eher einen hellen Raumeindruck	oooooooooooooooooooooooooooo	bewirkt eher einen dunklen Raumeindruck
hat einen <b>angenehmen Übergang</b> zwischen dem Arbeitsbereich und dessen Umfeld	oooooooooooooooooooooooooooo	hat einen <b>störenden Übergang</b> zwischen dem Arbeitsbereich und dessen Umfeld

Vielen Dank für Ihre Wertungen!

### 6.1.5 Wunscheinstellung der Einzelplatzbeleuchtungsstärke

$E_{\text{Allg}}$ in lx	$E_{\text{Epl}}$ in lx	Fläche Übergang	$\rho = 16 \%$	$\rho = 33 \%$	$\rho = 49 \%$	$\rho = 72 \%$	$\rho = 90 \%$
250	Wunsch	60 × 60 weich	×	×	×	×	×
500	Wunsch	60 × 60 weich	×	×	×	×	×
750	Wunsch	60 × 60 weich	×	×	×	×	×
1000	Wunsch	60 × 60 weich	×	×	×	×	×

Tabelle 40: Versuchsbedingungen zur Wunscheinstellung der Einzelplatzbeleuchtungsstärke  
(weich: weicher Übergang zwischen beleuchteter Fläche und Umfeld)

### 6.1.6 Konzentrations-Verlaufs-Test

$E_{\text{Allg}} : E_{\text{Epl}}$	$E_{\text{Allg}}$	$E_{\text{Epl}}$	$\rho$ in %	Fläche Übergang
1 : 0	500	0	49	60 cm × 60 cm weich
1 : 1	250	250	49	60 cm × 60 cm weich

Tabelle 41: Versuchsbedingungen zum KVT  
(weich: weicher Übergang zwischen beleuchteter Fläche und Umfeld)

### 6.1.7 Mathematischer Leistungstest I

$E_{\text{Allg}} : E_{\text{Epl}}$	$E_{\text{Allg}}$ in lx	$E_{\text{Epl}}$ in lx	Fläche Übergang	$\rho = 33 \%$	$\rho = 72 \%$
1 : 1	250	250	60 × 60 weich	×	×
1 : 2	250	500	60 × 60 weich	×	×
	250	Wunsch	60 × 60 weich	×	×
1 : 1	500	500	60 × 60 weich	×	×
1 : 2	500	1000	60 × 60 weich	×	×
	500	Wunsch	60 × 60 weich	×	×

Tabelle 42: Versuchsbedingungen für Mathematischen Leistungstest I  
(weich: weicher Übergang zwischen beleuchteter Fläche und Umfeld)

### 6.1.8 Mathematischer Leistungstest II

$E_{\text{Allg}} : E_{\text{Epl}}$	$E_{\text{Allg}}$ in lx	$E_{\text{Epl}}$ in lx	Fläche Übergang	$\rho$ in %
0 : 1	0	750	A4 weich	65
1 : 2	250	500	A4 weich	65
1 : 0	750	0	A4 weich	65
0 : 1	0	750	Greifraum weich	65
1 : 2	250	500	Greifraum weich	65
1 : 0	750	0	Greifraum weich	65

Tabelle 43: Versuchsbedingungen für den Mathematischen Leistungstest II  
(weich: weicher Übergang zwischen beleuchteter Fläche und Umfeld)

## **6.2 Untersuchung an Versuchsplätzen**

### **6.2.1 Fragebogen 2**

Der Fragebogen wurde für 9 Leuchten (Tabelle 44) verwendet. Die Allgemeinbeleuchtung betrug 275 lx. Der Leuchtenort wurde vorgegeben.

### **6.2.2 Fragebogen 5a**

Der Fragebogen wurde für 9 Leuchten (Tabelle 44) verwendet. Die Allgemeinbeleuchtung betrug 275 lx. Der Leuchtenort wurde vorgegeben (linke Tischecke, minimale Blendung, gleichmäßige Helligkeit in Tischmitte).

Leuchte	Gütemerkmale der Leuchte	Gütemerkmale der vorgegebenen Situation	Lampen	Reflektoren	Raster oder Lamellen	Gesamteinschätzung
1	$E_m = 254 \text{ lx}$ $g_1 = 0,12$ $g_2 = 0,03$	$E_m = 614 \text{ lx}$ $g_1 = 0,51$ $g_2 = 0,21$	1 × 20 W/12 V Halogenleuchte mit Kaltlicht- reflektor	Kaltlicht- reflektor	kein	Designer- leuchte; als Einzelplatz- leuchte nicht geeignet
2	$E_m = 798 \text{ lx}$ $g_1 = 0,46$ $g_2 = 0,29$	$E_m = 859 \text{ lx}$ $g_1 = 0,61$ $g_2 = 0,44$	2 × 9 W Kompakt-LL (warmweiß), EVG	Aluminium strukturiert	verspie- geltes Parabol- raster	Einzelplatz- leuchte hoher Qualität
3	$E_m = 546 \text{ lx}$ $g_1 = 0,42$ $g_2 = 0,26$	$E_m = 783 \text{ lx}$ $g_1 = 0,61$ $g_2 = 0,41$	1 × 11 W Kompakt-LL (warmweiß)	Aluminium strukturiert	kein	Einzelplatz- leuchte mittlerer Qua- lität
4	$E_m = 650 \text{ lx}$ $g_1 = 0,35$ $g_2 = 0,17$	$E_m = 824 \text{ lx}$ $g_1 = 0,49$ $g_2 = 0,22$	1 × 11 W Kompakt-LL (neutralweiß)	Aluminium strukturiert	strukturierte Plaste- scheibe	Maschinen- leuchte
5	$E_m = 1062 \text{ lx}$ $g_1 = 0,39$ $g_2 = 0,22$	$E_m = 1203 \text{ lx}$ $g_1 = 0,40$ $g_2 = 0,23$	1 × 24 W Kompakt-LL (neutralweiß), EVG	Aluminium matt	verspie- geltes Parabol- raster	Einzelplatz- leuchte hoher Qualität
6	$E_m = 1038 \text{ lx}$ $g_1 = 0,20$ $g_2 = 0,05$	$E_m = 1234 \text{ lx}$ $g_1 = 0,33$ $g_2 = 0,12$	1 × 50 W/12 V Halogenleuchte	Aluminium strukturiert	kein	Maschinen- leuchte
7	$E_m = 1754 \text{ lx}$ $g_1 = 0,53$ $g_2 = 0,36$	$E_m = 2098 \text{ lx}$ $g_1 = 0,56$ $g_2 = 0,41$	2 × 11 W Kompakt-LL (neutralweiß), EVG	Aluminium glatt	kein	Einzelplatz- leuchte hoher Qualität
8	$E_m = 444 \text{ lx}$ $g_1 = 0,55$ $g_2 = 0,35$	$E_m = 715 \text{ lx}$ $g_1 = 0,66$ $g_2 = 0,46$	1 × 11 W Kompakt-LL (warmweiß)	Aluminium strukturiert	kein	Einzelplatz- leuchte mittlerer Qua- lität
9	$E_m = 814 \text{ lx}$ $g_1 = 0,47$ $g_2 = 0,27$	$E_m = 874 \text{ lx}$ $g_1 = 0,62$ $g_2 = 0,42$	2 × 9 W Kompakt-LL (neutralweiß)	weiße Plaste	graue Plaste	Einzelplatz- leuchte hoher Qualität

Tabelle 44: Übersicht über die verwendeten Leuchten [Kelling94]



**8. Kann der eingestellte Leuchtenort akzeptiert werden?**

ja   
nein

**9. Können Sie Helligkeitsunterschiede im Arbeitsbereich feststellen?**

nicht vorhanden   
merkbar   
störend   
unzumutbar

**10. Können Sie eine durch die Arbeitsplatzleuchte verursachte Blendung feststellen?**

nicht vorhanden   
merkbar   
störend   
unzumutbar

**11. Können Sie eine durch die Arbeitsplatzleuchte verursachte Wärmestrahlung feststellen?**

nicht vorhanden   
merkbar   
störend   
unzumutbar

**Vielen Dank für Ihre Wertungen!**

### 6.2.3 Fragebogen 5b

Der Fragebogen wurde für 9 Leuchten (Tabelle 44) verwendet. Die Allgemeinbeleuchtung betrug 275 lx. Der Leuchtenort wurde durch die Versuchsperson selbst gewählt.

#### FRAGEBOGEN 5b

Nachdem Sie sich die Arbeitsplatzleuchte Ihrem Wunsch gemäß eingestellt haben, bitten wir Sie um ein sorgfältiges Ausfüllen des folgenden Fragebogens.

##### 1. Was hat sich nach der Einstellung geändert?

Helligkeit der ausgeleuchteten Fläche

besser ooooooooooooooooooooooooooooo schlechter

↑  
gleich geblieben

Größe der ausgeleuchteten Fläche

größer ooooooooooooooooooooooooooooo kleiner

↑  
gleich geblieben

Gleichmäßigkeit der ausgeleuchteten Fläche

besser ooooooooooooooooooooooooooooo schlechter

↑  
gleich geblieben

Blendung

verringert ooooooooooooooooooooooooooooo erhöht

↑  
gleich geblieben

##### 2. In welcher Rangfolge gingen die folgenden Kriterien in die Leuchteneinstellung ein?

maximale Helligkeit ....

Blendfreiheit ....

hohe Gleichmäßigkeit der ausgeleuchteten Fläche ....

keine Handlungs- und Sichtbehinderung ....

Größe der beleuchteten Fläche ....

Schattenfreiheit im Arbeitsbereich ....



**3. Konnte eine optimale Einstellung vorgenommen werden oder handelt es sich um eine Kompromißlösung ?**

optimale Einstellung o  
KompromißEinstellung o

**4. Sind die vorhandenen Verstellmöglichkeiten ausreichend?**

ja o  
nein o

**5. Wie würden Sie die Verstellmöglichkeiten einschätzen?**

zu viele oooooooooooooooooooooooooooooo zu wenige  
zu schwergängig oooooooooooooooooooooooooooooo zu leichtgängig

**6. Wie würden Sie persönlich die Arbeitsplatzleuchte in ihrem Gesamteindruck und ihrer Nutzerfreundlichkeit beurteilen?**

sehr gut o  
gut o  
befriedigend o  
genügend o  
ungenügend o

**7. In welcher Rangfolge gingen die folgenden Kriterien bei Ihrer in Frage 6 erteilten Gesamtnote ein?**

Helligkeit ...  
Blendungsbegrenzung ...  
Lichtfarbe ...  
Verstellmöglichkeiten ...  
Größe der ausgeleuchteten Fläche ...  
gleichmäßig ausgeleuchtete Fläche ...  
Design ...  
Anwenderfreundlichkeit ...  
andere Kriterien - welche ...

**Besten Dank für Ihre Wertungen!**

## 6.3 Feldversuche - Fragebogen 6

TU Ilmenau  
Fachgebiet Lichttechnik

Dezember 1994

### Fragebogen 6

Das Fachgebiet Lichttechnik der Technischen Universität Ilmenau führt eine Untersuchung zum Arbeitsumfeld in Büros durch. Wir freuen uns, daß Sie bereit sind, an der nachfolgenden Befragung teilzunehmen.

Vielen Dank!

#### Hinweise zum Ausfüllen des Fragebogens (Bitte sorgfältig lesen!)

Im folgenden Fragebogen sollen Sie sich zur Situation in Ihrem Büro äußern. Bitte beantworten Sie alle Fragen der Reihe nach und lassen Sie keine Frage aus. Füllen Sie den Fragebogen allein aus und sprechen Sie sich nicht mit anderen ab. Wir sind an Ihrer persönlichen Meinung interessiert. Bitte beantworten Sie die Fragen wahrheitsgemäß. Selbstverständlich erfolgt die Auswertung anonym. Die Angaben werden von uns in keiner Weise weitergegeben.

Im Fragebogen werden Sie verschiedene Arten von Fragestellungen vorfinden.

1. Fragestellung mit vorgegebenen Antworten: Bitte kennzeichnen Sie die für Sie zutreffende Antwort mit einem Kreuz.

Bsp.: Waren Sie in diesem Jahr schon im Urlaub?

ja  
 nein

2. Fragestellung mit Antwortskala: Auf einer Skala sind zwei gegensätzliche Antworten gegeben. Bitte kennzeichnen Sie auf der Skala die für Sie zutreffende Antwort mit einem Kreuz.

Bsp.: Wie war das Wetter in Ihrem Urlaub?

schön	<input checked="" type="checkbox"/>	oooooooooooooooooooooooooooo	schlecht	bedeutet:	
schön		oooooooooooooooooooooooooooo	<input checked="" type="checkbox"/> schlecht	Das Wetter war schön.	
schön		ooooo	<input checked="" type="checkbox"/> oooooooooooooooooooo	schlecht	Das Wetter war schlecht.
				Das Wetter war ziemlich schön.	

Folgende Begriffe kommen im Fragebogen vor:

Eine **Allgemeinbeleuchtung** besteht aus Leuchten, die sich an der Decke oder den Wänden befinden. Sie werden zentral ein- und ausgeschaltet.

Eine **Einzelplatzleuchte** ist eine Tischleuchte oder eine Stehleuchte, die sich auf oder direkt neben dem Schreibtisch befindet. Sie ist diesem Schreibtisch zugeordnet und wird von dessen Nutzer ein- und ausgeschaltet.

Bevor Sie mit der Beantwortung der Fragen beginnen, schalten Sie bitte die Allgemeinbeleuchtung und die Einzelplatzleuchte ein!

Falls Sie noch Fragen haben, wenden Sie sich bitte an uns!

## 1. Angaben zur Person

**A Welcher Altersgruppe gehören Sie an?**

- unter 20 Jahre
- 21 bis 30 Jahre
- 31 bis 40 Jahre
- 41 bis 50 Jahre
- 51 bis 60 Jahre
- über 60 Jahre

**B Geschlecht:**

- männlich
- weiblich

**C Tragen Sie bei Ihrer Arbeit am Schreibtisch eine Sehhilfe?**

- nein
- Nahbrille
- Fernbrille
- Kontaktlinsen

**D Wann waren Sie zuletzt bei Augenoptiker oder Augenarzt?**

- noch nie, ich habe keine Beschwerden
- vor weniger als 1 Jahr
- vor mehr als 1 Jahr
- vor mehr als 2 Jahren

**E Wie fühlen Sie sich momentan?**

mehr gut ooooooooooooooooooooooooooooo mehr schlecht

## 2. Angaben zum Arbeitsplatz

**A Wann arbeiten Sie vorwiegend an Ihrem Arbeitsplatz?**

- vormittags
- nachmittags
- den ganzen Tag
- nachts

**B Welche Tätigkeiten verrichten Sie überwiegend am Schreibtisch?**

(mehrere Antworten sind möglich)

- Schreiben und Lesen
- Arbeit am Computer
- Kommunikation mit anderen Personen, z. B. Kundengespräche (nicht über Telefon)
- anderes \_\_\_\_\_

**C Fühlen Sie sich an Ihrem Arbeitsplatz wohl?**

Ja, sehr ooooooooooooooooooooooooooooo nein, überhaupt nicht

## 2. Angaben zur Beleuchtung

### A Wie schätzen Sie die Lichtsituation an Ihrem Arbeitsplatz ein?

Ich bin mit der Beleuchtung ...

zufrieden oooooooooooooooooooooooooo unzufrieden

Der Raum ...

ist hell oooooooooooooooooooooooooo ist dunkel

Das Licht ...

ermüdet mich oooooooooooooooooooooooooo belebt mich

Die Arbeitsfläche des Schreibtisches ...

ist hell oooooooooooooooooooooooooo ist dunkel

Ich fühle mich ...

nicht geblendet oooooooooooooooooooooooooo geblendet

Die Lichtfarben ...

sind angenehm oooooooooooooooooooooooooo sind unangenehm

### B Sind Sie mit Ihrer Einzelplatzleuchte zufrieden?

Ja, sehr oooooooooooooooooooooooooo nein, überhaupt nicht

### C Gefällt Ihnen die Gestaltung Ihrer Einzelplatzleuchte?

Ja, sehr oooooooooooooooooooooooooo nein, überhaupt nicht

### D Wie bewerten Sie das Licht der Einzelplatzleuchte?

Die Fläche auf dem Schreibtisch, die von der Einzelplatzleuchte beleuchtet wird, ...

ist ausreichend groß oooooooooooooooooooooooooo ist zu klein

ist hell oooooooooooooooooooooooooo ist dunkel

Meine Einzelplatzleuchte ...

blendet mich nicht oooooooooooooooooooooooooo blendet mich

Die Farbe des Lichtes der Einzelplatzleuchte ...

ist angenehm oooooooooooooooooooooooooo ist unangenehm

**E**      **Fühlen Sie sich durch andere Einzelplatzleuchten im Raum gestört?**  
Ja, sehr    oooooooooooooooooooooooooooooo    nein, überhaupt nicht

**F**      **Welche Beleuchtungsart bevorzugen Sie?**

- nur Allgemeinbeleuchtung
- nur Einzelplatzbeleuchtung
- beides

**G**      **Wie oft benutzen Sie Ihre Einzelplatzleuchte?**

- nie
- gelegentlich
- nur bei besonderen Sehaufgaben
- immer, wenn es zu dunkel ist
- fast den ganzen Tag

**H**      **Warum benutzen Sie die Einzelplatzleuchte?**  
(mehrere Antworten sind möglich)

- Die Allgemeinbeleuchtung ist zu dunkel.
- Die individuelle Einstellung ist mir wichtig.
- Weil ich mich bei dieser Beleuchtung besser konzentrieren kann.
- Um glänzende Reflexe zu vermeiden.
- anderes \_\_\_\_\_

**I**      **Welche negative Wirkungen, die Sie auf die Beleuchtung zurückführen, haben Sie festgestellt?**  
(mehrere Antworten sind möglich)

- keine Wirkungen
- Kopfschmerzen
- Augenbeschwerden
- Konzentrationsverlust
- Ermüdung
- Sehbeschwerden
- anderes \_\_\_\_\_

**Vielen Dank!**