

---

# **LICHT UND GESUNDHEIT**

---

Gesundheits- und Befindlichkeitsstörungen  
bei der Büro- und Bildschirmarbeit

## **Eine Untersuchung zum Stand der Beleuchtungstechnik in deutschen Büros**

**3. erweiterte Auflage**

**Ahmet E. Çakir  
Gisela Çakir**

---

ERGONOMIC  
Institut für  
Arbeits- und Sozialforschung  
Forschungsgesellschaft mbH  
Berlin, Januar 1998

## 1 Projektziel und Problemstellung

1.1	Ziele	1 - 1
1.1.1	Gesamtprojekt	1 - 1
1.1.2	Teilprojekt 1: Untersuchungen an Arbeitsplätzen	1 - 1
1.1.3	Teilprojekt 2	1 - 2
1.1.4	Teilprojekt 3	1 - 3
1.2	Problemstellung	1 - 4
1.3	Zur Wirkung des Lichts auf den Menschen	1 - 8
1.3.1	Zur Wirkung der künstlichen Beleuchtung	1 - 8
1.3.2	Zur Wirkung des Tageslichtes	1 - 13

## 2 Arbeitshypothesen und ihre Begründung

2.1	Hypothese 1 und ihre Begründung	2 - 1
2.2	Hypothese und ihre Begründung	2 - 2
2.3	Hypothese 3 und ihre Begründung	2 - 3
2.4	Hypothese 4 und ihre Begründung	2 - 5
2.5	Hypothese 5 und ihre Begründung	2 - 6
2.6	Hypothese 6 und ihre Begründung	2 - 6
2.7	Zusammenfassung der Hypothesen	2 - 7

## 3 Methodenbeschreibung

3.1	Verfahren bei Teilprojekt 1	3 - 1
3.2	Verfahren bei Teilprojekt 2	3 - 1
3.3	Verfahren bei Teilprojekt 3	3 - 2
3.4	Fragebogen	3 - 2
3.5	Zielgruppe und Stichprobe der postalischen Befragung	3 - 4
3.5.1	Zielgruppe	3 - 4
3.5.2	Geographische Verteilung	3 - 6
3.5.3	Stichprobengröße	3 - 6
3.5.4	Ausgewertete Stichprobe	3 - 7

## **4 Arbeitsverhältnisse**

4.1	Raumgrößen	4 - 1
4.2	Fenster und Lichtschutz	4 - 2
4.3	Entfernung der Arbeitsplätze vom Fenster	4 - 3
4.4	Beleuchtungsarten	4 - 4
4.5	Zusammenfassung	4 - 5

## **5 Beurteilung der Beleuchtung**

5.1	Allgemeine Beurteilung	5 - 1
5.2	Vergleich der Beleuchtungsarten	5 - 1
5.3	Änderung des Raumeindrucks durch die künstliche Beleuchtung	5 - 4
5.4	Zusammenfassung und Interpretation	5 - 5

## **6 Beeinträchtigende Arbeitsbedingungen und Beleuchtung**

6.1	Allgemeines	6 - 1
6.2	Vergleich der Beeinträchtigung durch die Beleuchtung mit anderen Belastungsfaktoren	6 - 2
6.2.1	Allgemeines Urteil	6 - 2
6.2.2	Einfluß der Arbeitsmittel und des Raumes	6 - 3
6.2.3	Einfluß der Beleuchtungsart	6 - 4
6.2.4	Zusammenfassung und Interpretation	6 - 5

## **7 Gesundheitliche Störungen und Beleuchtung**

7.1	Zum Gesundheitsbegriff	7 - 1
7.1.1	Einwirkungsdefinition	7 - 1
7.1.2	Belastungs-/Beanspruchungskonzept	7 - 3
7.1.3	Störung der Tagesrhythmik als Belastungsfaktor	7 - 5
7.2	Gesundheitliche Beeinträchtigungen bei der Büroarbeit	7 - 6
7.2.1	Gesundheitliche Beeinträchtigungen und Umweltfaktoren	7 - 6
7.2.2	Häufigkeit der Gesundheitsstörungen	7 - 7

7.2.3	Einfluß des Sehvermögens auf Gesundheitsstörungen	7 - 8
7.2.4	Einfluß der Beleuchtungsart auf Gesundheitsstörungen	7 - 9
7.3	Einfluß des natürlichen Lichts auf Beeinträchtigungen und Gesundheitsstörungen	7 - 10
7.3.1	Einfluß der Raumtiefe	7 - 10
7.3.2	Fensterentfernung und Beeinträchtigungen	7 - 11
7.3.3	Fensterentfernung und Gesundheitsstörungen	7 - 16
7.3.4	Zusammenfassung und Interpretation	7 - 18

## **8 Diskussion der Arbeitshypothesen auf der Basis der Ergebnisse des Teilprojekts 2**

8.1	Hypothese 1	8 - 1
8.2	Hypothese 2	8 - 2
8.3	Hypothese 3	8 - 2
8.4	Hypothese 4	8 - 3
8.5	Hypothese 5	8 - 3
8.6	Hypothese 6	8 - 4
8.7	Zusammenfassung	8 - 4

## **9 Beschreibung der Entwicklung von Beleuchtungskonzepten**

9.1	Allgemeines	9 - 1
9.2	Lichttechnische Grundgrößen	9 - 1
9.2.1	Lichtstrom	9 - 1
9.2.2	Lichtstärke	9 - 2
9.2.3	Leuchtdichte	9 - 2
9.2.4	Beleuchtungsstärke	9 - 4
9.2.5	Schattigkeit	9 - 9
9.2.6	Direktblendung	9 - 9
9.2.7	Reflexblendung	9 - 10
9.2.8	Kontrast und Kontrastwiedergabe	9 - 12
9.3	Lichttechnische Gütemerkmale	9 - 14
9.3.1	Bedeutung	9 - 14
9.3.2	Wertigkeit	9 - 16

9.4	Zur Entwicklung der Beleuchtungstechnik in Innenräumen bis 1979	9 - 16
9.4.1	Entwicklung der Beleuchtungsnorm DIN 5035	9 - 16
9.4.2	Entwicklung der Beleuchtungstechnik	9 - 20
9.4.3	Zur Entwicklung der Beleuchtungstechnik in Innenräumen seit 1980	9 - 28
9.4.4	Die Arbeitsplatzleuchte als neue Leuchtengattung	9 - 30

## **10 Ausgewählte Ergebnisse des Teilprojekts 1**

10.1	Zur Durchführung des Teilprojekts	10 - 1
10.2	Zur Befragungsmethode	10 - 1
10.3	Allgemeine Aussagen	10 - 3
10.3.1	Abweichung der praktischen Verhältnisse von den Annahmen in der Beleuchtungstechnik	10 - 3
10.3.2	Problemstellung aus der Sicht des Organisators	10 - 6
10.3.3	Schlußfolgerungen	10 - 9
10.4	Aussagen zur Beleuchtungsstärke am Arbeitsplatz	10 - 9
10.5	Fallstudien	10 - 11
10.5.1	Fallstudie 1:	10 - 11
10.5.2	Fallstudie 2:	10 - 12
10.5.3	Fallstudie 3:	10 - 14
10.5.4	Fallstudie 4:	10 - 14
10.5.5	Fallstudie 5:	10 - 15
10.5.6	Fallstudie 6:	10 - 16
10.6	Was ist neu an neuen Beleuchtungskonzepten?	10 - 18

## 11 Vergleichende Studie zu Beleuchtungskonzepten

11.1	Zweck der Studie	11 - 1
11.2	Methode	11 - 1
11.2.1	Auswahl der Beleuchtungsanlagen	11 - 1
11.2.2	Theoretische Vor- und Nachteile der untersuchten Beleuchtungsarten	11 - 3
11.2.3	Technische Untersuchungen	11 - 8
11.2.4	Fragebogen	11 - 10
11.3	Vergleichende Bewertung der optimierten 2K-Beleuchtung und der Direktbeleuchtung mit BAP-Leuchten	11 - 10
11.3.1	Vergleichsobjekte	11 - 10
11.3.2	Ergebnis der Untersuchung	11 - 11
11.4	Vergleichende Studie zu fünf Beleuchtungskonzepten	11 - 17
11.4.1	Vergleichsobjekte	11 - 17
11.4.2	Ergebnisse der technischen Untersuchungen	11 - 17
11.4.3	Ergebnisse der Befragung der Raumbenutzer	11 - 22
11.4.4	Ergebnisse der Befragung von raumfremden Mitarbeitern	11 - 23
11.5	Schlußfolgerungen aus den vergleichenden Untersuchungen	11 - 25
11.6	Überprüfung der Zuverlässigkeit der Ergebnisse	11 - 26
11.6.1	Methodischer Grund der Überprüfung	11 - 26
11.6.2	Zur Durchführung	11 - 27
11.6.3	Zur Zuverlässigkeit der Bewertung der Beleuchtung	11 - 27
11.6.4	Läßt sich die Wirkung der Arbeitsplatzleuchte verallgemeinern?	11 - 28
11.7	Vergleich mit Resultaten anderer Studien	11 - 29
11.7.1	Studie der Cornell-University	11 - 29
11.7.2	Studie der Universität Karlsruhe	11 - 33
11.7.3	Nutzwertanalyse für Beleuchtungsarten	11 - 35
11.7.4	Studie der Technischen Universität Ilmenau	11 - 37

## **12 Begründung von beleuchtungstechnischen Maßnahmen auf der Basis neuer Arbeitsschutzbestimmungen**

12.1	Rechtliche Grundlagen	12 - 1
12.1.1	Aktuelle gesetzliche Regelwerke zur Bildschirmarbeit	12 - 1
12.1.2	Anforderungen des bisherigen gesetzlichen Regelwerks zur künstlichen Beleuchtung von Bildschirmarbeitsplätzen	12 - 2
12.1.3	Anforderungen der neuen gesetzlichen Regelwerke im Hinblick auf die künstliche Beleuchtung von Bildschirmarbeitsplätzen	12 - 3
12.1.4	Anforderungen des Arbeitsschutzgesetzes	12 - 3
12.1.5	Anforderungen der Bildschirmarbeitsverordnung	12 - 4
12.1.6	Anforderungen der Arbeitsstättenverordnung	12 - 6
12.1.7	Besonderheiten	12 - 6
12.2	Mögliche Gefährdungen der Gesundheit durch die künstliche Beleuchtung am Bildschirmarbeitsplatz	12 - 7
12.2.1	Erläuterung der relevanten Begriffe	12 - 7
12.2.2	Mögliche Gefährdungen durch Bildschirmarbeit	12 - 8
12.2.3	Schlußfolgerungen aus Rechtsnormen und "anerkannten Regeln der Technik"	12 - 8
12.2.4	Schlußfolgerungen aus der Literatur zum "Sick Building Syndrome"	12 - 10
12.3	Fazit	12 - 11
12.4	Gebrauchstauglichkeit von Beleuchtungsarten	12 - 13
12.4.1	Erläuterung des Konzepts der Gebrauchstauglichkeit	12 - 13
12.4.2	Der Bezug zur "objektiven" Produktqualität?	12 - 15
12.5	Anwendung der Gebrauchstauglichkeit auf die Beleuchtung	12 - 17
12.5.1	Zielbestimmung	12 - 17
12.5.2	Anforderungen aus der Sicht des Betriebs	12 - 18
12.5.3	Anforderungen aus der Sicht des Menschen	12 - 19
12.5.4	Entscheidungsfindung für den allgemeinen Fall	12 - 21

## Vorwort

In Europa und in Deutschland sind durch die Harmonisierung des Binnenmarktes im Laufe der letzten zehn Jahren auch neue gesetzliche Regelwerke für den Arbeitsschutz in Kraft getreten. Diese bedeuten sowohl nach ihren Buchstaben als auch von ihrem Geist her eine erhebliche Veränderung für die gesamte Arbeitswelt. Für den Bürobereich finden sich die wichtigsten Veränderungen in dem Arbeitsschutzgesetz vom August 1996 sowie in der Bildschirmarbeitsverordnung und der modifizierten Arbeitsstättenverordnung vom Dezember 1996.

Parallel dazu erfolgten in den letzten fünf Jahren zum Themenkomplex "Künstliche Beleuchtung von Arbeitsplätzen" zudem zahlreiche Veröffentlichungen über Planungs- und Beratungsprojekte als auch über neue Forschungsprojekte der Bundesanstalt für Arbeitsschutz.

Die vorliegende dritte deutsche Auflage des Forschungsberichts "Licht und Gesundheit" erfolgte vor dem Hintergrund

- dieser neuen Regelwerke zum Arbeitsschutz und der
- in den letzten Jahren erfolgten nahezu totalen Technisierung der Büroarbeitsplätze mit der damit verbundenen gestiegenen visuellen Belastung

und aufgrund neuer Erkenntnisse

- aus zahlreichen Planungs- und Beratungsprojekten sowie
- aus Forschungsprojekten der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin.

Von grundsätzlicher Bedeutung hierbei ist das veränderte Verständnis von Gesundheit und die besondere Berücksichtigung individueller Bedürfnisse in den Regelwerken zum Arbeitsschutz, und damit auch für die Beleuchtung. So stellt "Gleiches Licht für alle" oder aber eine rein der Arbeitsaufgabe als angemessen erachtete Beleuchtung nicht mehr das Gestaltungsziel der Beleuchtung dar, sondern die "Anpassung an das Sehvermögen der Benutzer". Dies bedeutet in der Praxis, daß alle Beteiligten in Zukunft die Beleuchtung eines Arbeitsplatzes durch eine neue "Brille" sehen müssen.

Die Beleuchtung von Arbeitsstätten bildet bereits seit dem Beginn unseres Jahrhunderts einen der wichtigsten Betrachtungsgegenstände für die Rationalisierung menschlicher Arbeit. Bereits in den 20er Jahren reklamierten sog. "efficiency experts" gutes Licht als ein Mittel der Leistungssteigerung. Obwohl ihnen der praktische Nachweis der Wirksamkeit gründlich mißlang, Stichwort "Hawthorne-Effekt", entwickelten sie die bis heute in der Lichttechnik verwendete Argumentationslinie.

Das dritte Jahrzehnt des 20. Jahrhunderts erlebte zwei Meilensteine in der Entwicklungsgeschichte der Beleuchtung: Im Jahre 1935 erschien die erste Beleuchtungsnorm, DIN 5035, die den Menschen vor Gefahren der Beleuchtung schützen sollte. Nur wenige Jahre danach wurde die Leuchtstofflampe erfunden und marktreif

gemacht, die heute, etwa 60 Jahre danach, die dominierende Lampenart in der Arbeitswelt schlechthin darstellt. Sie kam nach dem Krieg in allen Wirtschaftszweigen zur Anwendung und sollte die technische Basis für die "gute" Beleuchtung bilden, von der man viel Positives erwartete: *"Nur gute Beleuchtung schafft günstige Sehbedingungen, vermindert die Ermüdung der Augen, fördert und erhält das physische und psychische Wohlbefinden und damit Lebensfreude und Lebenskraft des Menschen."* (aus den Leitsätzen von DIN 5035, Juli 1953).

Nicht wenige werden sich beim Lesen des oben zitierten Leitsatzes verwundert die Augen reiben. Ist die gute Beleuchtung etwa an ihren Arbeitsplätzen vorbei gegangen? Der vorliegende Forschungsbericht des Projekts "Licht und Gesundheit" soll hierauf Antwort geben, allerdings nicht nur auf diese Frage: Der Bericht dokumentiert die Ergebnisse der vermutlich bislang umfangreichsten und längsten kontinuierlichen Untersuchungen im Bürobereich zur Wirkung des Lichts auf den Menschen in der Praxis.

Die Idee des Projekts geht auf eine Ausschreibung des Bundesministers für Arbeit und Sozialordnung im Jahre 1980 zurück, dessen Gegenstand die Auswirkungen der künstlichen Beleuchtung auf die Gesundheit war. Die damals für das Forschungsprojekt vorgesehenen Mittel waren allerdings gemessen an der Aufgabe gering und auch die Laufzeit nur begrenzt, sie konnten dem anspruchsvollen Ansatz nicht gerecht werden. Hinzu kam, daß dem insgesamt gestellten Anspruch, wissenschaftlich begründete und generalisierbare Erkenntnisse über den Einfluß der künstlichen Beleuchtung auf die Gesundheit der arbeitenden Bevölkerung in der gesamten Arbeitswelt gewinnen zu wollen, u.a. auch deswegen nicht entsprochen werden konnte, da es in der Arbeitswelt auch an sonstigen Arbeitsbedingungen mit positiven und negativen Auswirkungen nicht mangelt. Zumindest einige der fraglichen Belastungsfaktoren beeinträchtigen die Gesundheit vermutlich stärker, als die schlechteste Beleuchtung es je könnte. Die Gefahr, daß man zu fehlerhaften Erkenntnissen gelangt, wäre größer gewesen als die Chance, fundiertes Wissen zu erarbeiten, das nicht nur mögliche negative Auswirkungen aufdeckt, sondern auch Wege zu einer Verbesserung zeigt. Aus diesem Grunde wurde das Projekt damals nicht durchgeführt. Die Grundidee wurde jedoch von uns, dem ERGONOMIC Institut, aufgegriffen und für den Büro- und Verwaltungsbereich weiter verfolgt. Im folgenden wird ein Überblick über den bisherigen Projektverlauf und die gewonnenen Erkenntnisse gegeben:

- In den ersten Projektjahren gingen wir davon aus, daß die untersuchten bzw. festgestellten Probleme durch mangelhafte Planung bzw. Ausführung verursacht worden wären. Somit hätten sie unter dem Ziel der Einhaltung der Gütekriterien der Beleuchtungsnormen mittels einer verbesserten und sorgfältigeren Planung und deren korrekten Ausführung beseitigt werden können müssen. Die Voraussetzung einer verbesserten Planung war zu dieser Zeit durch die Entwicklung von entsprechenden Planungsprogrammen vorhanden. Zudem versprach die neue Technik der sogenannten BAP-Leuchten, Leuchten mit einer starken Entblendung, einen guten Erfolg. Über etwa fünf Jahre wurde eine erhebliche Anzahl von Betriebsprojekten

durchgeführt, bei denen die Beleuchtungssituation an Bildschirmarbeitsplätzen mit Hilfe dieser Leuchten verbessert werden sollte.

- Da sich der erhoffte Erfolg nicht einmal näherungsweise einstellte, führten wir Untersuchungen mit neueren Beleuchtungskonzepten durch, die den lange vermißten Durchbruch brachten, obwohl die verwendeten Leuchten teilweise Labormuster waren. Um festzustellen, ob unsere Erkenntnisse auf die Umstände unserer Projekte zurückzuführen waren und somit nicht primär durch die Beleuchtungstechnik bedingt, führten wir eine repräsentative Befragung deutscher Büromitarbeiter durch. Im Jahre 1990 wurde der erste Forschungsbericht vorgelegt, der die bis dahin erarbeiteten Erkenntnisse beschreibt.

- Die wichtigste Erkenntnis, die in diesem Bericht vermittelt wurde, lautete: Auch im Jahre 1990 hatte die künstliche Beleuchtung diejenigen Ziele nicht erreicht, die sie seit einem Dreivierteljahrhundert erreicht haben sollte: Förderung der Gesundheit und Minderung der Ermüdung. Sie erreichte eher das Gegenteil! Das Tageslicht hingegen besaß und besitzt, bei allen Problemen, die es dem Menschen auch bereitet, eine nachweislich positive Bedeutung. Eine wichtige Erkenntnis für den, der Gebäude und Arbeitsplätze plant! Nicht glücklich über diese Erkenntnis waren aber diejenigen, die künstliche Beleuchtung planen bzw. einsetzen müssen. Wer will denn schon gerne Produkte entwerfen bzw. in Arbeitsräumen installieren, die die Gesundheit ihrer Benutzer „beeinträchtigen“ sollen, auch wenn diese unverzichtbar sind?

- Der Bericht enthielt aber auch einen Lichtblick in Form von neuen Beleuchtungssystemen und -konzepten, die wirklich Neues versprachen. Diese in der Praxis zu prüfen, war der Gegenstand weiterer Untersuchungen, deren Ergebnisse in einen zweiten Bericht eingeflossen sind, der im Jahre 1994 vorgelegt wurde. Diese Arbeiten bedurften einer besonderen Sorgfalt, denn Positives herauszuarbeiten erfordert eher mehr Aufwand und kritischen Abstand als die Suche nach Kritikwürdigem, wenn es sauber belegt sein soll.

- In der vorliegenden Fassung des Forschungsberichts werden die Ergebnisse der Untersuchungen in der Praxis mit neuen Beleuchtungskonzepten präsentiert, die in dem Bericht von 1990 im Anhang beschrieben und bewertet worden sind. Damals erfolgte die Bewertung jedoch „theoretisch“ durch Aufzählen von *erwarteten* Vor- und Nachteilen, von denen jedoch jeder einzelne geeignet sein konnte, in der Praxis die Akzeptanz negativ oder positiv zu beeinflussen. Die nun vorliegenden Ergebnisse einer Reihe von Betriebsprojekten zeigen, was aus Sicht der Anwender und Benutzer positiv oder negativ zu bewerten ist.

- Da die Veröffentlichung von Teilergebnissen auch im Ausland auf eine große Resonanz gestoßen war, wurde der Bericht im Jahr 1991 in englischer Sprache herausgegeben und auf vielen internationalen Kongressen Wissenschaftlern und in mehr als zehn Ländern Praktikern präsentiert. Die überwältigende Reaktion auch aus dem Ausland zeigt, daß die mit der Beleuchtung von Arbeitsstätten verbunde-

nen Probleme in ähnlicher Intensität auch in anderen Industrieländern feststellbar sind, möglicherweise ist die Situation sogar noch bedenklicher.

- Zusammenfassend läßt sich aussagen, daß die positiven Effekte, die im Vorwort des ersten Berichtes abschließend als möglich angeführt worden sind, sich auch tatsächlich in der Praxis haben nachweisen lassen. Leider läßt sich dies nicht von der sog. "Bildschirmarbeitsplatzbeleuchtung" behaupten, da diese - obwohl speziell entwickelt zur Lösung von Problemen der Benutzer von Bildschirmgeräten - eher die Ursache mancher visueller Probleme bildet denn eine Lösung, wie auch Untersuchungen anderer Autoren zeigen.

Die Bedeutung der "richtigen" Beleuchtung wird in nächster Zukunft im Zuge neuer Computeranwendungen noch weiter zunehmen. Diese Aussage gilt insbesondere für Dokumentenverwaltungssysteme (Imaging, DMS), denen eine weite Verbreitung bevorsteht, und für Multimedia-Anwendungen, bei denen es auf eine gute Farberkennung ankommt. Was allerdings die "richtige" Beleuchtung für ein Unternehmen bzw. dessen Teile darstellt, sollte nicht von Außenstehenden vorgegeben werden, sondern anhand des Gebrauchstauglichkeitskonzepts bestimmt werden, das in diesem Bericht zum ersten mal vorgestellt wird.

Die überwältigende Resonanz auf die früheren Ausgaben des Forschungsberichts deutet auf die besondere Bedeutung einer guten Beleuchtung für den arbeitenden Menschen hin, die sogar über das hinausgeht, was die Hersteller von Leuchten optimistischerweise behaupten. Anlaß, sich Gedanken über die vorhandene und zukünftige Beleuchtung zu machen!

Einige Tausend Personen in Deutschland haben sich nicht nur Gedanken gemacht, sondern unser Vorhaben tatkräftig unterstützt. Unser Dank gilt allen Beteiligten, die uns bei der Durchführung des Projektes unterstützt haben,

- den befragten Arbeitnehmern, die äußerst interessiert an den Untersuchungen teilgenommen haben,
- den Arbeitgebern, Organisatoren und Betriebs- bzw. Personalräten, die die Durchführung überhaupt erst ermöglicht haben,
- den Sicherheitsfachkräften und den Betriebsärzten für ihre zahlreichen Hinweise und Informationen und
- den nationalen und internationalen Experten der Lichttechnik, der Arbeitswissenschaft und des Arbeitsrechts für die vielen intensiven Gespräche und den anregenden Schriftwechsel.

Ohne ihre Hilfe wäre unsere Arbeit nicht möglich gewesen.

Berlin, Januar 1998

Dr.-Ing. Ahmet Çakir

Dipl.-Ing. Gisela Çakir

# 1 Projektziel und Problemstellung

## 1.1 Ziele

### 1.1.1 Gesamtprojekt

Das Projekt "Licht und Gesundheit" ist ein vierstufig konzipiertes Vorhaben mit dem Ziel, die günstigste Konzeption für die Beleuchtung heutiger und künftiger Büroarbeitsplätze zu finden. Diese Büroarbeitsplätze werden zu einem erheblichen Teil Bildschirmarbeitsplätze sein, deren Prozentsatz je nach Betrieb zwischen 30% und 100% liegt. Die letztere Größenordnung wurde bereits vor mehreren Jahren bei einer Vielzahl von Betrieben erreicht. Im Laufe der nächsten Jahre dürfte sie in der überwiegenden Zahl von Büros Realität werden.

In der umfangreichen Literatur zu diesem Thema mangelt es nicht an Expertenurteilen und auch nicht an normativen und sonstigen Gestaltungsvorschlägen. Dieses Projekt wird sich hingegen im wesentlichen auf die Urteile der **Benutzer und Benutzerinnen** von Arbeitsräumen konzentrieren. Das Ziel des Gesamtprojekts besteht darin, die aus **ihrer** Sicht optimalen Vorgaben für die Beleuchtungstechnik zu ermitteln. Die vorhandene Raumarchitektur und ihre mögliche Entwicklung wird bei der Befragung und der Bewertung mit berücksichtigt, da eine Bewertung der Beleuchtung nach Meinung der Autoren erst dadurch sinnvoll wird.

Im Rahmen des Teilprojekts 1 wurden über 2000 Personen im Laufe von mehreren Jahren an ihren Arbeitsplätzen befragt, wobei die Fragen zur Beleuchtung immer ein wesentlicher Bestandteil waren. Aus dieser Befragung heraus wurden die Hypothesen des Teilprojekts 2 formuliert, die mit Hilfe einer repräsentativen Befragung von Bürotätigen überprüft worden sind. Im anschließenden Teilprojekt 3 wurden dann Arbeitsplätze mit besonderen Beleuchtungsmerkmalen, die sich im Teilprojekt 2 als besonders günstig bzw. ungünstig erwiesen haben, gezielt untersucht, um die für das Teilprojekt 4 modellhaft zu untersuchenden Beleuchtungsvarianten festzulegen. Am Ende des Teilprojekts 3 wurde eine abschließende Vergleichsstudie mit einer großen Zahl von Beleuchtungsvarianten sowie eine Studie zur Zuverlässigkeit des Befragungsinstrumentariums durchgeführt.

Der Teil 4 wird das Projekt mit einer Laboruntersuchung abschließen, bei der die einzelnen lichttechnischen Größen der ausgewählten Beleuchtungsvarianten gezielt untersucht werden. Angesichts der Eindeutigkeit der durch die eigenen Untersuchungen gewonnenen Erkenntnisse sowie der mittlerweile vorliegenden Erkenntnisse anderer Studien wird das Ergebnis dieser Untersuchung eher für den einzelnen Hersteller interessant sein, der ein neues System optimieren will.

### 1.1.2 Teilprojekt 1: Untersuchungen an Arbeitsplätzen

In diesem Teilprojekt wurden arbeitswissenschaftliche Untersuchungen in zahlreichen Unternehmen durchgeführt, deren Zweck es war, die relevanten Belastungsfaktoren für den Menschen zu ermitteln. Zu solchen Faktoren gehört auch die Beleuch-

tung, wobei man ihre Wirkung allerdings mit einem positiven Vorzeichen zu sehen neigt, d.h., man erwartet von einer "guten" Beleuchtung belastungsmindernde Einflüsse. Dies ist sicherlich uneingeschränkt richtig, wenn man davon ausgeht, daß wir ohne künstliche Beleuchtung gar nicht arbeiten können und daher immer einen Vorteil von ihrer Anwendung haben.

Die durchgeführten Untersuchungen haben jedoch gezeigt, daß die Mitarbeiter diesen Vorteil keineswegs erleben. So lag die Akzeptanz der künstlichen Beleuchtung nicht etwa bei den erwarteten Werten von 70% und mehr, sondern eher zwischen 0% und 20%. Da die untersuchten Beleuchtungsinstallationen praktisch das ganze Spektrum abgedeckt hatten, das nach wirtschaftlichen Maßstäben betrieben werden konnte, wurde beschlossen, den Ursachen und den Folgen der mangelnden Akzeptanz systematisch nachzugehen. Hierzu wurden Hypothesen aufgestellt, die in den Teilprojekten 2 und 3 überprüft worden sind.

An dieser Stelle sei angemerkt, daß Akzeptanzuntersuchungen über ein bestimmtes Objekt (hier Beleuchtung) i.d.R. eine Bewertung dieses Objekts unter gegebenen Umständen (z.B. eine bestimmte Raumform) ermitteln und daher nur Hinweise auf mögliche Einflußfaktoren geben können, die mit dem Untersuchungsobjekt zusammenhängen. Zu einem Nachweis gehört die Isolierung der Einflüsse, die tatsächlich von dem fraglichen Objekt ausgehen. Bezüglich der Akzeptanz der Beleuchtung kommen mindestens die Arbeitsaufgaben, die persönlichen Eigenschaften und die Raumformen als zu prüfende sonstige Einflußfaktoren in Frage.

Das Teilprojekt 1 und dessen wichtigste Ergebnisse werden in den Kapiteln 9 und 10 dargestellt.

### **1.1.3 Teilprojekt 2**

Ein besonderer Schwerpunkt des vorliegenden Berichts liegt beim zweiten und dritten Teil des Projekts "Licht und Gesundheit". Diese Teile wurden mit eigenständig verwertbaren Ergebnissen abgeschlossen, die interessierten Betrieben wissenschaftlich begründete Handlungsmöglichkeiten bei der Auswahl von neuen Beleuchtungsanlagen geben sollen.

Wie bereits angeführt, war das Ziel des Teilprojekts 2 die Überprüfung der im folgenden dargestellten Hypothesen und die Ableitung von Empfehlungen für die Gestaltung von Arbeitsräumen und ihrer Beleuchtung. Die Hypothesen wurden aus den Ergebnissen des Teilprojekts 1 und aus den Zielsetzungen der Normen abgeleitet, die in der Bundesrepublik Deutschland für die Beleuchtung von Arbeitsplätzen festgelegt worden sind.

- *Hypothese 1*  
Die Beleuchtung von Arbeitsräumen besitzt einen positiven Einfluß auf die Gesundheit und das Wohlbefinden der darin arbeitenden Menschen.
- *Hypothese 2*  
Die Beleuchtung von Arbeitsräumen übt einen mindernden Einfluß auf die Ermüdung des Menschen aus.

- *Hypothese 3*  
Der Einfluß der künstlichen Beleuchtung auf das Wohlbefinden und die Gesundheit wird durch die **Art** der künstlichen Beleuchtung von Arbeitsräumen bestimmt.
- *Hypothese 4*  
Das Tageslicht besitzt einen günstigeren Einfluß auf das Wohlbefinden und die Gesundheit des Menschen als die künstliche Beleuchtung.
- *Hypothese 5*  
Bei der Arbeit mit Bildschirm ist der Einfluß des Tageslichts in Fensternähe ungünstig.
- *Hypothese 6*  
Die Benutzer und Benutzerinnen von Bildschirmgeräten werden durch die künstliche Beleuchtung nicht mehr beeinträchtigt als jene Personen, die am Schreibtisch arbeiten.

Die Ableitungen der Hypothesen im einzelnen werden in Kapitel 2 näher erläutert.

Die Aussagen der Untersuchung gelten ausschließlich für Arbeitsplätze, die mit Leuchtstofflampen beleuchtet sind, weil dies heute die übliche Form der Bürobeleuchtung darstellt und eine grundlegende Änderung in absehbarer Zeit unwahrscheinlich ist. Eine in diesem Zusammenhang naheliegende Frage, die seit Jahrzehnten gestellt wird, die Frage nach einer gesundheitsschädlichen Wirkung von Leuchtstofflampenlicht, wurde im Rahmen dieser Studie nicht untersucht. Dies bedeutet weder eine positive noch eine negative Haltung zu dieser Fragestellung. Allerdings lassen die in Kap. 11 dargestellten Ergebnisse eine begründete Stellungnahme zu.

### 1.1.4 Teilprojekt 3

Im dritten Teil des Projektes, wurden verschiedene Beleuchtungssysteme in Arbeitsräumen üblicher Art installiert mit dem Ziel, die Hypothese 3 unter Praxisbedingungen zu prüfen. Der wesentliche Unterschied zum Teilprojekt 1 bestand darin, daß in diesem Teilprojekt neue Beleuchtungssysteme berücksichtigt werden konnten, die während des Teilprojekts 1 entweder noch nicht existierten oder aber nur in technisch unzulänglicher Qualität. So wären beispielsweise Arbeitsplatzleuchten mit Kompaktleuchtstofflampen in der Mitte der achtziger Jahre bereits im Rahmen einer technischen Prüfung im Labor von uns abgelehnt worden, weil die Lampen zum Flackern neigten. Zudem war die technische Qualität der BAP-Leuchten in den Jahren davor erheblich verbessert worden, so daß eine erneute Untersuchung sinnvoll erschien. Aus diesen und weiteren Gründen wäre es zumindest theoretisch möglich gewesen, daß Systeme, die in den Projektteilen 1 und 2 ungünstig abgeschnitten hatten, nach dem neuen Stand der Technik besser beurteilt worden wären.

Im Rahmen dieses Teilprojekts wurde es ermöglicht, bei einem Unternehmen 13 verschiedene Beleuchtungssysteme in gleichartigen Räumen zu installieren, die alle nach der Vorgabe, die zuständigen Normen DIN 5035 Teil 1, 2 und 7 hinsichtlich der

dort beschriebenen Gütekriterien zu erfüllen, geplant wurden. Somit konnten auch Aussagen zur Praktikabilität dieser Normen gewonnen werden.

Diese Untersuchung wurde in einem weiteren Unternehmen wiederholt, bei der fünf verschiedene Systeme für die Allgemeinbeleuchtung installiert waren, die mit und ohne Arbeitsplatzleuchte betrieben wurden.

Die letzte Untersuchung dieses Teilprojekts diente der Nachprüfung des Befragungsinstrumentariums. Hierzu wurde eine im Jahr 1976 durchgeführte Untersuchung 20 Jahre später in Büroräumen mit gleichen Eigenschaften wiederholt. Damit ließ sich zeigen, wie zuverlässig die benutzten Instrumente sind. Zudem konnte demonstriert werden, daß die Ergebnisse nicht auf persönlichen Präferenzen bestimmter Personen oder den sonstigen Arbeitsumständen beruhten, sondern tatsächlich auf den Eigenschaften des Untersuchungsobjekts, der Beleuchtung.

An diesem Teil des Projekts haben bislang 800 Personen teilgenommen, die alle eine mindestens 2 Monate lange Erfahrung mit der Beleuchtung aufweisen mußten, die sie beurteilt haben. Die Erfahrung der Beteiligten betrug i.d.R. ein halbes Jahr oder länger.

## **1.2 Problemstellung**

Die künstliche wie die natürliche Beleuchtung von Arbeitsplätzen ist ein seit Jahrzehnten diskutiertes Problem, das sich mit der Erfindung der Leuchtstofflampe im Jahre 1936 und ihrer Einführung und Durchsetzung im Laufe der nächsten Jahrzehnte grundlegend geändert hat.

Die Leuchtstofflampe bot zum ersten Mal in der Geschichte die Möglichkeit, eine wirtschaftliche Beleuchtung von Arbeitsplätzen unabhängig vom Tageslicht zu realisieren, die nennenswert hohe Beleuchtungsstärken erzeugte. Sie ermöglichte auch die Gestaltung von Arbeitsräumen, die im Verhältnis zur Raumhöhe relativ tief sind (sog. Flachräume, Großraumbüros), da sie eine flächendeckende Versorgung solcher Räume mit Licht zu wirtschaftlich vertretbaren Bedingungen gewährleisten half. Die Tageslichtversorgung solcher Räume, meßbar beispielsweise an der anteiligen Fensterfläche je Arbeitsplatz, hat im Laufe der Zeit ständig abgenommen, u.a. deswegen, weil das Tageslicht immer weniger und seltener als Beleuchtung benötigt wurde. In den siebziger Jahren wurden sogar fensterlose Büros und Schulen diskutiert und z.T. auch realisiert. Zu den "fensterlosen" Büros muß man auch den erheblichen Teil jener Arbeitsplätze in Großraumbüros zählen, an denen der Tageslichteinfluß gering ist, bzw. durch Aufstellen von Trennwänden u.ä. weitgehend eliminiert wurde.

Erst seit einigen Jahren versucht man das Tageslicht wieder als Teil der Beleuchtung einzusetzen, allerdings vorwiegend aus Energiespargründen. Die neuen Konzepte versuchen, mehr Tageslicht in das Rauminnere zu bringen und durch eine Kopplung von hierzu erforderlichen technischen Elementen mit der Steuerung des künstlichen Lichts den Energieeinsatz insgesamt zu senken.

Obwohl die in tageslichtarmen bzw. tageslichtlosen Räumen arbeitenden Menschen sich immer über mangelnde Raumqualität und Beleuchtungsgüte beklagten (Sieverts, 1980), wurden ihre Beschwerden nur zögernd akzeptiert. Die Bürohausarchitektur der letzten Jahre berücksichtigte allerdings die Wünsche der Betroffenen, z.B. durch künstlich vergrößerte Gebäudefassaden. Die Licht- und Beleuchtungstechniker zeigten sich hingegen beharrlich, führten alle nicht widerlegbaren Beschwerden auf die mangelhafte Ausführung der jeweiligen Beleuchtungsanlage zurück und lehnten weiterhin die Existenz konzeptioneller Mängel ab. Angesichts der Tatsache, daß viele Beleuchtungsanlagen tatsächlich nachweislich mangelhaft ausgeführt worden sind, muß ein solches Argument ernst genommen werden. Daher sollte es durch eine repräsentative Untersuchung geprüft werden. (*Anm.: Das häufig vorgebrachte Argument, die Beschwerden über die Beleuchtung wären eher auf die Nörgeleien der Mitarbeiter zurückzuführen, die mit etwas anderem in ihrer Arbeitsumgebung unzufrieden seien, gehört ins Reich der Fabel. Mit dem gleichen Argument haben die Anhänger des Großraums einen ebenso großen Schiffsbruch erlitten wie die Klimatechniker, die ihre Technik für Jahre ins Abseits manövriert hatten.*)

In der Bundesrepublik Deutschland sichert seit 1974 die Arbeitsstättenverordnung (ArbStättV) eine Minimalversorgung der Arbeitsplätze mit Tageslicht, indem sie vorschreibt, daß eine Sichtverbindung nach außen existieren muß (§ 7 (1)). Dieser Vorschrift würde demnach bereits jeder Arbeitsplatz genügen, unabhängig von der Menge des am Arbeitsplatz verfügbaren Tageslichtes, sofern man von dort aus ein Fenster sehen kann. Eine gewisse Quantifizierung dieser Anforderung geschieht in der Arbeitsstättenrichtlinie 7/1, die die Mindestfläche der Sichtverbindung in Relation zur Raumfläche vorschreibt. Die Arbeitsstättenverordnung bietet aber trotz dieses Minimalzieles eine der wichtigsten Gestaltungskriterien für Arbeitsräume und Bürohäuser, wodurch sich deutsche Bürohäuser z.B. von amerikanischen positiv unterscheiden. Obwohl sich § 7 ArbStättV mit der Beleuchtung befaßt, stellt die "Beleuchtung" nicht die wesentliche Begründung der Vorschrift dar. Vielmehr wird die Wirkung zum einen auf die Vermeidung des Gefühls der Eingeschlossenheit und zum anderen auf die positive Wirkung der Kommunikation mit der Außenwelt zurückgeführt.

Leider sind im Laufe der Technisierung von Büros eine Reihe von Arbeitsplätzen entstanden, bei denen die Vorschrift zwar erfüllt ist - die Räume besitzen Fenster -, jedoch die Sichtverbindung ständig verstellt werden muß, weil die Arbeitsmittel sehr lichtempfindlich sind. So werden auch heute noch viele CAD-Arbeitsplätze unter weitgehendem Ausschluß von Tageslicht betrieben. Das Tageslicht weitgehend oder ganz auszuschließen, empfahlen sogar Lichttechniker (Stolzenberg und Marx, 1987). Es erfolgten zu allem Verdruß auch noch Publikationen, die eine Erhöhung der Fensterbrüstung empfahlen, damit die Mitarbeiter am Bildschirm nicht geblendet würden.

Nicht nur die natürliche Beleuchtung, sondern auch die künstliche Beleuchtung von CAD-Arbeitsplätzen muß teilweise "entfernt" werden, d.h., die Beleuchtung wird entweder gedimmt oder sogar ganz ausgeschaltet. Ähnliches kann man an Arbeitsplätzen mit Mikrofilmgeräten feststellen. Die Menschen arbeiten dort häufig im

Halbdunkel. Ein Einfluß auf ihre Leistungsfähigkeit und vor allem auf ihre Gesundheit ist zumindest wahrscheinlich, sind sie doch Lebewesen, die entwicklungsge- schichtlich vom Tageslicht abhängen. Es stellt sich somit die Frage: Wird das Wohlbe- finden und die Gesundheit von Menschen, die in abgedunkelten Räumen arbeiten, dadurch beeinträchtigt, daß sie faktisch nicht mehr eine Verbindung nach außen besitzen, wie es die Vorschrift verlangt?

Eine weitere wichtige Frage betrifft die technisch geprägte Ansicht über die natürliche und künstliche Beleuchtung: Die Beleuchtungstechnik behandelt die künstliche und die natürliche Beleuchtung von Arbeitsplätzen in den meisten Beurteilungskriterien nach den gleichen Grundsätzen: Man mißt z.B. die Beleuchtungsstärke auf einem Objekt oder aber die Leuchtdichte dieses Objekts unabhängig von der Art der Beleuchtung jeweils nach den gleichen Kriterien. Sofern es sich dabei rein physikali- sche Größen handelt, ist diese Vorgehensweise zweifellos richtig. Gilt sie aber auch für Faktoren, die unser Wohlbefinden beeinflussen? Im folgenden werden hierzu bei- spielhaft einige Problempunkte angeführt:

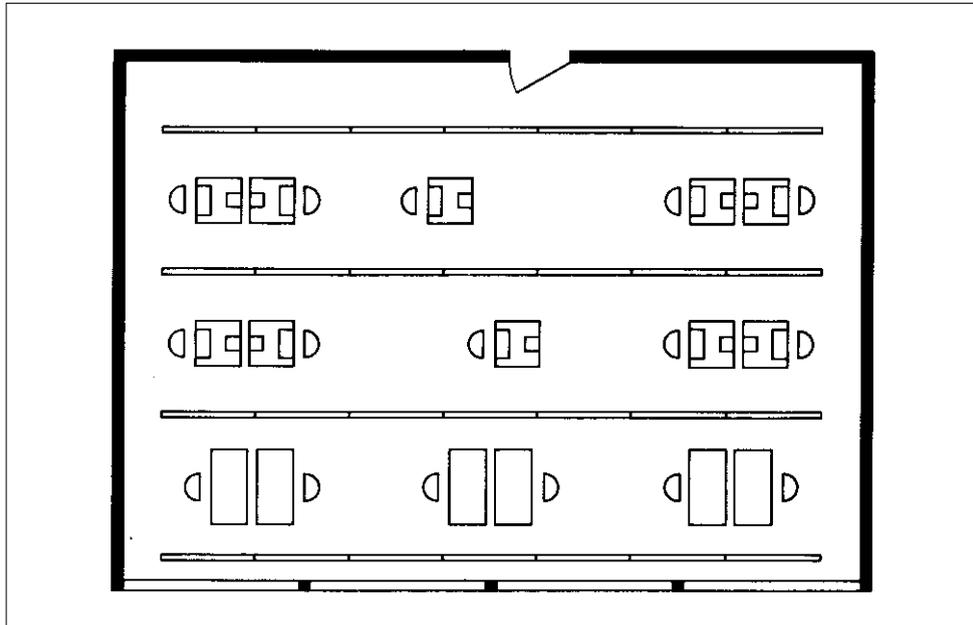
- Das natürliche Licht, das in nach Norden ausgerichtete Büros einfällt, ist "kälter" als jedes künstlich erzeugte Licht, das man für die Bürobeleuchtung benutzt. Empfinden das auch die Menschen, die in diesen Büros arbeiten?
- Nicht nur der Beleuchtungstechnik unkundige Menschen empfinden eine Beleuchtung mit Glühlampen als "natürlich", obwohl das wirklich *natürliche* Tageslicht selten ähnliche Eigenschaften besitzt wie das Glühlampenlicht. Gemessen an physikalisch meßbaren Größen - z.B. an der Farbtemperatur des Lichts - ist fast jede künstliche Lichtquelle, die im Büro eingesetzt wird, "wärmer" als das Tageslicht, wobei das Glühlampenlicht in dieser Hinsicht vom Tageslicht am stärksten abweicht.
- Es ist bekannt, daß es keine künstliche Beleuchtung gibt, die von allen Men- schen gleichermaßen akzeptiert wird. So bevorzugen z.B. die Menschen in südlichen Ländern eher eine "kalte" künstliche Beleuchtung und die Skandi- navier ein noch wärmeres Licht als die Mitteleuropäer.

Die Diskussion über die Bildschirmarbeitsplätze brachte neue Impulse auch für die Beleuchtungstechnik. Man versuchte, die echten oder vermeintlichen Probleme, die mit der Einführung von Bildschirmarbeitsplätzen entstanden sind, zu lösen. Im wesentlichen sind hierbei zu nennen:

- Vermeiden von Spiegelungen der Leuchten in Bildschirmen durch neuartige Leuchten (sog. BAP-Leuchten),
- Reduzieren von Beleuchtungsstärken, um einen annehmbaren Kontrast auf Bildschirmen - ungenügender Qualität - zu erhalten,
- Reduzieren der Reflexionsgrade der Raumflächen,
- Vermindern der Störungen durch Tageslicht durch Entfernen der Bildschirm- arbeitsplätze aus den Tageslichtbereichen (s. Bild 1.1).

Diese Maßnahmen sind seinerzeit für den *schlechtesten* Stand der Technik der Arbeitsmittel ausgelegt worden und zielen auf die Beseitigung sichtbarer Beeinträch-

Bild 1. 1 Empfehlung von DIN 5035 Teil 7 für die Einrichtung von Bildschirmarbeitsplätzen im fensterfernen Bereich von Räumen



tigungen des Erkennens der in Bildschirmen dargestellten Informationen. Sie verändern jedoch - wenn auch ungewollt - die gesamte Beleuchtungssituation und den Raumeindruck mit. Ehe solche Maßnahmen als Schutz im Sinne der Betroffenen anerkannt werden können, muß daher überprüft werden, ob sie in ihrer **Gesamtheit** zu einer Verminderung der Belastung des Menschen führen.

Man war bestrebt, besondere Schutzvorkehrungen für Menschen zu treffen, die an Bildschirmen arbeiteten. Hierzu gehörte auch, daß sie im allgemeinen keine zusätzliche Beleuchtung ihres Arbeitsplatzes in Form von Arbeitsplatzleuchten ("Tischlampen") benutzen durften, weil dies ihre Augenbelastung erhöhen könnte (s. ZH 1/618, Sicherheitsregeln für Bildschirm-Arbeitsplätze im Bürobereich). Es ist zu hinterfragen, ob die Annahmen, die hinter dieser wohlgemeinten Regel stehen, auch heute, unter veränderten Randbedingungen, noch zutreffend sind, nachdem man Arbeitsplatzleuchten und die Anforderungen an die Einzelplatzbeleuchtung in einer Norm geregelt hat (DIN 5035 Teil 8).

Nicht nur diese Frage ist heute für die Bürobeleuchtung von Bedeutung, sondern auch die Folgen der Handlungen der Menschen selbst, wie beispielsweise das Ausschalten der künstlichen Beleuchtung, das Entfernen von Lampen aus Leuchten oder das Abschirmen des eigenen Arbeitsplatzes gegen (Tages-)Licht, wenn bestimmte Bildschirme mit ungenügendem Kontrast eingesetzt werden. Hier stellt sich die Frage: Aus welchen Gründen handeln sie in dieser Weise und was sind die Folgen davon?

Fragen dieser Art werden in der arbeitswissenschaftlichen Forschung nur selten behandelt. Man begnügt sich i.a. mit dem Hinweis, daß es einschlägige Normen gibt,

bei deren Beachtung man gute Beleuchtungsverhältnisse schaffen könne. Diese Einstellung ist nicht verwunderlich, kann man doch oft genug nachweisen, daß die betrachteten Arbeitsplätze häufig, wenn nicht in der Regel, falsch beleuchtet sind.

Von der Anwendung einschlägiger Normen erwartet man dann Verbesserungen. Sind diese Normen aber auch ausreichend angesichts der Bedeutung des Lichts für den Menschen? Diese Frage wird erstaunlicherweise sehr selten gestellt, obwohl wohlmeinende Sicherheitsingenieure oder Betriebsärzte nicht selten Probleme mit den Mitarbeitern erleben müssen, wenn der Betrieb ihrem Wunsch entsprechend eine "normgerechte" Beleuchtung installieren läßt.

Noch seltener wird hinterfragt, ob die Gütekriterien, nach denen die künstliche Beleuchtung gestaltet werden soll, den heutigen Anforderungen der Praxis gerecht werden, da diese im Laufe der Zeit erheblichen Veränderungen unterworfen worden sind. Kaum jemand ist der Frage nachgegangen, ob sich die Beleuchtungstechnik im Laufe ihrer Entwicklung den Gütekriterien angepaßt hat, oder, ob man nicht vielmehr der Versuchung erlegen ist, die Gütekriterien dem jeweiligen Stand der Technik anzupassen. Es ist sicherlich eine bestechende Idee, stets nachprüfbar richtig zu handeln, indem man die Prüfkriterien dem geplanten Handeln anpaßt.

Insgesamt läßt sich sagen, daß die diesem Projekt zugrunde liegende Problemstellung im wesentlichen von einem Umgang mit Licht herrührt, der nicht seiner existentiellen Bedeutung angemessen ist. So sollte z.B. die Tatsache, daß die Bundesrepublik Deutschland die wenigen lichttechnischen Universitätsinstitute, die jährlich nur eine geringe Zahl von Beleuchtungstechnikern ausbilden, als ausreichend betrachtet, nachdenklich stimmen.

### **1.3 Zur Wirkung des Lichts auf den Menschen**

#### **1.3.1 Zur Wirkung der künstlichen Beleuchtung**

Der Gesichtssinn des Menschen wird im modernen Arbeitsleben zunehmend stärker in Anspruch genommen. Allerdings hat sich die Sehaufgabe in den meisten Arbeitsbereichen stark gewandelt und damit auch die Anforderungen an die Beleuchtung.

Helmar Frank sprach 1960 von der "*vorläufigen Überlegenheit des Menschen in der Gestaltwahrnehmung gegenüber der Maschine*", die im Zuge der zu erwartenden - und in unerwartetem Maße verwirklichten - Entwicklung der Informationsverarbeitungstechnologie zurückgehen würde. Im Zuge dieser Entwicklung wurden auch tatsächlich Maschinen entwickelt (z.B. Klarschriftleser), die in der Geschwindigkeit dem Menschen überlegen sind. Diese erfordern allerdings eine relativ hohe Standardisierung des Lesegutes. Diese Maschinen haben somit nur solche Aufgaben übernehmen können, die routinisierbar sind. Daß die Maschinen die vor Jahrzehnten geträumte Leistungsfähigkeit nicht erreicht haben, sieht man z.B. an der Einführung neuer Postleitzahlen in Deutschland. Sie wären weitgehend überflüssig, könnten Maschinen zuverlässig Handschrift lesen.

Die Übernahme gewisser routinisierbarer Arbeiten durch die Rechner führte somit nicht zu einer Reduktion der Sehaufgaben des Einzelnen, sondern zu einer zeitlichen Verdichtung und Verlagerung (Çakir, 1979). Die von Frank vor 35 Jahren als vorläufig angesehene Überlegenheit des Menschen in der Gestaltwahrnehmung besteht heute noch - auch im Vergleich zu modernsten Systemen mit leistungsfähiger Hard- und Software. So mußte man ungläubig staunend zusehen, wie eine mit hohen Erwartungen aufgebaute Industrie, die Sensorik, wieder in relative Bedeutungslosigkeit zurückgefallen ist.

Für viele unverständlich geblieben ist auch der relative Mißerfolg der Maschinen in Handschriftenlesen. Selbst modernste Rechner, die für diese Aufgabe hochgezüchtet worden sind, funktionieren gemessen am menschlichen Auge nicht zufriedenstellend. Sowohl die meisten Aufgaben der Sensorik als auch das Lesen von Handschriften erfordern visuelle Gestaltwahrnehmung. Was wir in der Zwischenzeit gelernt haben, ist die Tatsache, daß wir nicht einmal verstehen, wie die menschliche Gestaltwahrnehmung funktioniert.

Auch heute noch besteht eine Reihe der Bürotätigkeiten vorwiegend aus visueller Informationsaufnahme von einem Medium und visuell kontrollierter motorischer Übertragung in ein anderes Medium (z.B. Maschinenschreiben, Datenerfassung). Für die Millionen Menschen im Bürobereich ist somit der Gesichtssinn immer noch das wichtigste "Arbeitsinstrument", da sie ihre Informationen aus der Umwelt zu 90% über den visuellen Kanal beziehen. Darin unterscheiden sich moderne Menschen kaum von ihren Vorfahren. Der wesentliche Unterschied zu früher besteht jedoch in der Verdichtung der Sehaufgaben infolge der Arbeitsverdichtung. Die neu hinzugekommenen Anwendungen, z.B. Bildretusche oder Grafikbearbeitung am Bildschirm, belasten das Auge wesentlich stärker als die frühere Arbeit in der Text- und Datenverarbeitung. Besonders starke Änderungen der Augenbelastung bringt das "papierlose" Büro mit sich, das seit einigen Jahren in die Arbeitswelt drängt (z.B. "Dokument-Imaging").

Die Verdichtung der Sehaufgaben mit der Folge der höheren Belastung des Sehorgans beschränkt sich nicht auf den Bereich der Büroberufe, sie ist vielmehr charakteristisch für die Entwicklung der gesamten Arbeit in der Industriegesellschaft, in der der Mensch zunehmend Kontrollfunktionen ausübt. Die hierzu benötigte Information wird im wesentlichen nicht mehr taktil oder auditiv, sondern visuell aufgenommen. Als Beispiel hierzu sei die Entwicklung der Drehbank zur werkstattprogrammierbaren Maschine (CNC-Maschine) mit Bildschirm und Tastatur angeführt, die u.a. die taktile Informationsaufnahme durch das Handrad ersetzt. Andere Beispiele finden sich bei der Montage von Platinen, der Justage von Miniaturbauteilen mit Hilfe von Manipulatoren, mikrochirurgischen Eingriffen unter dem Mikroskop etc.

Im Laufe von wenigen Jahrzehnten verschob sich das Belastungsprofil des arbeitenden Menschen von schwerer Muskelarbeit hin zur höheren Belastung des visuellen Systems und der sensumotorischen Funktionen. Während der Organismus bei schwerer Muskelarbeit durch Ermüdungsvorgänge gegen Schädigungen relativ wirksam geschützt ist, zeichnet sich der Sehapparat durch eine Reihe von Elementen

aus, die nicht oder nicht meßbar ermüden. Die Netzhaut ist nach dem derzeitigen Stand unseres Wissens ermüdungsfrei, und es existieren auch kaum Untersuchungen, die eine ausschließlich visuell bedingte Ermüdung des Akkommodationsmechanismus unter normalen Arbeitsbedingungen nachgewiesen haben. Die nachgewiesene Zunahme der Akkommodationszeiten treten auch bei anderen Arten der Ermüdung auf. Die einzige, zweifelsfrei nachgewiesene Ermüdungserscheinung ist die schlechtere Konvergenz der Augenachsen, so daß bei längerer Belastung eine Verschiebung des Nahpunkts meßbar ist. Auch diese kann jedoch als Auswirkung von allgemeiner Ermüdung ohne visuelle Belastung auftreten, so daß man bei einer betrachteten Tätigkeit den gemessenen Ermüdungseffekt nicht eindeutig der visuellen Belastung zuordnen kann. Die Messung der visuellen Beanspruchung auf physiologischem Weg gilt daher bislang als nicht gelungen.

Trotz dieser Schwierigkeiten kann eine visuelle Beanspruchung mit Hilfe psychophysiologischer Methoden ermittelt werden. Denn bei einer höheren Belastung des visuellen Apparates sowie bei Störungen seiner Interaktion mit der visuellen Umwelt treten spezifische Beschwerden auf: *asthenopische Beschwerden*. Diese sind u.a. Kopfschmerzen, Augenbrennen, Augenjucken, Verschwimmen von Bildern sowie erhöhter Tränenfluß. Diese Beschwerden haben die gleiche Schutzfunktion wie die Muskelermüdung, d.h., sie warnen den Menschen. Sie können jedoch vom Menschen leichter überspielt werden, ihre Schutzwirkung ist daher geringer. Das Auftreten von asthenopischen Beschwerden unter bestimmten Sehbedingungen deutet immer auf eine mangelhafte Anpassung der Sehaufgabe und der Umgebungsbedingungen an die Eigenschaften des Sehapparates hin, deren Ursache die Beleuchtung sein kann, jedoch nicht notwendigerweise muß. Nach der herrschenden Expertenmeinung beruhen die Ursachen der Beschwerden nicht auf den Eigenschaften der Lampen und dem Konzept der künstlichen Beleuchtung. Sie lassen sich vielmehr auf eine unzureichende Installation der Beleuchtungsanlage, auf eine mangelhafte Korrektur der Augen und auf Sehanforderungen zurückführen, denen der Mitarbeiter auch bei bester Korrektur nicht gerecht werden kann (Hartmann und Müller-Limmroth, 1981).

Das Überspielen der asthenopischen Beschwerden, z.B. das Arbeiten trotz Kopfschmerzen und Augenbeschwerden, erfordert in der Praxis jedoch einen erhöhten biologischen "Aufwand" für den Arbeitsvollzug, so daß die Folge für den Menschen eine größere Ermüdung des Gesamtorganismus sein kann. Dies wirkt sich entscheidend auf die Arbeitsleistung und auf das Betriebsklima aus und kann in extremen Fällen zu regelrechten Betriebspsychosen führen (Hartmann, 1977).

Untersuchungen am Institut für Arbeitswissenschaft der TU Berlin (Çakir, 1979) haben zudem gezeigt, daß eine erhöhte Belastung des Sehapparates durch ungünstigere Sehaufgaben oder höhere Blendung sich in einer Erhöhung der inneren Anspannung niederschlägt (Erhöhung der allgemeinen zentralen Aktiviertheit = AZA nach Bartenwerfer). D.h., bei der Erhöhung der visuellen Belastung erhöht sich die psychische Ermüdung *meßbar*: Die subjektiv empfundene Blendung liefert somit einen meßbaren Beitrag zur psychischen Ermüdung.

Nach Untersuchungen von Çakir (1975) und Klingenberg (1973) ist die subjektive Beurteilung der Wirkung der Beleuchtung auf das Wohlbefinden auf mindestens zwei Dimensionen, *Störempfung* und *Annehmlichkeit*, meßbar. Hierbei können beide Dimensionen durch lichttechnische Parameter beeinflußt werden, die sowohl die Sichtbarkeit (z.B. Kontrast) als auch die Blendung (z.B. die Direktblendung) variieren können (Çakir, 1975).

Östberg hat durch Laborexperimente gezeigt, daß eine Erhöhung der Blendung bei konstant gehaltener Qualität der Sehaufgabe sich in einer subjektiv höher eingeschätzten Schwierigkeit der Sehaufgabe niederschlägt (Östberg, 1979). Im umgekehrten Versuch führt die Erhöhung der Schwierigkeit der Sehaufgabe bei konstant gehaltener Blendung zu subjektiv höherer Blendungseinschätzung (Östberg, 1979; Çakir, 1975).

Die Ermüdung des Gesamtorganismus wiederum kann sowohl den beruflichen als auch den außerberuflichen Teil des Soziallebens beeinflussen. Im beruflichen Bereich ist insbesondere die Erhöhung der Unfallgefahr und die Abnahme der Effizienz der Arbeit zu beachten. Im außerberuflichen Sozialleben sind familiäre und außerfamiliäre Beziehungen beeinträchtigt. Es ist insbesondere zu beachten, daß *die Mehrzahl der berufstätigen Frauen mit einseitigen sensumotorischen Tätigkeitselementen* belastet sind. Bei Dienstschluß hört für sie nur die "berufliche" Arbeit auf, sie leisten danach erhebliche Arbeit als Hausfrau und Mutter.

Eine von den Betroffenen häufig praktizierte Möglichkeit zur Verringerung der asthenopischen Beschwerden ist die Reduzierung der Belastung der Augen durch Einnehmen einer ungünstigen Arbeitshaltung. Ein Hinweis darauf ist die signifikant unterschiedliche Häufigkeit der Behandlung von Rückenschmerzen bei normalsichtigen Personen und bei Personen mit falsch angepaßten Brillengläsern an Bildschirmarbeitsplätzen (Çakir, 1979). So trugen letztere z.B. auf 300 - 330 mm Sehentfernung angepaßte Brillen, obwohl die Sehentfernung bei nicht erzwungener Haltung 500 - 600 mm betrug. Wie das Befragungsergebnis seinerzeit zeigte, waren 31% der Normalsichtigen und 50% der Brillenträger wegen Rückenschmerzen in Behandlung gewesen. Wie die heutige Literatur zeigt, sind solche Probleme seitdem nicht seltener geworden: Es leiden noch mehr Menschen in der Arbeitswelt darunter.

Es stellt sich damit die Frage, ob die künstliche Beleuchtung so beschaffen ist, daß sie die gleichen Reaktionen bedingt bzw. hervorruft wie eine falsche Brille (z.B. Zwangshaltungen, Fehlhaltungen zur Vermeidung von Reflexblendung), und damit die gleiche Erhöhung der körperlichen Beschwerden verursacht. Wer also seine Haltung ändern muß, um seine Augen zu entlasten, verringert einen Teil seiner asthenopischen Beschwerden zu Lasten anderer Körperteile, deren Belastung sich nicht offensichtlich bemerkbar macht. Wie groß die Auswirkungen der visuellen Belastung auf allgemeine körperliche Beschwerden ist, zeigt die Korrelation zwischen der subjektiven Einschätzung von "Augenbelastung" und "Haltungsbeschwerden". Sie beträgt nach Feldstudien von Çakir 0,59 (Çakir, 1981) und liegt somit in einer Größenordnung von Korrelationen, wie man sie in Feldstudien sehr selten ermittelt.

Bisher behandelte Auswirkungen der Sehaufgaben betreffen den *Arbeitsvollzug* selbst, d.h. die direkten Folgen. Die visuelle Umgebung übt jedoch immer auch eine zusätzliche indirekte Wirkung auf den Menschen aus. Durch das sog. *Limbische* System ist die anatomische Struktur für die psychischen Effekte des Lichts gegeben, das nicht nur für die Erhaltung des Wach- und Aufmerksamkeitsgrades verantwortlich ist, sondern z.B. auch die Leistungsfähigkeit des Kurzzeitgedächtnisses bestimmt. Durch diesen Mechanismus bedingt, treten die Auswirkungen einer arbeitsspezifischen Beanspruchung (z.B. Beanspruchung der Aufmerksamkeit) und einer arbeitsunspezifischen (z.B. Beeinträchtigung des Wohlbefindens durch psychologische Blendung) gemeinsam auf.

Man muß allerdings beachten, daß auch natürliches Licht die gleichen Vorgänge auslösen oder beeinflussen kann wie die künstliche Beleuchtung. Bei einer Untersuchung, bei der die Auswirkungen des künstlichen Lichts extrahiert werden sollen, müssen daher Arbeitsplätze mit vorwiegend Tageslichtbeleuchtung mitberücksichtigt werden, zu denen in der Bundesrepublik Deutschland gemäß Arbeitsstättenrichtlinie 7/1 und DIN 5034 (Innenraumbeleuchtung mit Tageslicht, Leitsätze) alle üblichen Büroarbeitsplätze gehören. Von unserer Untersuchung wurden lediglich die Arbeitsplätze ausgenommen, die auch bei Tage ohne Tageslichtbeleuchtung betrieben werden müssen. Diese stellen aufgrund der rechtlichen Situation eine Ausnahme dar und nicht etwa die Regel.

Die bisherige Darstellung zeigt, daß die künstliche Beleuchtung neben einer Reihe positiver Einflüsse auch eine große Zahl von Problemen mit sich bringt. Die Ausführungen zeigen jedoch auch, daß diese Probleme nicht unbedingt mit der technischen Beschaffenheit der Beleuchtungsanlagen selbst zusammenhängen müssen. Der im Zusammenhang mit der Technik häufig erhobene Vorwurf, die Technik ignoriere den Menschen, kann im Zusammenhang mit der Beleuchtungstechnik mit Sicherheit nicht aufgestellt werden, da die lichttechnische Literatur seit 40 Jahren eine Fülle von Untersuchungsbeispielen beinhaltet, wie der Mensch in die Entwicklung einer Technik einbezogen wurde. Trotzdem besteht in der heutigen Arbeitswelt eine Reihe von Problemen, die mittelbar oder unmittelbar mit der künstlichen Beleuchtung *und* dem Sehen am Arbeitsplatz zusammenhängen. Folgende Aufzählung gibt einige dieser Probleme wieder:

Direkte Folgen:

- Blendung, Beeinträchtigung der Annehmlichkeit
- Aktivierung (bzw. Deaktivierung)
- Störimpfindung (durch Erschwerung des Sehvorganges)
- Asthenopische Beschwerden.

Indirekte Folgen:

- Ermüdung durch Fehlhaltung
- Ermüdung durch Erhöhung der zentralen Aktiviertheit

- Ermüdung durch den Aufwand zur Überspielung der asthenopischen Beschwerden (z.B. Aufbringen einer Konzentrationsleistung  *trotz* Kopfschmerzen, Augenbeschwerden und verminderter Leistung des Kurzzeitgedächtnisses).

Die Existenz dieser Folgen zeigt allerdings, daß die Berücksichtigung des Faktors Mensch in der Technikentwicklung nicht hinreichend gewesen sein kann. Diese Studie soll u.a. der Feststellung dienen, ob in diesem Sinne mehr machbar ist als gegenwärtig üblich.

### 1.3.2 Zur Wirkung des Tageslichtes

Das Tageslicht besitzt eine Reihe bekannter physiologischer Wirkungen. Sofern experimentell leicht feststellbar, sind diese Wirkungen hinreichend genau untersucht worden, wobei auch der jeweils für die untersuchte Wirkung maßgebliche Strahlungsbereich ermittelt werden konnte. Wie man heute weiß, war das Tageslicht für die in der Natur ungeschützt arbeitenden Menschen nicht nur Grund zur Freude. Seeleute in der Windjammerzeit und Bauern über Jahrtausende hinweg hatten z.B. ihren Hautkrebs dem Tageslicht zu verdanken. So nimmt es nicht Wunder, daß sich die Völker je nach Grad an Betroffenheit gegen Tageslicht geschützt haben. Beispielsweise sind traditionelle Wohnbauten in Nordafrika oder Südeuropa anders gebaut als in Mittel- oder Nordeuropa - die einen sollen möglichst gut gegen die Sonne schützen, die anderen hingegen die Sonne möglichst gut hereinlassen.

Die in diesem Jahrhundert erfolgte Globalisierung der Kommunikation führte unter anderem dazu, daß man bei der Gestaltung von Arbeitsgebäuden traditionelle und regionale Gesichtspunkte häufig außer acht ließ. So sind viele der Bürogebäude sehr ähnlich gebaut, unabhängig davon, ob sie in Oslo, Rom oder Sydney stehen. Als Folge davon mußte man entweder die den örtlichen Klimagegebenheiten entsprechenden Nachteile in Kauf nehmen oder aber geeignete Schutzmechanismen ersinnen. Das Tageslicht geriet dadurch in der Architektur zunehmend in den Ruf eines Einflußfaktors, gegen den man sich schützen mußte. Eine besonders schwierige Lage ergibt sich hierbei für Bewohner bestimmter Breitengrade, so z.B. für Mitteleuropäer, in deren Heimat das Tageslicht zeitweilig in Fülle verfügbar ist und zeitweilig nur über eine kurze Periode. Aufgrund einer verkürzten Denkweise verfiel man sogar auf die Idee, das Tageslicht ganz auszusperren und realisierte fensterlose Räume in Arbeitsstätten und Schulen, ausgehend von der Vorstellung, daß künstliche Beleuchtung einen vollwertigen Ersatz für das Tageslicht darstelle. Mehr noch, man sprach nicht etwa von einem "Ersatz", sondern eher von Erfordernissen: *"Erst die Einführung der Leuchtstofflampen hat es ermöglicht, zwei alte Wünsche der Technik zu erfüllen, nämlich die Arbeit in fensterlosen und genau klimatisierten Räumen auf der einen Seite und die von der Tageszeit unabhängige kontinuierliche Maschinenarbeit auf der anderen Seite."* (Schober, 1961).

Dieses Zitat aus dem "Handbuch der gesamten Arbeitsmedizin" war nicht der einzige "Segen", den die Arbeitsmedizin dem künstlichen Licht spendete. Bei der

6. Arbeitstagung der Deutschen Gesellschaft für Arbeitsmedizin im Jahre 1965 zum Thema "Der fensterlose Arbeitsraum" wurde zwar konzidiert, daß man die Wirkungen des fensterlosen Betriebes nicht erschöpfend analysieren könne, jedoch festgestellt: "*Menschen in fensterlosen Fabrikationsräumen haben - sofern diese in arbeitshygienischer Sicht optimal gestaltet sind - keine gesundheitsschädigenden Einflüsse zu befürchten.*" (zitiert aus Batzel, 1989). Offenbar ging man stillschweigend davon aus, daß das Tageslicht nicht zur Arbeitshygiene gehöre. Derart mit arbeitsmedizinischem Segen ausgestattet, gingen die Lichttechniker einen Schritt weiter: "*Bei seitlicher Befensterung können gehobene Ansprüche an die Beleuchtung, wie sie in der künstlichen Beleuchtung gestellt werden, nicht befriedigt werden.*" hieß es in einem Beitrag, der auf der LiTG-Sondertagung: "Auge-Licht-Arbeit" im Jahre 1971 präsentiert wurde. Während der Hoch-Zeit der Technikgläubigkeit glaubte man eben, die Arbeitsumgebung technisch beherrschen zu können.

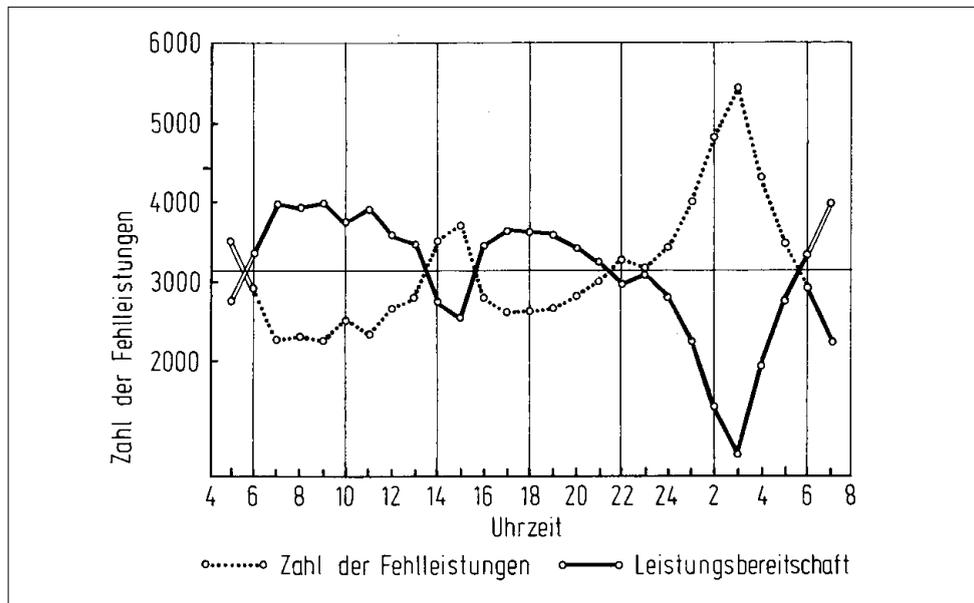
Fachleute, die anders dachten, wurden eines besseren belehrt, so z.B., wenn sie Forschungsmittel vom Bundesminister für Forschung und Technologie bekommen wollten, der seit dem Jahre 1974 eine Summe in der Größenordnung von einer Milliarde für die "Humanisierung der Arbeitswelt" ausgegeben hat. Das einzige Projekt über Beleuchtung aus diesem Programm befaßte sich mit der künstlichen Beleuchtung (Böcker, 1981) und faßte das zusammen, was in einer lichttechnischen Grundvorlesung geboten wird. Ansonsten war Licht im allgemeinen, natürliches Licht im besonderen für die staatlich betriebene Humanisierungsforschung nicht "*humanisierungsrelevant*", wie es ein Verantwortlicher aus dem Ministerium ausdrückte. Man stellte jedoch sehr schnell fest, daß die erträumte Beherrschung der Licht- und Klimaprobleme sich nur auf die technischen Kriterien beschränkte, die man den Überlegungen zugrunde gelegt hatte. Eine Zufriedenheit der im Raum Tätigen wurde damit nicht erreicht.

Dieses kurzzeitige Experiment mit den fensterlosen Büro- und Schulbauten offenbarte jedoch neue Erkenntnisse über den Einfluß des Tageslichtes. Man erkannte zum einen, daß die Kommunikation mit der Außenwelt einen erheblichen Einfluß auf das Befinden des Menschen hat (Roessler, 1978) und zum anderen, daß das Tageslicht andere Wirkungen hat, als nur dem Sehen von Arbeitsobjekten zu dienen. Die Folge der ersten Erkenntnis ist z.B. die Vorschrift, daß jeder Arbeitsplatz eine Sichtverbindung nach außen haben muß. (*Anm.: Daß auch die künstliche Beleuchtung zu mehr dienen sollte als dem Erkennen von Sehobjekten, wurde bereits im Jahre 1962 experimentell festgestellt (Bodmann, 1962), der sogar die erforderliche Höhe der Beleuchtungsstärke mit subjektiven Faktoren begründete. Die Erkenntnis geriet jedoch schnell in Vergessenheit, weil subjektive Begründungen in der Technik auch heute noch als wenig überzeugend gelten.*)

Die zweite Erkenntnis, Tageslicht dient zu mehr als nur dem Erkennen von Sehobjekten, ist in der Auslegung problematischer als die erste, denn hier vermischen sich psychische und physische Wirkungen, so daß praktisch umsetzbare Erkenntnisse schwer zu finden sind. Und wenn man Erkenntnisse findet, gestaltet sich die Zuordnung einer eventuell vorliegenden Untersuchung zwischen seriöser Wissenschaft bis hin zu Okkultismus und Geschäftemacherei sehr schwierig.

Als zweifelsfrei nachgewiesen und anerkannt kann man jedoch die Erkenntnisse über die Steuerung des menschlichen Organismus durch das Tageslicht bezeichnen. Sie werden in der künstlichen Beleuchtung in einer Weise genutzt, auf die noch eingegangen wird. In arbeitswissenschaftlichen Untersuchungen (Graf, 1961) wurde gezeigt, daß die menschliche Leistungskurve einen typischen Verlauf aufweist, den die Tageszeit bestimmt (s. Bild 1.2). Dieser Verlauf ändert sich auch dann nicht, wenn Menschen sich an einen anderen Schlaf-/Wachrhythmus gewöhnen, z.B. Schichtarbeit ausführen. (*Anm.: Solche Arbeitsrhythmen sind aus verschiedenen Gründen gesundheitsschädlich, u.a. deshalb, weil der Mensch gegen seinen eigenen physiologischen Rhythmus handeln muß. Eine "Umgewöhnung" bedeutet nicht, daß schädliche Wirkungen ausbleiben.*)

Bild 1.2 Biologische Tagesrhythmik und Leistungsbereitschaft (in Anlehnung an Graf, nach Werten von Bjerner, Holm und Swenson)



Das hinter der Erkenntnis von Graf steckende Phänomen, die Steuerung des menschlichen Organismus zeitlich gleichläufig mit der Erdbewegung, war bereits seit den dreißiger Jahren Gegenstand intensiver Forschung, deren wichtigstes Ergebnis die Isolierung des Hell-Dunkel-Rhythmus durch das Sonnenlicht als den wichtigsten "Zeitgeber" bildet (Aschoff u.a., 1982). Der Zeitgeber ist eine "Uhr", die dem Organismus die wichtigsten Impulse gibt. Unsere Körperfunktionen werden durch eine Reihe solcher Zeitgeber geregelt, von denen die natürlichen im Rahmen der Evolution herausgebildet haben.

In der Arbeitswelt und im Bereich des Privatlebens existieren zudem sog. soziale Zeitgeber, deren Wirkung sich der Wirkung des natürlichen Zeitgebers überlagert und diese zu "maskieren" imstande ist.

Es ist eine triviale Aussage, daß die menschliche Arbeitsorganisation künstliche Bedingungen geschaffen hat, bei der auch gegen bekannte Erkenntnisse der mensch-

lichen Physiologie verstoßen wird, z.B. durch die Abschaffung der "Siesta", der langen Mittagspause, die Arbeitgebern wie Arbeitnehmern willkommen war. Warum man sie dennoch braucht, kann man Bild 1.2 entnehmen. Gegen das mittlerweile allgemein bekannte "Mittagstief" hat man u.a. zwei Maßnahmen erdnen, die Arbeitsmusik und die Ausprägung der künstlichen Beleuchtung. Die Arbeitsmusik wurde zeitweilig als Mittel eingesetzt, um Schwankungen der Leistungsfähigkeit zu vermeiden, während man die Beleuchtung gezielt einsetzt, eine helle und anregende Raum-atmosphäre zu schaffen, die dem Leistungstief entgegenwirkt. In beiden Fällen handelt es sich um Umwelteinwirkungen, die sich auf den Menschen i.a. positiv auswirken, wenn dieser sie wünscht. Zwangsweise auferlegt, können sie jedoch als Stressor empfunden werden.

Küller (1987) hat gezeigt, daß die Hormonausschüttung des menschlichen Körpers von der Gesamtheit der Lichteinwirkungen abhängt und daß die Qualität der künstlichen Beleuchtung hierbei eine erhebliche Bedeutung besitzt. Aus seinen Untersuchungen leitet er die Schlußfolgerung ab, daß *"das Tageslicht hochkomplexe endokrine und vegetative Prozesse steuert und beeinflusst, die im menschlichen Körper ablaufen."* Die von Küller festgestellten Einflüsse beziehen sich sowohl auf die Tagesrhythmik als auch auf die Jahresrhythmik der Körperfunktionen.

Zusammenfassend läßt sich sagen, daß in fensterlosen bzw. zu tiefen Räumen das Tageslicht als zeitgebender Faktor ausfällt. Gleichzeitig wird der Körper durch einen anderen einwirkenden Faktor, das künstliche Licht, auf ein künstliches Leistungsniveau gebracht. Da beide Vorgänge gleichzeitig stattfinden, ist es nicht möglich, einen der beiden Faktoren als Ursache zu isolieren.

In den letzten Jahren wurde eindeutig nachgewiesen, daß zumindest eine Wirkung des Tageslichtes, die Steuerung des Schlaf-Wach-Rhythmus über die Beeinflussung der Melatoninausschüttung, auch durch künstliche Beleuchtung erzeugt werden kann, wenn der Lichteinfluß stark genug ist (Größenordnung 10.000 lx). Diesem Effekt wird die Wirkung von Leuchten zugeschrieben, die für Therapie-zwecke gegen die sog. Winterdepression (SAD= seasonal affective disorder) eingesetzt werden. Hierunter wird eine saisonal auftretende Störung der Befindlichkeit des Menschen verstanden, die im Herbst beginnt und ihren Höhepunkt im Winter hat. Ihr Verlauf geht mit Sicherheit mit dem Lichtmangel einher, den der Verlauf der Jahreszeiten in bestimmten Zonen der Welt mit sich bringt.

Weitere Einflüsse des Tageslichtes außer der bereits angeführten Kommunikation mit der Außenwelt und der Steuerung der Tagesrhythmik lassen sich aus der Literatur nicht ableiten. Auf der anderen Seite kann man der verfügbaren Literatur keine Anhaltspunkte zur Unterstützung der Behauptung der Arbeitsmediziner aus dem Jahre 1965 entnehmen, daß das Arbeiten in völlig tageslichtlosen Räumen keinerlei Auswirkungen auf die Gesundheit des Menschen hätte. Die drei Jahrzehnte, die seitdem vergangen sind, haben zudem gezeigt, daß diese Behauptung offensichtlich jeglicher Grundlage entbehrt. Sie wurde von keiner Seite mit einer prüf-baren Publikation belegt.

## 2 Arbeitshypothesen und ihre Begründung

In diesem Kapitel werden die Arbeitshypothesen begründet und kommentiert, mit deren Hilfe die Beleuchtungsproblematik untersucht wurde. Ein Teil von ihnen dient der Prüfung der Argumente, die seit Jahrzehnten in der Lichttechnik ständig wiederholt werden, ohne daß irgend jemand nachgefragt hat, ob sie in der Praxis zutreffen.

### 2.1 Hypothese 1 und ihre Begründung

Die erste Arbeitshypothese lautet:

“Die Beleuchtung von Arbeitsräumen besitzt einen positiven Einfluß auf die Gesundheit und das Wohlbefinden der darin arbeitenden Menschen.“

Diese Hypothese leitet sich aus der allgemeinen Zielsetzung der Beleuchtungstechnik ab, die in DIN 5035 Teil 1 wie folgt festgelegt worden ist:

“3 Aufgaben der Beleuchtung

3.1 Allgemeines

*Die Beleuchtung beeinflusst durch ihre Qualität die Sehleistung, die Aktivierung, die Arbeitssicherheit und das Wohlbefinden des Menschen.*

*Die Beleuchtung ist deshalb so auszuführen, daß sie ihre jeweiligen Aufgaben erfüllt und sich harmonisch in den Raum einfügt.“*

Da diese allgemeine Zielsetzung schon mehrere Jahrzehnte besteht, und angesichts der Tatsache, daß in der Bundesrepublik Deutschland effiziente Mechanismen zur Umsetzung von Normen in die Praxis existieren - z.B. Arbeitsschutzorganisationen, betriebliche Mitbestimmung u.ä. - sollte davon ausgegangen werden können, daß die realisierten Beleuchtungsanlagen dem gesetzten Ziel genügen.

Eine Überprüfung dieser als gegeben vorausgesetzten Tatsache ist allerdings aus den beiden folgenden Gründen notwendig:

- Die Norm schränkt im nächsten Abschnitt die Gestaltungsziele für Arbeitsräume ein: *“In Arbeitsräumen muß die Beleuchtung ein müheloses Erkennen der Sehobjekte ermöglichen. Sie soll mit dazu beitragen, die Aufmerksamkeit und Aktivierung zu fördern, vorzeitiger Ermüdung entgegenwirken sowie Gefahrensituationen deutlich erkennbar machen“*. Von Wohlbefinden ist hier nicht mehr die Rede, für die Beleuchtung von Arbeitsräumen steht vielmehr die Frage der Sehleistung im Vordergrund. Der Aspekt der Arbeitssicherheit beschränkt sich auf die Erkennbarkeit der Gefahrensituationen und in dem Entgegenwirken vorzeitiger Ermüdung.
- Das Teilprojekt 1 (s. Kap. 9) hat einwandfrei gezeigt, daß mindestens die Hälfte der befragten Personen in mehr als 80 Betrieben die Beleuchtung als belastend und störend empfunden haben. Zufrieden waren je nach Ausführung der Beleuchtungsanlage lediglich zwischen 0% und 20% der Mitarbeiter

(Çakir, 1986). Diese Zahlen wären ein Grund für die Annahme, die gesetzten beleuchtungstechnischen Ziele seien nicht erreicht worden. Diese Annahme ist jedoch ohne weitere Prüfung nicht berechtigt, weil die Beurteilung der Beleuchtung nicht von den Eigenschaften der künstlichen Beleuchtung alleine bestimmt wird, sondern von einer Reihe weiterer Faktoren, wie beispielsweise von der Beschaffenheit der Sehobjekte oder auch den optischen Eigenschaften von Möbeln (Reflexionsgrad, Glanz von Tischoberflächen u.ä). Da das Teilprojekt 1 zudem einen zeitlichen Verlauf von ca. einem Jahrzehnt erfaßt hat, während dem diese Faktoren unter dem Einfluß der "Sicherheitsregeln für Bildschirm-Arbeitsplätze im Bürobereich" und der "Sicherheitsregeln für Büroarbeitsplätze" sich zum Positiven hin verändert haben, scheint es sinnvoll, den erreichten Stand repräsentativ zu überprüfen.

## 2.2 Hypothese und ihre Begründung

Auch diese Hypothese leitet sich aus der allgemeinen Zielsetzung der DIN-Norm 5035 Teil 1 ab, die oben wiedergegeben wurde. Die Hypothese 2 lautet:

"Die Beleuchtung von Arbeitsräumen übt einen mindernden Einfluß auf die Ermüdung des Menschen aus."

Der Anlaß der Überprüfung dieser Hypothese besteht weniger darin, diesen Effekt überhaupt in Frage zu stellen, sondern in dem Bestreben, festzustellen, ob die Aussage für alle Arbeitsplätze gilt. In dem Teilprojekt 1 wurde nämlich festgestellt, daß die Qualität der Beleuchtung von Arbeitsplatz zu Arbeitsplatz sehr unterschiedlich sein kann, selbst wenn die Beleuchtungsanlage normgerecht ausgeführt wurde. Diese Unterschiede bestehen nicht nur in der Qualität der künstlichen Beleuchtung, sondern im wesentlichen in der Versorgung mit Tageslicht. Die Versorgung mit Tageslicht aber besitzt positive wie negative Seiten. Das Positive kann z.B. in der Lichtmenge bestehen - so herrschen z.B. an fensternahen Arbeitsplätzen für einen erheblichen Teil des Jahres höhere Beleuchtungsstärken, als durch die künstliche Beleuchtung erzeugt wird. Der negative Aspekt der Tageslichtversorgung besteht in der zeitlichen Ungleichmäßigkeit, an dem zeitweiligen Überangebot (Blendung) und an den Begleiteffekten (Wärmestrahlung).

Die unterschiedliche Qualität der künstlichen und natürlichen Beleuchtung läßt sich selbst in kleinen Räumen am Beispiel der weit verbreiteten Doppelzimmer mit ihren i.a. einander gegenüber in Blockordnung aufgestellten Arbeitstischen feststellen: Der eine Arbeitsplatz bietet einen günstigeren Tageslichteinfall als der andere, und somit auch günstigere Arbeitsverhältnisse. Und genau dieser Arbeitsplatz wird in der Praxis im allgemeinen bevorzugt. Diese Feststellung beweist allerdings nicht, daß der Grund hierfür notwendigerweise der Tageslichteinfall sein müsse.

In größeren Arbeitsräumen kann man in allen Betrieben feststellen, daß die Mitarbeiter Fensterarbeitsplätze bevorzugen, selbst wenn keine Schutzeinrichtungen gegen Blendung und Wärmeeinstrahlung vorhanden sind. Die Gründe hierfür mögen unterschiedlicher Art sein, jedoch bleibt die Tendenz stets die gleiche. Ob

der Grund für die Präferenz von Fensterplätzen Lichtqualität alleine ist, kann höchstens spekulativ beantwortet werden. Festzustellen ist jedoch, daß in dem Urteil der Mitarbeiter die negativen Seiten des Tageslichtes offensichtlich nicht die ausschlaggebende Rolle spielen.

### 2.3 Hypothese 3 und ihre Begründung

Diese Hypothese leitet sich sowohl aus der DIN-Norm 5035 Teil 1 als auch von den Erfahrungen des Teilprojekts 1 ab. Die Hypothese 3 lautet:

“Der Einfluß der künstlichen Beleuchtung auf das Wohlbefinden und die Gesundheit wird durch die Art der künstlichen Beleuchtung von Arbeitsräumen bestimmt.“

Die Norm bevorzugt die Allgemeinbeleuchtung der Arbeitsplätze, d.h. *eine gleichmäßige Beleuchtung, die an allen Stellen des Arbeitsraumes etwa gleiche Sehbedingungen schafft*. In der Regel ist eine Allgemeinbeleuchtung vorzusehen. Abweichend von dieser Empfehlung wird eine *arbeitsplatzorientierte* Allgemeinbeleuchtung für sinnvoll gehalten, wenn in einzelnen Raumzonen Arbeiten erledigt werden müssen, die sich in den Anforderungen an die Sehaufgabe sehr stark unterscheiden. Die dritte Form der Beleuchtung ist die *Einzelplatzbeleuchtung*, die nur in Verbindung mit einer Allgemeinbeleuchtung für zulässig gehalten wird. Die Norm formuliert in diesem Punkt so viele Einschränkungen für die Zulässigkeit der Einzelplatzbeleuchtung (s. DIN 5035 Teil 1, Abschnitt 5.2.3), daß man davon ausgehen kann, daß Einzelplatzbeleuchtung im Büro im allgemeinen nicht als zulässig betrachtet wird. Die Bedingungen, die an die Qualität der Einzelplatzbeleuchtung geknüpft werden, sind relativ streng gefaßt, so daß sie z.B. mit einer Arbeitsplatzleuchte nicht erfüllt werden können.

Eine ähnlich lautende Empfehlung wird in den Sicherheitsregeln für Bildschirm-Arbeitsplätze gegeben:

“*Einzelplatzbeleuchtung (Verwendung von Tischleuchten) an Bildschirm-Arbeitsplätzen ist im allgemeinen zu vermeiden*“ (Abschnitt 4.10.2).

Als Erläuterung für diese Empfehlung wird angeführt:

“*Einzelplatzbeleuchtung führt durch den damit verbundenen ständigen Wechsel zwischen Hell- und Dunkel-Adaptation, durch unausgewogene Leuchtdichteverteilung im Arbeitsbereich und gegebenenfalls größere Wärmebelastung am Arbeitsplatz zu erhöhten Belastungen der Beschäftigten.*“

Diese Empfehlung beruht im wesentlichen auf den Untersuchungsergebnissen des Autors, die bei dem Projekt “Bildschirmarbeitsplätze“ des Bundesministers für Arbeit und Sozialordnung gewonnen worden sind (Çakir u.a., 1978). Sofern die in der Erläuterung angegebenen Gründe vorhanden sind, gilt sie auch heute unverändert.

Diesen normativen Empfehlungen stehen Wünsche von Benutzern gegenüber, die eindeutig eine Arbeitsplatzbeleuchtung bevorzugen. Sie führen Gründe an, wie beispielsweise "gemütliches" Aussehen des Arbeitsraumes oder aber "bessere Beleuchtung", was immer damit gemeint sein mag. Wie frühere Untersuchungen des Autors mit Arbeitsplatzbeleuchtung gezeigt haben, ist es jedoch nicht empfehlenswert, Benutzervorstellungen ungeprüft zu übernehmen, zumal begründeter Verdacht besteht, daß die Beliebtheit von "Tischlampen" - übliche Bezeichnung für Arbeitsplatzleuchten - nicht notwendigerweise auf ihrer besonderen Qualität beruht, sondern eher durch eine mangelhafte Allgemeinbeleuchtung bedingt sein kann. In der Zwischenzeit ist dieser Problematik in nationalen Normen insofern begegnet worden, indem "die speziellen Anforderungen zur Einzelplatzbeleuchtung in Büroräumen und büroähnlichen Räumen" in Teil 8 der Normenreihe 5035 festgelegt wurden. Sogar der Europäische Gesetzgeber hat sie in der "Bildschirm-Richtlinie" (90/270/EWG) geregelt: "Die allgemeine Beleuchtung und/oder die spezielle Beleuchtung (Arbeitslampen) sind so zu dimensionieren und anzuordnen, ..."

Die Prüfung dieser Hypothese erfolgt anhand von Arbeitsplätzen, deren Beleuchtungskonzepte grundsätzlich unterschiedlich sind: Allgemeinbeleuchtung und ausschließliche Arbeitsplatzbeleuchtung. Zwischen diesen beiden Extremen steht eine weitere Variante zur Verfügung, der gemeinsame Einsatz von Allgemein- und Arbeitsplatzbeleuchtung. Diese Art der Beleuchtung ist die eigentliche Variante, die in DIN 5035 Teil 1 diskutiert wird. In der neueren Literatur wird sie "Kombinierte Beleuchtung" benannt. (Anm.: Die ausschließliche Arbeitsplatzbeleuchtung ist nach deutschen Normen nicht zulässig, in der Praxis jedoch in geringer Zahl vorhanden.)

Zur Prüfung der Hypothese wurden daher beim Teilprojekt 2 die drei folgenden Varianten der Beleuchtung herangezogen:

- reine Arbeitsplatzbeleuchtung mit Tischleuchten
- reine Allgemeinbeleuchtung mit Deckenleuchten
- Beleuchtung mit zwei Komponenten (Deckenleuchten und Tischleuchten), sog. 2K-Beleuchtung.

Da bei diesem Teilprojekt keine hinreichend genaue Beschreibung der jeweiligen Beleuchtungsart erwartet werden konnte, mußte seinerzeit mit dieser groben Klassifizierung gearbeitet werden.

Im Teilprojekt 3 hingegen konnten nicht nur die einzelnen Beleuchtungsanlagen genau beschrieben werden, sondern sie wurden auch nach lichttechnischen Kriterien gemessen. Bereits bei der Planung der Untersuchungsobjekte wurde festgelegt, daß alle Anlagen entsprechend DIN 5035, Teil 1, 2 und 7 ausgelegt werden sollten. Unabhängig von der Güte der Planung konnte aufgrund der Raumgeometrie erwartet werden, daß in keinem Untersuchungsraum die Blendungsbegrenzung nach DIN 5035 Teil 1 überschritten würde.

Bei diesem Teilprojekt wurde die Hypothese mit Hilfe folgender Varianten der Beleuchtung geprüft:

1. Deckenbeleuchtung mit BAP-Leuchten verschiedener Hersteller
2. Deckenbeleuchtung mit Direkt-/Indirekt-Anteil
3. CRF-Leuchten (eine besondere Art der Indirekt-/Direktbeleuchtung)
4. reine Indirektbeleuchtung
5. optimierte 2K-Beleuchtung mit getrenntem Indirekt- und Direktanteil (Indirektleuchten für die Raumbelichtung und Arbeitsplatzleuchten als Direktbeleuchtung).

Diese Auswahl entspricht etwa dem technischen Stand der angebotenen Beleuchtung der Jahre 1992/1993. Hierbei bedeutet "CRF" die Umschreibung einer Technik, bei der eine einzelne Leuchte einen recht hohen Indirektanteil erzeugt und der Direktanteil der Beleuchtung keine Reflexblendung verursacht, auch wenn die Leuchte über dem Arbeitsplatz angebracht wird. (Näheres s. Kap. 11.)

In dieser Auswahl sind Beleuchtungen mit Glühlampenlicht und mit sog. Vollspektrumlampen nicht enthalten. Dies beruht auf untersuchungstechnischen Gründen. Die Untersuchung von Beleuchtungen mit Glühlampenlicht wurde unterlassen, weil es keine Möglichkeit gibt, die geforderten Beleuchtungsstärken bei einer Allgemeinbeleuchtung mit Glühlampen zu erreichen, ohne Blendung und Wärmebelastung für die Mitarbeiter zu bewirken. Die Autoren wollten jedoch weder die Höhe der Beleuchtungsstärke noch das Konzept der Allgemeinbeleuchtung im voraus für unwichtig annehmen. Bezüglich der Vollspektrumlampen ist auszusagen, daß sie häufig bei Unternehmen bzw. von Personen eingesetzt werden, die von den Vorteilen dieser Lampen überzeugt sind. Die hierbei angewendete Methode der Befragung scheint kaum geeignet, die Auswirkungen einer bestimmten Beleuchtung auf Menschen zu erfassen, die sie selbst ausgesucht haben und die von ihr begeistert sind.

## 2.4 Hypothese 4 und ihre Begründung

Diese Hypothese scheint angesichts der Bedeutung des natürlichen Lichtes auf den Menschen etwas Selbstverständliches zu prüfen:

*"Das Tageslicht besitzt einen günstigeren Einfluß auf das Wohlbefinden und die Gesundheit des Menschen als die künstliche Beleuchtung."*

So selbstverständlich, wie diese Aussage vielen erscheinen mag, ist sie nicht, ging man doch in der Regel davon aus, daß die künstliche Beleuchtung am Arbeitsplatz einen vollwertigen Ersatz für das Tageslicht darstellt. Wie im Abschnitt "1.3 Zur Wirkung des Lichts auf den Menschen" erläutert, war man sogar der Meinung, daß mit der Realisierung der fensterlosen Räume sogar bessere Lichtverhältnisse realisiert worden wären.

Von der Verifizierung dieser Hypothese hängt die wesentliche Frage ab, inwiefern die Arbeitsstättenverordnung einen ausreichenden Schutz bietet, indem sie lediglich "Sichtkontakt nach außen" vorschreibt und nicht ein bestimmtes Maß an Tageslichtbeleuchtung am Arbeitsplatz.

Mit dieser Hypothese soll nicht geprüft werden, ob Arbeitsplätze vollkommen ohne Tageslicht sinnvoll sind. Diese Frage ist zumindest in Deutschland eindeutig beantwortet worden: Arbeitsplätze ohne Tageslicht sind nur zulässig, wenn die Arbeitsaufgabe sich nicht anders erledigen läßt, so z.B. in Bergwerken, in Fotolabors u.ä. Einen ernst zu nehmenden Versuch, Schulen oder Büros ohne Tageslicht einzurichten, wird es vermutlich in diesem Land nicht mehr geben, nicht nur weil kein Mensch solche Räume mag, sondern weil ein wichtiges Motiv, durch kompakte Gebäudeformen Energie sparen zu wollen, entfallen ist. Durch Wirtschaftlichkeitsvergleiche von Gebäuden mit unterschiedlicher Kompaktheit wurde gezeigt, daß die Gebäude mit der größten Kompaktheit nicht den kleinsten, sondern den größten spezifischen Wärmeverbrauch aufweisen (Siegel und Wonneberg, 1979).

## 2.5 Hypothese 5 und ihre Begründung

Die Arbeit mit Bildschirm stellt bestimmte Anforderungen an die Beleuchtung, die in Fensternähe nicht oder nur schwer zu erfüllen sind. Da fast alle Bildschirme, die im Einsatz sind, Probleme mit Reflexionen haben, und außerdem wegen ihrer begrenzten Leuchtdichte ("Helligkeit") bei hohen Beleuchtungsstärken einen geringen Kontrast aufweisen, wird im allgemeinen empfohlen, Bildschirmarbeitsplätze nicht in Fensternähe aufzustellen, daher die Hypothese:

*"Bei der Arbeit mit Bildschirm ist der Einfluß des Tageslichtes in Fensternähe ungünstig."*

Die hier zu untersuchende Frage besitzt eine ausschlaggebende Bedeutung für die Büroarchitektur. Hier versucht man seit etwa 20 Jahren, den Anteil der Fenster pro Arbeitsplatz durch entsprechende Fassadengestaltung oder Fensterhöhen zu vergrößern. Diese Bemühungen würden jedoch aufgrund des zunehmenden Technikeinsatzes zu eher negativen Ergebnissen führen, wenn diese Hypothese verifiziert werden kann. Im übrigen ist der überwiegende Anteil der Büroarbeitsplätze in kleineren Arbeitsräumen fensterorientiert und wäre damit ungünstig, ließe sich die Hypothese verifizieren. Allerdings müßte man dann eine plausible Erklärung dafür finden, warum die Mitarbeiter selbst in Großraumbüros Arbeitsplätze in Fensternähe bevorzugen.

## 2.6 Hypothese 6 und ihre Begründung

Diese Hypothese wurde vor dem Hintergrund formuliert, daß es - nicht nur eine - sondern gleich zwei Normen zur Beleuchtung von Bildschirmarbeitsplätzen gibt - DIN 5035 Teil 7 und DIN 66 234 Teil 7 -, die einen besonderen Schutz der Mitarbeiter gewährleisten sollten:

*"Die Benutzer und Benutzerinnen von Bildschirmgeräten werden durch die künstliche Beleuchtung nicht mehr beeinträchtigt als die Personen, die am Schreibtisch arbeiten."*

*Anm.: Die zweite Norm wird bei Erscheinen dieser Publikation zurückgezogen worden sein.*

Der Wortlaut dieser Hypothese soll nicht implizieren, daß die Beleuchtung notwendigerweise eine Beeinträchtigung darstellen muß. Vielmehr sind die Fragen an die Benutzer so formuliert, daß das Ergebnis von "völlig positiv" bis "völlig negativ" ausfallen kann. Ob die Benutzer von Bildschirmgeräten "mehr beeinträchtigt" werden, wird daran festgestellt, daß ihr Urteil **negativer** ausfällt. Es kann jedoch trotzdem positiv ausfallen. (**Anm.:** Mit den Vorläufern des hier benutzten Fragebogens sind auch sehr positive Urteile über bestimmte Arten der Beleuchtung ermittelt worden.)

Wenn diese Hypothese sich verifizieren ließe, wäre es nicht erforderlich, andere Gesichtspunkte für die Beleuchtung von Bildschirmarbeitsplätzen zugrunde zu legen als für die Beleuchtung von üblichen Büroarbeitsplätzen.

Die Überprüfung dieser Hypothese konnte in Teilprojekt 2 nur in allgemeiner Form erfolgen, d.h., die Grundlage der Beurteilung ist der im Jahre der Befragung installierte Stand der Technik. Im Teilprojekt 3 konnte diese Hypothese auch unter Berücksichtigung der jeweiligen Beleuchtung erfolgen.

## **2.7 Zusammenfassung der Hypothesen**

Die Prüfung der aufgestellten Hypothesen 1 bis 6 soll anhand der in der Bundesrepublik Deutschland realisierten Büroarbeitsplätze Auskunft darüber geben,

- ob die künstliche Beleuchtung und ggf. welche Art, die in den geltenden Regelwerken angestrebten Ziele erreicht, die Arbeit, das Wohlbefinden und die Gesundheit des Menschen positiv zu beeinflussen,

und ob

- die künstliche Beleuchtung in Räumen mit Fenstern einen vollwertigen Ersatz für die natürliche Beleuchtung darstellt, wo bzw. wenn diese nicht ausreichend zur Verfügung steht.



## **3 Methodenbeschreibung**

### **3.1 Verfahren bei Teilprojekt 1**

Im Teilprojekt 1 wurde der Fragebogen FEA (Fragebogen zur Ermittlung der Arbeitsbeanspruchung) eingesetzt, um die relevanten Belastungen der Mitarbeiter zu erfassen (Beschreibung des Fragebogens s. Kapitel 10). Mögliche Ursachen für die so ermittelten Belastungen wurden mit Hilfe geeigneter Methoden, darunter auch technische Messungen von Umweltparametern wie Licht, Klima, Beleuchtung, Raumeigenschaften etc. festgestellt. Die Gesamtheit der hierbei angewendeten Methoden wurde in einem früheren Forschungsbericht (Çakir u.a., 1978) beschrieben.

Wegen des großen Umfangs wird an dieser Stelle auf eine ausführliche Darstellung des Methodeninventars verzichtet. Es sei jedoch darauf hingewiesen, daß die Ergebnisse dieses Teilprojekts gezeigt haben, daß die für eine Beurteilung des Lichts und der Beleuchtung wichtigen Faktoren auch anderweitige Ursachen aufweisen können. So kann eine hohe Augenbelastung im Einzelfall durch die Klimatisierung des Arbeitsraums (z.B. Trocknen der Augenschleimhäute durch zu trockene Luft und Luftzug) verursacht werden, aber ebenso gut auch von einer ungünstigen Möblierung (zu geringe Sehabstände) herrühren. Solche Erkenntnisse wurden beim Entwurf des Fragebogens für die weiteren Teilprojekte sowie für der Auswahl der Untersuchungsobjekte für das Teilprojekt 3 verwertet.

### **3.2 Verfahren bei Teilprojekt 2**

Für die Untersuchung in Teilprojekt 2 wurde als Verfahren die postalische Befragung gewählt. Dieses Verfahren stellt sicher, daß die Befragten keiner Beeinflussung durch die untersuchende Stelle ausgesetzt sind. Eine solche Beeinflussung war im Teilprojekt 1 gegeben, bei dem in ausgewählten Unternehmen Mitarbeiter befragt worden sind, die naturgemäß bestimmten Sorgen bezüglich ihres Arbeitsplatzes Rechnung tragen und deswegen i.a. nicht so frei antworten wie bei einer postalischen Befragung.

Die Befragung wurde anonym durchgeführt. Die Befragten hatten allerdings die Möglichkeit, ihre Adresse für eine Zusendung der Ergebnisse anzugeben. Davon haben ca. 30% der Rücksender Gebrauch gemacht, was ihr Interesse an dem Problem Beleuchtung eindeutig belegt. Ein weiterer Hinweis darauf ist die für postalische Befragungen extrem hohe Rücklaufquote (s. weiter unten).

Anreize für die Beantwortung des Fragebogens wurden nicht gegeben. Ein Nachfassen war nicht notwendig, weil bereits die erste Welle zwei Wochen nach der Aussendung einen ausreichenden Prozentsatz an Rückläufen brachte. Der Rücklauf erhöhte sich im Laufe der darauf folgenden 8 Wochen auf 16,4%.

### 3.3 Verfahren bei Teilprojekt 3

In Teilprojekt 3 wurden Mitarbeiter von ausgewählten Organisationen mit dem gleichen Fragebogen befragt. Zusätzlich wurde die "psychologische Blendung" ermittelt, die in der Lichttechnik als bedeutsam erachtet wird. In diesem Teilprojekt konnten alle relevanten technischen Merkmale der jeweiligen Beleuchtungsanlage und des Arbeitsraumes erfaßt und mit in die Bewertung einbezogen werden.

Die Geschäftsleitungen und die Personalvertreter wurden im voraus um Erlaubnis für die Befragung der Mitarbeiter gebeten. Obwohl die Befragung freiwillig war, haben sich jeweils mehr als 90% der Angesprochenen an der Befragung beteiligt.

Bei einer Befragung, an der sich 242 Mitarbeiter und Mitarbeiterinnen eines Unternehmens beteiligt haben, konnte auch das Verhalten der Befragten bezüglich der Nutzung der Beleuchtung ermittelt werden. Sie wurden gefragt, ob sie am liebsten die Allgemeinbeleuchtung, eine eventuell vorhandene Tischleuchte oder beide verwenden, und ob sie dies ggf. nach Arbeitsaufgabe oder nach der verfügbaren Tageslichtbeleuchtung unterschiedlich tun.

### 3.4 Fragebogen

Der Fragebogen wurde so verfaßt, daß die Zielgruppe die gestellten Fragen ohne Hilfe beantworten konnte. Die Instruktionen konnten aufgrund von Pre-Tests auf das notwendige Minimum beschränkt werden. Technische Details zur Beleuchtung des Arbeitsraumes wurden nicht abgefragt, weil sie erfahrungsgemäß nicht zuverlässig beantwortet werden können.

Um der gesteigerten Sorge um den Datenschutz zu begegnen, wurden möglichst wenige Fragen zur Person gestellt. Solche Fragen haben sich aufgrund der Ergebnisse aus dem Teilprojekt 1 ohnehin weitgehend erübrigt, weil die Beurteilung der abgefragten Sachverhalte relativ unabhängig von persönlichen Eigenschaften und Präferenzen der Beurteiler ausfällt.

Der Fragebogen (s. Anhang) besteht aus folgenden Blöcken:

- **Fragen zur Person**  
Geschlecht, Altersgruppe, Brille.
- **Fragen zur Tätigkeit**  
wöchentliche Arbeitszeit, tägliche Arbeitszeit, Beruf, hauptsächliches Arbeitsmittel, Dauer der Arbeit in dem jetzigen Raum, Größe und Art des Unternehmens.
- **Fragen zum Arbeitsraum**  
Zahl der Personen im Raum, Art der Beleuchtung, Zahl der Fenster, Abstand zum nächsten Fenster, Lichtschutzeinrichtungen, Himmelsrichtung der Fenster.
- **Fragen zur Wirkung der künstlichen Beleuchtung**  
Sieben Begriffspaare, die zwei Faktoren abfragen, die sich aus dem Teilprojekt 1 ergeben haben: *Annehmlichkeit*, *Störimpfindung*.

- **Fragen zur Änderung des Raumeindrucks durch die künstliche Beleuchtung**  
Bei diesen handelt es sich um die gleichen Begriffspaare, die der Frage entsprechend umformuliert worden sind: *angenehmer* anstelle von *angenehm* usw.
- **Fragen zu besonders beeinträchtigenden Arbeitsbedingungen**  
Bei diesen Fragen handelt es sich um Umgebungsbedingungen, die nach dem Ergebnis des Teilprojekts 1 besonders belastend sein können: Lärm, Raumverhältnisse, zu warm bzw. zu kühl empfundene Temperaturen, trockene Luft, Beleuchtungsverhältnisse, Gespräche, zu viel bzw. zu wenig Tageslicht.
- **Fragen zu auffälligen Gesundheits- und Befindensstörungen**  
Konzentrationschwäche, rasche Ermüdung, Benommenheit, Reizbarkeit, Sehbeschwerden, Kopfschmerzen, trockene Augen, Augenbrennen.

Bei der Formulierung des Fragebogens und des Anschreibens wurde besonders darauf geachtet, keine Vorurteile freizusetzen oder zu induzieren. Die zur Beleuchtung gestellten Fragen sind negativ wie positiv formuliert und geben keine Tendenz vor. Die Fragen sind als bipolare Eigenschaftswörterliste vorgegeben (s. Bild 3.1). Diese Liste von 7 Begriffspaaren geht auf mehrere Forschungsprojekte des Instituts für Lichttechnik der Technischen Universität Berlin zurück (s. Çakir, 1975; Riechert, 1975; Klingenberg, 1973).

Bild 3.1 Begriffspaare zur Beurteilung der Beleuchtung

**Wie wirkt die künstliche Beleuchtung des Arbeitsraumes auf Sie?**

*Bitte kreuzen Sie diejenige Zahl an, die Ihrem Empfinden nach am besten zutrifft: Wenn der Ausdruck links zutrifft, die " 1"; wenn der Ausdruck rechts zutrifft, die " 5". Wenn kein Ausdruck voll zutrifft, wählen Sie die Zahlen „2“ bis „4“ entsprechend Ihrer Einschätzung.*

angenehm	①	②	③	④	⑤	unangenehm
störend	①	②	③	④	⑤	nicht störend
freundlich	①	②	③	④	⑤	unfreundlich
kalt	①	②	③	④	⑤	warm
blendend	①	②	③	④	⑤	nicht blendend
hell	①	②	③	④	⑤	dunkel
sanft	①	②	③	④	⑤	grell

Die Beurteilungsskala ist fünfstufig. Bei dieser Skalenkonstruktion ergibt sich eine relativ große Zahl von Antworten mit zentraler Tendenz auf der Stufe 3. Diese Tendenz entspricht einer neutralen Haltung zum Untersuchungsgegenstand. Bei frühe-

ren Untersuchungen hat sich die 5-stufige Skala gegenüber Skalen mit 9, 7 und 6 Stufen bewährt.

Die Fragen zu belastenden Arbeitsbedingungen und Störungen des Befindens und der Gesundheit wurden monopolar und in Anlehnung an v. Zerssen (1975) vierstufig gewählt (s. Bild 3.2, Bild 3.3).

Fragen zu ärztlichen Behandlungen, denen sich die Befragten möglicherweise unterzogen haben, wurden aus Datenschutzgründen nicht gestellt. Um verlässliche Antworten auf solche Fragen zu bekommen, muß der Untersucher nach unserer Erfahrung ein Vertrauensverhältnis zu den Befragten haben und seine Ziele glaubhaft darlegen. Aus diesen Gründen war vorgesehen, die entsprechenden Daten im Teilprojekt 3 zu erheben, bei dem die Projektziele den Befragten persönlich erläutert werden sollten. Da die Empfindlichkeit der Arbeitnehmer in Sachen Datenschutz in den letzten Jahren gestiegen ist, wurde dann auf eine Erhebung aber verzichtet.

Bild 3. 2 Fragen zu regelmäßig beeinträchtigenden Arbeitsbedingungen

<b>Fühlen Sie sich an Ihrem Arbeitsplatz durch bestimmte Arbeitsbedingungen regelmäßig beeinträchtigt?</b>				
	<b>stark</b>	<b>mäßig</b>	<b>kaum</b>	<b>gar nicht</b>
Lärm, Geräusche	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Räumliche Verhältnisse	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Zu warme Temperaturen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Zu kühle Temperaturen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Trockene Luft	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Beleuchtungsverhältnisse	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Gespräche	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Zu viel Tageslicht	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Zu wenig Tageslicht	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

### 3.5 Zielgruppe und Stichprobe der postalischen Befragung

#### 3.5.1 Zielgruppe

Um die gesundheitlichen Auswirkungen der Beleuchtung auf den Menschen im allgemeinen festzustellen, wäre es erforderlich, die gesamte Arbeitnehmerschaft als Zielgruppe zu wählen. In diesem Falle wäre es jedoch sehr schwierig, die Wirkungen des Lichts von den Einflüssen weiterer Umweltfaktoren und Arbeitsbelastungen zu trennen, die größer sein können als die des Lichtes. Beispielsweise können sich visuelle Belastungen bei gleicher Beleuchtung durch den Einfluß der Sehaufgaben und

Bild 3. 3 Fragen zu auffälligen Befindlichkeitsstörungen

<b>Leiden Sie bei Ihrer Arbeit an auffälligen Störungen Ihres Wohlbefindens?</b>				
	<b>stark</b>	<b>mäßig</b>	<b>kaum</b>	<b>gar nicht</b>
Konzentrationschwäche	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Rasche Ermüdung	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Benommenheit	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Reizbarkeit	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Sehbeschwerden	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Kopfschmerzen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Trockene Augen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Augenbrennen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

der Arbeitsmittel sehr stark unterscheiden. Die Arbeitsstätten außerhalb des Bürobereichs sind zudem nicht mit nur einer bestimmten Lampen- und Leuchtenart beleuchtet, sondern mit unterschiedlichen.

Nach unserer Erfahrung weist die Beleuchtung von Arbeitsstätten im Produktionsbereich zudem häufig Mängel auf, von denen eine negative Wirkung auf den Menschen von vornherein angenommen werden kann. Ziel dieses Projekts ist es aber nicht, die Auswirkungen mangelhafter Beleuchtung zu untersuchen, über die in der Literatur ausreichende Information gefunden werden kann.

Aus diesen Gründen wurde als Zielgruppe "Mitarbeiter in Büroumgebungen" gewählt. Zu dieser Zielgruppe gehörten ca. 50% der Erwerbsbevölkerung der Bundesrepublik Deutschland in den alten Bundesländern. Ausgenommen wurden die Arbeitnehmer im Land Berlin, da in diesem Bundesland die Altersstruktur der Arbeitnehmer anders ist als in den anderen Bundesländern. Zudem war seinerzeit dort der größte Arbeitgeber der öffentliche Dienst mit ca. 25% der Arbeitsplätze. Entsprechend dem Alter der Dienstgebäude und der finanziellen Situation des Landes war ein erheblicher Teil der Beleuchtungsanlagen veraltet, so daß ein negatives Gesamtbild wahrscheinlich gewesen wäre.

In der Zielgruppe sind Männer und Frauen zu etwa gleichen Teilen mit einem leichten Überschuß an Frauen vertreten. Bei der Aussendung der Fragebögen (Teilprojekt 2) wurden je 50% an Frauen und Männer verschickt. Bei den Rücksendungen waren Frauen mit 50,19% beteiligt, Männer mit 49,81%.

Beim Teilprojekt 3 war der Anteil der Frauen (ca. 60%) größer als der Anteil der Männer, da die Untersuchungsobjekte in Büros installiert waren, in denen ein leichter Frauenüberschuß herrschte, wie es im Bürobereich allgemein üblich ist.

Zum Zeitpunkt der Durchführung des Teilprojekts 2, die kurz vor dem Ende der DDR erfolgte, konnten die Arbeitnehmer aus den heutigen "neuen" Bundesländern nicht befragt werden. (*Anm.: Auch im Teilprojekt 3 wurden diese wegen der Umwälzungen der Arbeitswelt, die in diesem Teil Deutschlands stattfinden, nicht befragt.*)

### 3.5.2 Geographische Verteilung

Die Fragebögen wurden an Arbeitnehmer in den alten Bundesländern mit Ausnahme des Landes Berlin entsprechend dem Anteil der Erwerbsbevölkerung verschickt. Eine Unterscheidung nach Gemeindegrößen wurde nicht vorgenommen.

Bei den Rückläufen wurde die Postleitzahl erfaßt und eine mögliche Verzerrung der Stichprobe überprüft. Die Überprüfung ergab etwa die gleiche Verteilung wie die ausgesandten Fragebögen.

Die Zielpersonen wurden nach einem Zufallsverfahren ausgesucht, bei der jeder im Bürobereich arbeitende Bürger der Bundesrepublik Deutschland die gleiche Chance erhielt, in der Stichprobe vertreten zu sein.

Beim Teilprojekt 3 wurden Büros in verschiedenen alten Bundesländern ausgesucht. Jedoch konnte bei der relativ kleinen Zahl der berücksichtigten Unternehmen keine statistische Verteilung über alle Bundesländer angestrebt werden. Dies stellt allerdings keinen untersuchungstechnischen Mangel dar, da die Literatur zeigt, daß die festgestellte Probleme nicht auf Deutschland beschränkt sind. Auch die inzwischen erfolgte Präsentation der Ergebnisse auf internationalen Kongressen und Tagungen im Ausland lassen diese Schlußfolgerung zu.

### 3.5.3 Stichprobengröße

Für die erste Welle wurden 5700 Zielpersonen angeschrieben. Da postalische Befragungen erfahrungsgemäß mit einmaligem Nachfassen eine Ausschöpfung der Stichprobe von ca. 7% ergeben, wären ca. 400 Rückläufe zu erwarten gewesen. Danach sollten mögliche Verzerrungen in der Altersstruktur, geographischer Verteilung oder Geschlechtsverteilung durch eine gezielte Auswahl einer neuen Stichprobe ausgeglichen werden. Insgesamt sollten ca. 1000 Rückläufe erzielt werden.

Da die gesetzten Ziele, vermutlich aufgrund des Interesses der Befragten, bereits in der ersten Welle erreicht wurden, wurde auf ein Nachfassen und auf die zweite Welle verzichtet.

Die Rückläufe wurden jeweils bei Erreichen von 50, 150 und 350 Rücksendungen vorläufig ausgewertet. Der Vergleich der Ergebnisse zeigt, daß die Überprüfung der Hypothesen bereits bei 150 Fragebögen möglich war und die größere Zahl der ausgewerteten Fragebögen keine neue Information mehr ergibt. Die Projektziele wären also auch mit einer relativ kleinen Stichprobe erreichbar gewesen.

Im Teilprojekt 3 wurden 800 Personen befragt. Jedoch gilt auch hier, daß die relevanten Aussagen mit einer weitaus kleineren Stichprobe hätten ermittelt werden können.

### 3.5.4 Ausgewertete Stichprobe

Zur Auswertung des Teilprojekts 2 wurden 833 vollständig ausgefüllte Fragebögen mit maximal 2 fehlenden Angaben herangezogen. Aus der Grundgesamtheit der "Mitarbeiter in Büroumgebungen" wurde jene Teilgruppe herausgenommen, die arbeitsrechtlich zur Gruppe von Arbeitgebern gehören würde, d.h. Unternehmer und leitende Angestellte ab Abteilungsleiter. Bei dieser Teilgruppe kann i.a. ein starker individueller Einfluß auf die Arbeitsbedingungen und Arbeitszeiten vorausgesetzt werden, so daß eine Verfälschung der Projektergebnisse möglich wäre. *(Anm.: Wie sich allerdings bei der Auswertung gezeigt hat, wäre dies nicht unbedingt erforderlich gewesen, da die Reaktionen dieser Gruppe sich nur marginal von denen der ausgewerteten Stichprobe unterscheidet. Aus methodischen Gründen wurde die Gruppe aber trotzdem nicht berücksichtigt.)* Eine solche Unterscheidung war in Teilprojekt 3 nicht notwendig, weil alle Befragten der Zielgruppe gehörten. Im folgenden werden einige Merkmale dieser Stichprobe dargestellt:

- Die Anzahl der Frauen und Männer ist, wie bereits erwähnt, etwa gleich. In der Altersstruktur (s. Bild 3.4) entspricht die Stichprobe etwa der Verteilung, die wir im Teilprojekt 1 festgestellt hatten.
- Nach dem hauptsächlichen Ort der Arbeitserledigung gesehen, liegt die in Bild 3.5 dargestellte Verteilung vor. Danach arbeiten 53% der Stichprobe am Schreibtisch, 33% am Bildschirmarbeitsplatz, 7% an der Schreibmaschine und weitere 7% an sonstigen Arbeitsstellen im Büro.

Die mittlere Arbeitszeit beträgt 38,15 Stunden wöchentlich. Der Arbeitsbeginn liegt bei 85% der Befragten zwischen 7.30 und 9.00 Uhr, mit einem durchschnittlichen Wert bei 7.57 Uhr. Das Arbeitsende liegt bei den meisten zwischen 16.00 Uhr und 17.30. Die Dauer der Arbeit im jetzigen Arbeitsraum liegt bei 44% der Befragten unter 4 Jahren. Wie die Verteilung in Bild 3.6 zeigt, liegt die Maximaldauer bei 40 Jahren. Fast 100 Personen arbeiten schon 20 Jahre und länger in ihrem Arbeitsraum.

Die Anzahl der Mitarbeiter des Unternehmens, bei dem die Befragten beschäftigt sind, geht aus Bild 3.7 hervor. Danach arbeiten 45% der Befragten in Betrieben mit mehr als 500 Mitarbeitern, 25% in Betrieben mit 100 bis 500 Mitarbeitern, 22% in Betrieben mit 10 bis 100 Mitarbeitern, die restlichen ca. 8% in Kleinbetrieben mit maximal 10 Mitarbeitern.

Die Art der Verwaltung wurde von den Befragten zu etwa gleichen Anteilen als Industrieverwaltung, Dienstleistungsbetrieb und öffentliche Verwaltung angegeben. Die im Fragebogen benutzte Bezeichnung "reine Verwaltung" wurde nur von 3,5% angekreuzt. Diese Bezeichnung ist offenbar falsch gewählt worden. Die Personen, die diese Bezeichnung gewählt haben, werden daher in der Auswertung zu den Mitarbeitern der Dienstleistungsbetriebe gezählt

Bild 3.4 Altersstruktur der Stichprobe

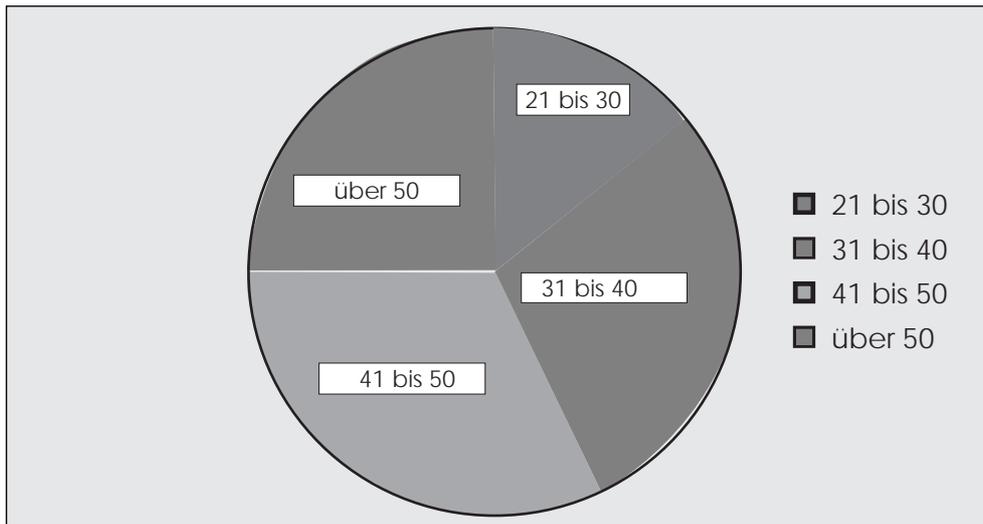


Bild 3.5 Überwiegender Arbeitsplatz

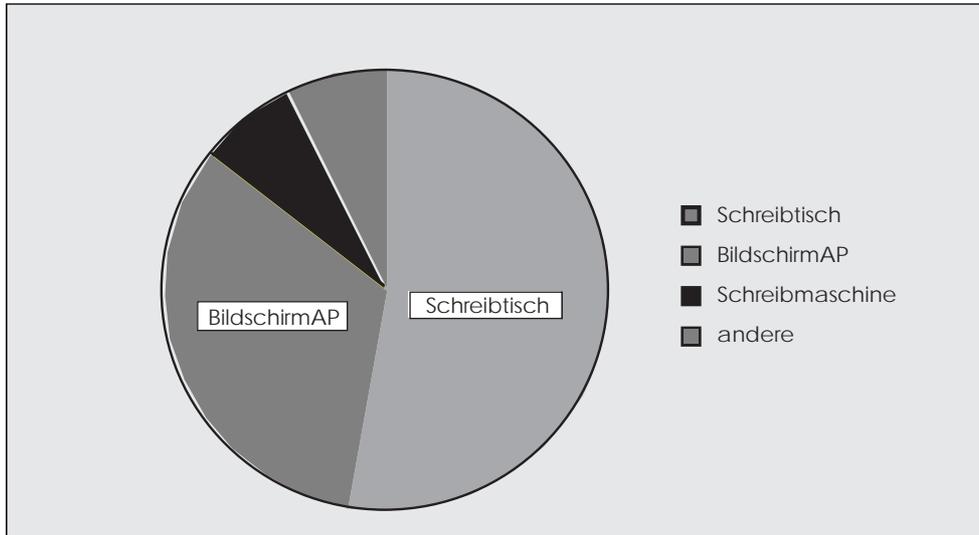


Bild 3. 6 Anzahl der im jetzigen Arbeitsraum verbrachten Jahre

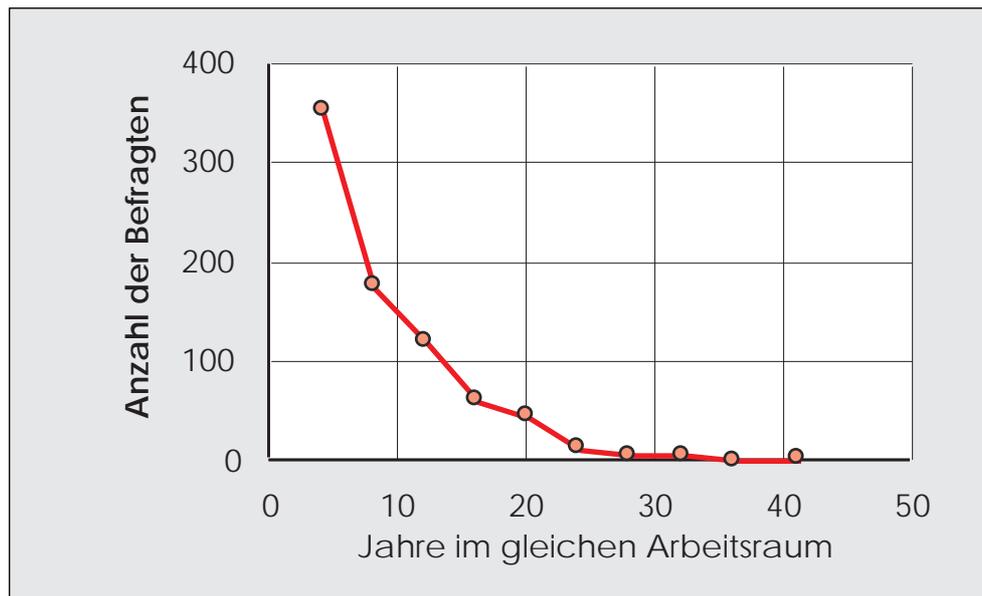
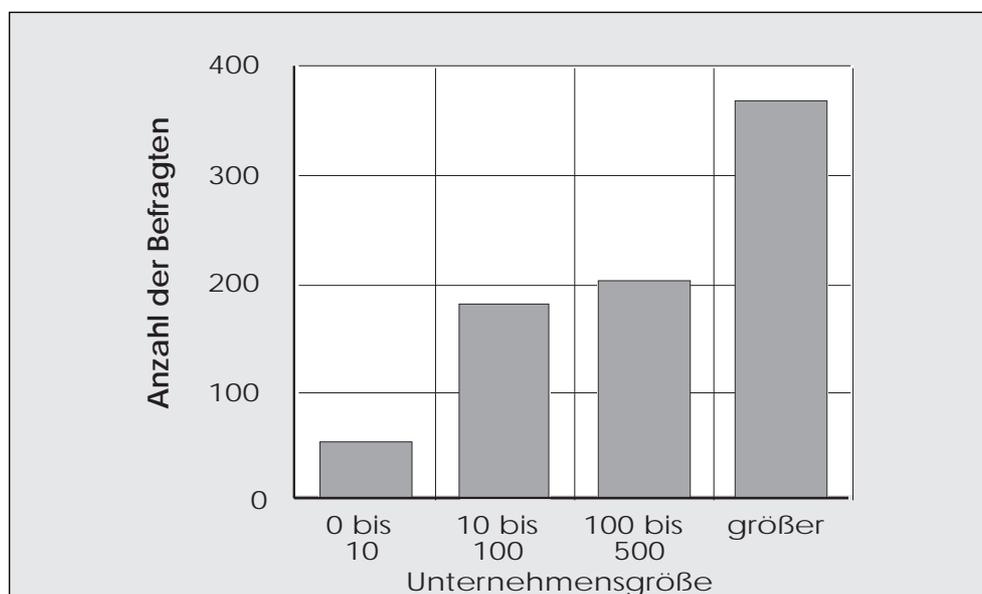


Bild 3. 7 Größe der Unternehmen, bei denen die Befragten beschäftigt sind





## 4 Arbeitsverhältnisse

Im folgenden werden die im Projektteil 2 ermittelten Arbeitsverhältnisse dargestellt:

- Raumgrößen,
- Fenster und Lichtschutz,
- Entfernung der Arbeitsplätze vom Fenster,
- Beleuchtungsarten.

Die Angaben zu den anderen Projektteilen erfolgen in Kapitel 10 (zu Teil 1) und Kapitel 11 (zu Teil 3).

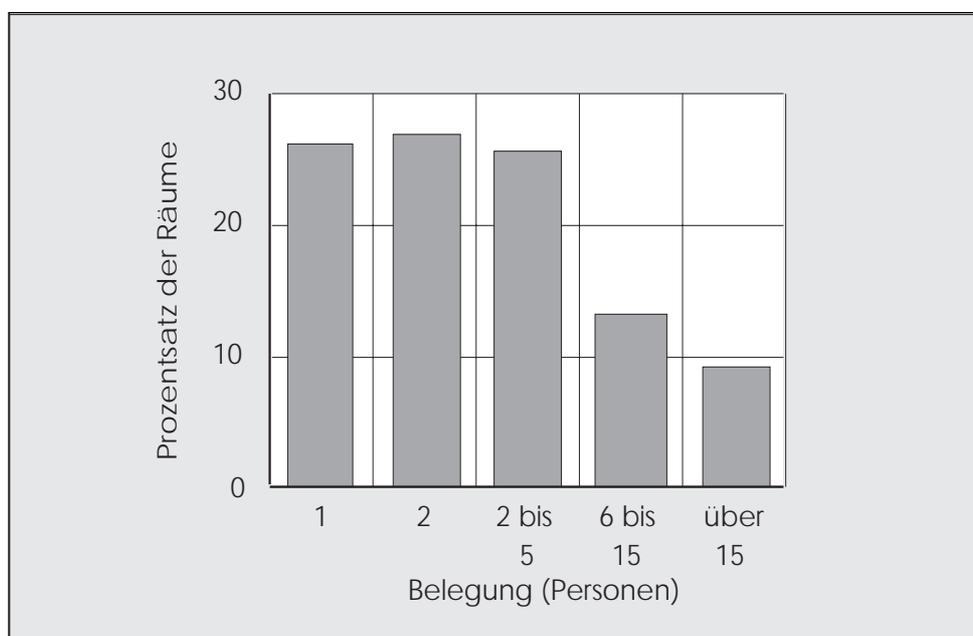
### 4.1 Raumgrößen

Die Raumgröße, in diesem Projekt annähernd festgestellt anhand der Hilfsgröße „Zahl der Kollegen im Raum“, ist eine der wichtigsten Randbedingungen für normative Empfehlungen hinsichtlich der Umgebungsfaktoren im Büro. Nicht nur für die Normen für die Beleuchtung, sondern auch für Büromöbel oder Bürogerätehersteller ist es wichtig zu wissen, in was für Räumen in Verwaltungen gearbeitet wird.

So kann man anhand der DIN-Norm 5035 feststellen, daß die Empfehlungen, Meßvorschriften u.ä. sich hauptsächlich an großen Räumen bzw. an Großraumbüros orientieren. Und auch die meisten Büromöbelprogramme richten sich nach einem Raumtyp, der eher ein Gruppen- oder Großraumbüro ist als ein kleines Zellenbüro.

Diese Orientierung ist offenbar nicht realistisch, wenn man die Angaben zur Raumgröße auswertet. Wie Bild 4.1 zeigt, arbeiten nur 9% der Büromitarbeiter in Räumen mit mehr als 15 Personen, mehr als 75% hingegen in Räumen mit maximal 5 Personen. Davon entfällt je ein Drittel auf Einzelzimmer, Doppelzimmer und 3- bis 5-Personenräume.

Bild 4.1 Arbeitsraumgröße ermittelt aus der Anzahl der Personen

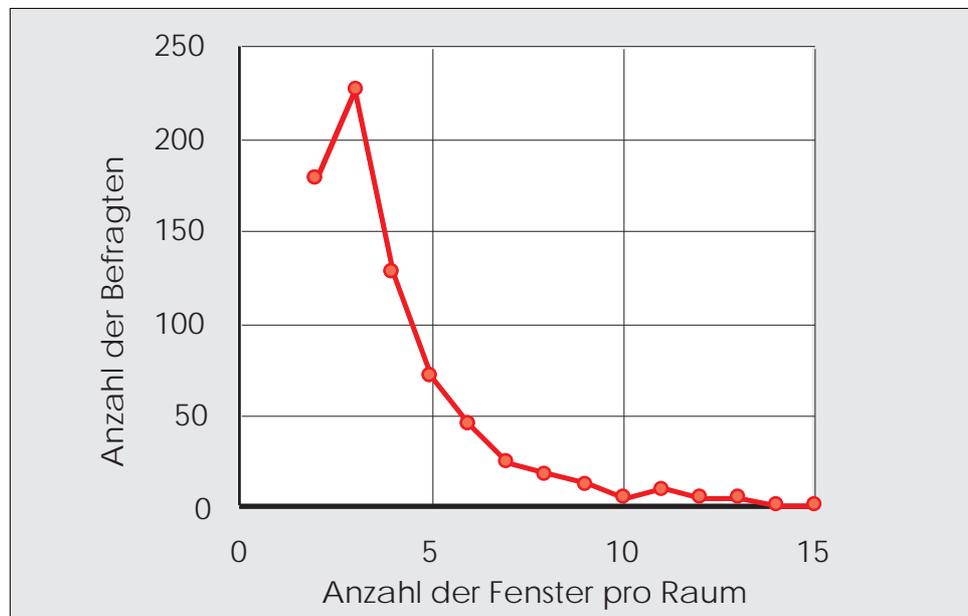


In diesen Arbeitsräumen sind die Aufstellmöglichkeiten von Arbeitstischen relativ beschränkt, so daß man mit hoher Wahrscheinlichkeit die Anordnung der Arbeitstische vorhersagen kann, ohne den jeweiligen Betrieb genau zu kennen. Hierzu ist lediglich die Kenntnis der Büroraumplanung in Deutschland in den letzten 40 Jahren erforderlich, die man z.B. in dem Buch „Bürohaus- und Verwaltungsbau“ (Sieverts, 1980) nachlesen kann.

## 4.2 Fenster und Lichtschutz

Die Arbeitsräume besitzen mit wenigen Ausnahmen (1%) Fenster, deren Anzahl zwischen 2 und mehr als 15 schwankt. Der überaus größte Teil der Räume weist eine Fensterzahl zwischen 2 und 5 auf (Bild 4.2).

Bild 4.2 Fensteranzahl der Räume



Es zeigt sich keine bevorzugte Himmelsrichtung für die Fenster, alle Himmelsrichtungen sind gleichermaßen vertreten. Dieses Ergebnis entspricht den Erwartungen.

Nicht den Erwartungen entspricht jedoch die Ausstattung der Arbeitsräume mit Lichtschutzeinrichtungen wie Jalousien oder Vorhänge. Ein erheblicher Anteil (20,4%) der Arbeitsräume besitzt keinerlei Lichtschutz, ohne daß diese sich jedoch alle im Norden der Gebäude befänden. 10,6% der Arbeitsräume mit Ausrichtung zum Süden und Westen besitzen keinen Lichtschutz. Im Süden und Westen der Gebäude gibt es selbst Bildschirmarbeitsplätze ohne Lichtschutz (5,5%).

Die häufigste Form des Lichtschutzes ist die Jalousie (37%), gefolgt von Vorhängen (28%). Den höchsten Anteil an Räumen mit Jalousien findet man an Bildschirmarbeitsplätzen im Süden und Westen von Gebäuden (63%), den geringsten im Norden mit immerhin 20%.

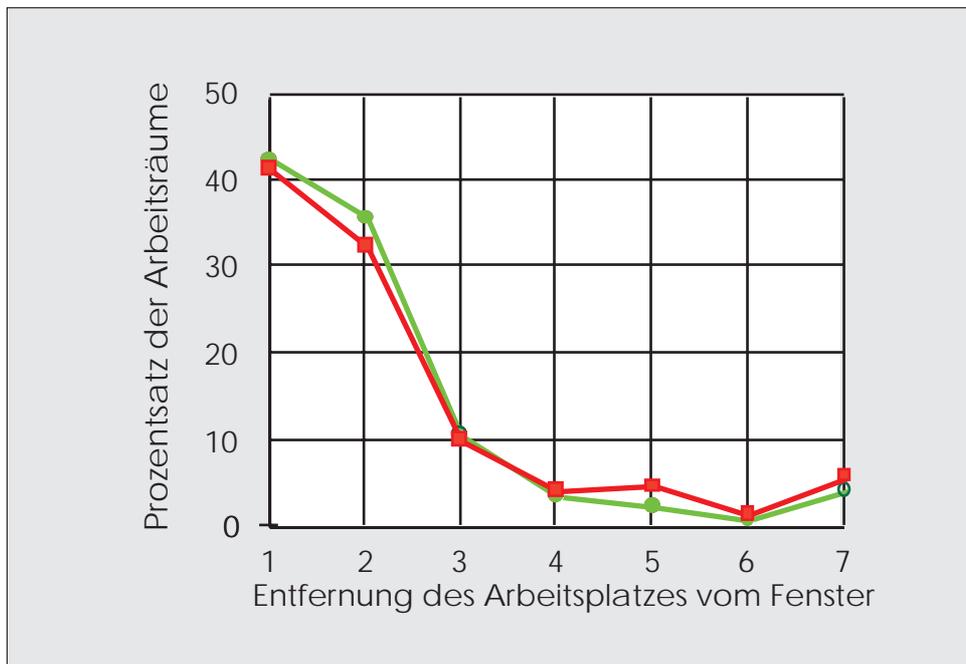
Vorhänge werden offenbar eher zur Verschönerung des Raumes eingesetzt denn als notwendiger Lichtschutz, denn ihr Anteil ist bei allen vier Himmelsrichtungen etwa gleich.

### 4.3 Entfernung der Arbeitsplätze vom Fenster

Wenn man davon ausgeht, daß der größte Teil der heute existierenden Arbeitsplätze mit Bildschirmgeräten in den achtziger und neunziger Jahren entstanden ist, nachdem zuvor ergonomische Erkenntnisse über die richtige Aufstellung erarbeitet und in DIN-Normen festgelegt worden sind, müßte erwartet werden, daß die Arbeitsplätze in größerer Raumtiefe aufgestellt worden sind. Bild 4.3 zeigt ein aus dieser Sicht überraschendes Ergebnis: Die Aufstellung von Bildschirmarbeitsplätzen unterscheidet sich überhaupt nicht von der Aufstellung sonstiger Büroarbeitsplätze. 41% der Arbeitsplätze befinden sich in einer Entfernung von einem Meter oder weniger zum nächsten Fenster, weitere 32% in einer Entfernung bis zu 2 m vom Fenster. Bei der vorliegenden Proportionierung der Arbeitsräume in deutschen Büros ist das festgestellte Ergebnis nicht gerade überraschend.

Bild 4.3 Entfernung der Arbeitsplätze vom Fenster:

- obere Kurve alle Arbeitsplätze
- untere Kurve Bildschirmarbeitsplätze



Die Empfehlungen der inzwischen zurückgezogenen DIN 66 234 Teil 7 und der noch gültigen DIN 5035 Teil 7 zur Aufstellung der Arbeitstische gingen und gehen somit an den Bedürfnissen von mindestens 70% der existierenden Arbeitsplätze vorbei. Es ergibt sich somit die Frage, ob die festgestellte diesbezügliche Abweichung zwischen der Theorie und der Praxis sich ungünstig auf die Beurteilung der

Beleuchtungssituation und auf die Befindensstörungen auswirkt. Die Klärung dieser Frage ist mit Gegenstand der vorliegenden Studie.

#### 4.4 Beleuchtungsarten

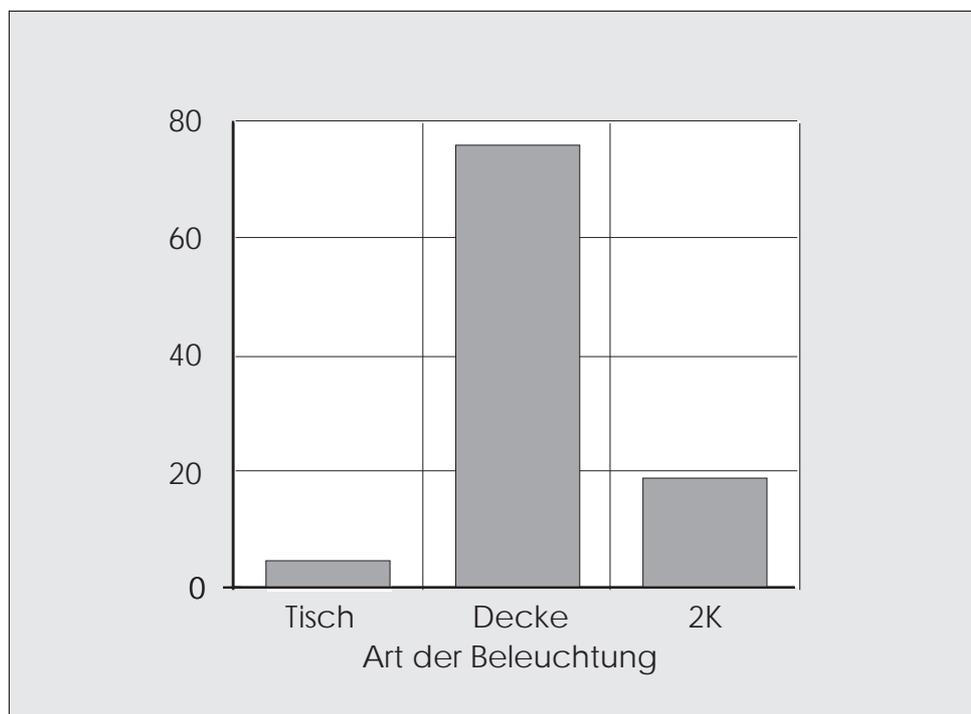
Die Arten der verwendeten Beleuchtung weichen ebenfalls von der Empfehlung der Normen ab (Bild 4.4). Fast 5% der Arbeitsplätze werden lediglich mit einer Tischleuchte beleuchtet und 19,7% besitzen sowohl eine Deckenbeleuchtung als auch eine Arbeitsplatzbeleuchtung, d.h. eine 2-Komponenten-Beleuchtung. Der Anteil der Bildschirmarbeitsplätze mit ausschließlicher Tischbeleuchtung ist sogar etwas größer als bei den anderen Arbeitsplätzen, obwohl dies allen Regelwerken widerspricht.

Es ist also festzustellen, daß insgesamt etwa ein Viertel der Arbeitsplätze mit Sicherheit anders beleuchtet ist, als in den Normen empfohlen wird.

Die Auswirkungen der Beleuchtung können bzw. müssen aufgrund dieses Ergebnisses nach den einzelnen Beleuchtungsarten gesondert beurteilt werden.

*Anm.: Untersuchungen aus dem Jahre 1996 zeigen, daß sich der Prozentsatz der Arbeitsräume mit Deckenbeleuchtung bei etwa 76% bewegt und gegenüber den obigen Werten kaum geändert hat.*

Bild 4.4 Art der Beleuchtung der Arbeitsräume



## 4.5 Zusammenfassung

Die Ergebnisse dieses Teilprojekts zeigen, daß die Arbeitsverhältnisse in deutschen Büros in erheblichem Maße von den Bedingungen abweichen, die den Regelwerken über die Beleuchtung und Aufstellung von Arbeitsplätzen zugrunde liegen. Insbesondere ist hervorzuheben, daß

- **Arbeitsräume in der Regel relativ kleine Räume sind,**
- **Arbeitsplätze i.d.R. sehr nahe bei den Fenstern aufgestellt werden,**
- **Arbeitsplätze mit Bildschirmgeräten nicht anders plaziert werden als konventionelle Büroarbeitsplätze,**
- **etwa ein Fünftel der Arbeitsräume keinen Lichtschutz besitzt,**
- **etwa ein Viertel der Arbeitsplätze anders beleuchtet ist als in den Normen empfohlen.**

*Anm.: Untersuchungen aus dem Jahre 1996 zeigen, daß sich der Prozentsatz der Arbeitsräume ohne Lichtschutz gegenüber den obigen Werten kaum geändert hat.*



## 5 Beurteilung der Beleuchtung

### 5.1 Allgemeine Beurteilung

Die Beurteilung der künstlichen Beleuchtung auf den Skalen, die die Annehmlichkeit messen (*angenehm - unangenehm, freundlich - unfreundlich, sanft - grell*), ist durchgehend negativ, d.h., jeweils mehr als 50% der Befragten lehnen die positiven Attribute ab (s. Bild 5.1). Alle Mittelwerte liegen über 3, d.h., die Mehrzahl der Befragten empfindet die Beleuchtung als *unangenehm, unfreundlich* und *grell*.

Die Fragen nach der Störempfindung (Skalen: *störend - nicht störend, kalt - warm, blendend - nicht blendend*) werden unterschiedlich beantwortet. So stimmen der Aussage "störend" 40% zu, 42% nicht zu, 18% haben eine "3" angekreuzt (s. Bild 5.2).

Die Mehrzahl der Befragten empfindet die Beleuchtung allerdings als "kalt", lediglich 20% lehnen diese Aussage ab. Auf dieser Skala hat die Beleuchtung das negativste Urteil bekommen.

Die Beurteilung auf der Skala "blendend" ist ähnlich wie bei "störend". Insgesamt werden die Ergebnisse des Teilprojekts 1 durch diese Untersuchung bestätigt.

### 5.2 Vergleich der Beleuchtungsarten

Die Beleuchtungsarten werden auf allen Skalen statistisch signifikant unterschiedlich beurteilt (s. Bild 5.3 und Bild 5.4). Wie zu erwarten war, unterscheidet sich die Beurteilung der Allgemeinbeleuchtung nicht vom Gesamturteil, da 80% der Stichprobe aus Deckenbeleuchtung besteht. Die Tischbeleuchtung wird eher als "angenehm" und "freundlich" empfunden, jedoch gleichzeitig auch als "grell". Die 2K- Beleuchtung erzielt eine bessere Bewertung als die Deckenbeleuchtung, obwohl sie aus Tisch- und Deckenbeleuchtung besteht. Der festgestellte Unterschied geht vermutlich auf die Art der Benutzung zurück, die dem Benutzer eine Wahlmöglichkeit einräumt. Wer eine zusätzliche Beleuchtung besitzt, kann die Deckenbeleuchtung später einschalten. Daraus ergibt sich zum einen eine kürzere Benutzungszeit für die als unangenehmer beurteilte Deckenbeleuchtung. Zum anderen lässt sich eine solche Beleuchtung besser an unterschiedliche Aufgaben bzw. persönliche Bedürfnisse anpassen.

Die Befragten empfinden die Tischbeleuchtung und die 2K-Beleuchtung signifikant weniger "störend" als die Deckenbeleuchtung, die Tischbeleuchtung signifikant "wärmer" als die anderen Beleuchtungsarten. Offenbar ist die vorhandene Tischbeleuchtung problematisch, denn diese Art wird von der Mehrzahl auch als "blendend" eingestuft. Für die 2K-Beleuchtung ergibt sich das günstigste Urteil auf der Skala "blendend - nicht blendend". Da die Blendung nach den Aussagen im Kapitel 1 einen Faktor darstellt, der zur psychischen Ermüdung beiträgt, wäre für die 2K-Beleuchtung die geringste Ermüdung zu erwarten.

Bild 5.1 Allgemeine Beurteilung der Annehmlichkeit

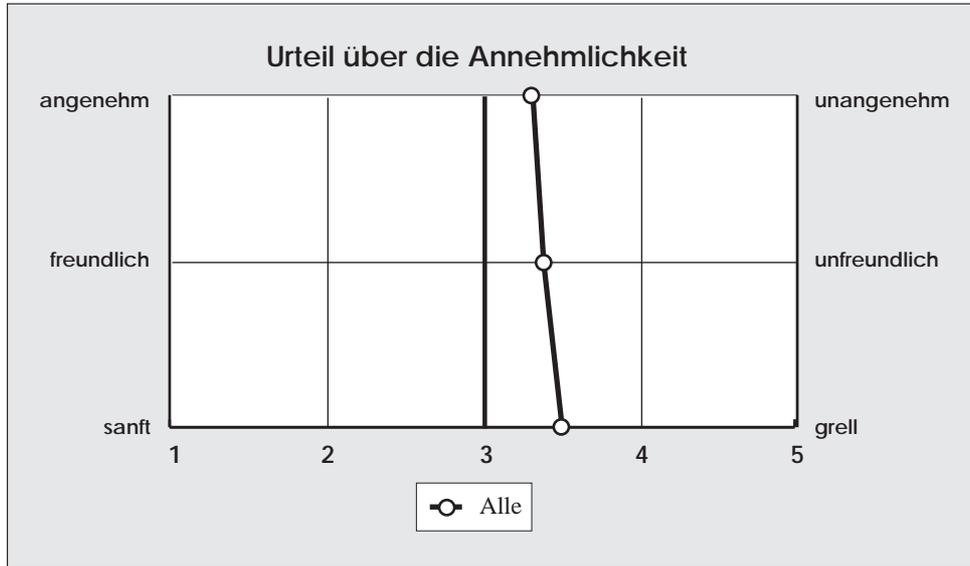


Bild 5.2 Allgemeine Beurteilung der Störfmpfindung

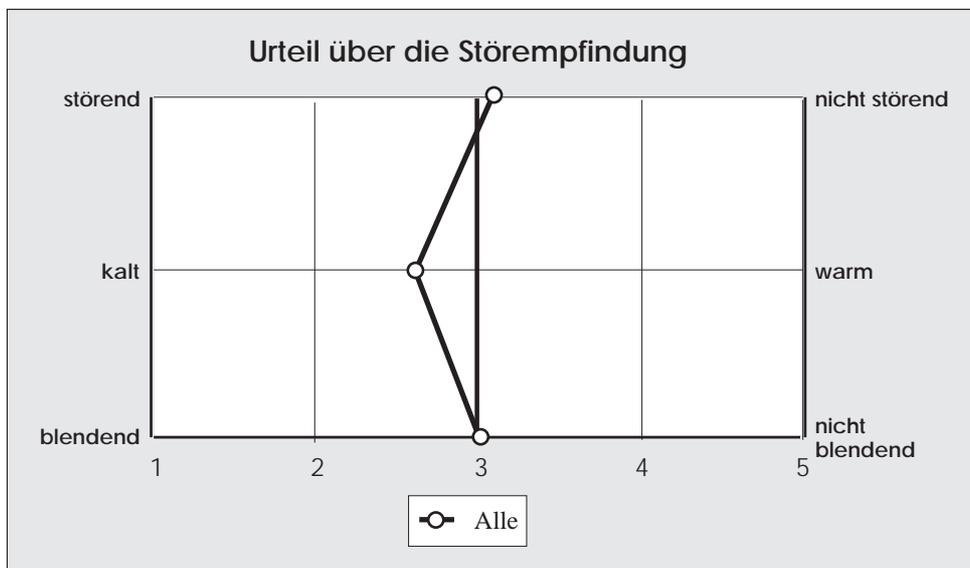


Bild 5.3 Urteil über die Annehmlichkeit der Beleuchtung bei verschiedenen Beleuchtungsarten

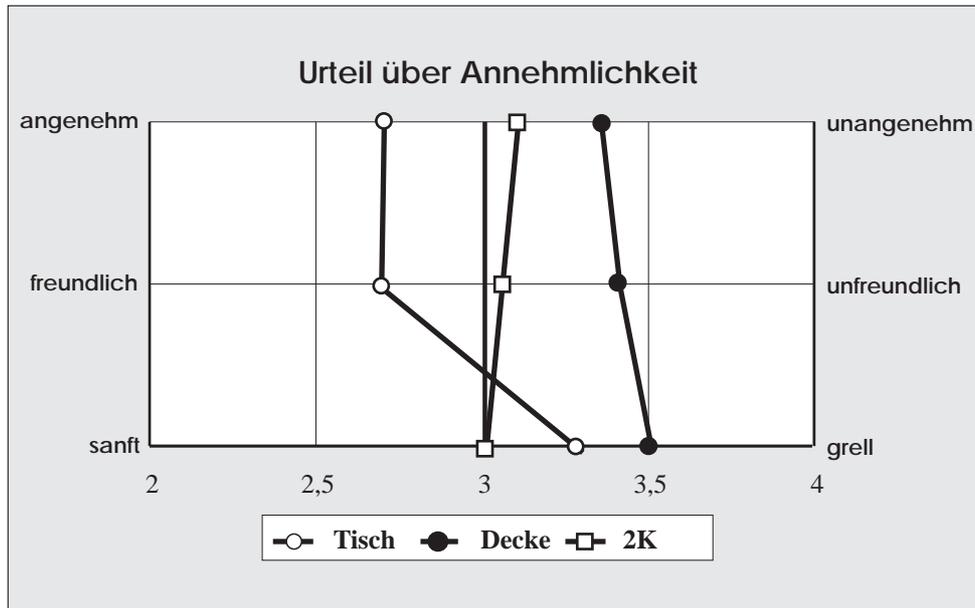
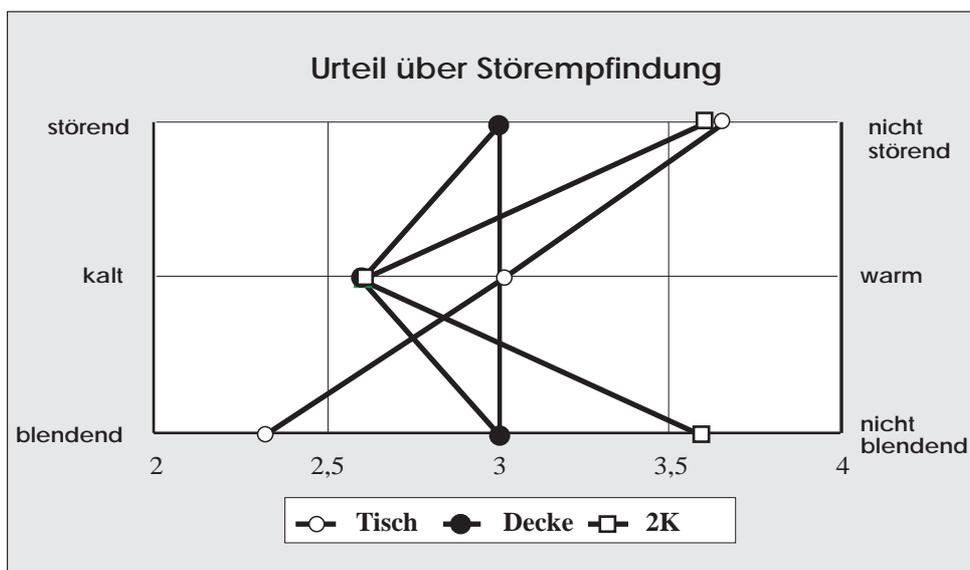


Bild 5.4 Urteil über die Störfempfindung bei verschiedenen Beleuchtungsarten



### 5.3 Änderung des Raumeindrucks durch die künstliche Beleuchtung

Mit Hilfe dieses Teils des Fragebogens soll ein Überblick über die Änderungen des Raumeindrucks nach Einschalten der Beleuchtung verschafft werden, den die Befragten feststellen. Wird der Raum dadurch freundlicher, schöner und farbiger, oder wirkt er eher kälter, farbloser oder greller als vorher?

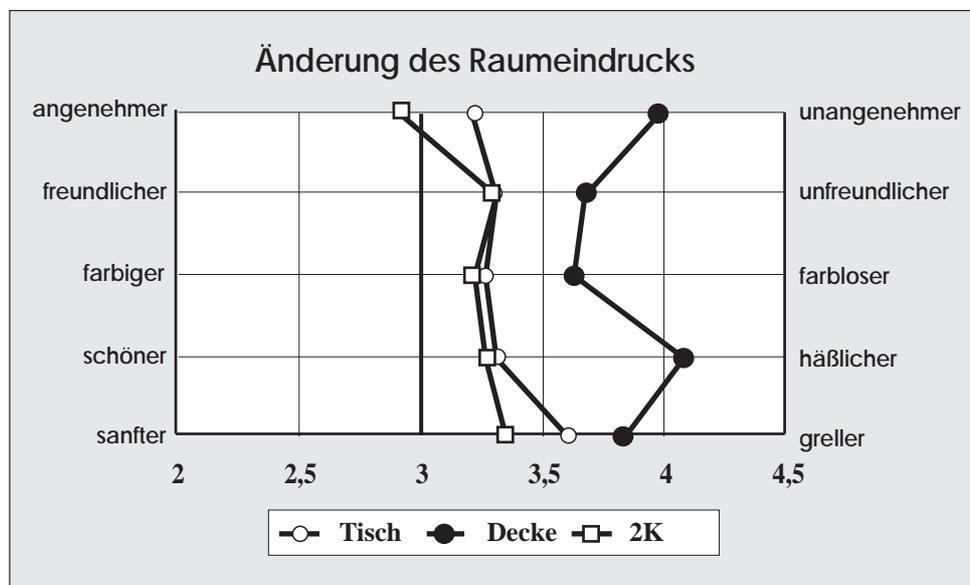
Das in Bild 5.5 dargestellte Ergebnis dieser Befragung zeigt ein wenig erfreuliches Ergebnis. Die im vorhergehenden Abschnitt als eher *„angenehm“* und *„freundlich“* beurteilte Tischbeleuchtung wird hinsichtlich des Raumeindrucks auf allen Skalen als ungünstiger eingestuft als die beiden anderen Beleuchtungsarten. Der Raum wirkt, wenn eine Tischleuchte die einzige Lichtquelle darstellt, unangenehmer, unfreundlicher, farbloser, häßlicher und greller.

Diese Ergebnis bestätigt die in den Regelwerken berücksichtigte Meinung, daß eine reine Arbeitsplatzbeleuchtung sich ungünstig auf den Menschen auswirken wird und deswegen nicht zulässig ist. Dieses Ergebnis ist deswegen von Bedeutung, weil es nicht die Meinung von Gegnern der Arbeitsplatzbeleuchtung repräsentiert, sondern von ansonsten hierzu positiv eingestellten Personen.

Die Beurteilung der 2K-Beleuchtung und der Deckenbeleuchtung ist auf drei Skalen gleich, auf zwei Skalen signifikant unterschiedlich. Die Unterschiede sind jedoch nicht sehr groß. Insgesamt genießen alle drei Arten bezüglich des Raumeindrucks keine Akzeptanz.

Die Skalen, die Störungen erfassen (*„störender“* und *„kälter“*), führen zum gleichen Ergebnis. Die Tischbeleuchtung alleine wird signifikant ungünstiger beurteilt als die beiden anderen Beleuchtungsarten, die sich voneinander wieder signifikant, jedoch gering unterscheiden. Auch bei dieser Beurteilung schneidet die 2K-Beleuchtung besser ab.

Bild 5.5 Änderung des Raumeindrucks bei Einschalten der Beleuchtung



## 5.4 Zusammenfassung und Interpretation

Dieser Teil der Befragung zeigt, daß die künstliche Beleuchtung von Büros eine eher negative Beurteilung erhält. Interessanterweise wird die reine Tischbeleuchtung, die als angenehmer empfunden wird als die anderen Beleuchtungsarten, in der Wirkung auf den Arbeitsraum am ungünstigsten beurteilt.

Angesichts der Tatsache, daß etwa drei Viertel der Räume kleine Zellenbüros sind, ist die Anzahl der Personen, die die Beleuchtung als "blendend" einstufen, überraschend hoch, da die Leuchten in solchen Räumen in der Regel so angebracht sind, daß sie nach den Blendungsbegrenzungskurven (s. Kap. 9) eigentlich nicht blenden dürften.

Das negative Urteil hängt wahrscheinlich damit zusammen, daß das künstliche Licht als kalt und farblos empfunden wird, obwohl alle in Deutschland im Bürobereich eingesetzten Lampen nach ihrer Farbtemperatur "wärmer" sind als das Tageslicht, das in die Räume einströmt. Das Urteil über die Änderung der Raumsituation ist auf keiner Skala abhängig von der Himmelsrichtung, woraus sich schließen läßt, daß die physikalische Zusammensetzung des Lichts in der Beurteilung keine nachweisbare Rolle spielt, da das natürliche Licht auf der Nordseite der Gebäude sich in der Farbtemperatur und der Lichtfarbe erheblich von dem auf der Süd- bzw. Westseite unterscheidet.

Theoretisch gesehen wäre zu erwarten, daß die Änderung der Raumsituation beispielsweise auf der Westseite der Gebäude anders ausfiele als auf der Nordseite. Da dies nicht der Fall ist, bieten sich die folgenden zwei Erklärungsmöglichkeiten an. Zum einen hängt die Empfindung, die künstliche Beleuchtung sei "kalt und farblos", in erster Linie mit der Blendempfindung zusammen, die eine Beleuchtung hervorruft. Die Lichtfarbe der eingesetzten Lampen hingegen wirkt sich weniger stark aus, als zu erwarten wäre. Zum anderen muß man berücksichtigen, daß der Raumeindruck nicht von den Eigenschaften der Beleuchtung alleine abhängt, sondern in erheblichem Maße von den Reflexionseigenschaften der Raumbegrenzungsflächen und der Möblierung. Die Entwicklung der Computer und der Büromöbel hat mit sich gebracht, daß die meisten Büromaschinen und -möbel weitgehend grau sind.

Welche Farben könnte denn auch eine Beleuchtung mit den besten Farbwiedergabeeigenschaften wiedergeben, wenn der Raum grau in grau gestaltet ist und die Möblierung genauso grau ist wie die Arbeitsmittel (Bildschirmgeräte, Computer etc.). Den heute in deutschen Büros vorherrschenden Zustand würde der Farbmetriker vornehm als "unbunt" bezeichnen, während die Bürofachpresse - weniger vornehm - von "computerschmuddelgrau" spricht. So deutet vieles darauf hin, daß man die Klagen über die Farblosigkeit der Büroumgebung eher der Phantasielosigkeit derer Einrichter und der Möbeldesigner anlasten sollte als der Beleuchtung. Die letzteren klagen zwar immer wieder darüber, daß irgendwelche Normen ihnen den Gestaltungsspielraum verengten, indes jede Möbelmesse eindeutig aufs neue belegt, daß die Designer den vorhandenen Spielraum nicht ausnutzen.

Wenn es den Benutzer eines Büroraums bei dessen Anblick oftmals graust, handelt es sich nicht um eine vorübergehende Erscheinung. Vielmehr handelt es sich um eine Auswirkung der Globalisierung der Märkte, die den Hersteller zu einer Gestaltung seiner Produkte zwingt, die möglichst nirgendwo "aneckt". Solche Motive führen bei der Gestalt zu "neutralen" Formen (Kubus, Quader etc.), bei der Farbe eben zu grau in grau.

Der hier ermittelte geringe Einfluß der Lichtfarbe der Lampen bedeutet nicht, daß die Lichtfarbe eine unbedeutsame Eigenschaft darstelle. Sie kann sich vielmehr beim derzeitigen Zustand der Büros (viel grau), der Beleuchtungstechnik (relativ geringe Unterschiede, meistens neutralweiß und warmweiß) und der festgestellten Blendempfindung nicht erheblich auswirken.

Naturgemäß kann aus den hier dargestellten Ergebnissen nicht abgeleitet werden, daß die künstliche Beleuchtung einen nennenswerten Belastungsfaktor bei der Arbeit darstellt. Was als "unangenehm" erlebt wird, muß nicht notwendigerweise eine Beanspruchung bedeuten. Theoretisch wäre es möglich, daß ein solches Objekt derart unbedeutsam ist, daß seine subjektive Bewertung auf keinerlei sonstige Konsequenzen schließen läßt. Um hierzu eine Aussage gewinnen zu können, müssen die beiden letzten Teile des Fragebogens herangezogen werden, bei denen es um beeinträchtigende Umgebungsbedingungen und um die Gesundheitsstörungen geht, die die Menschen bei der Arbeit erleben.

## 6 Beeinträchtigung durch Arbeitsbedingungen und Beleuchtung

### 6.1 Allgemeines

Bei der Arbeit in Büroräumen entstehen vermeidbare und unvermeidbare Beeinträchtigungen des Menschen durch die Umwelt. Zu den unvermeidbaren gehört z.B. die Raumtemperatur in Gemeinschaftsräumen. Die Beeinträchtigung ist hierbei u.a. dadurch bedingt, daß jeder Mensch eine etwas andere Temperatur bevorzugt, so daß man in solchen Arbeitsräumen nicht die angenehmste Temperatur für jeden Mitarbeiter anstreben kann, sondern die „optimale“, d.h. diejenige Temperatur, bei der sich der größte Anteil der Mitarbeiter wohl fühlt. Da diese optimale Temperatur bei Frauen etwa 2°C höher liegt als bei Männern, gibt es ständige Konflikte in Gemeinschaftsräumen. Da es aber auch zahlreiche gute Gründe dafür gibt, daß man in Gemeinschaftsräumen arbeitet, muß man diese Beeinträchtigung eben in Kauf nehmen. Ähnlich problematisch sind Beeinträchtigungen durch Gespräche anderer im Raum, die zum Zusammenarbeiten und Zusammenleben gehören.

Vermeidbar hingegen sind Beeinträchtigungen z.B. durch Maschinengeräusche, Verkehrslärm u.ä., gegen die jedoch nicht in jedem Falle Maßnahmen getroffen werden können. Ebenso vermeidbar wäre beispielsweise auch ein zu großer Einfluß des Tageslichts an Fensterplätzen, insbesondere bei der Bildschirmarbeit. Wie die Bewertung der Arbeitsbedingungen jedoch gezeigt hat, wollen die Mitarbeiter diese Beeinträchtigung aus welchen Gründen auch immer in Kauf nehmen.

Im Rahmen dieses Projekts wurde angestrebt, die wichtigsten der vermeidbaren bzw. unvermeidbaren Belastungen hinsichtlich der Beeinträchtigung der Befragten abzufragen und diese mit einer eventuellen Beeinträchtigung durch die Beleuchtungsverhältnisse zu vergleichen. Den entsprechenden Teil des Fragebogens gibt Bild 6.1 wieder.

Bild 6.1 Fragen zu regelmäßigen Beeinträchtigungen durch die Arbeitsbedingungen

<b>Fühlen Sie sich an Ihrem Arbeitsplatz durch bestimmte Arbeitsbedingungen regelmäßig beeinträchtigt?</b>				
	stark	mäßig	kaum	gar nicht
Lärm, Geräusche	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Räumliche Verhältnisse	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Zu warme Temperaturen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Zu kühle Temperaturen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Trockene Luft	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Beleuchtungsverhältnisse	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Gespräche	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Zu viel Tageslicht	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Zu wenig Tageslicht	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

## 6.2 Vergleich der Beeinträchtigung durch die Beleuchtung mit anderen Belastungsfaktoren

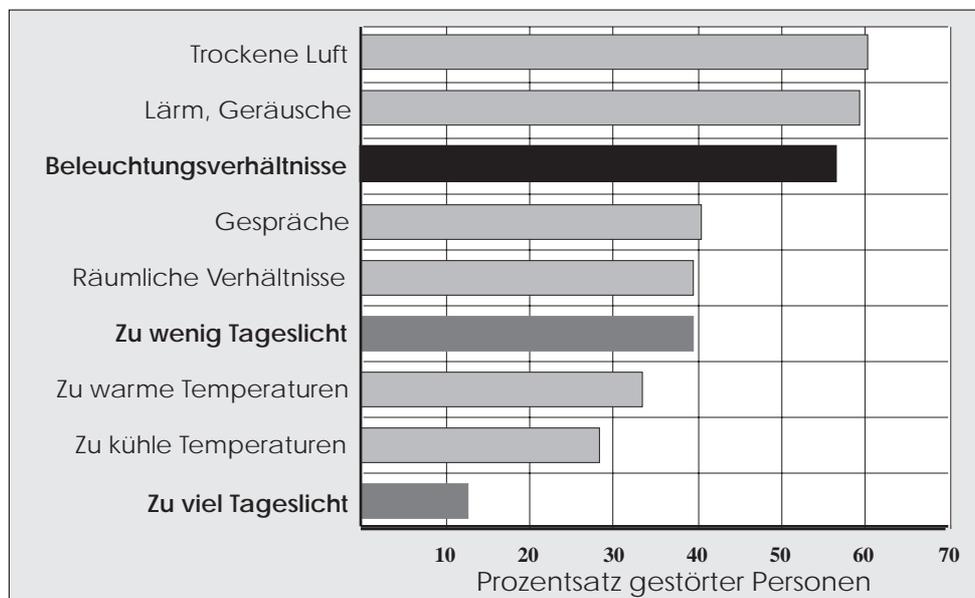
### 6.2.1 Allgemeines Urteil

Das Ergebnis dieser Befragung zeigt Bild 6.2. In Tabelle 6.1 ist der Prozentsatz der Personen dargestellt, die sich mäßig bis stark beeinträchtigt fühlen. Danach gehört die Beleuchtung neben Lärm und trockener Luft zu den am stärksten belastenden und beeinträchtigenden Faktoren in der Büroumwelt, wobei selbst Belastungsfaktoren wie Gespräche, zu hohe oder niedrige Temperaturen oder räumliche Verhältnisse nicht so stark belasten wie die Beleuchtungsverhältnisse. Im Gegensatz dazu stellt ein Zuviel an Tageslicht die unwichtigste Belastung dar. Das bedeutet aber, daß hinter dem negativen Urteil über die Beleuchtung tatsächlich regelmäßige Beeinträchtigungen des Menschen durch die künstliche Beleuchtung stecken.

Tab. 6.1 Quelle der regelmäßigen Beeinträchtigungen und Prozentsatz der mäßig bis stark gestörten Personen

Art der Beeinträchtigung	Prozentsatz der Befragten
Zu wenig Tageslicht	40
Zu viel Tageslicht	13
Gespräche	41
Beleuchtungsverhältnisse	57
Trockene Luft	61
Zu kühle Temperaturen	29
Zu warme Temperaturen	34
Räumliche Verhältnisse	40
Lärm, Geräusche	60

Bild 6.2 Allgemeine Beurteilung der Beeinträchtigungen bei der Büroarbeit

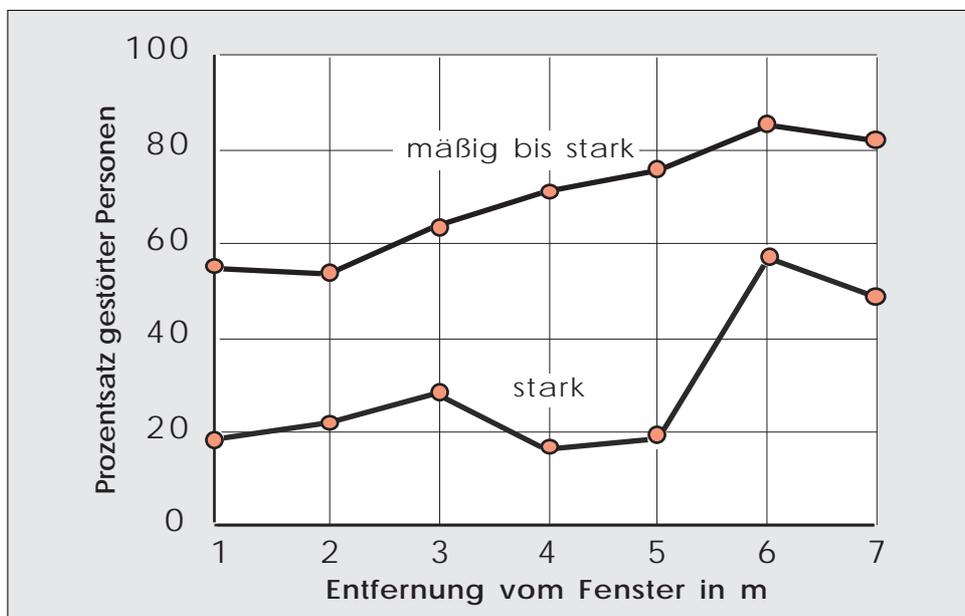


## 6.2.2 Einfluß der Arbeitsmittel und des Raumes

Der oben festgestellte Einfluß der Beleuchtungsverhältnisse muß nicht notwendigerweise ausschließlich durch die Beleuchtung selbst ausgeübt werden. Es ist zumindest wahrscheinlich, daß er durch die Art der verwendeten Arbeitsmittel mitverursacht wird. Wenn ein solcher Einfluß angenommen wird, kommen als Ursache die im Bürobereich eingesetzten technischen Arbeitsmittel - Bildschirmgeräte und Schreibmaschinen - in Frage. Beispielsweise ließ sich in früheren Untersuchungen nachweisen, daß glänzende Schreibmaschinentastaturen die eigentliche Ursache der Unzufriedenheit mit der Beleuchtung bildeten und nicht unbedingt die Beleuchtung selbst.

Die Analyse der in diesem Projekt erhobenen Daten hat gezeigt, daß der wichtigste Einfluß die Größe des Raumes, genauer gesagt seine Tiefe, ist: je größer und tiefer der Raum, desto stärker die Beeinträchtigung. Wie Bild 6.3 zeigt, ist der Einfluß eine Funktion der Raumtiefe, mit wachsender Raumtiefe wächst auch die Zahl der Beschwerden. Der in Bild 6.3 dargestellte Verlauf unterscheidet sich im übrigen für Schreibtischbenutzer nicht von dem Verlauf für Bildschirmbenutzer, d.h., die in den Normen postulierte Störung durch Tageslicht bei der Arbeit am Bildschirm wird von den Menschen nicht als solche erlebt.

Bild 6.3 Prozentsatz der stark bzw. mäßig bis stark durch die Beleuchtung beeinträchtigten Personen in Abhängigkeit von der Entfernung des Arbeitsplatzes vom nächsten Fenster

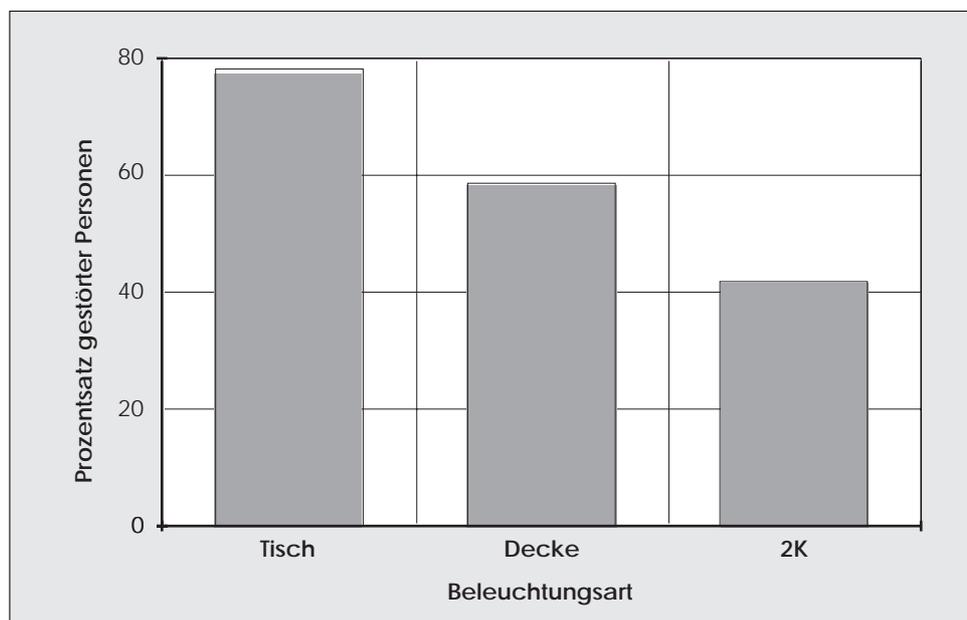


Die künstliche Beleuchtung, die in Räumen mit großer Raumtiefe das Tageslicht ersetzen soll, kann allenfalls die gewünschte Helligkeit erzeugen, was man an der Zustimmung zur Frage „hell“ feststellen kann: 90% der Befragten erleben die Beleuchtung als „hell“. Von einer Förderung des Befindens kann jedoch keine Rede sein. Die künstliche Beleuchtung wird eher als Beeinträchtigung erlebt.

### 6.2.3 Einfluß der Beleuchtungsart

Die Gültigkeit der obigen Feststellung wird in diesem Abschnitt für die erfaßten Arten der Beleuchtung untersucht. Hierzu wurde mittels einer Varianzanalyse geprüft, ob ein signifikanter Unterschied vorliegt. Das Ergebnis geht aus Bild 6.4 hervor. Der Unterschied ist sowohl statistisch signifikant als auch relevant.

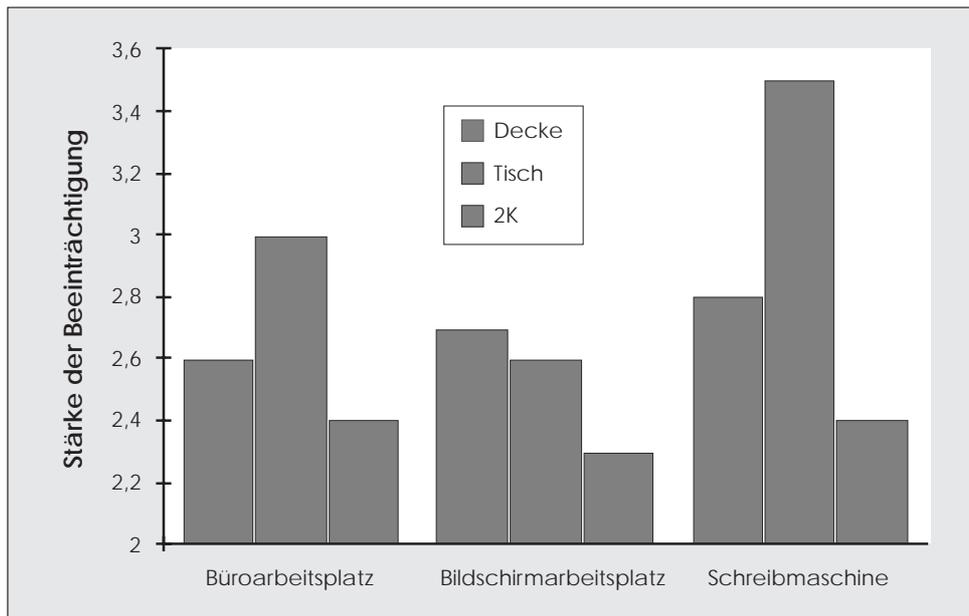
Bild 6.4 Einfluß der Art der Beleuchtung auf den Prozentsatz der mäßig bis stark gestörten Personen



Nach diesem Ergebnis verursacht die reine Tischbeleuchtung fast doppelt so häufig Beschwerden wie die am günstigsten beurteilte 2K-Beleuchtung. Die letztere schneidet wiederum erheblich besser ab als die reine Deckenbeleuchtung. Der Prozentsatz der mäßig bis stark beeinträchtigten Personen beträgt bei der Tischbeleuchtung 77%, bei der Deckenbeleuchtung 59% und bei der 2K-Beleuchtung 45%.

Um die Frage nach dem Einfluß der Arbeitsmittel beantworten zu können, wurde die Beeinträchtigung von Personen, die an Schreibtischen, Bildschirmarbeitstischen und Schreibmaschinen arbeiten, miteinander verglichen. Hierzu wurde ein parametrischer Test (Varianzanalyse) berechnet, dessen Ergebnis Bild 6.5 zeigt. Für die Arbeit am Schreibtisch ist demnach die Tischbeleuchtung signifikant schlechter als die beiden anderen, die sich nur geringfügig unterscheiden. Für die Arbeit am Bildschirmarbeitstisch ist die 2K-Beleuchtung die signifikant beste Art der Beleuchtung, die Deckenbeleuchtung hingegen die ungünstigste. Bei der Arbeit am Schreibmaschinentisch ist die Tischbeleuchtung die ungünstigste, die 2K-Beleuchtung die beste Art der Beleuchtung.

Bild 6. 5 Stärke der Beeinträchtigung durch verschiedene Beleuchtungsarten am Schreibtisch, Bildschirmarbeitsplatz und Schreibmaschine. In allen drei Fällen stellt die 2K-Beleuchtung die günstigste Art dar.



#### 6.2.4 Zusammenfassung und Interpretation

Die Analyse der Beeinträchtigungen zeigt, daß die künstliche Beleuchtung nicht nur als unangenehm beurteilt, sondern als eine beeinträchtigende Arbeitsbedingung erlebt wird, vergleichbar mit anderen Beeinträchtigungen wie trockener Luft oder Lärm. In welchem Maße dieses Urteil zutrifft, hängt sowohl von der Art des Raumes ab als auch von der Art der Beleuchtung.

Der nachgewiesene Einfluß der Raumtiefe zeigt, daß die Beeinträchtigung in dem Maße wächst, in dem man bei der Arbeitserledigung auf die künstliche Beleuchtung angewiesen ist. Am wenigsten fühlen sich solche Personen beeinträchtigt, die sowohl eine Tischbeleuchtung als auch eine Deckenbeleuchtung besitzen (2K). Die geringere Beeinträchtigung ist vermutlich u.a. eine Folge der Freiheit in der Anwendung der beiden Komponenten der Beleuchtung, die, jede für sich gesehen, eine größere Beeinträchtigung hervorrufen als beide gemeinsam.

Die Feststellung, daß die Beleuchtungsverhältnisse für 57% der Befragten eine regelmäßige Beeinträchtigung darstellen, müßte den für diesen Zustand Verantwortlichen Anlaß zu denken geben. Obwohl der im Jahre 1990 veröffentlichte erste Bericht dieses Projekts auch eine Analyse der Gründe hierfür enthielt, scheinen viele Fachleute sachlicher Argumentation auch heute unzugänglich. Sieben Jahre sollten lang genug sein, um unangenehme Feststellungen zu akzeptieren oder zu widerlegen. Erfreulich war hingegen die Resonanz aus den Anwenderkreisen und den Betroffenen. An dieser Stelle soll noch einmal deutlich hervorgehoben werden: 57% der durch Beleuch-

tung beeinträchtigten Personen in Deutschland, wo die Beleuchtungsverhältnisse vermutlich noch besonders günstig sind, und unter deutschen Büromitarbeitern, die von den geltenden Normen und Vorschriften besonders profitieren, lassen vermuten, daß in der gesamten Arbeitswelt mit Sicherheit ein erheblich größerer Prozentsatz von Menschen unter der Beleuchtung am Arbeitsplatz leidet.

## 7 Gesundheitliche Störungen und Beleuchtung

### 7.1 Zum Gesundheitsbegriff

Arbeitsbedingungen, die als Beeinträchtigung erlebt werden, stellen nicht notwendigerweise auch einen Faktor zur Störung der Gesundheit dar. Was aber kann überhaupt als eine Beeinträchtigung der Gesundheit anerkannt werden? Dies hängt zunächst von der Definition des Begriffs „Gesundheit“ ab.

Die umfassendste Definition der Gesundheit ist die der Weltgesundheitsorganisation (WHO), die besagt, daß Gesundheit einen Zustand des Wohlbefindens darstellt und nicht die Abwesenheit von Krankheit. In diesem Sinne wäre der im Kapitel 6 dargestellte Sachverhalt bereits ein Nachweis einer gesundheitlichen Störung.

***Hinweis:** Im Gegensatz zum Begriff „Gesundheit“ existiert zum Begriff „Krankheit“ keine Definition.*

Im allgemeinen wurde früher unter einer Beeinträchtigung der Gesundheit eine klinisch feststellbare Beeinträchtigung bleibender Art an Funktionen des gesamten Körpers oder einzelner Organe verstanden. Aufgrund der im Rahmen der Umsetzung der EU-Arbeitsschutzrichtlinien ins deutsche Recht entstandenen rechtlichen Situation gelten solche Vorstellungen nicht mehr, da das neue Arbeitsschutzgesetz vom August 1996 und die Bildschirmarbeitsverordnung vom Dezember 1996 auch psychische Belastungen als eine Gesundheitsgefahr betrachten. Hierbei liegt dem Begriff „Gesundheit“ eine eingeschränkte Definition nach der ILO (International Labour Organisation) zugrunde, da der Gesundheitsbegriff der WHO als wenig praktikabel gilt. Danach bedeutet **Gesundheit** im Zusammenhang mit der Arbeit **„nicht nur das Freisein von Krankheit oder Gebrechen, sondern umfaßt auch die physischen und geistig-seelischen Faktoren, die sich auf die Gesundheit auswirken und die in unmittelbarem Zusammenhang mit der Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit stehen.“** (Bieneck, BABl 10/1984, 5, 7; zitiert aus Bücker, Feldhoff, Kohte, 1994) Die Bildschirmarbeitsverordnung hebt auf drei besondere Gefahren ab:

- Gefährdung des Sehvermögens
- körperliche Probleme
- psychische Belastungen.

Umweltbedingungen, die im Zusammenhang mit diesen Gefahren gesehen werden können, begründen daher die Annahme einer Gesundheitsgefahr.

#### 7.1.1 Einwirkungsdefinition

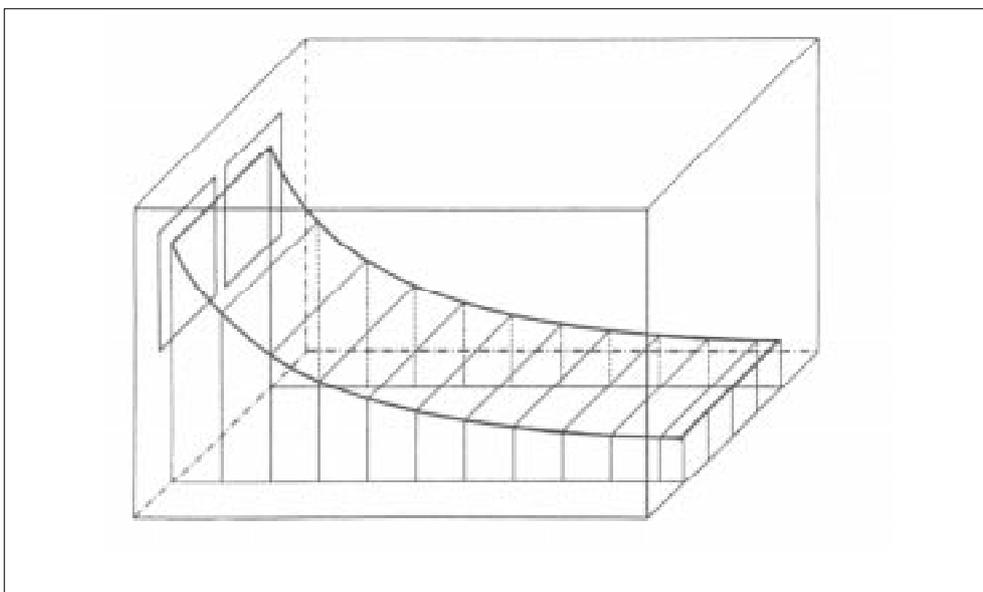
Störende Umweltfaktoren bilden nicht notwendigerweise eine Quelle gesundheitlicher Beeinträchtigung, so z.B. dann nicht, wenn ihr Einfluß nur geringfügig ist oder nur kurzzeitig oder selten auftritt. Bevor man einen Umweltfaktor, der als „unangenehm“ erlebt wird, auch als einen Faktor der Beeinträchtigung der Gesundheit bezeichnen kann, ist die Festlegung der *Einwirkungsdefinition* erforderlich. Der betrachtete Faktor muß eine nachvollziehbare Einwirkung auf den Organismus ausüben, damit dieser Organismus sich überhaupt verändert. Aber nicht jede feststell-

bare Veränderung eines Organismus wird gleichsam als eine Beeinträchtigung der Gesundheit bezeichnet, da jede Information aus der Umwelt eine Veränderung hervorruft. So verändert z.B. ein Warnsignal die Hirnströme, ohne daß man dies als Beeinträchtigung der Gesundheit ansieht.

Eine Möglichkeit der Einwirkung auf den Menschen ist bei künstlicher Beleuchtung gegeben, wenn auch in unterschiedlichem Maße: An jeder Arbeitsstätte wird in Innenräumen auch unter künstlicher Beleuchtung gearbeitet, jedoch je nach Arbeitsaufgabe unterschiedlich lange. So kann man bei gleichartigen Arbeitsräumen davon ausgehen, daß Personen mit leichteren Sehaufgaben die künstliche Beleuchtung weniger lange benutzen als andere mit schwierigen Sehaufgaben, die z.T. über den gesamten Arbeitstag künstliche Beleuchtung nutzen müssen.

Für die Bestimmung der Einwirkung der künstlichen Beleuchtung im Rahmen dieses Projekts wird als Hilfsgröße die Entfernung des Arbeitsplatzes zum Fenster herangezogen. Da man den Verlauf der Beleuchtungsstärke durch das Tageslicht in einem Raum vom Fenster bis zur gegenüberliegenden Raumbegrenzung physikalisch errechnen kann (s. Bild 7.1) und ebenso die für die Arbeitserledigung notwendige Beleuchtungsstärke, kann man auch berechnen, an wievielen Tagen des Jahres an einem Arbeitsplatz und in welchem Zeitraum theoretisch unter künstlicher Beleuchtung gearbeitet werden muß. Daß die Entfernung des Arbeitsplatzes zum Fenster einen Faktor mit nachweisbarer Wirkung auf die Beeinträchtigung des Menschen bei der Arbeit darstellt, wurde bereits im Kapitel 6 gezeigt. Hierbei darf allerdings nicht übersehen werden, daß der gewählte Einflußfaktor die Tageslichtverhältnisse im Raum nicht alleine bestimmt. Weitere Größen wie Fensterfläche, Verbauung, Himmelsrichtung etc. sind ebenfalls maßgeblich für die Qualität und Quantität des Tageslichtes.

Bild 7.1 Verlauf der Beleuchtungsstärke durch das Tageslicht in einem einseitig befensterten Raum

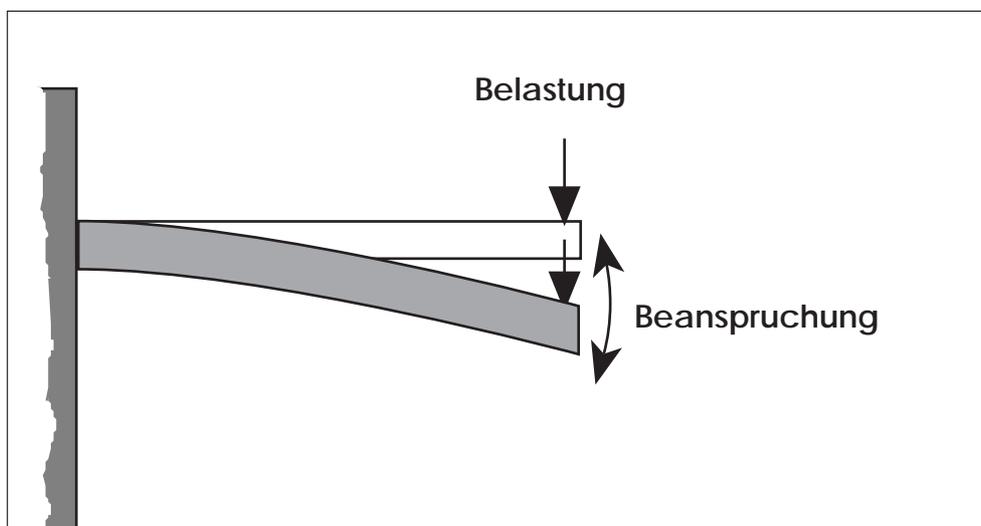


Eine zweite Voraussetzung für eine Einwirkungsdefinition besteht in dem Nachweis, daß ein Umweltfaktor durch seine Einwirkung nicht nur zeitweilige Veränderungen im Organismus hervorruft, sondern auch solche, die sich im Laufe einer Erholung nach dem Arbeitstag nicht zurückbilden. Ein solcher Nachweis läßt sich allerdings nur klinisch durchführen und ist bei diesem Projekt nicht vorgesehen. Aufgrund der neuen Rechtslage ist ein solcher Nachweis auch nicht mehr erforderlich.

### 7.1.2 Belastungs-/Beanspruchungskonzept

In der Arbeitswissenschaft wird, im Gegensatz zum üblichen Gebrauch des Begriffs *Belastung* mit negativer Bedeutung, zwischen einer „Belastung“ als neutralem Umweltfaktor und einer „Beanspruchung“ als Auswirkung dieses Umweltfaktors unterschieden. Das hierzu verwendete Modell in Anlehnung an Rohmert wird in Bild 7.2 wiedergegeben.

Bild 7.2 Belastungs-/Beanspruchungskonzept nach Rohmert (1981)



Die Aussage dieses Bildes lautet kurz gefaßt: Belastungen als *neutral* zu wertende Umweltfaktoren können je nach Fähigkeiten des jeweiligen Organismus zu unterschiedlichen Veränderungen führen. Diese sind „Beanspruchungen“. In der Arbeitswissenschaft ist die Beanspruchung, im Gegensatz zu Belastung, ein negativ belegter Begriff.

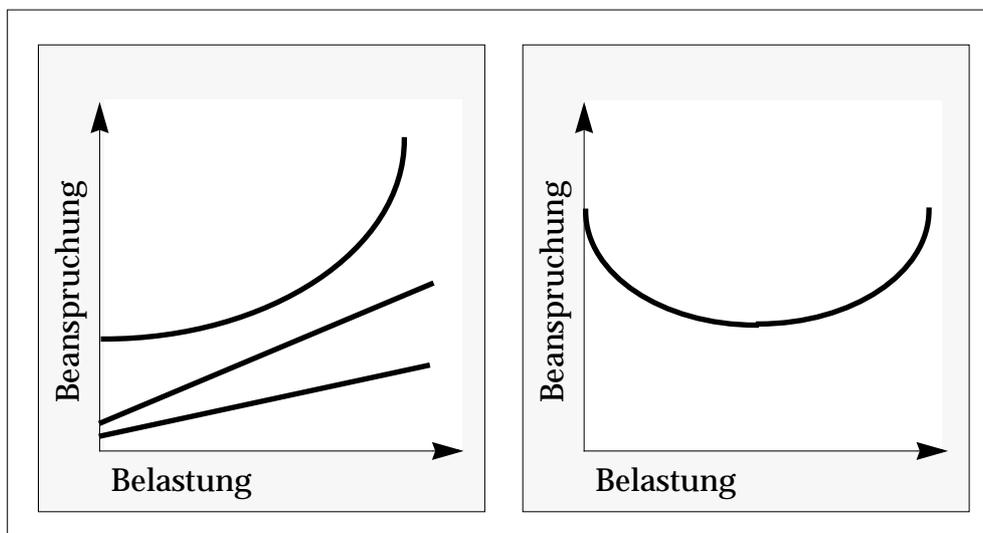
Der Unterschied zwischen „Belastung“ und „Beanspruchung“ kann am Beispiel der Temperatur verdeutlicht werden: Eine Raumtemperatur von 18°C ist im allgemeinen eine Belastung des Organismus, weil sie weit unter der Körpertemperatur liegt und somit zu einem Wärmeverlust führt. Für bestimmte Personen, bei bestimmten körperlichen Betätigungen oder auch bei bestimmter Kleidungsart kann diese Raumtemperatur jedoch „optimal“ sein, d.h. eine minimale Beanspruchung hervorrufen. Für andere Personen wiederum kann sie zu niedrig oder auch zu hoch sein, beispielsweise bei schwerer körperlicher Arbeit. Darüber hinaus spielen persönliche Faktoren

wie grundsätzliche und temporäre Konditionierung eine wesentliche Rolle. Die physikalisch meßbare Größe (Belastung) stellt somit nur dann einen negativen Faktor (Beanspruchung) dar, wenn der Organismus davon beeinträchtigt wird. Bei einer arbeitswissenschaftlichen Analyse werden daher zunächst Belastungen erfaßt, um anschließend zu prüfen, ob und ggf. welche Beanspruchungen sie bewirken.

Der Zusammenhang zwischen Belastung und Beanspruchung kann im Prinzip zwei unterschiedliche Verläufe aufweisen (s. Bild 7.3). Das linke Diagramm zeigt Verläufe, die eine zunehmende Beanspruchung bei zunehmender Belastung wiedergeben. Belastungsfaktoren, die solche Wirkungen hervorrufen, wirken sich auf den Menschen ähnlich aus wie physikalische Größen auf Materialien. Wenn die Wirkungen solcher Faktoren auf den Menschen verringert werden sollen, muß man die Belastung minimieren. Eine Vielzahl von Belastungsfaktoren wirkt sich jedoch vollkommen anders aus. Diese wirken sich sowohl bei geringer als auch bei hoher Intensität stärker aus als bei mittleren Intensitäten, wie im rechten Diagramm dargestellt. Ein Beispiel für eine solche Beziehung stellt die Wirkung der Komplexität einer Tätigkeit auf die Ermüdung dar: Einfache wie sehr komplexe Tätigkeiten ermüden mehr als Tätigkeiten mit einer beherrschbaren mittleren Komplexität. Bei Vorliegen solcher Faktoren wirkt sich eine Verringerung bzw. Minimierung der Belastung möglicherweise negativ aus, die Belastung muß *optimiert* werden, damit die Beanspruchung *minimiert* wird.

Der menschliche Organismus kann nicht nur durch die Beanspruchungen selbst geschädigt werden, sondern auch durch ihre Folgewirkungen. Beispielsweise gilt eine „Ermüdung“ nicht als Schädigung, weil ihre Folgen umkehrbar sind und durch Erholung vollständig beseitigt werden können. Wenn eine Person allerdings die Ermüdung nicht durch Erholung ausgleichen kann oder will und statt dessen z.B. zu Drogen greift, erleidet sie einen Schaden, nicht infolge der Beanspruchung, sondern infolge der Methode der Bewältigung.

Bild 7.3 Verlauf der Beanspruchung in Abhängigkeit von der Belastung, lineare bzw. progressive Zunahme (links) und U-förmiger Verlauf (rechts)



### 7.1.3 Störung der Tagesrhythmik als Belastungsfaktor

Ein geschlossenes Modell von Belastung und Beanspruchung existiert für den Faktor Licht nicht, weil sich eine Beziehung im Sinne einer zunehmenden Beanspruchung mit zunehmender Quantität des Lichts nicht begründen läßt. So ist das Licht in der Natur mit einer sehr hohen Intensität vorhanden, die weit über die der künstlichen Beleuchtung hinausgeht. Als Vergleich sei angeführt, daß die Beleuchtungsstärke in der Sonne 100.000 lx oder mehr betragen kann, während die Bürobeleuchtung i.d.R. unter 1.000 lx liegt. Daher zielen alle Maßnahmen in beleuchtungstechnischer Hinsicht, die den Schutz des Menschen bewirken wollen, eher auf die Beseitigung von zu wenig Licht. In vielen Fällen läßt sich nachweisen, daß diese Vorgehensweise auch angemessen und richtig ist. Daher schreiben z.B. Regelwerke fast immer Mindestwerte für Beleuchtungsstärken vor, die naturgemäß überschritten werden können. Selbst bei mehrfacher Überschreitung der in den Normen festgelegten Werte ist aufgrund der Intensität des einfallenden Lichts kein schädlicher Einfluß der künstlichen Beleuchtung auf den Menschen zu erwarten, es sei denn durch sonstige Nebeneffekte wie erhöhte Wärmestrahlung.

Allerdings kann man häufig feststellen, daß Menschen, die im Büro eine Beleuchtungsstärke von 500 lx als „zu hell“ empfinden, eine Beleuchtungsstärke von 5.000 lx in der Natur als „zu dunkel“ bezeichnen. Die Gründe hierfür sind nicht hinreichend bekannt. Bekannt hingegen sind bestimmte Auswirkungen des natürlichen Lichts auf den Hormonhaushalt des Menschen, auf die im Kapitel 1 näher eingegangen worden ist. Durch die heutige Lebensweise, die von natürlichen Bedingungen weit entfernt ist, wird dieser Rhythmus gestört. Wie bereits erwähnt, ersetzen z.T. sog. soziale „Zeitgeber“ die Funktion des natürlichen Zeitgebers Licht. Zu diesen sozialen Zeitgebern gehört z.B. heute das Fernsehen, das im Laufe der letzten 30 Jahre sogar die Schlafgewohnheiten der Menschen geändert hat (Ratzke, 1982).

Bereits die Verwendung von künstlichem Licht jedweder Art bedeutet eine Entfernung von natürlichen Lebensweisen, weil man damit den Tag verlängert und die Nacht verkürzt. Sie stellt somit eine Belastung in arbeitswissenschaftlichem Sinne dar. Ob damit eine Beanspruchung verbunden ist, kann in Industriestaaten nicht mehr ermittelt werden, weil diese Lebensweise von allen Menschen praktiziert wird, wenn auch unterschiedlich extensiv.

Die künstliche Beleuchtung von Arbeitsstätten trägt zweifellos dazu bei, daß die Einwirkung des natürlichen Lichts auf den Organismus ganz oder teilweise verhindert wird. Sie selbst bleibt in fensterlosen Räumen über den ganzen Tag gleich und verändert sich nicht. In Büroräumen, die in der Regel zumindest einen Sichtkontakt nach außen besitzen, gilt diese Aussage auch für jene Raumteile, die weiter vom Fenster entfernt sind.

Im folgenden soll zunächst untersucht werden, ob bestimmte körperliche Störungen in Zusammenhang mit der Beleuchtung stehen. Wenn diese Frage bejaht werden kann, soll untersucht werden, welcher Belastungsfaktor die Beanspruchung hervorruft: Die künstliche Beleuchtung in direkter Einwirkung oder indirekt durch

die Verhinderung der Einwirkung der natürlichen Beleuchtung auf die Tagesrhythmik. Wenn die letztere Vorstellung berechtigt ist, besteht die Ursache der gesundheitlichen Störungen in der Bewältigung des Beleuchtungsproblems und nicht in den direkten Auswirkungen der Beleuchtung.

## 7.2 Gesundheitliche Beeinträchtigungen bei der Büroarbeit

### 7.2.1 Gesundheitliche Beeinträchtigungen und Umweltfaktoren

Bei der Büroarbeit entstehen besondere Belastungen des menschlichen Körpers, die die Organe bzw. Organsysteme wie Binde- und Stützgewebe, Zentralnervensystem, Herz- und Kreislaufsystem, Sinnesorgane wie Auge und Ohr betreffen (näheres s. Peters, 1976). Die Ursachen dieser Belastungen können i.a. den Faktoren Raum, Arbeitsplatz, Geräusch und Lärm, Luft und Licht zugeordnet werden.

Die o.g. Belastungsfaktoren führen neben Beanspruchungen, deren Ursachen eindeutig lokalisiert werden können, z.B. Haltungsbeschwerden und schlechte Sitzgelegenheiten, zu unspezifischen Befindlichkeitsstörungen wie Kopfschmerzen oder Benommenheit. Im Rahmen des vorliegenden Projekts werden als gesundheitliche Beeinträchtigungen die Gesundheits- und Befindensstörungen betrachtet, die anhand von Befindlichkeitsskalen erfaßt werden. (Hinweis: Kopfschmerzen werden in den Kommentaren zur Arbeitsstättenverordnung sogar als "Gesundheitsschäden" bezeichnet (Opfermann/Streit, 1997).)

Den für diesen Untersuchungsteil 2 relevanten Abschnitt des Fragebogens zeigt Bild 7.4. Es werden Symptome abgefragt, die nicht nur von der Beleuchtung, sondern auch von anderen Umweltfaktoren abhängig sind und u.a. auch mit persönlichen Voraussetzungen, wie z.B. schlechten Augen, zusammenhängen können. Um den letzten Zusammenhang beurteilen zu können, wurde zudem abgefragt, ob die Person eine Brille trägt und welcher Art diese Brille ist.

Bild 7.4 Fragen zu Gesundheits- und Befindlichkeitsstörungen

<b>Leiden Sie bei Ihrer Arbeit an auffälligen Störungen Ihres Wohlbefindens?</b>				
	<b>stark</b>	<b>mäßig</b>	<b>kaum</b>	<b>gar nicht</b>
Konzentrationschwäche	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Rasche Ermüdung	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Benommenheit	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Reizbarkeit	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Sehbeschwerden	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Kopfschmerzen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Trockene Augen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Augenbrennen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Die Auswahl der Befindlichkeitsskalen wurde anhand der Beschwerdenskalen und Beschwerdenliste nach von Zerssen (1975) vorgenommen. Diese Beschwerdenliste ist im Rahmen des Forschungsprojekts „Gesundheits- und Befindensstörungen in klimatisierten Gebäuden“ des Bundesministeriums für Forschung und Technologie (Kröling, 1985) überarbeitet worden. Aus der Liste der 11 Skalen der Befindlichkeit wurden nach Pre-Tests die Skalen *Kreislaufschwäche*, *Energielosigkeit* und *Neigung zu Erkältungen* herausgenommen. Die Skala *Trockene Schleimhäute* wurde ersetzt durch die spezifische Frage *Trockene Augen*. Die Skala *Rheumatische Beschwerden* lieferte mißverständliche Interpretationen, da selbst unter Medizinern umstritten ist, was eine rheumatische Beschwerde bzw. Erkrankung ist.

Um zuverlässige Daten zu erhalten, müßte den Befragten eine genaue Erklärung gegeben werden, welche Symptome man erfassen will. Dies ist jedoch im Rahmen einer postalischen Befragung zu aufwendig und wurde deswegen nicht in Erwägung gezogen. Ergänzt wurde der Fragebogen durch zwei Skalen, *Sehbeschwerden* und *Augenbrennen*, die bekannte Symptome der Büro- und Bildschirmarbeit abfragen.

Zur Ermittlung des Zusammenhangs zwischen den Umgebungsbedingungen und den Gesundheitsstörungen wurden Regressionsanalysen durchgeführt, wobei die beeinträchtigenden Arbeitsbedingungen als bestimmende Variable gewählt wurden.

Um einen möglichen Zusammenhang zwischen der Beleuchtung und den Gesundheitsstörungen feststellen zu können, wurden Varianzanalysen berechnet. Den letzten Teil der Auswertung bildete die Analyse des Zusammenhangs der Gesundheitsstörungen und der Entfernung des Arbeitsplatzes vom Fenster entsprechend der im Abschnitt 7.1 dargestellten Begründung.

## 7.2.2 Häufigkeit der Gesundheitsstörungen

Die Häufigkeit der von Störungen der Gesundheit und des Wohlbefindens mäßig bis stark betroffenen Personen zeigt Tabelle 7.1, sortiert nach der Häufigkeit. Demnach stellen bei der Büroarbeit *Sehbeschwerden* und *Augenbrennen* die beiden häufigsten Arten der Störung dar, die *Benommenheit* die seltenste.

Erwartungsgemäß werden diese Störungen durch mehrere Einflußfaktoren verursacht. Einer dieser Einflußfaktoren ist das Arbeitsmittel. Wie Tabelle 7.2 zu entnehmen ist, sind in fast allen Skalen die am Schreibtisch arbeitenden Menschen weniger belastet als die Maschinenbenutzer. Am höchsten belastet sind die Personen, die mit der Schreibmaschine arbeiten. Sehbeschwerden und Augenbrennen kommen, relativ gesehen, bei der Bildschirmarbeit um 43% häufiger vor als bei der Arbeit am Schreibtisch. (Anm.: Die Differenz der absoluten Häufigkeiten mit 15% macht eine relative Zunahme in dieser Höhe aus.)

Tab. 7.1 Prozentsatz der von Gesundheits- und Befindlichkeitsstörungen betroffenen Mitarbeiter und Mitarbeiterinnen in Büros

<b>Gesundheitsstörung</b>	<b>Prozentsatz Betroffener</b>
Sehbeschwerden	42,0
Augenbrennen	40,0
Konzentrationsschwäche	38,3
Rasche Ermüdung	37,3
Reizbarkeit	36,0
Kopfschmerzen	34,0
Trockene Augen	31,0
Benommenheit	15,0

Tab. 7.2 Prozentsatz der von Gesundheits- und Befindlichkeitsstörungen betroffenen Mitarbeiter und Mitarbeiterinnen in Büros in Abhängigkeit von den Arbeitsmitteln

<b>Gesundheitsstörung</b>	<b>Prozentsatz Betroffener</b>		
	<b>Schreibtisch</b>	<b>Bildschirm</b>	<b>Schreibmaschine</b>
Sehbeschwerden	35	50	61
Augenbrennen	34	49	49
Konzentrationsschwäche	32	44	50
Rasche Ermüdung	31	44	44
Reizbarkeit	33	40	49
Kopfschmerzen	29	40	48

### 7.2.3 Einfluß des Sehvermögens auf Gesundheitsstörungen

Brillenträger klagen im allgemeinen nicht häufiger über Störungen wie Ermüdung, Reizbarkeit u.ä. als Nicht-Brillenträger. Bei keiner Befindlichkeitsstörung mit Ausnahme der Sehbeschwerden ergibt sich ein signifikanter Unterschied zwischen diesen Gruppen.

Einen starken Einfluß hat hingegen die Art der Brille bei Tätigkeiten am Bildschirm und an der Schreibmaschine. Die am stärksten belastete Gruppe bilden die Träger von Nahbrillen, die häufigere Störungen ihrer Gesundheit erleben als die Träger anderer Brillen. Obwohl dieser Einfluß zum Zeitpunkt der Befragung bereits seit mehr als 12 Jahren bekannt war (Çakir, 1978), und obwohl die am Bildschirm arbeitenden Personen durch ein entsprechendes Regelwerk (s. ZH 1/618 und G37) geschützt sein sollten, ließ sich im Jahre 1990 immer noch feststellen, daß der vor 12 Jahren festgestellte Einfluß sich wiederholt nachweisen läßt. Bei den Personen, die an der Schreibmaschine arbeiten, wäre der festgestellte Zustand vielleicht noch

verständlich, jedoch nicht bei den Bildschirmbenutzern, für die eine regelmäßige Vorsorgeuntersuchung vorgesehen ist.

### 7.2.4 Einfluß der Beleuchtungsart auf Gesundheitsstörungen

Ein möglicher Einfluß der Beleuchtungsart auf die Störungen der Gesundheit muß aufgrund des oben dargestellten Ergebnisses unter Berücksichtigung der benutzten Arbeitsmittel ermittelt werden. Zu diesem Zweck wurden zweifaktorielle Varianzanalysen gerechnet, die gestatten, sowohl den Einfluß der beiden Faktoren als auch den gemeinsamen Einfluß der beiden Faktoren (Interaktion) zu ermitteln. Zu diesem Zweck mußte der Einfluß einer weiteren Variablen, der Fensterentfernung, eliminiert werden. Für diese Bewertung wurde daher eine Stichprobe mit etwa gleicher Entfernung des Arbeitsplatzes vom Fenster gezogen.

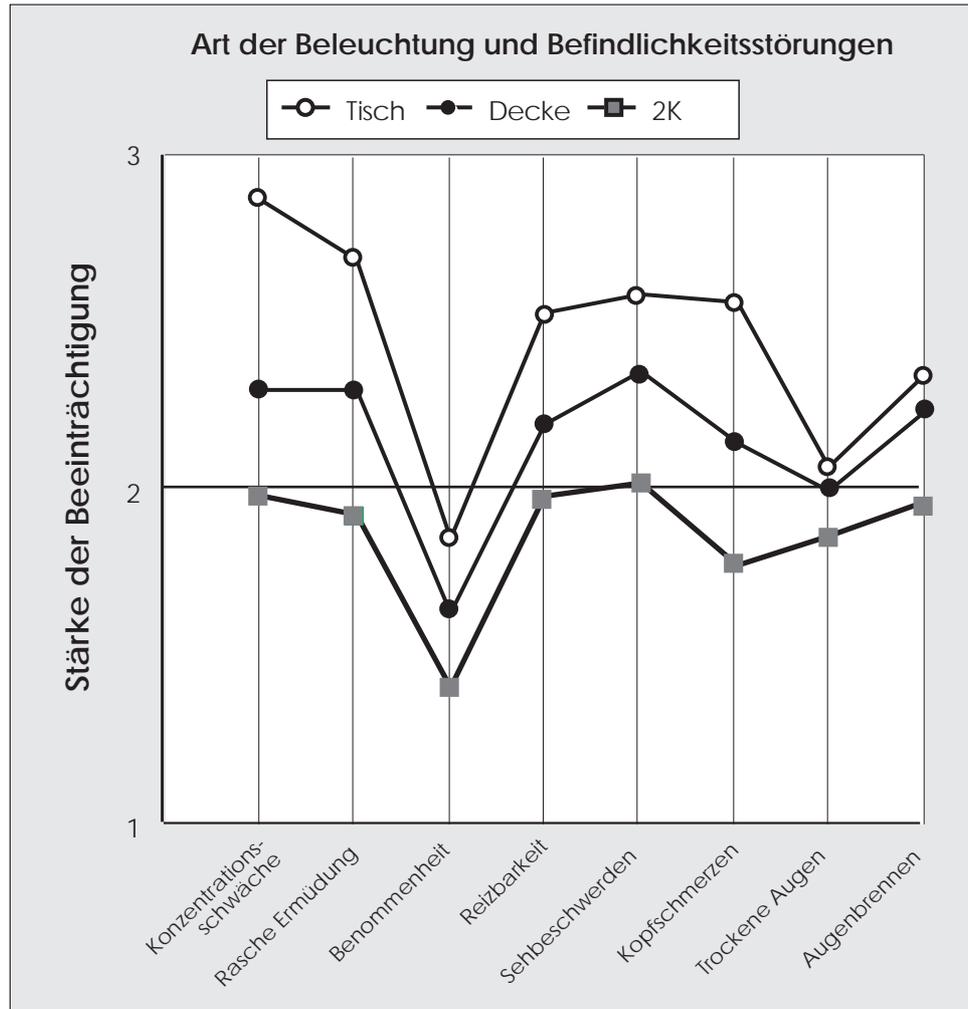
Das Ergebnis dieser Analyse zeigt Tabelle 7.3: Die Art der Beleuchtung stellt außer bei der Beschwerde „*Trockene Augen*“ den dominanten Einflußfaktor dar. Für diese Variable ist keine der betrachteten Größen maßgeblich.

Tab. 7.3 Statistische Signifikanz des Einflusses der Beleuchtungsart und der Arbeitsmittel (\*\*\*= 0,1%, \*\*= 1%, \*= 5%, n.s. = nicht signifikant)

Gesundheitsstörung	Einflußfaktor		
	Beleuchtung	Arbeitsmittel	Interaktion
Sehbeschwerden	***	***	n.s.
Augenbrennen	**	n.s.	n.s.
Konzentrationsschwäche	***	**	**
Rasche Ermüdung	***	n.s.	n.s.
Reizbarkeit	***	*	*
Kopfschmerzen	***	***	**
Trockene Augen	n.s.	*	n.s.
Benommenheit	**	*	n.s.

Den ermittelten Einfluß der Beleuchtungsart gibt Bild 7.5 wieder: Auf allen Skalen mit einer Ausnahme besitzt die Beleuchtungsart einen hochsignifikanten Einfluß auf die Gesundheitsstörungen. Auf allen Skalen ist die reine Tischbeleuchtung die ungünstigste, die 2K-Beleuchtung die günstigste Beleuchtungsart. Auf allen Skalen mit einer Ausnahme unterscheidet sich die 2K-Beleuchtung positiv und signifikant von den anderen, auf 6 Skalen ist die Deckenbeleuchtung signifikant besser als die Tischbeleuchtung.

Bild 7.5 Einfluß der Beleuchtungsart auf die Stärke der Gesundheitsstörungen  
(1 = gar nicht, 4 = stark)



## 7.3 Einfluß des natürlichen Lichts auf Beeinträchtigungen und Gesundheitsstörungen

### 7.3.1 Einfluß der Raumtiefe

Die Tiefe des Arbeitsraums im Verhältnis zu seiner Höhe beeinflusst im wesentlichen die zwei Umgebungsfaktoren *Raumklima* und *Versorgung mit Tageslicht*.

Bis zur Einführung der Leuchtstofflampe und der künstlichen Klimatisierung wurden Büroräume i.a. so gestaltet, daß eine als ausreichend angesehene Versorgung mit Tageslicht möglich war, was auch eine relativ günstige natürliche Luftversorgung zur Folge hatte. Dies betraf den Einflußfaktor Fenstergröße ebenso wie die Raumtiefe und -höhe.

Seit den fünfziger Jahren, also in dem Zeitraum der Entstehung der meisten heute in Betrieb befindlichen Bürogebäude, spielt die Raumhöhe in der Literatur über die Bürohausarchitektur keine oder nur noch eine geringe Rolle. Wo sie erwähnt wird, geht es meistens um die Unterbringung von Klimakanälen oder anderen technischen Versorgungseinrichtungen. Beispielsweise findet man in dem Buch „*Planungsstudie: Ideen für die Umwelt von morgen*“ von Eiermann und Kuhlmann, das für mehr als ein Jahrzehnt als Vorbild für die Büroplanung gedient hat, nicht eine einzige Bemerkung zur Raumhöhe. Ähnliches haben wir beim Studium der - übrigens recht spärlich verfügbaren - Bücher über Bürohausarchitektur festgestellt. (**Anm.:** *Obwohl mehr als die Hälfte deutscher Arbeitnehmer im Büro tätig sein sollen, gibt es erstaunlicherweise mehr Bücher über Gartenteiche als über Bürohausarchitektur.*) Wenn Raumhöhe eine Rolle gespielt hat, dann war es beim Bauantrag: Es ging dabei um eine Maximierung der Nutzfläche des Bürohauses bei gegebenen Restriktionen über Traufhöhen, aufgestellt durch Gemeinden und Kommunen. Die in der Arbeitsstättenverordnung gezogene Grenze der Mindesthöhe (lichte Höhe) der Räume in Abhängigkeit von der Raumfläche bildete den Orientierungsrahmen und nicht mehr die Sorge um ausreichende Tageslichtversorgung. Tageslicht konnte ja durch künstliches Licht ersetzt werden. Durch die Verfügbarkeit der - billigen - künstlichen Beleuchtung konnten in zunehmendem Maße Räume geplant werden, die bei größerer Raumtiefe z.T. auch noch niedrige Geschoßhöhen aufwiesen. Dadurch bedingt wurde auch die Luftversorgung der Räume zunehmend schlechter. Die allseits bekannten negativen Wirkungen der künstlichen Klimatisierung sind nach unseren Forschungsergebnissen zu einem wesentlichen Teil auf die Bürohausarchitektur zurückzuführen und nicht, wie häufig angenommen wird, auf schlechte Klimaanlagen (s. Çakir u.a., 1983).

Im folgenden wird der Einfluß der Raumtiefe auf Raumverhältnisse, Klimabedingungen und Beeinträchtigungen des Menschen analysiert. Diese Betrachtungen werden ergänzt durch eine Analyse der Gesundheits- bzw. Befindlichkeitsstörungen in Abhängigkeit von der Fensterentfernung des Arbeitsplatzes.

### **7.3.2 Fensterentfernung und Beeinträchtigungen**

Die Entfernung des Arbeitsplatzes vom nächsten Fenster bildet den hauptsächlichen Einflußfaktor, der die Belastungen des Menschen durch die räumlichen Verhältnisse bestimmt (s. Bild 7.6). Die aus physikalischen Gegebenheiten abzuleitende Vermutung, daß die thermische Behaglichkeit in Fensternähe geringer wäre als in größerer Raumtiefe, wo weder die Wärmeeinstrahlung noch die mögliche Kältewirkung durch die Fenster so stark wirksam wird wie in Fensternähe, läßt sich durch diese Studie nicht belegen. Es läßt sich eher das Gegenteil zeigen (s. Bild 7.7 und Bild 7.8).

Die Empfindung, daß die Temperatur zu hoch sei, ist in allen Raumtiefen gleich, während die Beeinträchtigung durch zu niedrige Temperaturen in größerer Raumtiefe eher zu- als abnimmt. Die Beeinträchtigung durch trockene Luft nimmt ebenfalls mit der Raumtiefe zu (Bild 7.9). Es läßt sich somit nachweisen, daß die Raumtiefe einen wesentlichen Faktor der Beeinträchtigung auf das Klima bezogen darstellt.

Bild 7.6 Einfluß der Fensterentfernung durch räumliche Verhältnisse

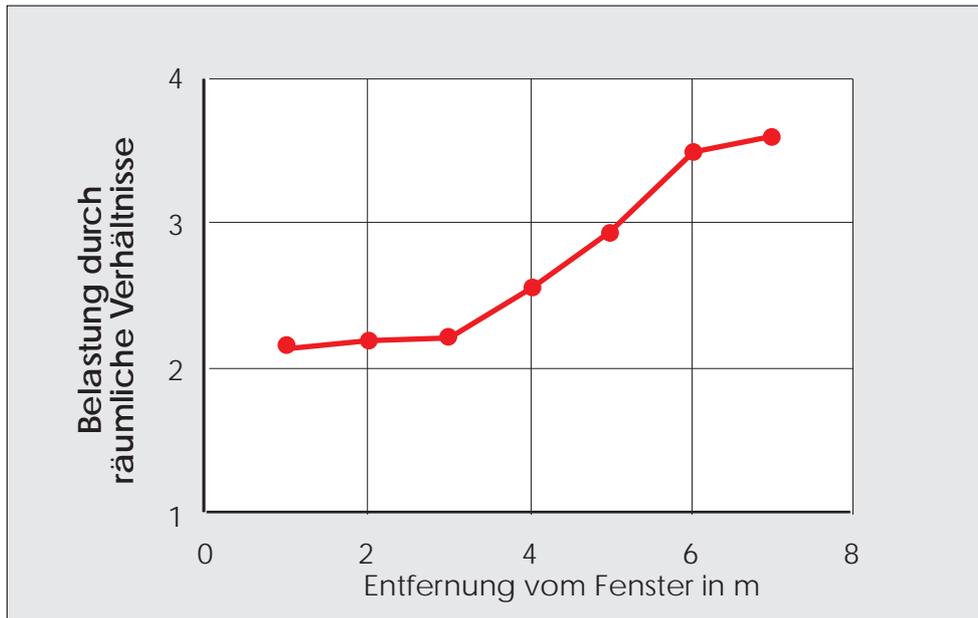
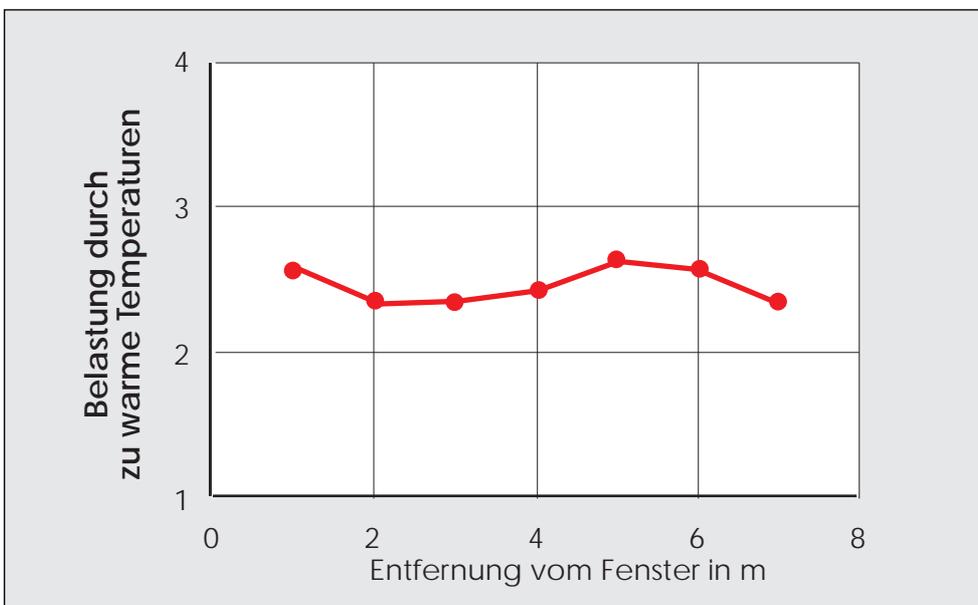


Bild 7.7 Einfluß der Fensterentfernung durch zu hohe Temperaturen



In gleichem Maße, wie die Beeinträchtigungen durch das Klima zunehmen, steigen auch die Beeinträchtigungen durch die Beleuchtungsverhältnisse (s. Bild 7.10). So ist darüber hinaus auch erwartungsgemäß die Beeinträchtigung durch „zu wenig Tageslicht“ größer (s. Bild 7.11). Was jedoch nicht erwartet werden kann, stellt Bild 7.12 dar: Nur sehr wenige Menschen fühlen sich im Büro durch zu viel Tageslicht beeinträchtigt. Bemerkenswerterweise fühlen sich die dicht am Fenster sitzenden Personen hierdurch nicht mehr beeinträchtigt als jene in der Raumtiefe bis 6 m vom Fenster.

Bild 7.8 Einfluß der Fensterentfernung durch zu niedrige Temperaturen

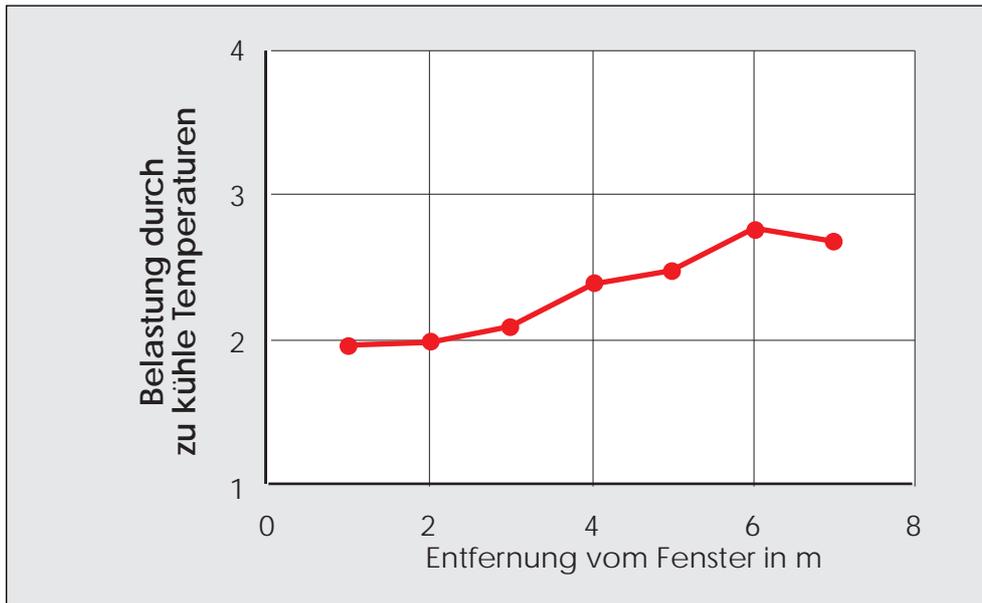
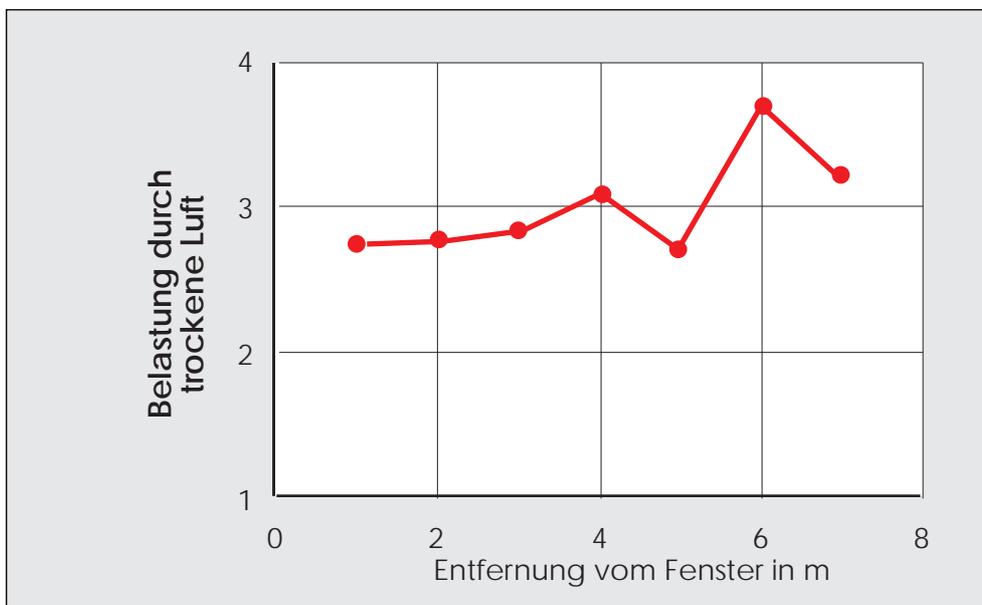


Bild 7.9 Einfluß der Fensterentfernung durch zu trockene Luft



Einen geringfügigen Einfluß übt das benutzte Arbeitsmittel aus, die am Bildschirm arbeitenden Personen beklagen sich etwas häufiger als andere über zu viel Tageslicht. Auch der Einfluß der Himmelsrichtung scheint gering zu sein, denn die Benutzer der Räume im Süden oder Südwesten der Gebäude beklagen sich nur geringfügig häufiger über zu viel Tageslicht als die Benutzer der gegen Norden gerichteten Räume. Anders hingegen die Menschen, die in vierseitig befensterten Räumen arbeiten. Sie führen Beschwerden dreimal so häufig an wie die anderen Gruppen. „Zuviel

Tageslicht“ bedeutet offenbar nicht zu hohe Beleuchtungsstärke, sondern Blendung durch ungünstig angeordnete Fenster.

Bild 7.10 Einfluß der Entfernung des Arbeitsplatzes vom nächsten Fenster durch Beleuchtungsverhältnisse

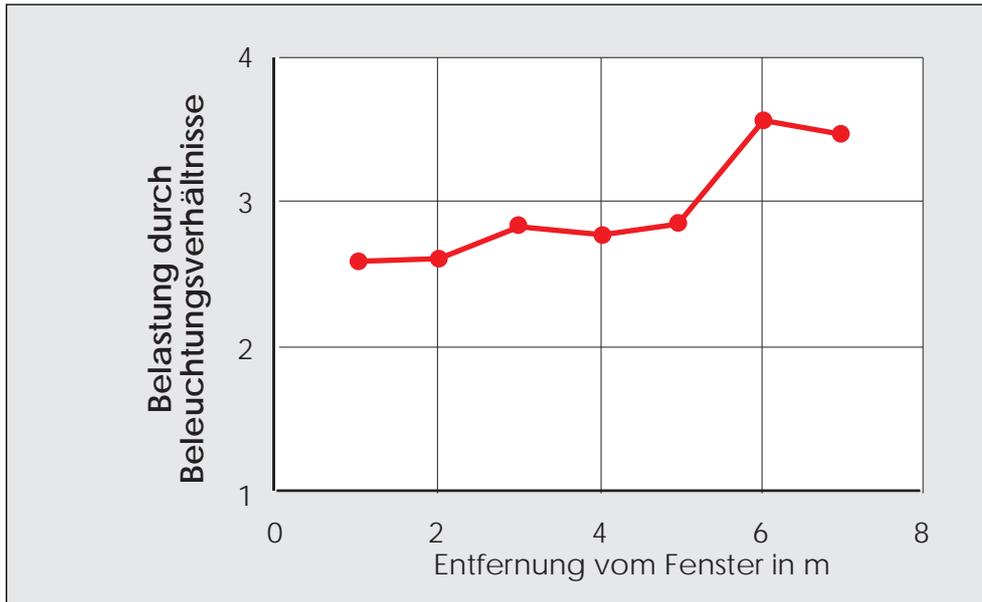


Bild 7.11 Einfluß der Fensterentfernung durch zu wenig Tageslicht

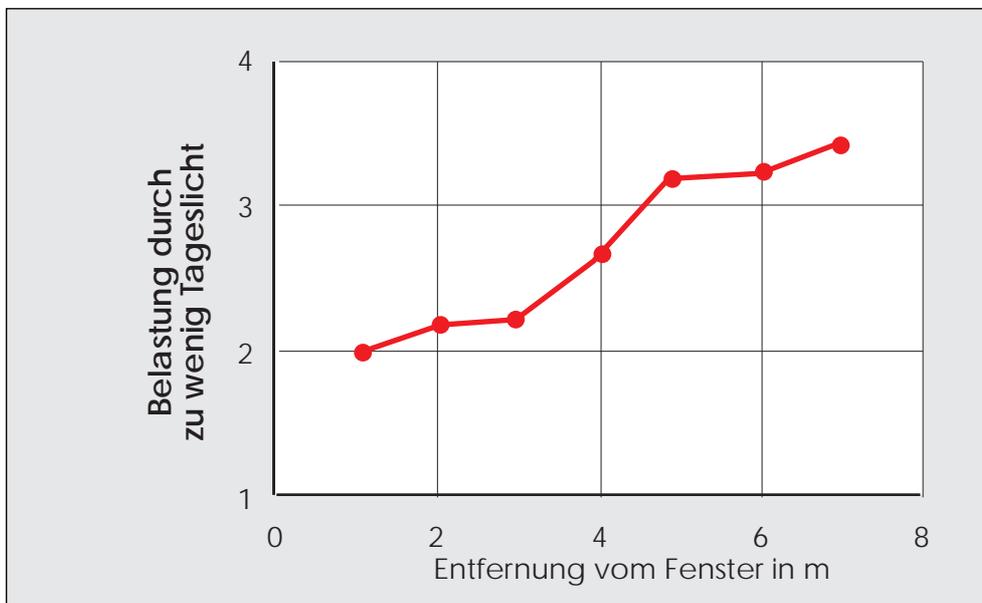
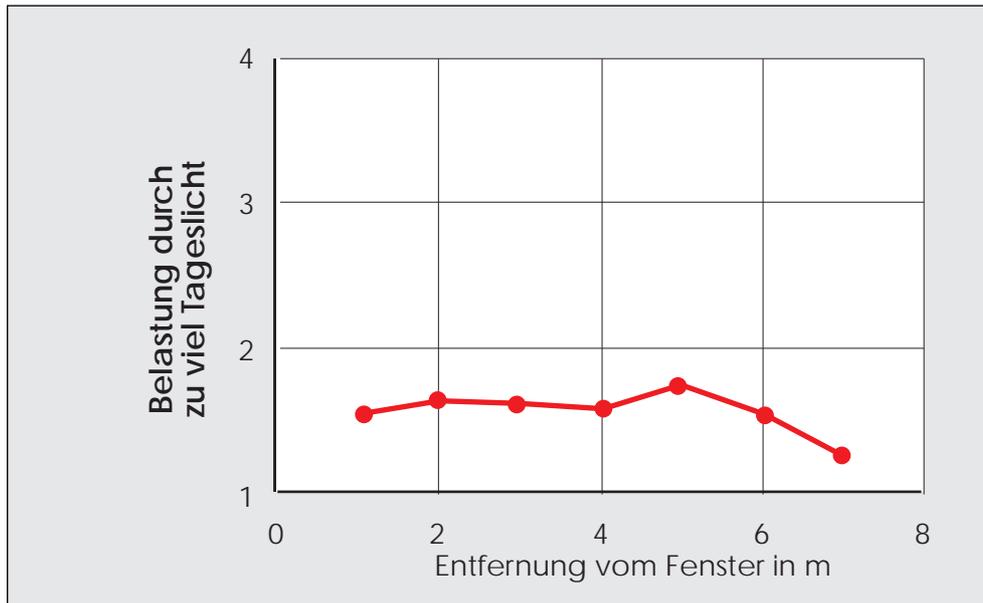


Bild 7.12 Einfluß der Fensterentfernung durch zu viel Tageslicht



### 7.3.3 Fensterentfernung und Gesundheitsstörungen

Sämtliche Skalen, die zur Erfassung der Gesundheitsstörungen eingesetzt wurden, sind mit der Variablen „zu wenig Tageslicht“ hochsignifikant korreliert und zeigen in Abhängigkeit von der Raumtiefe etwa den gleichen Verlauf wie diese, beispielhaft dargestellt in Bild 7.13 (Ermüdung) und Bild 7.14 (Sehbeschwerden). Im übrigen zeigt die Untersuchung auch, daß dieser generelle Trend bei allen Arbeitsmitteln zutrifft, d.h., die Ermüdung zeigt bei der Schreibtischarbeit im Prinzip den gleichen Verlauf wie bei der Arbeit mit Bildschirm oder mit der Schreibmaschine. Die jeweils geringste Beanspruchung herrscht an den fensternächsten Arbeitsplätzen (Bild 7.15) und dies ohne einen Unterschied zwischen den Gruppen, obwohl zumindest bei der Bildschirmarbeit hätte ein Unterschied feststellbar sein müssen.

Bild 7.13 Einfluß der Fensterentfernung auf die Ermüdung

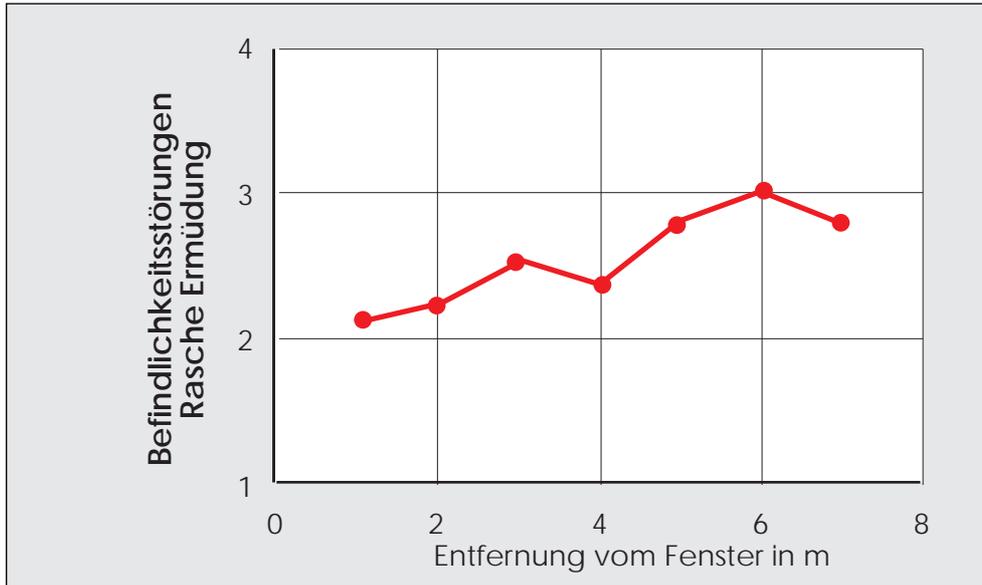


Bild 7.14 Einfluß der Entfernung des Arbeitsplatzes vom nächsten Fenster auf die Sehbeschwerden

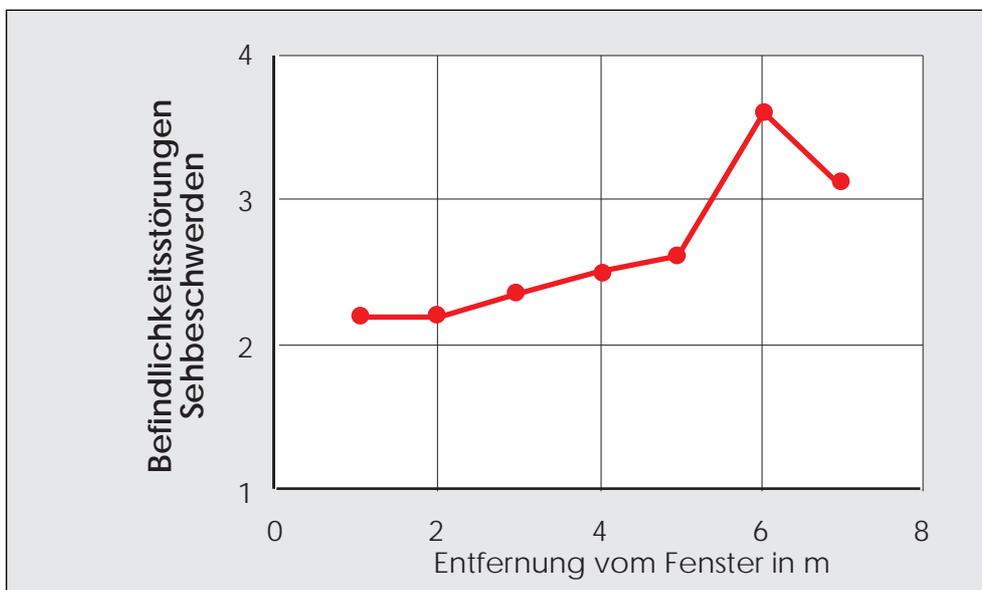
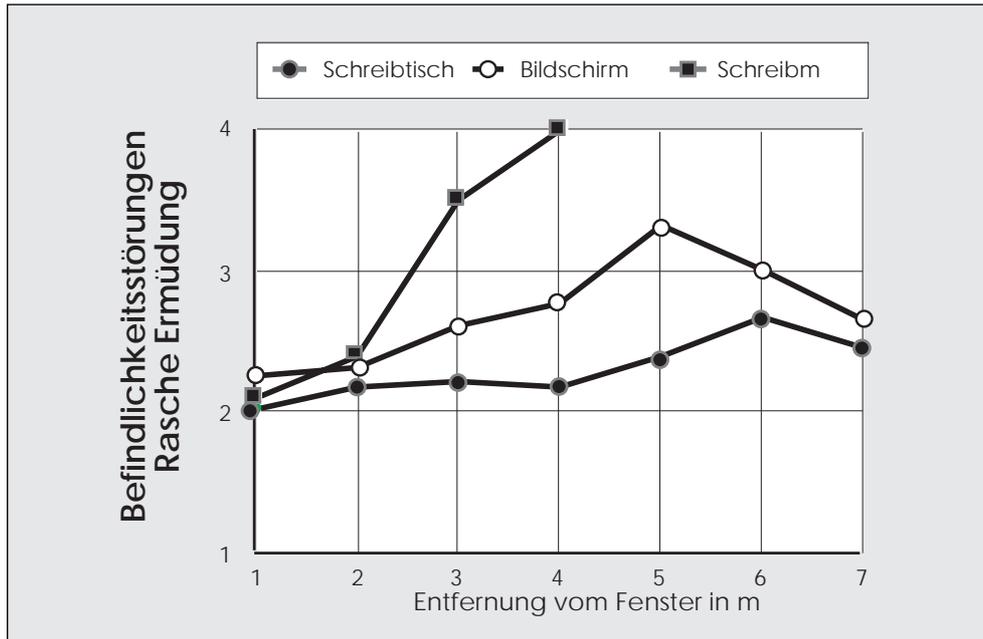


Bild 7.15 Einfluß der Entfernung des Arbeitsplatzes vom nächsten Fenster auf die Ermüdung bei Einsatz von verschiedenen Arbeitsmitteln



### 7.3.4 Zusammenfassung und Interpretation

Die Auswertung des Fragebogens ergibt, daß ein erheblicher Prozentsatz der im Büro arbeitenden Menschen unter Gesundheitsstörungen leidet. Zwei der wichtigsten Belastungsfaktoren, *Licht* und *Klima*, bilden einen nachweislichen Beitrag zu diesen Störungen. Die Störungen hängen darüber hinaus mit dem verwendeten Arbeitsmittel zusammen. So verursacht die Arbeit am Schreibtisch wesentlich weniger gesundheitliche Störungen als die Arbeit am Bildschirm oder an der Schreibmaschine. Jedoch ist der Einfluß der Beleuchtungsart wesentlich stärker als der des Arbeitsmittels. In den Raumbereichen, wo das Tageslicht vorherrscht, hat das Arbeitsmittel keinen Einfluß auf die Beanspruchung!

Der Einfluß des Lichts hängt einerseits davon ab, ob es sich um natürliches Licht handelt oder um künstliches, und andererseits von der Art der künstlichen Beleuchtung. Das Tageslicht weist einen positiven Einfluß auf die Gesundheitsstörungen unabhängig vom Arbeitsmittel auf, d.h., bei der Bildschirmarbeit ist sein Einfluß positiv ebenso wie bei sonstiger Büroarbeit. Mit zunehmender Entfernung des Arbeitsplatzes vom Fenster bzw. mit abnehmender Wirkung des Tageslichts nehmen alle Gesundheits- und Befindlichkeitsstörungen zu. Dort, wo der Einfluß der natürlichen Beleuchtung am stärksten ist, treten nicht nur die geringsten Störungen auf, vielmehr ist auffällig, daß sich die Beschwerden von Maschinenbenutzern nicht von denen abheben, die die Mitarbeiter mit konventioneller Büroarbeit angeben. Dieses Ergebnis widerspricht der allgemeinen Lehrmeinung, wonach die Mitar-

beiter am Bildschirmgerät vom Tageslicht gestört würden und deswegen möglichst im Rauminnern untergebracht werden sollten.

Die Wirkung der künstlichen Beleuchtung hängt von der Art der Beleuchtung des Arbeitsraumes ab. Die als Lichtquellenart zwar als angenehm, jedoch in der Raumwirkung negativ empfundene Tischbeleuchtung besitzt die negativste Wirkung. Nach geltenden Normen der Beleuchtungstechnik ist sie auch nicht zulässig.

Die Allgemeinbeleuchtung in Form einer Deckenbeleuchtung wirkt sich günstiger aus als die Tischbeleuchtung, jedoch signifikant ungünstiger als die 2K-Beleuchtung. Da die in dieser Studie als „2K-Beleuchtung“ interpretierte Beleuchtungsart aus einer Decken- und einer Tischbeleuchtung besteht, wird der positive Einfluß dahingehend vermutet, daß diese Beleuchtungsart den Benutzern mehr Möglichkeiten bietet, das Licht nach ihren Vorstellungen zu regeln.

Die künstliche Beleuchtung von Büroräumen erfüllt nach dem Ergebnis dieser Studie einige der wesentlichen Aufgaben, die in DIN 5035 angeführt werden, nicht. Zum einen schafft sie es nicht, wie angestrebt, gleiche visuelle Bedingungen an allen Stellen der Räume zu realisieren, zum anderen wirkt sie auch nicht der vorzeitigen Ermüdung entgegen, sondern fördert sie eher, jedenfalls nach dem Urteil der Betroffenen. Das Wohlbefinden wird durch sie nicht positiv beeinflusst, sondern je nach Ausführung mehr oder weniger negativ in mehrfacher Hinsicht, von Sehbeschwerden bis hin zu Reizbarkeit und Kopfschmerzen. Die künstliche Beleuchtung ist daher nicht geeignet, als Ersatz für Tageslicht zu dienen, sie ist lediglich eine Zweckeinrichtung mit der Aufgabe, den Mangel an zeitweilig nicht ausreichend verfügbarem Tageslicht zu mindern.

Daß gleiche visuelle Bedingungen an allen Stellen sehr selten realisiert sind, läßt sich meßtechnisch nachweisen. Im übrigen läßt sich bereits aus dem Text der Norm ableiten, daß gleiche Sehbedingungen überall im Raum i.d.R. nicht erreicht werden können. Ansonsten wäre es nicht erforderlich, die Arbeitsplätze „normgerecht“ aufstellen zu müssen.

Gemäß dem Belastungs-/Beanspruchungskonzept kann die künstliche Beleuchtung somit nicht nur als Belastung an sich, sondern als eine wesentliche Belastung angenommen werden, die sich bei zunehmender Einwirkung ebenfalls zunehmend negativ auf die Gesundheits- und Befindlichkeitsstörungen auswirkt. Die künstliche Beleuchtung stellt somit eine Gesundheitsgefahr im Sinne der Arbeitsschutzvorschriften dar (Arbeitsschutzgesetz).

## **8 Diskussion der Arbeitshypothesen auf der Basis der Ergebnisse des Teilprojekts 2**

### **8.1 Hypothese 1**

„Die Beleuchtung von Arbeitsräumen besitzt einen positiven Einfluß auf die Gesundheit und das Wohlbefinden der darin arbeitenden Menschen.“

Die Hypothese 1, die, entsprechend der Zielsetzung der Beleuchtungsnormen, gleich gute Sehbedingungen an allen Arbeitsplätzen zu schaffen und das Wohlbefinden zu fördern, in der oben angeführten Weise formuliert wurde, kann nach dem vorliegenden Ergebnis der Studie nur für die natürliche Beleuchtung in Fensternähe, jedoch nicht allgemein verifiziert werden.

Festzustellen ist vielmehr, daß mit zunehmendem Abstand vom Fenster der Mangel an Tageslicht belastend und beanspruchend erlebt wird und das verfügbare künstliche Licht nicht geeignet ist, diesem Mangel zu begegnen, selbst dann nicht, wenn es für ein ausreichendes Erkennen der Arbeitsobjekte ausreicht.

Über ein Zuviel an Tageslicht wird lediglich in vierseitig befensterten Räumen, und nur in diesen, geklagt. Dieses Ergebnis ist besonders bemerkenswert, da eine erhebliche Zahl von Arbeitsräumen keinen Schutz gegen zu starken Lichteinfall aufweist und die Mitarbeiter somit dem Sonnenlicht ungeschützt ausgesetzt sind. Es wären daher entsprechende Klagen zu erwarten gewesen.

Obwohl an dieser Stelle erwähnt werden muß, daß die Gestaltung deutscher Büros im allgemeinen keinen niedrigen Standard aufweist und bereits eine Reihe von Regelwerken zum Schutze des Menschen existieren, sollte dieses Ergebnis zum Anlaß genommen werden, die Beleuchtungsverhältnisse zu verbessern. Der durch die Arbeitsstättenverordnung gewährleistete Schutz, daß jeder Arbeitsplatz eine Sichtverbindung nach außen haben muß, reicht offenbar nicht aus.

Für die künstliche Beleuchtung kann die Hypothese somit nicht verifiziert werden. Sie wird subjektiv eher negativ beurteilt, als eine ständig beeinträchtigende Arbeitsbedingung erlebt und führt zu nachweisbaren Gesundheitsstörungen. Somit widerspricht sie den gültigen Arbeitsschutzvorschriften.

Dieses Ergebnis kann, angesichts der Tatsache, daß künstliche Beleuchtung für die organisierte Arbeit unverzichtbar ist, nicht hingenommen werden, ohne über Abhilfemaßnahmen nachzudenken.

An dieser Stelle wird darauf hingewiesen, daß bei dieser Schlußfolgerung die unter Mißachtung beleuchtungstechnischer Erkenntnisse ausschließlich mit Tischleuchten ausgestatteten Arbeitsplätze keine Rolle spielen.

## 8.2 Hypothese 2

„Die Beleuchtung von Arbeitsräumen übt einen mindernden Einfluß auf die Ermüdung des Menschen aus.“

Diese, ebenfalls entsprechend der Zielsetzung der Beleuchtungsnormen formulierte Hypothese, läßt sich auch nicht verifizieren.

Es steht zwar außer Zweifel, daß die festgestellten Effekte noch ungünstiger ausgefallen wären, hätte man sich nicht rechtzeitig Gedanken über eine gute Beleuchtungsgestaltung gemacht und diese in die Praxis umgesetzt. Nach den Ergebnissen dieser Studie reicht aber der derzeit an den Arbeitsplätzen vorhandene Stand der Technik offenbar nicht aus, einen negativen Einfluß der Beleuchtung auf die Ermüdung auszuschließen bzw. gar der Ermüdung entgegenzuwirken.

Der entscheidende Grund für diesen Zustand dürfte darin liegen, daß die Beleuchtungstechnik als eine Technik de facto eine ungerechtfertigte Dominanz gegenüber Wissenschaftszweigen besitzt, die sich mit der Belastung des Menschen am Arbeitsplatz und mit der künstlichen Arbeitsumwelt beschäftigen, z.B. der Arbeitspsychologie bzw. der Architekturpsychologie. Daraus läßt sich allerdings kein Vorwurf an die Beleuchtungstechnik ableiten, die etwa umsetzbare Konzepte aus diesen Bereichen abgelehnt hätte. Vielmehr kann festgestellt werden, daß solche Konzepte nicht vorliegen. Gleichwohl muß angeführt werden, daß sich auch die Beleuchtungstechnik nicht gerade durch fortschrittliche Konzepte hervorgetan hat, da sie immer noch den Ideen nachgeht, die kurz nach der Jahrhundertwende entwickelt worden waren. So lassen sich eine Reihe von "wissenschaftlichen Erkenntnissen", die absatzfördend zitiert werden, bis in die zwanziger Jahre zurückverfolgen.

## 8.3 Hypothese 3

„Der Einfluß der künstlichen Beleuchtung auf das Wohlbefinden und die Gesundheit wird durch die Art der künstlichen Beleuchtung von Arbeitsräumen bestimmt.“

Diese Hypothese konnte sehr eindrucksvoll verifiziert werden. Die unterschiedlichen Beleuchtungsarten, die in dieser Studie betrachtet wurden, besitzen unterschiedliche Auswirkungen auf das Wohlbefinden und die Gesundheit. Da die Beleuchtungstechnik sich in den letzten Jahren sich erheblich gewandelt hat und neue Konzepte bietet, ist davon auszugehen, daß wirksame Mittel entwickelt worden sind, künstliche Beleuchtung so zu gestalten, daß der negative Einfluß nicht mehr nachgewiesen kann. Solche Konzepte wurden im Teilprojekt 3 gezielt untersucht (s. Kap. 11). Das Ergebnis ist viel besser als erwartet ausgefallen.

An dieser Stelle sei daran erinnert, daß im Rahmen dieses Projektes der Einfluß der Lampen nicht untersucht wurde. Alle Untersuchungen, auch die im Teilprojekt 3, wurden mit Leuchtstofflampen durchgeführt. Der wesentliche Grund hierfür war der Mangel an Arbeitsplätzen, die mit anderen Lampenarten beleuchtet wurden. Man hätte zwar eine hinreichende Zahl von Arbeitsplätzen mit z.B. Glühlampenbe-

leuchtung finden können, wäre jedoch in Beweisnot geraten, daß die dort geleistete Arbeit der üblichen Büroarbeit entspräche. Zudem hätte ein begründeter Verdacht existieren müssen, warum andere Lampen hinsichtlich der gesundheitlichen Beeinträchtigungen günstiger sein sollten als die Leuchtstofflampe. Ein solcher Verdacht wurde zwar häufig ausgesprochen, jedoch ließen die Begründungen viel zu wünschen übrig.

Wie die Ergebnisse des Teilprojektes 3 zeigen, kann man auch mit Leuchtstofflampen sehr positiv bewertete Beleuchtungsanlagen realisieren. Hieraus läßt sich die Aussage ableiten, daß die negativen Wirkungen der Beleuchtung nicht der Leuchtstofflampe angelastet werden sollten, sondern ihrer Anwendung. Diese Meinung wird im übrigen seit mindestens drei Jahrzehnten in der Lichttechnik vertreten.

#### **8.4 Hypothese 4**

„Das Tageslicht besitzt einen günstigeren Einfluß auf das Wohlbefinden und die Gesundheit des Menschen als die künstliche Beleuchtung.“

Diese Hypothese konnte ebenfalls verifiziert werden. Der günstige Einfluß des Tageslichtes konnte nicht nur für übliche Büroarbeitsplätze nachgewiesen werden, sondern auch für Bildschirmarbeitsplätze, bei denen im allgemeinen eher ein negativer Einfluß vermutet wird.

In der Konsequenz bedeutet die Verifizierung dieser Hypothese, daß an allen Arbeitsplätzen, an denen aus bestimmten Gründen auf Tageslicht ganz oder teilweise verzichtet werden muß, der Gesundheit abträgliche Umweltbedingungen angenommen werden müssen. Diese Aussage gilt z.B. für viele Bildbearbeitungs- und CAD-Arbeitsplätze, bei denen ein beschwerdefreies Arbeiten unter Tageslichtbedingungen faktisch heute noch nicht möglich ist.

Eine weitere Konsequenz wäre das Überdenken von Büroraumkonzepten. Dieses Überdenken hat in der Architektur zwar schon vor etwa zwei Jahrzehnten angefangen (s. Sieverts, 1980), konnte sich jedoch offenbar (noch) nicht auswirken. Hinsichtlich der festgestellten negativen Wirkung der künstlichen Beleuchtung kann man mit einiger Sicherheit sagen, daß sie mindestens teilweise auf eine ungünstige Raumgestaltung mit wenig Tageslicht zurückzuführen ist.

#### **8.5 Hypothese 5**

„Bei der Arbeit mit Bildschirm ist der Einfluß des Tageslichtes in Fenster-  
nähe ungünstig.“

Diese Hypothese kann nach dem vorliegenden Ergebnis verworfen werden. Die Studie ergibt keine Hinweise dafür, daß Bildschirmarbeitsplätze grundsätzlich anders anzuordnen sind als sonstige Büroarbeitsplätze.

Um dann ggf. noch vorhandene Probleme mit Spiegelungen in Bildschirmen oder mit Kontrastverlust infolge zu hoher Beleuchtungsstärke zu beseitigen, stehen heute ausreichende technische Mittel (s. Bauer, 1988; Çakir, 1988) zur Verfügung.

Das Ergebnis der Studie zeigt, daß die Wirkung der positiven Faktoren, die mit dem Tageslicht verbunden sind, die der negativen übertrifft. An dieser Stelle sei erinnert, daß sich die positiven Faktoren wie Kommunikation mit der Außenwelt und positive Impulse auf die Tagesrhythmik und auf den Hormonhaushalt andere Körperfunktionen betreffen als die negativen (z.B. Spiegelungen), die das Sehen zeitweilig erschweren.

Dieses Ergebnis bedeutet nicht, man solle Bildschirme möglichst nahe am Fenster aufstellen. Es sollte vielmehr auf eine Arbeitsplatzgestaltung Wert gelegt werden, bei der die positiven Wirkungen der natürlichen Beleuchtung (Kommunikation mit der Außenwelt und positive Impulse auf die Tagesrhythmik) möglichst gut ausgenutzt und die negativen (Spiegelungen, Kontrastverlust u.ä.) möglichst gut vermieden werden.

## 8.6 Hypothese 6

„Benutzer und Benutzerinnen von Bildschirmgeräten werden durch künstliche Beleuchtung nicht mehr beeinträchtigt als die Personen, die am Schreibtisch arbeiten.“

Die Studie ergibt nur wenige Anhaltspunkte für die Verifizierung dieser Hypothese. Vielmehr ist festzustellen, daß nach nahezu **allen** untersuchten Merkmalen die Beanspruchung der am Bildschirm arbeitenden Personen höher ist als die der am Schreibtisch arbeitenden. Ob dies allein auf die Beleuchtung zurückzuführen ist, kann nach den bisher dargestellten Ergebnissen der Studie nicht beantwortet werden. Die im Kapitel 11 dargestellten Untersuchungen zeigen, daß man mit einer verbesserten Beleuchtung die Gesundheitsstörungen erheblich reduzieren kann, so daß die Unterschiede in der Beanspruchung zwischen Mitarbeitern, die am Bildschirm bzw. am konventionellen Schreibtisch tätig sind, geringer ausfallen als in der Teilstudie 2 festgestellt. Damit steht fest, daß die künstliche Beleuchtung einen erheblichen Beitrag zu der Beanspruchung am Bildschirm leistet, der aber durch die Wahl einer geeigneten Beleuchtungsart vermieden oder zumindest gemindert werden kann.

## 8.7 Zusammenfassung

Die Überprüfung der Arbeitshypothesen zeigt insgesamt, daß die grundsätzlichen Annahmen, die hinter der heute üblichen Beleuchtung von Arbeitsräumen stecken, nicht zutreffen. Vielmehr können folgende Aussagen getroffen werden:

- Das künstliche Licht bietet keinen vollwertigen Ersatz für das Tageslicht.
- Die künstliche Beleuchtung wirkt nicht etwa der Ermüdung entgegen, sie fördert sie eher.

- Das Tageslicht in Fensternähe stellt in Büroräumen keinen Umweltfaktor dar, gegen den man sich bestmöglichst schützen muß. Anstelle dessen genügen schlichte selbstbedienbare Lichtschutzmaßnahmen, um gute Akzeptanz und Beeinträchtigungsfreiheit zu erreichen. Architekten und Büroplaner sollten eher an eine Maximierung der Tageslichtnutzung denken als an deren Einschränkung, die manche Experten empfehlen, ohne sich hinterher das (Gesamt)Ergebnis ihres Rates anzusehen.
- In den fensternahen Raumzonen, in denen das Tageslicht dominiert, herrschen aus der Sicht der Mitarbeiter günstigere Umweltbedingungen als in den Raumzonen, in denen die künstliche Beleuchtung vorherrscht. Die Empfehlungen der Beleuchtungsnormen, basierend auf der Idee des bestmöglichen Schutzes gegen Reflexionen, haben sich als unbrauchbar erwiesen. Sie mögen zwar dazu führen, daß die Lichtquellen sich nicht mehr im Bildschirm spiegeln, akzeptable und beeinträchtigungsfreie Arbeitsumgebungen können sie aber nicht schaffen.

***Ann.:** Angesichts dieser Ergebnisse stellt sich die (Preis-)Frage, wie man denn festgestellt hat, daß fensterlose Arbeitsräume keinerlei negative Auswirkungen auf die Gesundheit des Menschen ausüben würden und daß künstliche Beleuchtung sogar bessere Bedingungen für den arbeitenden Menschen schaffe (vgl. Kap. 1).*

Die wichtigste Feststellung dieses Teilprojekts, das Tageslicht sei günstiger als die künstliche Beleuchtung, hilft allerdings nicht bei der Aufgabe, die bestmögliche Lösung für die künstliche Beleuchtung zu suchen. Diese Aufgabe und das Ergebnis der Suche nach ihrer Lösung werden in den Kapiteln 10 und 11 dargestellt.

Da es vermutlich keine Lösung gibt, die unter allen Umständen die beste wäre, wird in Kapitel 12 dargestellt, welche Anforderungen der Gesetzgeber bezüglich des Arbeitsschutzes stellt und wie ein Betrieb eine "gebrauchstaugliche" Lösung aussuchen kann.



## **9 Beschreibung der Entwicklung von Beleuchtungskonzepten**

### **9.1 Allgemeines**

In diesem Teil des Berichts werden die gängigen Beleuchtungskonzepte der letzten Jahrzehnte beschrieben, die heute in den Büros das allgemeine Bild prägen. Dieser Überblick, der in die Gründungszeit der Bundesrepublik Deutschland zurückreicht, umfaßt allerdings nicht die Gesamtheit heute existierender Beleuchtungsanlagen. Deren Vorgeschichte hat bereits in den dreißiger Jahren begonnen. Manche Beleuchtung in heutigen Büros ist so alt wie das Gebäude, in dem sie installiert ist, u.U. mehr als vier Jahrzehnte. Eine zwanzig Jahre alte Beleuchtungsanlage stellt keine ungewöhnliche Tatsache dar.

Die nachfolgende Beschreibung dient zum Verständnis der Entwicklung der Beleuchtungstechnik, die in den jeweils geltenden Normen sehr gut dokumentiert ist. Diese bieten auch einen guten Überblick über den jeweiligen *Stand der Wissenschaft*, weil in diesem Bereich Wissenschaft und Technik für lange Zeit so gut verzahnt gewesen sind wie kaum in einem anderen Bereich. Erst in den letzten zehn Jahren hat die Wissenschaft ihren Einfluß auf die Beleuchtungstechnik weitgehend verloren bzw. selbst aufgegeben, weil man glaubt, sie stelle kein geeignetes Objekt für Forschung dar.

Zum besseren Verständnis des Untersuchungsgegenstandes ist die Kenntnis einiger wichtiger Begriffe aus der Lichttechnik erforderlich. Im folgenden werden daher wichtige lichttechnische Grundgrößen und Gütemerkmale erläutert.

### **9.2 Lichttechnische Grundgrößen**

Die wichtigsten Grundgrößen der Lichttechnik sind

- Lichtstrom
- Lichtstärke
- Leuchtdichte
- Beleuchtungsstärke.

Im folgenden werden diese und einige wichtige Begriffe allgemein erläutert und zu den Aussagen der Beleuchtungsnormen in Bezug gesetzt. Die Definitionen dieser Größen, wie sie in der Norm zu finden sind, sind zuweilen wenig anschaulich, sie werden der Korrektheit halber im Anhang wiedergegeben.

#### **9.2.1 Lichtstrom**

Der Lichtstrom ist die Menge des Lichts pro Zeiteinheit. Dieser Begriff hat für den Praktiker i.a. keine unmittelbare Bedeutung, jedoch eine mittelbare: In der Beleuchtungstechnik ist es üblich, die sog. Wirtschaftlichkeit einer Lampe anzugeben bzw. zu berechnen, bei der der Nutzen aus Lichtstrom besteht, der Aufwand aus dem Preis der Lampe und dem Aufwand an Energie für deren Betrieb. Diese Betrachtung

tungsweise hat im Laufe der letzten Jahrzehnte u.a. dazu geführt, daß Lampen immer höhere *Leuchtdichten* aufweisen und daher als unerwünschter Nebeneffekt Blendungsprobleme aufwerfen, die durch entsprechende Gestaltungsmaßnahmen an den Leuchten berücksichtigt werden müssen. Eine besonders krasse Demonstration dieser Entwicklung kann man an den modernen Autoscheinwerfern mit Entladungslampen erleben, wenn man nachts unterwegs ist. Diese Scheinwerfer blenden bereits bei Tageslicht, bei Nachtsituationen kann man sich nur helfen, indem man wegsieht bzw. ein Auto mit diesen Scheinwerfern überholen läßt. Dagegen nimmt sich die Blendung durch übliche Scheinwerfer mit Halogenleuchtstofflampen recht human aus.

### 9.2.2 Lichtstärke

Die Lichtstärke ist ein Maß zur Charakterisierung einer Leuchte, sie ist der Lichtstrom, der in eine Raumeinheit (= Raumwinkel) ausgesendet wird.

Aus der räumlichen Verteilung der Lichtstärke einer Leuchte kann man ihre Eignung für eine bestimmte Beleuchtungsanordnung ableiten (Bild 9.1). Die Lichtstärkeverteilung von Leuchten hat daher eine unmittelbare Bedeutung für die Praxis.

Tiefstrahlende Leuchten (Bild 9.1 oben links) richten das Licht in starkem Maße auf einen eng begrenzten Raum unter der Leuchte, während breitstrahlende (oben rechts) eine große Fläche beleuchten. Asymmetrische (schrägstrahlende) Leuchten werden eingesetzt, wenn die zu beleuchtende Fläche sich nicht direkt unter der Leuchte befindet, z.B. werden sie in Arbeitsräumen fensterseitig angebracht, um Arbeitsflächen im Rauminneren zu beleuchten.

Freistrahrende Leuchten senden das Licht so aus, wie die Lampe sie erzeugt. (Beispiel: Das Bild in der Mitte rechts gibt die Verteilung einer Glühlampe wieder.) Freistrahrende Leuchten sollen in Arbeitsstätten nicht eingesetzt werden, weil sie im allgemeinen stark blenden.

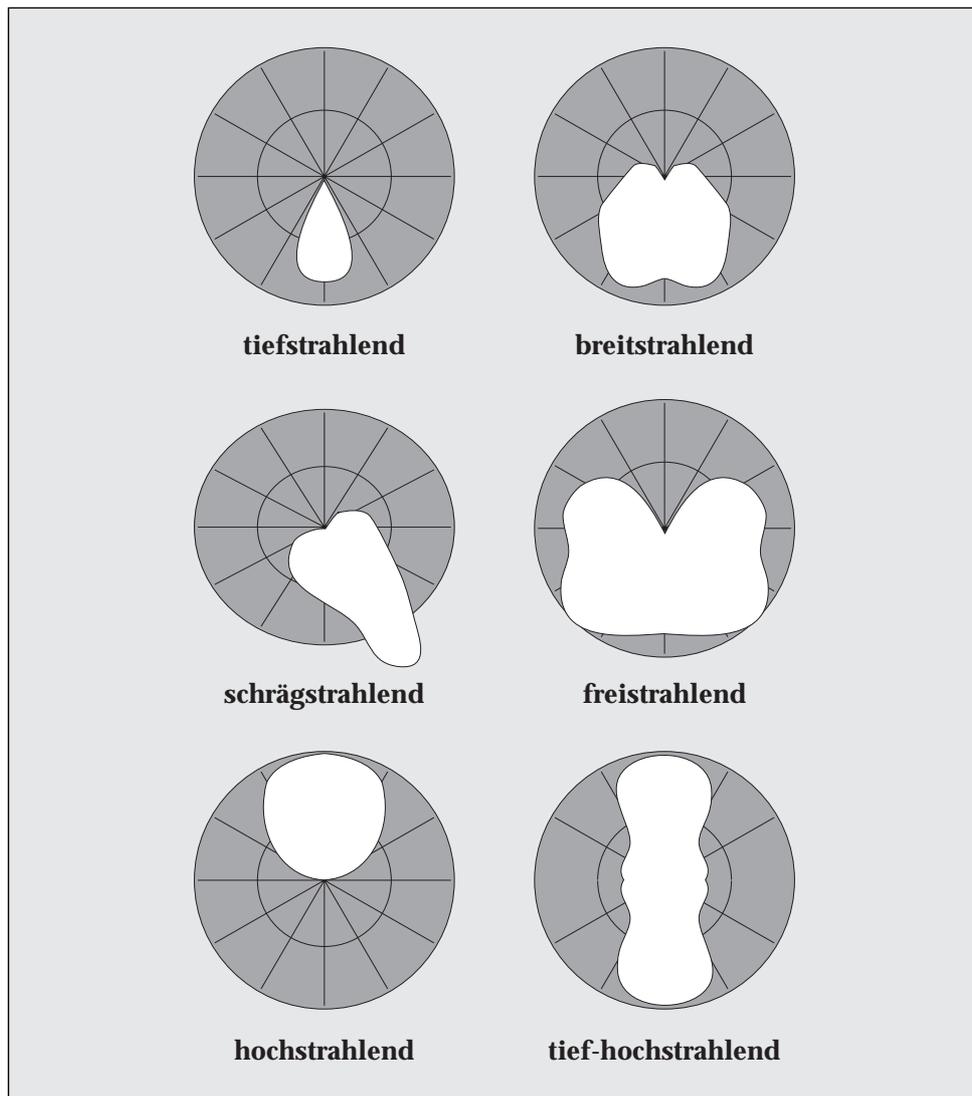
Bild 9.1 unten links zeigt eine indirekt (hoch-)strahlende Leuchte. Ihr Licht ist gegen die Decke gerichtet. Die Verteilung kann spitz oder breit sein, wodurch sie die maximale Leuchtdichte an der Decke bestimmt.

Man kann bei heute verfügbaren Techniken für Leuchten mit Leuchtstofflampen eine große Variation an Lichtstärkeverteilungen erzielen, von tiefstrahlend bis hochstrahlend (indirekt). Die jeweilige Eigenschaft, die man der Leuchte gibt, bestimmt nicht nur lichttechnisch wichtige Eigenschaften der Beleuchtungsanlage und den Sehkomfort, sondern im allgemeinen den gesamten Raumeindruck.

### 9.2.3 Leuchtdichte

Die Leuchtdichte ist diejenige lichttechnische Größe, die den Helligkeitseindruck eines Objekts bestimmt. Sie wird in  $\text{cd}/\text{m}^2$  gemessen. Alle physiologisch bedeutsamen Größen wie Blendung, Kontrast, Kontrastempfindlichkeit u.ä. sind Funktionen der Leuchtdichte. Die in der Natur vorkommenden Leuchtdichten, an die sich das menschliche Auge anpassen kann, umfassen einen Bereich von etwa 11 Zehnerpo-

Bild 9.1 Lichtstärkekurven mit zugehöriger Benennung (nach Spieser u.a., Handbuch der Beleuchtung, 1975)



tenzen. Solche Größenordnungen kommen in Büroräumen naturgemäß nicht vor. Dort weist ein schwarzer Bildschirm mit ca.  $1 - 5 \text{ cd/m}^2$  die niedrigste und eine moderne Kompakt-Leuchtstofflampe mit ca.  $40.000 \text{ cd/m}^2$  die höchste Leuchtdichte auf, ein Blatt weißes Papier vergleichsweise eine Leuchtdichte von ca.  $100 \text{ cd/m}^2$ . (Anm.: Die Helligkeit selbst ist keine meßbare Größe.)

Die Leuchtdichte ist eine Objekteigenschaft, die bei ein und demselben Objekt je nach Beobachterstandpunkt sehr unterschiedlich sein kann. Dieser Effekt ist bei glänzenden Objekten am auffälligsten ausgeprägt und wird in dem Maße geringer, wie das Objekt matter wird. Will man eine in allen Beobachtungsfällen gleiche Leuchtdichte erreichen, kann man dies auf zweierlei Art und Weise erreichen: Man sorgt entweder dafür, daß das Objekt das einfallende Licht ungerichtet reflektiert

oder daß der Lichteinfall aus allen Raumteilen gleichmäßig ist. Die erste Maßnahme hat man z.B. beim Schreibpapier und bei der Druckerfarbe von Büromaschinen weitgehend realisiert. Leider lassen sich nicht alle Sehobjekte auf diese Art verändern, so daß man auch beleuchtungstechnische Maßnahmen ergreifen muß, um den Glanz auf Sehobjekten - sofern erwünscht - zu vermeiden (s. hierzu *Reflexblendung* und *Kontrastwiedergabe*). So lassen sich z.B. Papieroberflächen für hochwertigen Farbdruck nicht matt gestalten. Der Grund hierfür läßt sich leicht am Beispiel des Tintenstrahldruckers verständlich machen: Ein und dasselbe farbige Objekt auf mattes Büropapier, halbmattes Tintendruckpapier und Hochglanzpapier gedruckt, weist drei vollkommen unterschiedliche Erscheinungsbilder auf.

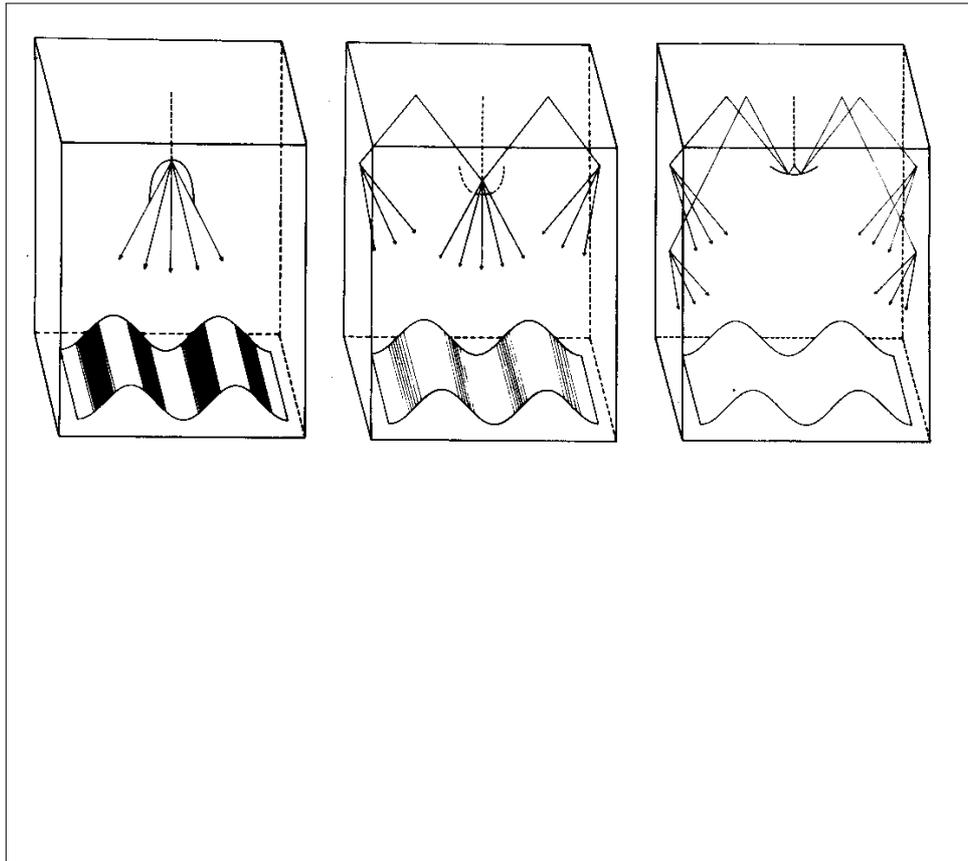
Ein gleichmäßiger Lichteinfall ließe sich in der Praxis mit einer ausschließlichen Indirekt-Beleuchtung aus allen Richtungen erzielen. Sie ist jedoch nicht erwünscht, weil man befürchtet, daß dann die räumliche Erscheinung von Sehobjekten beeinträchtigt wird. Aus diesem Grunde wird i.d.R. versucht, eine Mischung von diffus und gerichtet einfallendem Licht zu erzeugen. In einem Büroraum bestimmen die Lichtstärkeverteilung der Leuchten und die Reflexionseigenschaften der Raumbegrenzungen und Möblierung im wesentlichen diese Anteile. Wie sich die Lichtstärkeverteilung auf das Aussehen von Objekten auswirkt, verdeutlicht Bild 9.2. In diesem Bild sind oben drei Verteilungen und ihr Einfluß auf ein fiktives Objekt dargestellt, unten werden zwei Erscheinungsbilder einer Person bei stark diffuser und stark gerichteter Beleuchtung wiedergegeben.

Das Erscheinungsbild von Objekten wird durch ihre *Leuchtdichteverteilung* bestimmt, diese wiederum durch die räumliche Lichtverteilung. Vollkommen diffuse Beleuchtung (oben rechts) ergibt bei räumlichen Objekten eine aus allen Blickrichtungen gleiche Leuchtdichte, gerichtete Beleuchtung eine stark von der Blickrichtung abhängige. Die vollkommen diffuse Beleuchtung wird in der Praxis nicht erreicht, auch nicht beim Einsatz von indirekt strahlenden Leuchten, weil die Raumbegrenzungen nicht vollkommen weiß sind. Auch die vollständig direkte Beleuchtung bildet in Innenräumen eher eine Ausnahme, die z.B. in Foyers mit Spotbeleuchtung und dunklen Raumbegrenzungsflächen aus Effektgründen bewußt angewendet wird. Die am stärksten gerichtete Lichtstärkeverteilung (BAP-Leuchten) für übliche Arbeitsräume ergibt aufgrund von Reflexionen an Möbeln, Decken und Wänden einen diffusen Anteil von ca. 10% der Beleuchtungsstärke. Dieser Anteil fällt bei Downlights mit Energiesparlampen noch geringer aus. Daher eignen sie sich als Arbeitsstättenbeleuchtung nur im Ausnahmefall, auch wenn häufig das Gegenteil behauptet wird.

#### 9.2.4 Beleuchtungsstärke

Die Beleuchtungsstärke ist der einfallende Lichtstrom je Flächeneinheit und wird in Lux (lx) gemessen. Da Licht sich geradlinig ausbreitet, muß zu dem Wert der Beleuchtungsstärke immer die Meßebeine (Bild 9.3) angegeben werden. Diese ist in der Arbeitsstättenbeleuchtung mit einigen Ausnahmen die horizontale Ebene in der Höhe eines fiktiven Arbeitsplatzes (0,85 m). Die in der horizontalen Ebene gemessene Beleuchtungsstärke wird "Horizontalbeleuchtungsstärke" genannt.

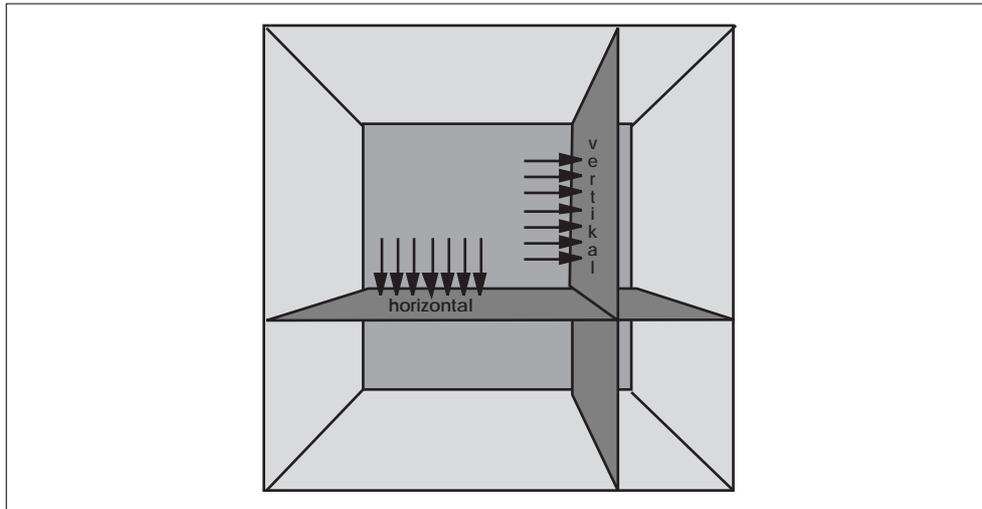
Bild 9.2 Das Erscheinungsbild eines räumlichen Objekts in Abhängigkeit von der Lichtstärkeverteilung (oben) und die Modellierung eines Gesichts (unten) bei unterschiedlicher Beleuchtung.  
(Bild oben: aus Hartmann, 1982; Bild unten: aus Sieverts, 1988)



Um die Ausleuchtung von senkrecht ausgerichteten Objekten, z.B. von Wänden oder Aktenregalen, anzugeben, wird die Beleuchtungsstärke in einer vertikalen Ebene gemessen (*Vertikalbeleuchtungsstärke*). Die horizontale Ebene bildet die Regel für alle Beleuchtungsnormen, weil die übliche Arbeitsebene für viele Tätigkeiten die Tischfläche ist, während die vertikale für bestimmte Anwendungen (technisches Zeichnen, Bibliotheken, Regale u.ä.) wichtig ist.

In der lichttechnischen Literatur und in der Sekundärliteratur werden diese beiden Größen sehr häufig durcheinander gebracht, wodurch scheinbar neue Erkenntnisse zustande kommen, die für den Praktiker ein hohes Maß an Unsicherheit mit sich bringen. Als Beispiel für eine solche Verwirrung sei die "*Entwicklung*" der Anforderungen an die "*Beleuchtungsstärke*" angeführt: Bis in die 80er Jahre hinein wurde, insbesondere in der Sekundärliteratur angeführt, daß die "*Anforderungen*" an die Beleuchtungsstärke stark gestiegen seien; der Bedarf würde sich pro Dekade jeweils verdoppeln. Bei genauerer Prüfung der Literaturstellen, mit denen diese Ansicht

Bild 9.3 Übliche Meßebenen für die Beleuchtungsstärke

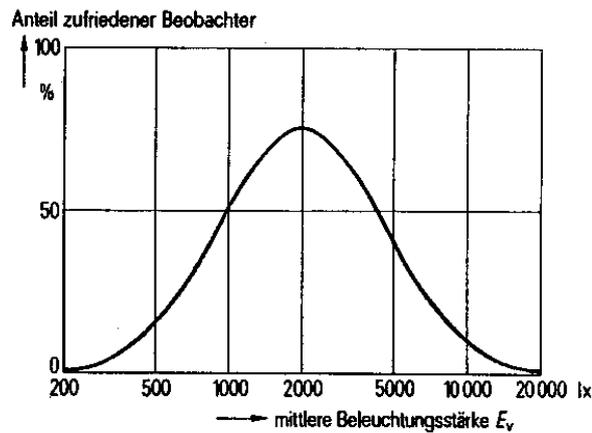
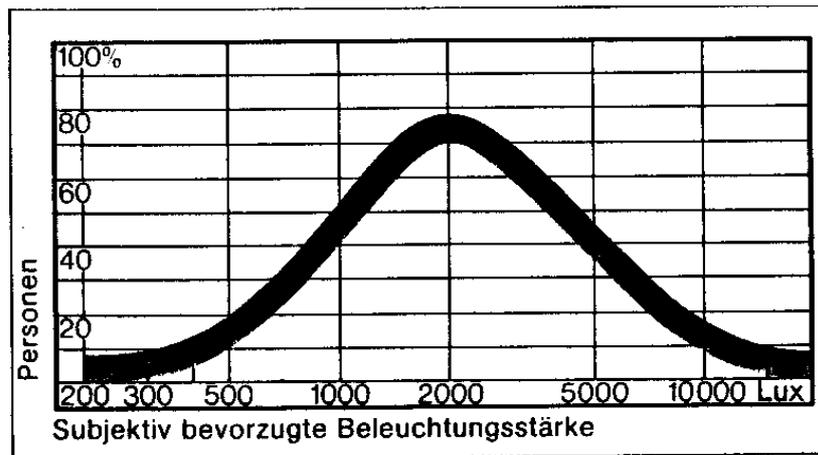
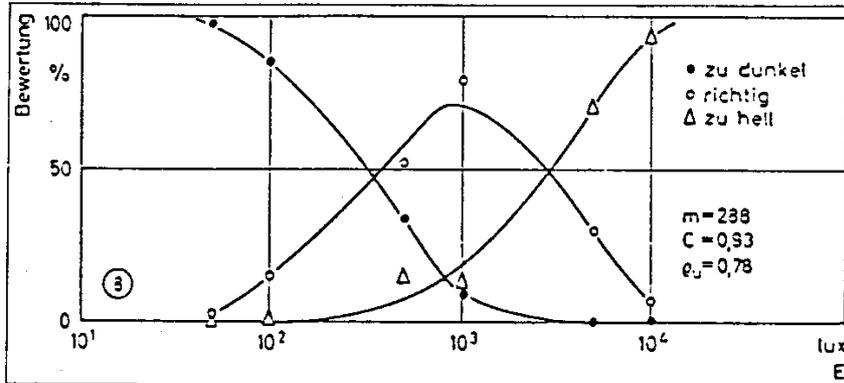


begründet wurde, kann man jedoch feststellen, daß sie zumindest teilweise auf fahrlässige Fehlinterpretationen zurückzuführen ist, wie im folgenden dargestellt. Es wäre überlegenswert, ob dies wirklich fahrlässig geschieht.

Die erste Untersuchung, auf die eine Anforderung "1000 lx" zurückgeht, stammt von Bodmann (Bild 9.4 oben, Bodmann, 1961). Nach dieser Untersuchung stellt eine Beleuchtungsstärke von 1.000 lx ein subjektives Optimum dar. Was jedoch in der Literatur nicht angeführt wird, sind die Umstände, unter denen dieser Wert entstanden ist: Gemeint war die Beleuchtungsstärke auf einem bestimmten Sehobjekt und nicht die Beleuchtungsstärke in einem Raum, in dem die Versuchspersonen längere Zeit gearbeitet haben. Spätere Untersuchungen von Fischer (Fischer, 1970) werden herangezogen, um zu begründen, daß eine noch höhere bevorzugte Beleuchtungsstärke realisiert werden sollte, nämlich 2.000 lx. Diese Untersuchung wird z.B. zitiert in "Lichtanwendung" und in dem vom Deutschen Gewerkschaftsbund herausgegebenen Buch "Menschengerechte Arbeitsgestaltung" (Bild 9.4 Mitte, DGB, 1978), in beiden Fällen mit der Bemerkung, daß das bevorzugte Beleuchtungsniveau höher liegen kann als die nach DIN 5035 für bestimmte Tätigkeiten empfohlenen Nennbeleuchtungsstärken.

Die Nennbeleuchtungsstärke ist aber gemäß der genannten Norm auf die **gesamte horizontale Ebene** des Arbeitsraumes zu beziehen und nicht auf das einzelne Sehobjekt. In Wirklichkeit hat Fischer auch etwas ganz anderes untersucht, nämlich die Vermeidung von Silhouettensehen in Großraumbüros in einer Situation, in der die Versuchsteilnehmer das Gesicht von einer vor dem Fenster stehenden Person beurteilt haben. Der Untersuchungsgegenstand war die **Vertikal** beleuchtungsstärke  $E_v$  aus dem Rauminneren in Fensterrichtung, wie das Bild 9.4 unten (Hentschel, 1972) zeigt, und diese hat nichts mit einer Nennbeleuchtungsstärke zu tun. Die Kurven sind identisch, ihre Aussage jedoch völlig unterschiedlich. (Anm.: *Wie man 2.000 lx Vertikalbeleuchtungsstärke in Fensterrichtung erzeugen soll, ohne die Umgebung zu stören, hat der Autor übrigens nicht verraten.*)

Bild 9.4 Angaben zur subjektiv bevorzugten Beleuchtungsstärke. Das mittlere Bild zeigt eine Verdoppelung der Beleuchtungsstärke gegenüber dem oberen Bild, was jedoch auf eine mißbräuchliche Wiedergabe der Literatur zurückgeht, wie das untere, korrekte Bild beweist.



Wenn die Anforderungen an Beleuchtungsstärken, d.h. an die Quantität des Lichts, im Büro sich zwischen den Jahren 1960 und heute geändert haben sollten, dann müßte der Bedarf nur geringer geworden sein, denn die damals üblichen schlecht lesbaren Formulare und Belege, z.B. Durchschläge, erstellt mit verbrauchtem Kohlepapier, oder Manuskripte mit Bleistift beschriftet, sind weitgehend aus den Büros verschwunden. Die Qualität des Leseguts hat allgemein erheblich zugenommen, wie die Bedeutung der papiergebundenen Information allgemein abgenommen hat.

Diese Feststellung legt nahe, zu prüfen, auf welcher wissenschaftlichen Basis die heute gängige Meinung über die richtige Beleuchtung, insbesondere über die immer noch als Hauptmerkmal herangezogene Beleuchtungsstärke in der Arbeitsebene, steht. In der Regel wird geglaubt, die Begründung beruhe auf der Sehleistung, da die Beleuchtung von Arbeitsräumen nach DIN 5035 Teil 1 die vornehmliche Aufgabe hat, ein müheloses Erkennen der Sehobjekte zu ermöglichen. Die Untersuchungen von Bodmann sprechen aber gegen diese Vermutung. So hat Bodmann (s. Bodmann, 1962) in Laborexperimenten zu "Beleuchtungsniveaus und Sehtätigkeit" gezeigt, daß die Sehleistung bei Büroarbeiten bei Beleuchtungsstärken über 100 lx kaum noch zunimmt. Übliche Büroaufgaben ließen sich nach den damaligen Erkenntnissen sogar bei einem Zehntel der heute geforderten Beleuchtungsstärken, d.h. bei etwa 50 lx, bewältigen. Eine höhere Beleuchtungsstärke auf dem Sehobjekt ließe sich allenfalls mit der Sehleistung begründen, wenn das Sehgut sehr dunkel ist und kaum noch Kontrast aufweist.

Bei der zitierten Untersuchung wurde ein Niveau von ca. 400 lx für Lesen von 1,9 mm hohen Zeichen auf einem Hintergrund mit einem Reflexionsgrad von 0,11(!) ermittelt. Das entspricht z.B. den Gegebenheiten bei einer Zeitung, die auf praktisch schwarz-grauem Papier gedruckt wäre. Daß Bodmann dennoch allgemein höhere Beleuchtungsstärken gefordert hat, hat nichts mit der Sehleistung zu tun, die vorgeblich zu den Empfehlungen in DIN 5035 Teil 2 geführt haben sollen. Bodmann führt aus: "... Damit soll gezeigt werden, daß Empfehlungen über Beleuchtungsstärken, die aufgrund der Sehleistung getroffen werden, nach unten und oben begrenzt sind durch Faktoren, die für das Arbeitsklima des tätigen Menschen ebenso wichtig sind wie die Sehleistung ..." Das wünschenswerte "Arbeitsklima des tätigen Menschen" läßt sich aber heute viel besser und wirtschaftlicher mit Indirektbeleuchtung realisieren als mit einer hohen Beleuchtungsstärke in der Arbeitsebene, auf die sich die Normen ausschließlich beziehen.

Obwohl häufig behauptet wird, die Festlegungen zur Beleuchtungsstärke, die man nicht nur in den Normen findet, sondern auch in Gesetzeswerken (z.B. in der Arbeitsstättenverordnung der Bundesrepublik Deutschland), beruhen auf objektiven Fakten, gehen sie fast ausschließlich auf subjektive Beurteilungen zurück. Die Untersuchungen, die sie untermauern sollten, waren methodisch derart dürftig, daß sie als Semesterarbeit eines Studenten kaum Aussicht auf Erfolg hätten.

Die Beleuchtungsstärke stellt zwar im Prinzip eine wichtige Größe dar, jedoch ist ihre Bedeutung für die Beleuchtung von Büros, bei denen aus anderen Gründen eine Beleuchtungsstärke von 200 lx herrschen sollte, von nebensächlicher Art. Insbeson-

dere für Bildschirmarbeitsplätze ohne Papierbelege ist eine hohe Beleuchtungsstärke von fragwürdigem Wert.

### 9.2.5 Schattigkeit

Die Schattigkeit ist ein Maß dafür, wie räumliche Objekte, z.B. Gesichter, ausgeleuchtet werden. Zu diesem Zweck wird das Verhältnis des horizontal und vertikal einfallenden Lichts in einem Raumpunkt gebildet. Unter künstlicher Beleuchtung ergibt sich ein Wert von ca. 0,5 bei reiner Indirektbeleuchtung und 0,2 bis 0,3 bei tiefstrahlender Beleuchtung. Bei dem größten Wert sehen die Gesichter relativ "flach" aus, bei dem kleinsten hingegen sieht man z.B. deutliche Schatten in den Augenhöhlen (s. Bild 9.2 unten).

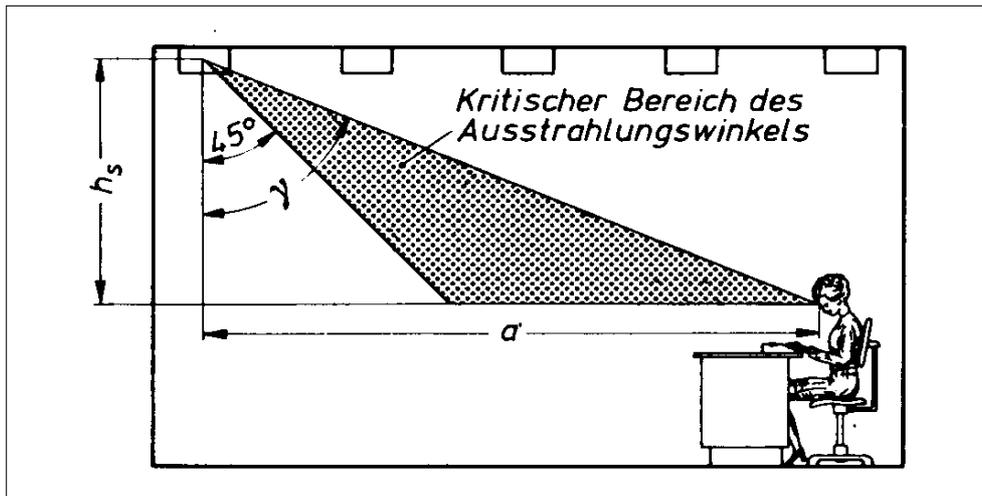
### 9.2.6 Direktblendung

Unter *Blendung* werden Störungen durch zu hohe Leuchtdichten und/oder zu große Leuchtdichteunterschiede im Gesichtsfeld verstanden (DIN 5035 Teil 1).

*Direktblendung* ist Blendung durch Objekte hoher Leuchtdichte, z.B. durch Leuchten oder sichtbare Himmelsausschnitte. Sie kann die Sehleistung herabsetzen (*physiologische Blendung*) oder eine unangenehme Empfindung erzeugen (*psychologische Blendung*). Leuchten für Innenräume und die mit ihrer Hilfe realisierte Beleuchtung sind i.d.R. so beschaffen, daß die physiologische Blendung keine Rolle spielt. Die psychologische Blendung ist Blendung, die allein unter dem Gesichtspunkt der Störepfindung bewertet wird. Sie führt bei längerem Aufenthalt im Raum zu vorzeitiger Ermüdung und zur Herabsetzung von Leistung, Aktivierung und Wohlbefinden (DIN 5035 Teil 1). Nach Çakir (Çakir, 1975 a) reicht diese Größe zur subjektiven Beurteilung einer Beleuchtung nicht aus, weil sie die positiven Einflüsse des Lichts nicht berücksichtigt. Die positiven Auswirkungen werden durch die *Annehmlichkeit* beschrieben. Diese Größe ist bei Abwesenheit starker Störungen, die sehr unangenehm sind, eine von der Störepfindung weitgehend unabhängige Größe, d.h., die Störwirkung wird nahezu unabhängig von der Annehmlichkeit beurteilt.

Die Direktblendung in Innenräumen wurde bislang durch die Berücksichtigung der sog. *Blendungsbegrenzungskurven* eingeschränkt bzw. vermieden. Die hierzu dienenden Maßnahmen gelten primär der psychologischen Blendung, mindern jedoch auch eine mögliche physiologische Blendung. Die psychologische Blendung gilt als ausreichend begrenzt, wenn die Leuchtdichten der Leuchten unter Ausstrahlungswinkeln von 45° bis 85° entsprechend den *Söllner-Kurven* gemindert werden (Bild 9.5). Diese Kurven gelten für eine leicht nach unten geneigte Blickrichtung, sie erfassen jedoch nicht den Bereich von 0° bis 45° sowie horizontal und nach oben gerichtete Blickrichtungen. Künftig werden die Blendungskurven nach Söllner nicht mehr angewendet werden. An deren Stelle tritt ein neues Verfahren (UGR= **u**nified **g**lare **r**ating). Wann das neue Verfahren Eingang in die Normung findet, steht derzeit nicht fest, da dies im Rahmen der Europäischen Normungsarbeit stattfinden soll. Diese nimmt zuweilen mehr als ein Jahrzehnt in Anspruch.

Bild 9.5 Ausstrahlungsbereich einer Leuchte, in dem die Leuchtdichtebegrenzung nach Söllner eingehalten werden muß (DIN 5035, Teil 1).



### 9.2.7 Reflexblendung

Die Reflexblendung entsteht durch Spiegelung von hellen Objekten auf gerichtet bzw. teilweise gerichtet reflektierenden Oberflächen (s. Bild 9.6, FGL 1976; DGB, 1978). Sie ließe sich durch vollkommen matte Sehobjekte vermeiden. Das ist im allgemeinen nicht möglich, wodurch beleuchtungstechnische Maßnahmen notwendig werden, wie sie in Bild 9.7 abgebildet sind. (Anm.: Bild 9.6, rechte Seite ist vermutlich unter diffuser Beleuchtung aufgenommen worden, da bei gerichteter Beleuchtung eine gekrümmte Fläche immer Reflexblendung aufweist.)

Wie man diesem Bild entnehmen kann, setzen diese Maßnahmen eine bestimmte Anordnung des Arbeitsplatzes zu den Leuchten voraus, die in der Praxis häufig nicht realisierbar ist. Weiterhin wird, wie im rechten Teil von Bild 9.7. erkennbar, die Vermeidung der Reflexblendung nur auf einem kleinen Teil der Arbeitsebene erreicht. Dies hat im Büro früher ausgereicht, weil das vornehmliche Sehobjekt, das Papier, sich während der Bearbeitung dort befand. Heute befindet sich dort vorwiegend eine Tastatur, die häufig weder matt ist noch eben wie Papier und aus diesem Grunde trotzdem Blendung verursachen kann.

Um die beschriebene Art der Vermeidung von Reflexblendung mit technischen Mitteln zu erreichen, wurde beispielsweise eine geeignete Lichtstärkeverteilung der Leuchten realisiert, bei der das Licht stärker seitlich abgestrahlt wird (s. Bild 9.8). Bei diesen Leuchten herrscht die höchste Beleuchtungsstärke nicht unter den Leuchten - dort befindet sich theoretisch kein Arbeitsplatz - sondern in den Zonen, in denen die Arbeitsplätze stehen sollen. Freilich funktioniert dieser Schutz nur bei flachen Objekten, während die gekrümmten wie z. B. Tasten oder das Buch nach Bild 9.6 immer noch glänzen. Den in diesem Bild dargestellten Effekt kennt praktisch jede, der versucht hat, eine Folie oder ein Foto unter der üblichen Bürobeleuchtung zu betrachten oder eine Illustrierte zu lesen.

Bild 9.6 Erscheinungsbild einer Buchseite bei ungünstiger und günstiger Beleuchtung (aus: FGL, Lichtenwendung, 1976)

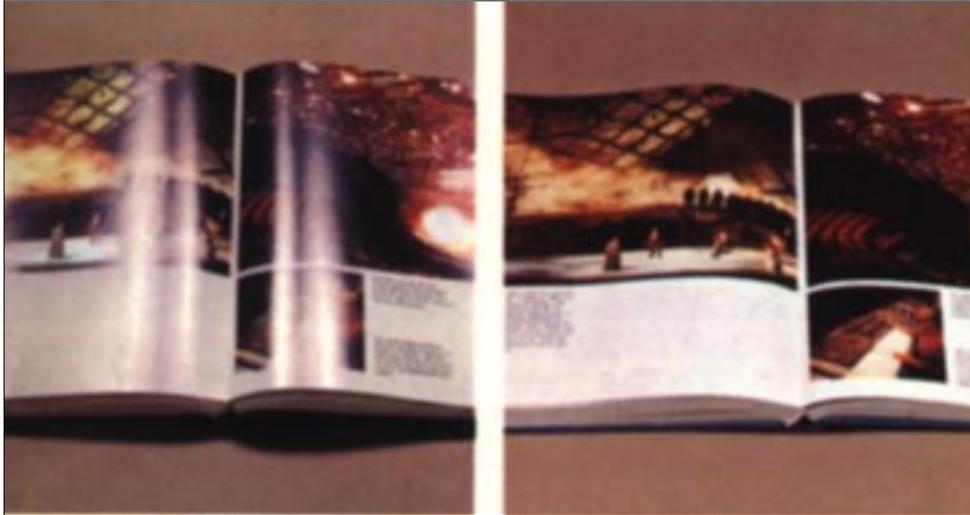
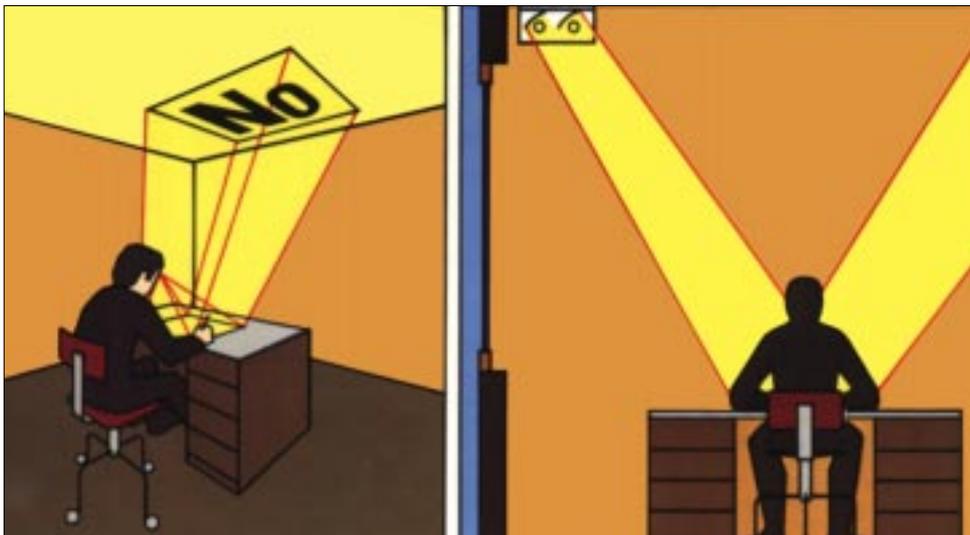
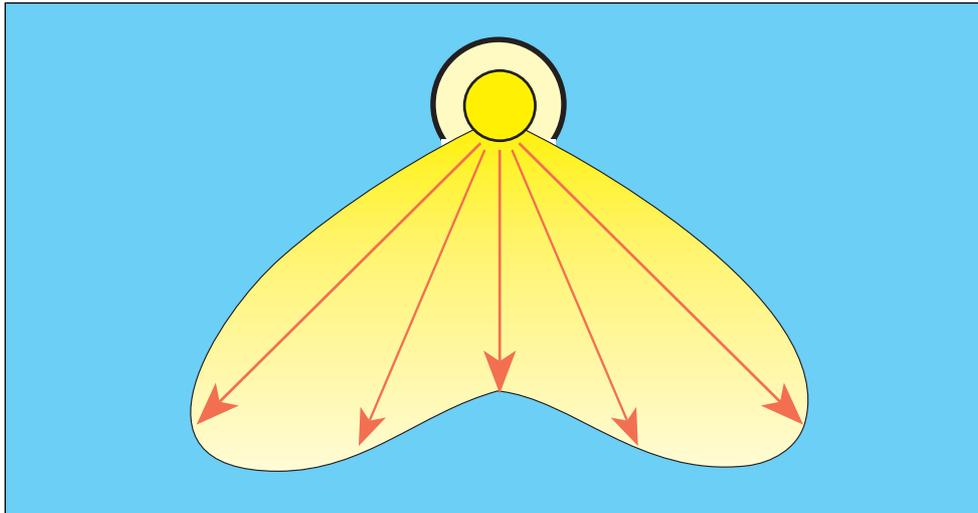


Bild 9.7 Zuordnung des Arbeitsplatzes zur Beleuchtung, um Reflexblendung zu vermeiden (aus: FGL, Lichtenwendung, 1976)



Man kann die Reflexblendung jedoch auch auf andere Art vermeiden. Eine mögliche Maßnahme besteht in der Reduzierung der Leuchtdichte des Objekts, in diesem Falle der Lichtquelle. Eine solche Maßnahme war früher nicht nötig gewesen, da die Lichtquellen damals nur eine geringe Leuchtdichte und dazu eine große ausgedehnte Fläche aufwiesen. So konnte man im Büro vor dreißig Jahren nicht "in die Röhre schauen", weil sich eine Trübglasswanne davor befand. Diese wies dann eine Leuchtdichte von ca.  $2.000 \text{ cd/m}^2$  auf. Moderne Lichtquellen hingegen (so z.B. die vorerst letzte Entwicklung der Leuchtstofflampe) "glänzen" nicht nur durch eine höhere Lichtausbeute, sondern auch durch kompakte Abmessungen derart, daß sich ihre Leuchtdichte gegenüber alten Lampen bei gleicher Leistung etwa verfünffacht hat.

**Bild 9.8** Lichtstärkeverteilung einer Leuchte, die die Reflexblendung minimieren soll



Da man seit langem zum Maximieren der Beleuchtungsstärke in der Arbeitsebene die nach unten offenen Spiegelraster einsetzt, blickt ein Mitarbeiter in die zwanzigfache Leuchtdichte hinein, wenn er seine Augen von der Horizontalen nach oben richtet. Diese Konstellation, höhere Leuchtdichten bei kleineren leuchtenden Flächen, hat die Reflexblendung gefördert bzw. gar erst bedeutsam gemacht.

Eine zweite Möglichkeit besteht in der Erhöhung des gestreuten Lichtanteils des auftreffenden Lichts mit den oben angeführten Maßnahmen, z.B. durch geeignete Wahl der Lichtstärkeverteilung der Leuchten. Diese Maßnahmen reduzieren die Gefahr der Reflexblendung und verbessern die Wiedergabe von Objekten.

### 9.2.8 Kontrast und Kontrastwiedergabe

Sehobjekte werden vom Auge nur dann wahrgenommen, wenn sie sich durch zumindest eine optische Eigenschaft von ihrer Umgebung unterscheiden, z.B. durch ihre Farbe. Das wichtigste Unterscheidungsmerkmal für Schrift bildet allerdings nicht die Farbe, sondern das Verhältnis der Leuchtdichte des Objekts (Buchstabe) zu seiner Umgebung, der *Kontrast* (s. Bild 9.9).

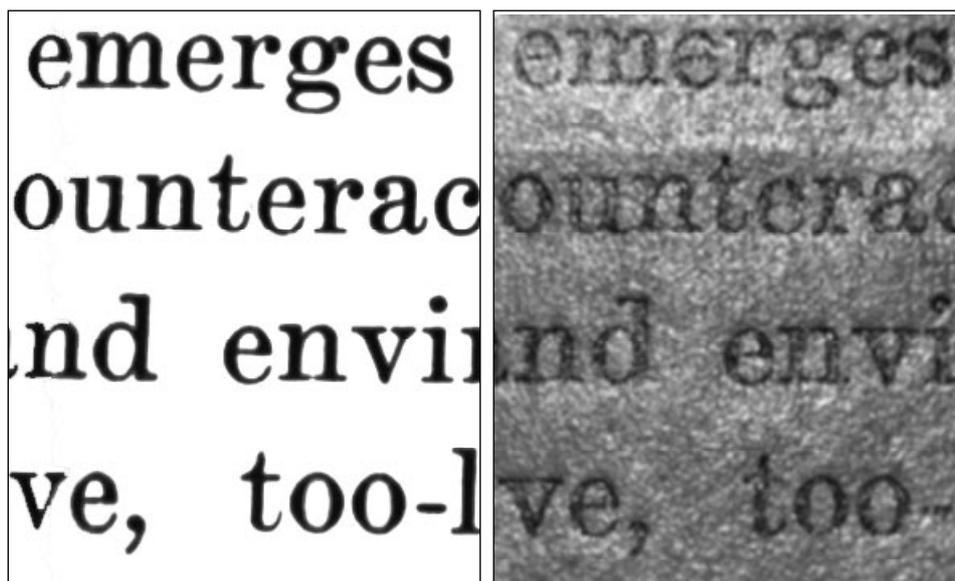
Der Kontrast ist nur bei matten Objekten und mattem Hintergrund eine fest berechenbare Größe. Wenn Schrift und/oder Hintergrund glänzen, ändert er sich in unerwünschter Weise (s. Bild 9.10). Der Kontrast kann bei ungünstigen Sehbedingungen sogar Null werden, das Objekt unterscheidet sich nicht mehr von dem Untergrund. Im schlimmsten Fall kehrt er sich um, d.h., weißes Papier erscheint schwarz, während die schwarz bedruckte Schrift heller aussieht.

Der *Kontrastwiedergabefaktor* ist ein Maß für eine Beleuchtungsanordnung bezüglich der Wiedergabe von Kontrasten. Er beschreibt das Verhältnis des Kontrasts unter den gegebenen Bedingungen zu dem unter Referenzbedingungen. Wenn man im Büro an allen Stellen gleiche, d.h. gleich gute Sehbedingungen schaffen will, muß der Kon-

Bild 9.9 Kontrast und Lesbarkeit



Bild 9.10 Änderung der Lesbarkeit eines Textes bei unterschiedlichem Kontrastwiedergabefaktor (Anm.: Der gezeigte Effekt läßt sich mit Hilfe einer Illustrierten einfach demonstrieren. Bei ungünstigem Lichteinfall sieht sogar das Papier schwarz und die Schrift grau aus.)



trastwiedergabefaktor überall auch den gleichen Wert besitzen und vor allem von den Beobachtungsbedingungen unabhängig sein. Diese unbestrittene Forderung hat jedoch bislang keinen Eingang in Beleuchtungsnormen gefunden. Da keine neuen deutschen Beleuchtungsnormen mehr ausgearbeitet werden sollen, ist es fraglich, ob dies überhaupt noch geschieht.

Das bisherige Ignorieren des Kontrastwiedergabefaktors liegt nicht an fehlendem Wissen sondern eher an der Praktikabilität. Die Berechnung für größere Raumzonen ist immer noch aufwendig, noch schwieriger ist die Messung, zumal der einzige Lieferant der Meßeinrichtung die Produktion eingestellt hat. Zudem fehlt es den Praktikern an jeglichem Verständnis über die Bedeutung dieses Faktors.

### 9.3 Lichttechnische Gütemerkmale

Den heute gültigen Beleuchtungsnormen liegen folgende Gütemerkmale zugrunde:

- Beleuchtungsniveau
- Leuchtdichteverteilung
- Begrenzung der Blendung
- Lichtrichtung und Schattigkeit
- Lichtfarbe und Farbwiedergabe.

#### 9.3.1 Bedeutung

Die Ausführungen der Norm zu diesen Gütekriterien sind von sehr unterschiedlicher Präzision. Bei dem Merkmal "Beleuchtungsniveau" wird nur die in der Arbeitsebene herrschende Nennbeleuchtungsstärke, d.h. der mittlere Gebrauchswert über den gesamten Raum und über die Zeit, angegeben. Für den Menschen an einem bestimmten Arbeitsplatz ist dies aber eine nicht wahrnehmbare Quantität, weil man Beleuchtungsstärke nicht "sehen" kann, schon gar nicht deren zeitliches und räumliches Mittel. Außerdem ist es für ihn unerheblich, ob der übernächste Arbeitsplatz im Raum gut beleuchtet ist oder nicht. Ein ausreichender Mittelwert im ganzen Raum besitzt zwar eine Bedeutung für den Planer, jedoch nicht notwendigerweise für den Betroffenen. Diesen schützt diesbezüglich lediglich die Anforderung, daß an keinem Platz zu keiner Zeit die Beleuchtungsstärke an seinem Arbeitsplatz unter 60% des Nennwerts, im Büro 300 lx, sinken darf, wenn man sie denn braucht.

Eine häufig bzw. fast immer überlesene Aussage der Norm zur Beleuchtungsstärke besitzt für mindestens die Hälfte der Erwerbsbevölkerung eine entscheidende Bedeutung: *"Die Zuordnung eines bestimmten Wertes der Nennbeleuchtungsstärke zu einer Sehaufgabe bezieht sich auf normalsichtige Personen."* Mindestens die Hälfte der Erwerbsbevölkerung der Bundesrepublik Deutschland ist aber nicht normalsichtig. Und das wesentliche dabei ist: Die vorgenommene Korrektur ihrer Augen ist bei ca. 30% falsch (s. Çakir u.a., 1978; Kaufmann, 1972). So regelt die Norm den Schutz derer, die ihn am wenigsten brauchen, während die Probleme derjenigen, die einen Schutz am nötigsten hätten, stillschweigend unter den Tisch gekehrt werden - ein bemerkenswerter Widerspruch zu ergonomischen Prinzipien.

Da der Raumeindruck nicht nur von der fiktiven Größe Beleuchtungsstärke, sondern im wesentlichen von der - sichtbaren - Leuchtdichte der Raumflächen abhängt, bleibt es der Kunst des Raumgestalters überlassen, durch geeignete Wahl der Farben und Reflexionsgrade einen günstigen Raumeindruck zu erzielen. Die praktisch verwertbaren Aussagen der Norm zur *Leuchtdichteverteilung* beziehen sich nur auf Reflexionsgrade, deren Wahlmöglichkeiten jedoch sehr eingeschränkt sind, denn Reflexionsgrade sind an Farben gebunden. Wenn man bei stark auf die Arbeitsebene gerichteter Beleuchtung hell wirkende Wände bzw. Stellwände erreichen will, kann man nur weiße oder sehr ungesättigte Farbschattierungen wählen. Das bedeutet, daß mit zunehmender Ausrichtung der Lichtstärkeverteilung zur tiefstrahlenden Charakteristik die freie Wahl der Farben eingeschränkt wird. Eine nur noch geringfügige Wahlmöglichkeit verbleibt dem Raumgestalter, will er die Räume "bildschirmgerecht" gestalten. Hierzu müßte er den Teil 7 von DIN 5035 anwenden, der sehr niedrige Reflexionsgrade der Raumbegrenzungen empfiehlt, um die Reflexion von Objekten und Raumbegrenzungsflächen in Bildschirmen zu vermeiden. Wer dieser Empfehlung gefolgt ist, konnte mit einem einzigen Blick durch die Raumtür feststellen, warum man es besser hätte sein lassen: Der Arbeitsraum sieht eher aus wie eine Höhle; die tiefstrahlende Beleuchtung setzt die Beleuchtungsstärke auf den Wänden herab, die dadurch mehr als halbierte Leuchtdichte wird durch den herabgesetzten Reflexionsgrad noch einmal halbiert. Eine Kur, die schlimmer ist als die Krankheit!

Die *Begrenzung der Blendung*, d.h. der Reflexblendung und der Direktblendung, wird in der Norm sehr ausführlich dargestellt. Während die Begrenzung der Direktblendung sich auf die Gestaltung der Leuchten und der leuchtenden Decken, also auf die Aufgaben des Herstellers bezieht, wird die Aufgabe, Reflexblendung zu vermeiden, allerdings im wesentlichen dem Raumgestalter überlassen. Dieser muß die richtige Aufstellung des Arbeitsplatzes und die richtigen Merkmale für die Oberflächen von Arbeitsmitteln, Tische, Papier, Bildschirmgeräte, Tastaturen u.ä. finden. Einen Hinweis darauf, wie man handeln muß, wenn man die erwünschten Eigenschaften nicht realisieren kann, erhält er indes nicht, obwohl der Raumgestalter gerade dies braucht.

Der Abschnitt über die *Lichtrichtung und Schattigkeit* behandelt lediglich die Begrenzung der Schattigkeit und gibt eine Mindestgrenze an. Über die richtige Lichtrichtung hingegen gibt es keine Ausführungen. Frühere Erkenntnisse, daß das Licht mindestens einen bestimmten gerichteten Anteil besitzen sollte, der aus der gleichen Richtung einfällt wie das Tageslicht, werden nicht erwähnt. Ebenso unter den Tisch gefallen ist die frühere Erkenntnis, daß der Lichteinfall eine gewisse Vorzugsrichtung besitzen sollte.

Für die *Lichtfarbe* und *Farbwiedergabe* werden genaue Angaben gemacht. Die wichtigste Aussage der Norm für den Raumgestalter dürfte hierbei folgender Satz sein:

*"Die Lichtfarbe des beleuchtenden Lichts, die Farbwiedergabe im Raum, die Verteilung des Lichts im Raum sowie die Farbgebung des Raumes sind gemeinsam mit dem Beleuchtungsniveau für das Farbklima und damit auch für die stimmungsmäßige Beeinflussung des Menschen maßgebend. Alle diese Komponenten sollten aufeinander abgestimmt werden."*

### 9.3.2 Wertigkeit

In DIN 5035 Teil 1 wird ausgeführt, daß eine Beleuchtungsanlage nur dann den gestellten Anforderungen genügen kann, wenn alle Gütemerkmale beachtet werden. Diese klare Forderung wird jedoch gleich im nächsten Satz relativiert: *“Je nach Art und Schwierigkeit der Sehaufgabe bzw. je nach Raumart kann dem einen oder anderen Kriterium Priorität zugebilligt werden.”* Im Bereich der Bürobeleuchtung wurde von diesem Satz Gebrauch gemacht, indem ein zusätzliches Gütemerkmal für Bildschirmarbeitsplätze eingeführt wurde: *Vermeidung störender Spiegelungen auf dem Bildschirm* (DIN 5035 Teil 7, Abschnitt 3). Ob man dafür allen Büroräumen einen “Höhlen-Look” verpassen muß, wäre angesichts der intelligenteren und vor allem billigeren Möglichkeiten wie Positivdarstellung und Entspiegelung von Bildschirmen mehr als eine Prüfung wert: Die Empfehlungen von DIN 5035 Teil 7 basieren auf Untersuchungen mit einem (mit einem einzigen) Bildschirm, der nicht entspiegelt war und bereits zum Zeitpunkt der Untersuchung (vor 1980) nicht mehr dem Stand der Technik entsprach.

Obwohl die lichttechnischen Gütemerkmale theoretisch gleichwertig sein sollen, so gibt es doch einen Unterschied: Ein Teil der Gütemerkmale besitzt als Richtwert für Arbeitsstätten (DIN 5035 Teil 2) eine andere rechtliche Bedeutung als die restlichen. Diese sind die Beleuchtungsstärke (Nennwert), die Lichtfarbe und die Farbwiedergabe sowie die Begrenzung der Direktblendung. Manche Gütekriterien werden somit gleicher behandelt als andere.

## 9.4 Zur Entwicklung der Beleuchtungstechnik in Innenräumen bis 1979

### 9.4.1 Entwicklung der Beleuchtungsnorm DIN 5035

Die für die Innenraumbeleuchtung zuständige Norm DIN 5035 erlebte seit der Gründung der Bundesrepublik Deutschland wesentliche Änderungen, ohne daß die Öffentlichkeit davon gebührend Notiz genommen hätte. Beleuchtungstechnik war und ist *Expertensache*, mit dem kleinen, jedoch bedeutenden Schönheitsfehler, daß nicht alle “Experten”, die sich mit der Gestaltung von Innenräumen befassen, ihren Einfluß geltend machen können. So werden z.B. die Normen für Beleuchtungstechnik und Bautechnik in getrennten Ausschüssen bearbeitet, obwohl es in Deutschland keinen Bau ohne künstliche Beleuchtung geben dürfte.

Im Laufe der ersten drei Jahrzehnte der BRD änderte sich nicht nur die Technik der Beleuchtung, sondern auch die Zielsetzung der Normen. So sollte nach den Leitsätzen von DIN 5035 (DK 628.93; in der Fassung (11/35)) die künstliche Beleuchtung seinerzeit folgendem Ziel dienen: *“Die künstliche Beleuchtung von Innenräumen muß den Forderungen der Gesundheit und Schönheit entsprechen, dabei zweckmäßig und wirtschaftlich sein.”* Diese Leitsätze gingen von 7 Gütemerkmalen aus, von denen drei im Laufe der Zeit als Gütemerkmal verschwunden sind und sich teilweise an anderer Stelle wiederfinden. Diese sind *örtliche Gleichmäßigkeit*, *Ruhe der Beleuchtung* und

*Instandhaltung der Beleuchtungsanlage.* Insbesondere die *örtliche Gleichmäßigkeit* ist in der Bedeutung auf eine Anmerkung in der Ausgabe von 1979 geschrumpft.

In der Ausgabe von 1953 werden die Anforderungen an die Beleuchtung wie folgt angeführt: *“Die künstliche Beleuchtung muß hygienischen Forderungen genügen, wirtschaftlich sein und der **Raumwirkung** dienen.”* In der Ausgabe von 1979 lautet die einzige *“Muß”*-Anforderung für die Beleuchtung von Arbeitsräumen hingegen: *“In Arbeitsräumen muß die Beleuchtung ein müheloses Erkennen der Sehobjekte ermöglichen.”*

Wichtiger als die Änderung der Zielsetzung ist jedoch die Änderung des Konzepts: Nach DIN 5035 vom Jahre 1953 existierten zwei Konzepte, eine Allgemeinbeleuchtung - mit einer geringen Beleuchtungsstärke - und die *“Platzbeleuchtung mit zusätzlicher Allgemeinbeleuchtung”*. Bei alleiniger Allgemeinbeleuchtung sollte das Arbeitsfeld immer heller sein als das Umfeld, damit die sog. Umfeldblendung vermieden wird. Darunter wird der Effekt verstanden, den jene Teile des Gesichtsfeldes ohne Beitrag zur Information hervorrufen, so z.B. ein zu heller Arbeitstisch, dessen Licht das Wahrnehmen der eigentlichen Information, z. B. des Leseguts, erschwert. Die Beleuchtung sollte zudem so ausgelegt werden, daß die Lichteinfallrichtung der künstlichen und der natürlichen Beleuchtung übereinstimmen.

In dem Entwurf von 1962 sind bereits wesentliche Änderungen feststellbar. Insbesondere wird hier verlangt, daß die Arbeitsplätze entweder mit Allgemeinbeleuchtung oder mit einer Arbeitsplatzbeleuchtung ausgestattet werden, bei der die Allgemeinbeleuchtung mindestens 20% der Beleuchtungsstärke, bei besonderen Aufgaben 10%, erbringen sollte.

Die Gestaltung des Arbeitsplatzes wird nach dieser Norm noch maßgeblich von dem Tageslicht bestimmt: *“Arbeitsplätze werden, wo möglich, dem Tageslichteinfall entsprechend orientiert. Die künstliche Beleuchtung soll in diesem Falle dem Charakter der Tagesbeleuchtung angepaßt sein.”*

In dem neuesten Teil der Norm, DIN 5035 Teil 7, der für alle Arbeitsplätze mit Bildschirmgeräten, somit schlechthin für alle künftigen Büros gilt, wird hingegen empfohlen, die Arbeitsplätze so weit wie möglich vom Fenster aufzustellen, damit keine Störungen durch das Tageslicht vorkommen.

Der Wandel zeichnet sich in den 70er Jahren ab. So hat sich bereits in der Ausgabe von 1972 die Norm vom Tageslicht weitgehend *“emanzipiert”*, es wird nur noch am Rande erwähnt. Nicht zufällig fällt dieser Zeitraum in die *“Hoch-Zeit”* des Großraumbüros. Die Lichtrichtung wird nur noch im Zusammenhang mit der Vermeidung von Schatten und Reflexblendung erwähnt; wie sollte man auch in einem Großraumbüro die richtige Lichtrichtung für jeden Arbeitsplatz realisieren? Die Allgemeinbeleuchtung ist das bevorzugte Konzept, nachdem die Beleuchtungstechnik in der Lage ist, die geforderten Beleuchtungsstärken mit einer einzigen Komponente zu erbringen. Sie wird zunächst für Arbeitsräume verlangt, bei denen die Arbeitsplätze nicht fest vorgegeben sind: *“Allgemeinbeleuchtung ist in Arbeitsräumen mit nicht festgelegten Arbeitsplätzen notwendig, wenn an allen Arbeitsstellen gleich gute Sehverhältnisse geschaffen werden sollen.”* Sieben Jahre später liest sich die Anforderung so: *“In*

*der Regel ist eine Allgemeinbeleuchtung von Räumen vorzusehen. Sie soll an allen Stellen im Raum etwa gleich gute Sehbedingungen schaffen und den Raum zur Wirkung bringen.*“ Es ist zwar ohne weiteres erklärbar, warum man an allen *Arbeitsstellen* gleich gute Sehbedingungen erzielen will, warum soll aber an allen *Stellen* eines Raumes dasselbe Ziel verfolgt werden? Haben sich die Arbeitsräume gewandelt oder die Sehaufgaben? Es ist eher anzunehmen, daß das Ziel ein anderes war, nämlich die flexible Nutzung der Arbeitsräume, d.h. die freie Aufstellung der Arbeitsplätze an allen Stellen sowie eine spätere Änderung der Anordnung ohne eine entsprechende Änderung der Beleuchtung. Für sich gesehen entspricht dieses Ziel auch heutigen Anforderungen, jedoch nur für große Räume. In kleineren Räumen, die den größten Teil der verfügbaren Räume ausmachen, ist es hingegen problematisch und zudem unnützlich. Außerdem wird die möglicherweise angestrebte Flexibilität durch die weiteren Anforderungen derselben Norm wieder eingeschränkt. Es fällt jedenfalls schwer, ein Konzept zu erkennen, sollte eins dahinter stecken.

Die Anhänger der Allgemeinbeleuchtung werden nicht müde, ihre Vorteile herauszustreichen, die sie zweifellos besitzt. Warum werden die gleichzeitig vorhandenen Nachteile so selten diskutiert? Sie fallen selbst in der Darstellung eines Wissenschaftlers, der dem Konzept nicht abgeneigt war (Hartmann 1977), ziemlich niederschmetternd aus:

*“(1) Das allgemeine Beleuchtungsniveau muß sich nach den höchsten Sehanforderungen richten, das bedeutet, daß auch dort ein hohes Beleuchtungsniveau herrscht, wo das von der Sehaufgabe her vielleicht gar nicht erforderlich ist.*

*(2) Die Lichtrichtung, d.h. das Verhältnis von gerichteter zu diffuser Beleuchtung ... ist durch die Installation für jeden Arbeitsplatz gleichmäßig vorgegeben, und sie kann notwendigerweise nur dann optimal sein, wenn an jedem Arbeitsplatz im wesentlichen die gleiche Tätigkeit verrichtet wird. (Anm. d.V.: Dazu müssen alle Arbeitsplätze auch gleich ausgerichtet sein.)*

*(3) Wird der Raum im Interesse eines hohen Beleuchtungswirkungsgrades noch einheitlich hell möbliert und ausgestattet, führt die Allgemeinbeleuchtung nur allzu häufig zu einer Kontrastverarmung, die mit dem Schlagwort ‘Lichtsoße’ recht treffend gekennzeichnet ist. Gerade dieser letzte Punkt stellt sehr häufig die Ursache für Klagen über die Sehverhältnisse am Arbeitsplatz und die Beleuchtung dar, obwohl der Lichttechniker guten Gewissens nachweisen kann, daß sowohl das Beleuchtungsniveau, wie auch die Gleichmäßigkeit, die Blendarmut, die Lichtfarbe usw. den Empfehlungen der DIN-Blätter entspricht.”*

Der Grundsatz, der hinter der Idee der Allgemeinbeleuchtung steckt, lautet: “Gleiches Licht für alle” (Hartmann, 1977). Dieser Grundsatz widerspricht ergonomischen Prinzipien, die von der Unterschiedlichkeit der Menschen ausgehen. Daß Menschen bei gleicher Sehaufgabe unterschiedlichen Lichtbedarf haben, kannte man auch in der Beleuchtungstechnik schon sehr lange. Warum dann trotzdem einen falschen Grundsatz zum Hauptziel einer Technik erheben, die für alle Arbeitnehmer so wichtig sein soll und ist? Hierfür gibt es einen guten und einen schlechten Grund. Der gute Grund ist, daß Arbeitsstätten von verschiedenen Menschen benutzt werden, ohne daß man an ihrer Beleuchtung etwas ändern kann oder will. Daher stellt die Allgemeinbeleuchtung für manchen Anwendungsfall die einzig gangbare Lösung

dar, sei sie noch so falsch. Man muß versuchen, sie so wenig falsch wie möglich zu gestalten. Solche Vorgehensweisen sind im übrigen gar nicht so selten, sie haben sogar einen respektablen Namen: Optimieren. Man kann z.B. Parkbänke für öffentliche Grünanlagen oder Treppenstufen in öffentlichen Gebäuden nicht anders gestalten als nach dem Grundsatz "Gleiches ... für alle". So wird für eine Reihe Anwendungsfälle in der Beleuchtungstechnik nur die Allgemeinbeleuchtung in Frage kommen. Wie man sie dennoch so wenig falsch wie möglich macht, kann man in der ergonomischen Literatur nachlesen.

Den schlechten Grund für die Bevorzugung der Allgemeinbeleuchtung hat Hartmann sehr deutlich beschrieben: "... *Parallel mit dem Siegeszug der Leuchtstofflampen verschwanden auch die Glühlampen aus den Arbeitsräumen, und damit trat auch die individuelle Beleuchtung eines kleinen Arbeitsbereiches immer mehr in den Hintergrund. Da überdies Glühlampenlicht und Leuchtstofflampenlicht meist auch schlecht miteinander harmoniert, wurde die Einzelplatzleuchte zunehmend vom Arbeitsplatz verbannt. Es gibt zwar Arbeitsplatzleuchten mit Leuchtstofflampen, diese sind aber wegen ihrer Größe unhandlich, und sie zeigen häufig einen störenden Flimmereffekt, der nur durch zwei Lampen in Duo-schaltung wirksam kompensiert werden könnte, was die ganze Leuchte noch unförmiger macht.*" (Hartmann, 1977) Dieser Grund ist vor etwa zehn Jahren entfallen, als die Kompaktleuchtstofflampen und elektronischen Vorschaltgeräte zu annehmbaren Preisen angeboten werden konnten. Geblieben sind zum einen die nach dem Konzept der Allgemeinbeleuchtung gebauten Anlagen und zum anderen die Benachteiligung der Individualbeleuchtung (in der Norm "Einzelplatzbeleuchtung" bezeichnet).

Die Beleuchtung, die man gemäß DIN 5035 in der Regel erstellen bzw. betreiben soll, beruht somit auf einem falschen Prinzip, das für die meisten Büro- und Bildschirmarbeitsplätze schon längst keine Berechtigung mehr hat. Zudem widerspricht er dem derzeitigen Stand der Gesetzgebung für Bildschirmarbeitsplätze (Bildschirmarbeitsverordnung vom 21.12.1996), da diese in ihren Anforderungen u.a. folgendes vorschreibt: "15. *Die Beleuchtung muß der Art der Sehaufgabe entsprechen und **an das Sehvermögen der Benutzer angepaßt sein** ; ..."*

Für die gesamte Entwicklung der Norm DIN 5035 in diesen Jahren gibt es nur eine erkennbare Linie: Bereits im Jahre 1953 wurden bestimmte Werte der Beleuchtungsstärke auf dem Arbeitsgut aus sehphysiologischen Gründen (Erkennbarkeit) gefordert. Diese konnten jedoch mangels geeigneter Beleuchtungstechnik nur mit Hilfe von Einzelplatzbeleuchtung (seinerzeit "Platzbeleuchtung" genannt) realisiert werden. Die angegebenen Werte sind i.d.R. im Rahmen von Kurzzeitversuchen ermittelt worden, wobei die Beleuchtungsstärke auf dem Arbeitsgut bestimmt wurde. Im Laufe der Zeit wurden diese Werte - mehrfach etwas aufgestockt - erst auf alle Arbeitsstellen und dann auf die Gesamtheit des Arbeitsraumes, d.h. auf alle Stellen des Raumes, angewendet. Eine wissenschaftlich untermauerte Begründung hierfür besteht jedoch nicht. Vermutlich wurde sie auch nicht gesucht. Wie sich das Ganze auf die *Raumwirkung* auswirkte, wurde nur selten hinterfragt.

In der Ausgabe von 1979 läßt die Norm die Einzelplatzbeleuchtung nur dann zu, wenn eine Reihe von Bedingungen erfüllt sind, die jedoch derart formuliert worden

sind, daß eine Einzelplatzbeleuchtung praktisch nur für wenige Arbeitsräume mit einer Nennbeleuchtungsstärke von 1000 lx in Frage kommt. Was im Jahre 1953 zur Regel gehörte, darf seit 1979 also nicht mehr sein. Allerdings: Wer Büros kennt, die nach dem Muster von 1953 beleuchtet worden sind, wird an der heute üblichen Beleuchtung zweifellos viel Positives entdecken. Nach dem Ergebnis unserer Studie steht jedoch fest, daß das Ziel, eine bessere Raumwirkung zu erzielen und die Gesundheit zu fördern, mitnichten erreicht worden ist. Aufgrund der bereits von Hartmann beschriebenen Nachteile der Allgemeinbeleuchtung sowie des falschen Prinzips hätte es nicht einmal einer Studie bedurft, dies festzustellen.

DIN 5035 Teil 1 wurde im Jahre 1990 unbedeutend modifiziert. Hierbei wurden neuere wissenschaftliche Erkenntnisse nicht verwertet. Hierzu gehört auch die grundlegende Feststellung, daß es den Beleuchtungsstärkeempfehlungen an der wissenschaftlichen Basis mangelt (s. Kap. 10). Ebensowenig wurde der Teil 7 geändert, obwohl das gleiche Labor, das die Basis dieser Norm gelegt hatte, in der Mitte der 80er Jahre neuere Arbeiten vorgelegt hat, die eine Änderung nahe legten.

#### 9.4.2 Entwicklung der Beleuchtungstechnik

Um den in dieser Studie erfaßten Zustand der Beleuchtungstechnik zu beschreiben, ist neben der Betrachtung der Entwicklung der Normen auch eine Übersicht über die Entwicklung der Beleuchtungstechnik in den letzten drei Jahrzehnten sehr hilfreich. Da zwischen der Entstehung eines Beleuchtungskonzepts und seiner weiten Verbreitung i.a. etwa zehn Jahre vergehen, wird die Entwicklung für die 70er und 80er Jahren getrennt beschrieben. Die Beschreibung wird zunächst in dem Wortlaut wiedergegeben, wie sie in der Festschrift zum 75jährigen Bestehen der Firma Trilux dargestellt worden ist (Rick-Lenze, 1987). (Anm.: Aus dem zitierten Text wurden Passagen zur politischen Entwicklung und Entwicklung der Außenbeleuchtung herausgeschnitten, die jedoch nicht sinnentstellend entfernt worden sind.) *“Der Neubeginn industrieller Produktion in Deutschland ist gleichzeitig mit der breiten Anwendung der Leuchtstofflampe verknüpft. Die Lichtquelle mit dem dreifachen Lichtstrom gegenüber der Glühlampe setzt sich nicht nur in der Industriebeleuchtung durch...*

*Die lichttechnische Fachwelt befaßt sich (im Jahre 1955, Anm. d. V.) mit der Verbesserung der Berechnungsmethoden...*

*Verbesserte Lampen- und Leuchtentechnologie und zunehmender Wohlstand ermöglichen in der Mitte der fünfziger Jahre “lichtfüllige“ und auch beispielgebende Anwendungen... Massive Helligkeit wird gelobt. Der Sendesaal des Hessischen Rundfunks (s. Bild 9.11) in Frankfurt am Main... ist mit einer “Leuchtdecke“ versehen. Die Beleuchtung wird nach den damaligen Anforderungen als “vollkommen blendfrei“ bezeichnet...*

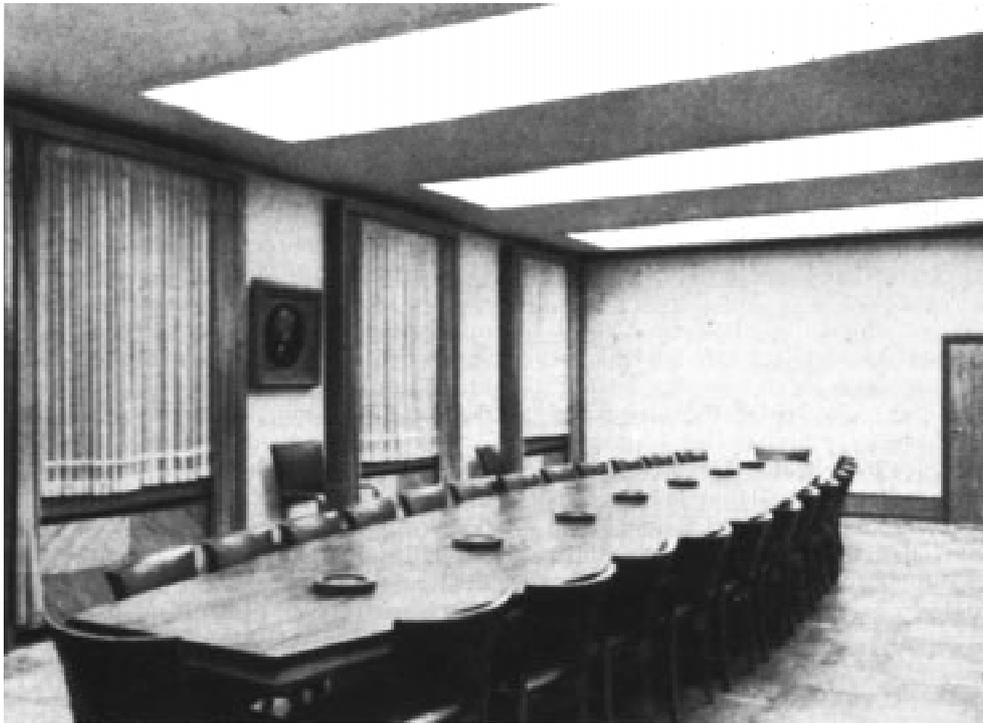
*Die Deckenbeleuchtung in einem Sitzungsraum in Frankfurt am Main (Bild 9.12) entspricht um 1956 der Vorstellung von richtiger Raumstimmung und zeitgemäßem Raumklima...“*

Solche Räume werden auch heute noch genutzt, wenn auch in geringerer Zahl. Einige charakteristische Eigenschaften der zuletzt angeführten Beleuchtung seien an dieser Stelle erwähnt: Relativ geringe Beleuchtungsstärken um 200 lx bis 400 lx, im

Bild 9.11 Leuchtdecke des Sendesaales des Hessischen Rundfunks in den 50er Jahren, die damals als "vollkommen blendfrei" bezeichnet wurde. (Quelle: Rick-Lenze u.a., 1987)



- Bild 9.11 Leuchtdecke des Sendesaales des Hessischen Rundfunks in den 50er Jahren, die damals als "vollkommen blendfrei" bezeichnet wurde. (Quelle: Rick-Lenze u.a., 1987)
- Bild 9.12 Sitzungsraum eines Industrieunternehmens in Frankfurt a.M. in den 50er Jahren mit großflächigen Leuchten geringer Leuchtdichte (Quelle: Rick-Lenze u.a., 1987)



Verhältnis zu modernen Lampen weitaus geringere Leuchtdichtewerte der Leuchtstofflampen und, wie im Bild sichtbar, großflächige, diffus strahlende Decken mit Trübglassabdeckung. Die Leuchtdichte dieser Decken betrug ca.  $2000 \text{ cd/m}^2$ . In Arbeitsräumen dieser Ära, die etwa bis zum Jahre 1970 dauerte, wurden häufig Leuchten mit Trübglassabdeckung (Plexiglaswannen) eingesetzt, teils abgependelt über dem Arbeitstisch, teils als Aufbauleuchte an der Decke angebracht.

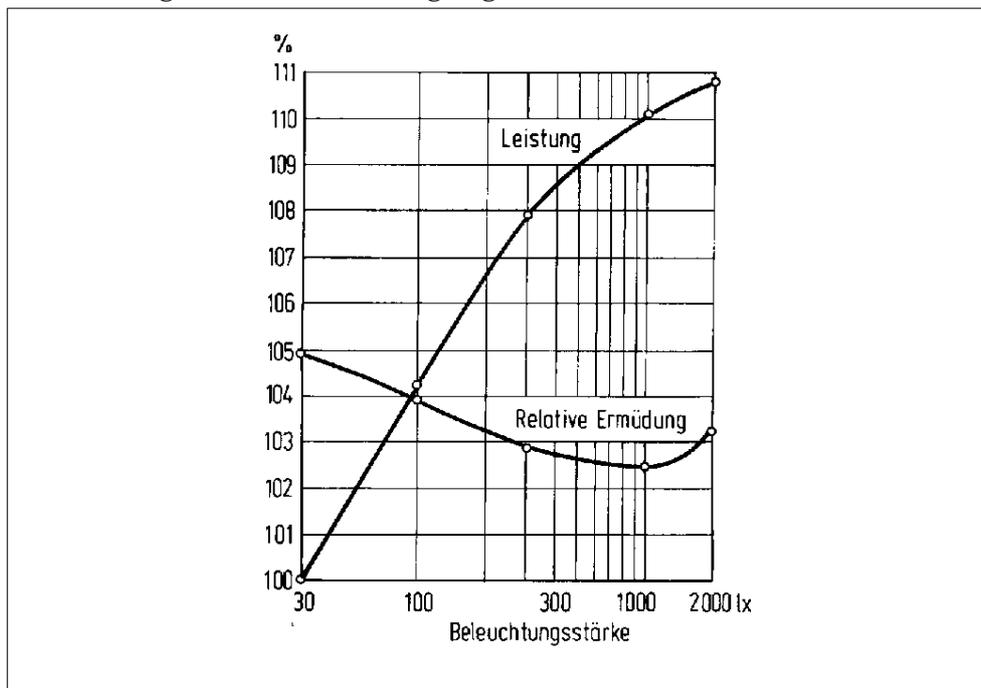
Der Zug der technischen Entwicklung dieser Jahre lief jedoch bereits in eine andere Richtung. Er richtete sich nach einem neuen Bild des Büros, nach dem Konzept des Großraumbüros, das in den fünfziger Jahren vom Quickborner Team entwickelt worden war. Das Großraumbüro sollte nicht nur die Menschen in einem Raum integrieren, sondern auch die Technik in der Decke. Aufbauleuchten paßten nicht mehr in dieses Bild, weil sie der Klimatisierung im Wege standen. Es gab jedoch noch ein richtungsweisendes Ereignis in diesen Jahren:

*“Das Deutsche Lichtinstitut e.V. startet 1961 die “1000 lx-Bewegung“. Wissenschaftliche Untersuchungen über die subjektiv bewertete Beleuchtungsstärke unterstützen die Kampagne. Die Norm für Innenraumbelichtung (DIN 5035 von 1963) erhebt diese Erkenntnisse*

zum Stand der Technik.“ (Anm.d.V.: Es handelte sich hierbei um Laboruntersuchungen eines Leuchtenherstellers, die erst 1962 veröffentlicht worden waren.)

Die “1000 lx-Kampagne“ wurde unter anderem mit einem heute noch zitierten Diagramm aus der Urzeit der Beleuchtungstechnik begründet, das unkritisch von Gewerkschaftern wie von Arbeitspsychologen angeführt wird (s. Bild 9.13). Die Bedingungen und die Arbeit, für die die in diesem Bild dargestellte Leistungssteigerung ermittelt wurde, werden jedoch selten erwähnt: Die Abbildung gibt das Ergebnis einer Untersuchung mit Glühlampen bei der Tätigkeit des Perlenziehens wieder (Hartmann, 1981). Bei Betrachtung dieses Bildes erkennt man, daß offenbar ein methodischer Fehler vorliegt, denn auch heute kann niemand eine Änderung der Ermüdung um 0,5% messen, wie sie in der Kurve der relativen Ermüdung zwischen 200 lx und 1000 lx eingetragen ist. Wenn dies möglich wäre, müßte man sich zudem fragen, um welche Art der Ermüdung es sich hierbei handelt, für die man eine 0,5prozentige Verbesserung mit der Verfünfachung der Kosten der Beleuchtung erkaufen möchte. In Wirklichkeit handelt es sich zudem nicht um eine “Ermüdung“, sondern um die Fehlerhäufigkeit. (Anm.: *Ermüdung hat noch niemand objektiv messen können.*) Zudem ist dem Bild zu entnehmen, daß die Leistungssteigerung zwischen 300 lx und 1000 lx ganze 1% beträgt. Dies sollte doch Anlaß zum Denken geben.

Bild 9.13 Leistung und Ermüdung in Abhängigkeit von der Beleuchtungsstärke. Das in der Literatur häufig zur Untermauerung der Anforderungen an die Beleuchtungsstärke angeführte Bild ist mit der Sehaufgabe beim Perlenaufziehen gewonnen worden, wird aber auch für andere Sehaufgaben unkritisch herangezogen.



Auch die Interpretation des Kurvenverlaufs für die "Ermüdung" oberhalb von 1000 lx ist sehr fragwürdig. Sie wird dahingehend interpretiert, daß oberhalb von 1000 lx die Ermüdung zunimmt. Der hier gezeigte Effekt geht nach Hartmann ausschließlich auf einen Versuch mit Glühlampen zurück: Diese produzieren neben etwas Licht auch sehr viel Wärme und können daher die vermeintliche "Ermüdung" durch die zusätzliche Wärmeentwicklung hervorgerufen haben. Wenn man den Versuch im Freien wiederholen würde, ließe sich sicherlich ohne weiteres feststellen, daß auch 10.000 lx keinen Grund für eine Ermüdung darstellen.

Allerdings gibt es andere gute Gründe für die Forderung nach höheren Beleuchtungsstärkewerten, z.B. das Alter der Menschen, Anomalien des Sehapparates und bestimmte Sehaufgaben. So benötigen z.B. Menschen im Alter von 60 Jahren bei einer vorgegebenen Sehaufgabe mindestens doppelt soviel Licht wie Menschen mit 20 Jahren, und zum fehlerfreien Lesen des vierten Durchschlages eines Formulars reicht häufig selbst die beste Bürobeleuchtung nicht aus. Wollte man die Anforderungen an die Beleuchtung nach den Bedürfnissen älterer Mitarbeiter und nach den Erfordernissen zur Bewältigung schwieriger Sehaufgaben richten, müßte man sehr hohe Beleuchtungsstärken empfehlen. Bei dem bevorzugten Konzept der Allgemeinbeleuchtung würden sich dann allerdings wiederum viel mehr Personen geblendet fühlen, als in unserer Untersuchung festgestellt wurde.

Diese Erkenntnisse sind so neu nicht, konnte man sie doch einer weiteren Begründung der 1000 lx-Bewegung, den Untersuchungen von Bodmann (Bodmann, 1961) auch entnehmen: Auch 1000 lx auf dem Arbeitsgut wurden seinerzeit von 10% der befragten Personen als "zu dunkel" und von 20% als "zu hell" empfunden, d.h., 30% waren unzufrieden. Dies ist gar nicht verwunderlich. Denn man erhält bei jeder Untersuchung, bei der die individuellen Unterschiede nicht zur Geltung kommen, d.h. bei jeder "Optimierung", definitionsgemäß 30% Unzufriedene. Die Schlußfolgerung, die man aus Bodmanns Untersuchung hätte ziehen müssen, wäre: Das Empfinden der Menschen bezüglich der richtigen Beleuchtungsstärke ist individuell derart unterschiedlich, daß der bevorzugte Bereich zwei Zehnerpotenzen - Verhältnis 1 zu 100 - umfaßt. Kann man solchen Unterschieden mit einer Allgemeinbeleuchtung "Gleiches Licht für alle" gerecht werden?

Der 1000 lx-Bewegung standen alte Leuchtenkonzepte im Wege, sie blendeten zu stark. Zum Schutze der Menschen vor Blendung wurden daher die Blendungsbegrenzungskurven nach Söllner eingeführt, die heute noch die Basis der Blendungsbegrenzung in der Innenraumbeleuchtung bilden. Ihre gefällige Form täuscht leicht darüber hinweg, daß die Ermittlung der Erkenntnisse einer methodischen Prüfung nicht standhalten kann (Haubner, 1970). So wie die geforderten Beleuchtungsstärken an isolierten Sehaufgaben ermittelt und dann zunächst an allen Arbeitsstellen und später an allen Stellen des Raumes vorgeschrieben worden sind, ohne eine schlüssige wissenschaftliche Begründung zu liefern, wurden die Blendungsbegrenzungskurven in einem Modellraum mit Kurzzeitversuchen ermittelt, um später auf Beleuchtungsanlagen mit völlig anderer Ausprägung der lichttechnischen Güteermkmale angewendet zu werden. Die Basis dieser Kurven bildete die psychologische Blen-

dung, die ihre negative Wirkung nach DIN 5035 aber erst bei längerem Aufenthalt im Raum entfaltet. Ermittelt wurden sie jedoch in Modellräumen und eben im Rahmen von Kurzzeitversuchen. Diese Kritik gilt allerdings auch für andere Blendungsuntersuchungen, auf denen die Blendungsbewertungssysteme anderer Länder basieren, auch diese waren i.d.R. Kurzzeitversuche.

Im Laufe der sechziger und siebziger Jahre wurden eine Reihe von Untersuchungen durchgeführt mit dem Ziel, die Güteermkmale für Beleuchtung in die Praxis umzusetzen (Rick-Lenze): *“In den folgenden Jahren wird in den wissenschaftlichen Instituten der Universitäten und den Forschungslaboratorien der Unternehmen stetig an der Ausprägung der Güteermkmale der Beleuchtung gearbeitet. Anstatt die Güte der Beleuchtung nur an quantitativen Größen zu messen, ist die Einhaltung verschiedener qualitativer Merkmale vordergründiges Ziel der Lichttechnik...”*

*In der Innenraumbeleuchtung ist die Begrenzung der Direktblendung ab 1972 Bestandteil der DIN-Norm.“*

Im Laufe der siebziger Jahre wurden Leuchten entsprechend dem Hauptziel, Licht, Luft und Akustik innerhalb der Decke zu integrieren und Blendung zu reduzieren, stark verändert. Der Kampf um die freie Deckenfläche hatte begonnen: Der Lichttechniker kämpfte gegen den Klimatechniker, der wiederum gegen den Akustiker. Was heraus kam, war nicht etwa das Ergebnis einer Synergie, wobei jeder von dem anderen profitiert hätte. Vielmehr verlor der Lichttechniker an Freiheiten und mußte mit weniger Deckenfläche vorlieb nehmen, was die Entwickler u.a. dazu bewog, sog. “Klimaleuchten“ zu entwickeln, in die die Luftführung der Klimaanlage integriert wurde. Ob es wohldurchdacht war, ungefilterte Raumluft an Lampen und an Spiegeloptiken vorbei zu saugen, sei dahingestellt. Man mußte der neuen Technik die geschlossenen Trübglassabdeckungen opfern, die die Wärmestrahlung zum größten Teil von den Benutzern fernhielten. Dadurch wurde die thermische Belastung des Menschen zwar nur ein wenig, aber immerhin fühlbar erhöht.

Auch bei anderen Leuchten verlor die Trübglassabdeckung ihren Platz zunächst an die Prismenabdeckung, die wiederum durch offene Raster ersetzt wurde. Die Raster waren zunächst weiß und diffus strahlend. Auf sie folgten stärker gerichtet strahlende Metallraster, die ihre letzte Ausprägung in den hochglanzverspiegelten Rastern der “BAP-Leuchten“ fanden.

In der Zwischenzeit wurden die alten Leuchtstofflampen mit einer Leuchtdichte von ca.  $8000 \text{ cd/m}^2$  von den neuen dünneren Lampen mit einer mindestens doppelt so hohen Leuchtdichte abgelöst. In den ersten Jahren nach der Einführung der neuen Lampen wurde die Anwenderschaft in ganzseitigen Zeitungsanzeigen aufgefordert, die neuen *“wirtschaftlichen“* Lampen in die alten Leuchten einzubauen, was zu einer Erhöhung der Blendwirkung führte. Den vorläufig letzten Schritt in diese Richtung bilden die Kompaktleuchtstofflampen mit noch höheren Leuchtdichtewerten, die so gebaut sind, daß man sie in alte Glühlampenfassungen drehen kann. Diese als *“Energiesparlampen“* propagierten Lampen benötigen jedoch neue Leuchten, weil sie sonst so stark blenden können, daß der Effekt der höheren Beleuchtungsstärke bei

gleichem bzw. gleicher Beleuchtungsstärke bei geringerem Energieaufwand verloren geht. So mußten die Stromversorgungsunternehmen die Anwender warnen: *“Kompaktleuchtstofflampen verbrauchen im Vergleich zu Glühlampen weniger Energie für gleich viel Licht. Sie sind aber auch komplizierter. Kompaktleuchtstofflampen falsch eingesetzt: Bis zu 80% weniger Licht.”* (VDEW, 1989).

Im Zuge dieser Veränderungen sind Schritt für Schritt die Ausprägungen aller Güte-merkmale der Beleuchtung verändert worden. So beträgt heute die für eine eventuelle Reflexblendung maßgebliche Leuchtdichte nicht mehr etwa  $2.000 \text{ cd/m}^2$  wie bei der Trübglaswannenleuchte, sondern etwa  $15.000 \text{ cd/m}^2$  bei neuen Lampen mit dünnem Kolben und etwa  $40.000 \text{ cd/m}^2$  bei Kompaktleuchtstofflampen bzw. bei der neuesten Lampengeneration, den T5-Lampen. Der für die Schattigkeit maßgebliche Faktor ist nicht mehr 0,5, sondern liegt an jedem zweiten Arbeitsplatz unter der Grenze von 0,3, die nach DIN 5035 Teil 1 nicht unterschritten werden soll, damit keine Schlagschatten in den Gesichtern entstehen. Durch den Einbau der tiefstrahlenden Leuchten ist der diffuse Anteil der Beleuchtung auf ca. 10% heruntergegangen, wodurch die Decke nur noch eine geringe Leuchtdichte besitzt. Auch die Wände besitzen nur noch eine geringe Leuchtdichte, weil der Hauptteil des Lichts auf die als Nutzfläche definierte horizontale Fläche gelenkt wird.

Somit wurde letztlich eine Beleuchtung zum “Standard“, die im Jahre 1975 im “Handbuch für Beleuchtung“ wie folgt kommentiert wird: *“Verspiegelte Raster mit stark tiefstrahlender Lichtverteilung sind dagegen nur in Ausnahmefällen am Platz. Sie erzeugen harte Schlagschatten und ergeben ein unbefriedigendes Raumbild (dunkle Decke), wenn sie nicht mit anderen Beleuchtungsarten kombiniert sind.”* (Spieser u.a., 1975). Mit der Ausgabe von DIN 5035 Teil 7 wurde somit jene Lichtverteilung für die künftige Bürobeleuchtung bevorzugt, gegen die gute Gründe schon im Jahre 1975 in einem von den Lichttechnischen Gesellschaften deutschsprachiger Länder (BRD, Österreich und Schweiz) herausgegebenen Standardwerk vorgebracht wurden.

Die Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen in der Beleuchtungstechnik, die die Kundenentscheidungen stark beeinflussen, heben fast immer auf die Beleuchtungsstärke in dieser Ebene ab, d.h. auf ein einziges Güte Merkmal von insgesamt fünf, die nach den Aussagen der Normen ja **alle** Beachtung finden sollen. Die faktisch erfolgte bevorzugte Behandlung eines einzigen Gütekriteriums zu Lasten der anderen bildet vermutlich den wichtigsten Grund für die ungünstige Beurteilung der heute in den Büros vorhandenen Beleuchtungsanlagen. Wie in Abschnitt “9.2.4 Beleuchtungsstärke” gezeigt wurde, besaß dieses Gütekriterium bereits im Jahre 1962 keine Bedeutung für übliche Büroaufgaben, wenn die Beleuchtungsstärke über 100 lx lag. Bei der heutigen Arbeitsweise mit Bildschirmen ist sie nicht nur unbedeutend, sondern zuweilen sogar hinderlich. Die Güte der Beleuchtung von Büros sowie ihre Wirtschaftlichkeit wird somit nach dem unwichtigsten der Güte Merkmale gemessen, wodurch andere, wesentlich wichtigere benachteiligt werden. So verdankt das Leuchtstofflampenlicht seinen schlechten Ruf als “kaltes Licht” zu einem erheblichen Teil dieser Denkweise. In den Jahrzehnten, als weiße Lichtfarben mit einer höheren Lichtausbeute verbunden waren als warmweiße, wurde wegen der Wirtschaftlich-

keit diesen der Vorzug gegeben, mochten die Benutzer der Beleuchtung noch so viel über das kalte Licht klagen. Niemand hat sie gefragt, ob sie nicht 400 lx in Warmweiß lieber hätten als 500 lx in Tageslichtweiß.

Es hat also eine Reihe von Entwicklungen stattgefunden, die die Beleuchtungssituation negativ beeinflussen. Im wesentlichen sind diese darauf zurückzuführen, daß man nicht **alle** Einflüsse des Lichts berücksichtigt hat, sondern **nur manche**, die den Fachleuten zum jeweiligen Zeitpunkt wichtig oder nützlich erschienen. Zufällig, wie es bei einer oberflächlichen Betrachtung der Entwicklung scheinen mag, erfolgte die Auswahl der *wichtigen* Kriterien jedoch keineswegs. Vielmehr wurde die Entwicklung bereits zu Beginn des Jahrhunderts vorgezeichnet, wie man z.B. an dem Beitrag von Couve (Couve, 1930) lesen kann: *“Wo jedoch regelmäßig Gruppen in größeren Arbeitsräumen bei künstlicher Beleuchtung tätig sind, ist allein die Allgemeinbeleuchtung am Platze.“* Den Ursprung von vielen Diagrammen, mit deren Hilfe man die Leistungszunahme des Menschen bei höherer Beleuchtungsstärke heute noch begründet, bildeten Untersuchungen der 20er Jahre, die im Dritten Reich eine Basis der Aktion *“Schönheit der Arbeit“* darstellten.

Auch das Bestreben von Fachleuten, dem Einzelnen die Beeinflussung seiner Umwelt durch mehr oder weniger rigide Normen zu entziehen, nahm seinen Ursprung bereits in den Anfängen des Jahrhunderts. Den kontinuierlichen Vorgang der Entwicklung der lichttechnischen Vorstellungen beschreibt Fritz folgendermaßen: *“Das Regulieren der Beleuchtungsverhältnisse im Arbeitsraume wird der freien Verfügung der Arbeitenden entzogen. An die Stelle der individuell handhabbaren Einzelplatzbeleuchtung tritt die zentral gesteuerte Allgemeinbeleuchtung. Über ihre Anzahl und zweckmäßige Verteilung verfügen nun Organisations- und Beleuchtungsspezialisten ... Mit der Einführung der zentralgesteuerten Allgemeinbeleuchtung im Arbeitssaal wird der Prozeß der Zentralisierung arbeitsräumlicher Verfügungsmacht vervollständigt. Die Fremdbestimmung der räumlichen Arbeitsbedingungen ist umfassend. Die persönliche Aneignung der unmittelbaren Arbeitsumwelt ist nun ganz und gar eingeschränkt. Die für die Büroarbeit notwendige Anpaßbarkeit an individuelle Beleuchtungsbedürfnisse fehlen. Individuelle Unterschiede der Sehstärken, die Altersabhängigkeit der Lichtbedürfnisse, sowie krankhafte Sehstörungen bleiben unberücksichtigt und der rigiden Uniformität der künstlichen Raumbelichtung ausgesetzt.“* (Fritz, 1983).

Zu erwähnen bleibt, daß die 1000 lx-Bewegung mit der Revision der DIN 5035 im Jahre 1979 still begraben wurde. Sie ist nur noch für Großraumbüros bei mittlerer Reflexion der Raumbegrenzungen erforderlich, und, da so gut wie niemand mehr Großraumbüros neu konzipiert, wird sie praktisch nicht mehr angewendet. Das Bedürfnis von älteren Mitarbeitern bei schwierigen Sehaufgaben nach hohen Beleuchtungsstärken ist jedoch geblieben. Auf der anderen Seite muß auch festgestellt werden, daß das gesetzte Ziel, Direktblendung zu reduzieren, besser in die Tat umgesetzt worden ist, als man hätte erwarten können.

Soweit zur Beschreibung derjenigen Entwicklungen, die das heute in der Praxis bestehende Bild der Beleuchtung prägen. Die Beleuchtungstechnik ist jedoch nicht bei diesem Stande stehengeblieben, sondern hat in den achtziger Jahren neue Kon-

zepte hervorgebracht, die zwar früher bereits angedacht waren, aber aus Kostengründen nicht realisierbar schienen. In den letzten fünf Jahren sind vermutlich mehr neue Leuchtenkonzepte entstanden als in den 20 Jahren davor. Leider halten jetzt die Anwender nicht mit der Innovationsfreudigkeit der Anbieter stand. So hat sich z.B. die Hansestadt Hamburg zum Ziel gesetzt, die Beleuchtung im gesamten Öffentlichen Bereich mit Leuchten zu sanieren, die bei gleicher Beleuchtungsstärke nur noch die Hälfte der Energiekosten der ersetzten Leuchten verursachen (Kiesel und Pinnau, 1997). Ein löbliches Unterfangen, wäre da nicht das Problem der Vorgehensweise: Es werden ohne Ansehen der Arbeit und des Gebäudes Standardleuchten eingesetzt - *“... Die tausendfach eingesetzte Leuchte wird durch die systematischen Sanierungsgeschäfte zum Massenprodukt”* -, die vom Installateur angebracht werden. Von Lichtqualität o.ä. ist bei dem veröffentlichten Konzept der Hansestadt Hamburg keine Rede, sondern nur von Kostensparung.

### **9.4.3 Zur Entwicklung der Beleuchtungstechnik in Innenräumen seit 1980**

Die Entwicklung der letzten 15 Jahre wurde u.a. dadurch geprägt, daß einerseits die tiefstrahlenden Leuchten technisch vollkommener wurden und andererseits Leuchten entwickelt wurden, die die oben genannten negativen Einflüsse beseitigen sollten, diesmal jedoch ohne die positiven Seiten - geringe bis nicht vorhandene Direktblendung - zu vernachlässigen. Im wesentlichen unterscheiden sich diese Leuchten von früheren dadurch, daß sie einen erheblichen Indirektanteil besitzen und somit günstigere Raumbedingungen schaffen. Bei zwei Arten dieser Leuchten ist es nicht mehr erforderlich, bei der Aufstellung des Arbeitsplatzes Rücksicht auf die Beleuchtungsanordnung zu nehmen (Indirektleuchten, “CRF”-Leuchten).

Darüber hinaus wurden seit Mitte der 80er Jahre neue Leuchten entwickelt, bei denen die Lampe vom Arbeitsraum aus gesehen praktisch oder ganz unsichtbar ist (“Sekundär“-Leuchten). Das Licht fällt über einen matten und großflächigen Reflektor auf die Arbeitsfläche.

Eine weitere Entwicklung dieser Jahre war die Entwicklung von Arbeitsplatzleuchten, die sich von üblichen “Tischlampen“ durch technische wie sicherheitstechnische Merkmale sehr stark unterscheiden. War die “Tischlampe“ ein Produkt, mit dem kein Lichttechniker etwas zu tun haben wollte, sind Arbeitsplatzleuchten heute Arbeitsmittel, die Gegenstand einer eigenen Norm sind (DIN 5035, Teil 8). Diese Norm definiert die erforderliche Qualität, um die gebrauchstaugliche Arbeitsplatzleuchte von der “Tischlampe“ zu unterscheiden.

Darüber hinaus zeichnete sich eine Entwicklung dahingehend ab, daß der Anwender heute im Gegensatz zu früher nicht mehr auf Standardleuchten angewiesen ist, die in den 60er Jahren aus wirtschaftlichen Gründen bevorzugt werden mußten. Heute kann ein Anbieter von Beleuchtungssystemen mit einem Leuchtentyp praktisch jede geforderte Lichtverteilung von tiefstrahlend bis indirektstrahlend innerhalb eines Leuchtensystems realisieren. Dies ist kein technisches Detail, sondern bedeutet eine

relativ große Freiheit für den Anwender, die Beleuchtungsqualität nach eigenen Vorstellungen zu beeinflussen, ohne sich dabei außerhalb des wirtschaftlich Vertretbaren zu begeben.

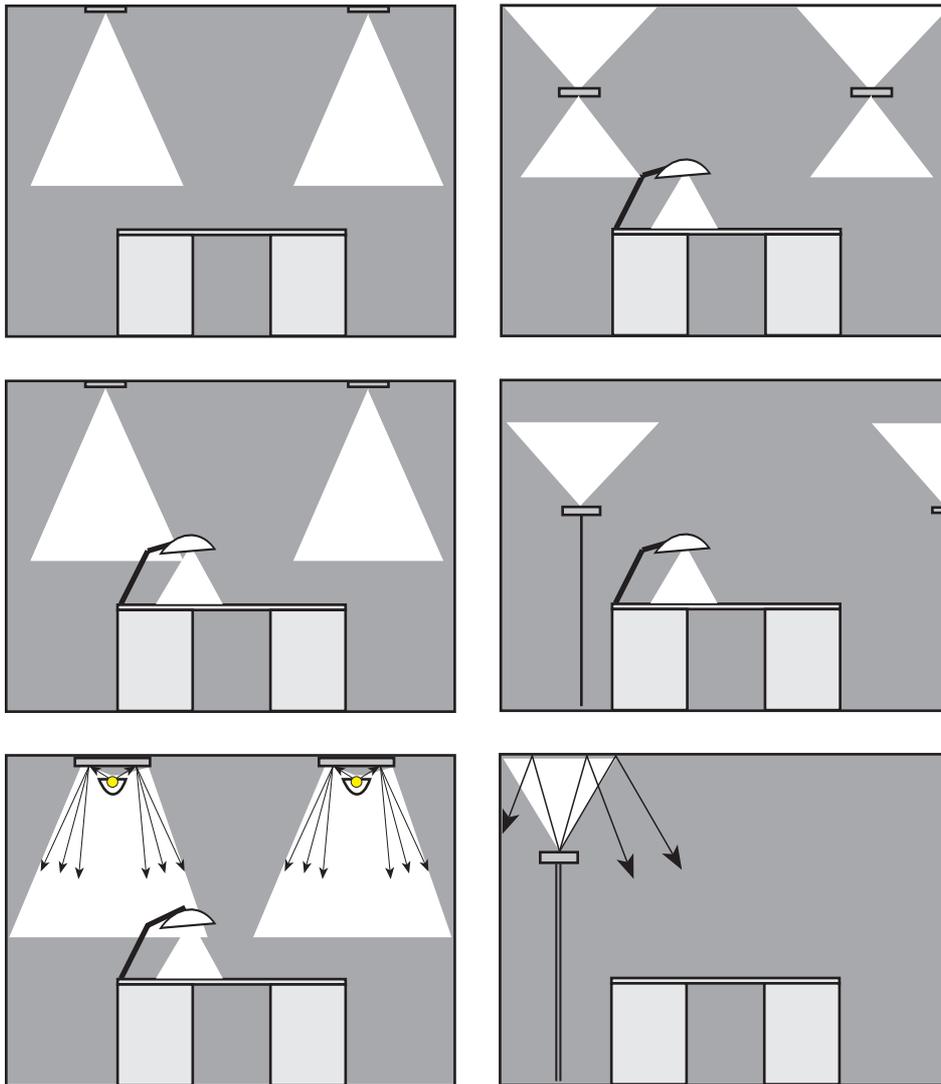
Infolge der Entwicklung der Leuchtentechnik und der Lampentechnik ist es möglich geworden, mehrere Arten der Beleuchtung wirtschaftlich zu realisieren. Die prinzipiell unterschiedlichen Arten sind in Bild 9.14 dargestellt.

- *Direktbeleuchtung mit Rasterleuchten*  
in der Regel mit Leuchtstofflampen bestückt, in der BAP-Ausführung stark entblendet ( $200 \text{ cd/m}^2$  unter  $50^\circ$  oder  $60^\circ$ ), volle Lampenleuchtdichte bei Einblick von unten sichtbar
- *Direkt-Indirekt-Beleuchtung mit Rasterleuchten*  
in der Regel mit Leuchtstofflampen bestückt, indirekter Lichtstromanteil ca. 30%, ähnlich entblendet wie BAP-Leuchten, abgependelt unter **matter** Decke, in der Ausführung "CRF" indirekter Lichtstromanteil  $>50\%$  und stark geminderte Leuchtdichte bei Einblick von unten (Arbeitsplatzleuchte optional)
- *Direkt-Direktbeleuchtung mit Raster- und Arbeitsplatzleuchten*  
wie oben, jedoch mit zusätzlicher Arbeitsplatzleuchte
- *Indirekt-Direkt-Beleuchtung mit zwei getrennten Komponenten*  
Raumbeleuchtung indirekt, Arbeitsplatzleuchte zum Konzept gehörend, Indirektleuchte auch mit Hochdrucklampen
- *Sekundärleuchte mit eigenem Reflektor*  
großflächiger, **matter** Reflektor, kein direktes Licht von der Lampe in der Nutzfläche, geminderte Leuchtdichte; Reflektor kann auch ein Lichtsegel bzw. ein gesondertes Deckenelement sein.
- *Sekundärleuchte mit Decke als Reflektor*  
Kombination von nach oben strahlender Leuchte und teilweise oder weitgehend **gerichtet reflektierender** Decke, bestückt mit Hochdrucklampen oder

Leuchtstofflampen (nicht zu verwechseln mit Indirektleuchten, die eine matte Decke anleuchten).

Bild 9.14 Realisierbare Arten der Beleuchtung

- |              |  |
|--------------|--|
| oben links   | Direktbeleuchtung, Deckenmontage                                 |
| oben rechts  | Direkt-Indirekt-Beleuchtung, Decken- und Arbeitsplatzmontage     |
| Mitte links  | Direkt-Direkt-Bel., Decken- und Arbeitsplatzmontage              |
| Mitte rechts | Indirekt-Direkt-Beleuchtung, beliebige Montage, auch an der Wand |
| unten        | Zwei Formen für Sekundärleuchten                                 |



#### 9.4.4 Die Arbeitsplatzleuchte als neue Leuchtengattung

Im Prinzip wäre jede Leuchte für die Realisierung einer "Einzelplatzbeleuchtung" geeignet, die als "Beleuchtung einzelner Arbeitsplätze zusätzlich zu einer Allgemeinbeleuchtung" definiert ist. Daß es dennoch nötig war, die Bedingungen für eine Einzelplatzbeleuchtung in einer eigenen Norm festzulegen, liegt daran, daß beruflich zu

nutzende Arbeitsmittel bestimmten Qualitätskriterien genügen sollten, die man z.B. an eine Wohnraumleuchte nicht zu stellen braucht. Zudem haben unsere vor den achtziger Jahren durchgeführten Untersuchungen gezeigt, daß man mit Tischleuchten beliebiger Art häufig mehr Probleme schafft, als daß man welche behebt. Nicht zuletzt diese Studie (s. Kap. 7) hat gezeigt, daß Tischleuchten zwar allgemein beliebt sind, aber der Zwang, mit ihnen als alleinige Beleuchtung auskommen zu müssen, mehr gesundheitliche Beschwerden nach sich zieht, als jede andere Beleuchtungsart zu verursachen vermag.

Folgerichtig wurde bei der Festlegung der Kriterien, denen eine Arbeitsplatzleuchte genügen sollte, die Existenz einer allgemeinen Raumbelichtung vorausgesetzt. Diese wird angesichts der wirtschaftlichen und sonstigen Vorteile, die Leuchtstofflampen bieten, fast immer eine mit solchen Lampen bestückte Beleuchtung sein. Eine Arbeitsplatzleuchte sollte deswegen mit einer Raumbelichtung auf der Basis von Leuchtstofflampen verträglich sein.

Die "Arbeitsplatzleuchte" wurde definiert als "*eine Leuchte für eine Einzelplatzbeleuchtung ..., die einem Arbeitsplatz zugeordnet ist*". Sie dient also als "Individualbeleuchtung" für einen bestimmten Arbeitsplatz im Gegensatz zu einer Raumbelichtung, die nicht nur einen Arbeitsplatz mit Licht versorgen soll, sondern u.a. auch Verkehrswege im Raum.

Ein weiteres Kriterium ergibt sich daraus, daß eine sinnvolle "Einzelplatzbeleuchtung" eine Individualbeleuchtung für Personen ist, von denen zwar jeder das gleiche Recht auf die Erfüllung individueller Bedürfnisse hat, aber gerade deswegen hierdurch keine Nachteile für die Kollegen verursachen darf, mit denen man zusammenarbeitet. So muß eine Arbeitsplatzleuchte so beschaffen sein, daß ihre Nutzung bei der engstmöglichen Zusammenstellung von zwei Arbeitstischen (Kopf-an-Kopf) keine Störungen für den Nachbararbeitsplatz verursachen darf. Hieraus ergeben sich bestimmte Anforderungen an die Entblendung und Einschränkungen für die Einstellbarkeit der Leuchte, die bei einer Nutzung im Einzelraum unbedeutend wären. So darf die mittlere Leuchtdichte der unter Blickwinkeln von 30° oberhalb der Horizontalen gesehenen leuchtenden Flächen  $1.000 \text{ cd/m}^2$  nicht überschreiten. Sie muß zudem unter  $200 \text{ cd/m}^2$  liegen, wenn die Leuchte sich näher als 800 mm vor den Augen des Benutzers befindet.

Da der kritischste, aber zugleich sinnvollste Einsatz einer Arbeitsplatzleuchte an Bildschirmarbeitsplätzen erfolgt, sollte sie zudem keine Reflexblendung auf dem Bildschirm verursachen, wenn man sie bestimmungsgemäß benutzt. Dieser Aspekt stellt vermutlich das wichtigste Unterscheidungskriterium zwischen einer beliebigen Tischleuchte und einer Arbeitsplatzleuchte dar. Er bedeutet, daß ein Arbeitsmittel, das einen gewissen Nutzen entfalten soll, hierbei möglichst geringe Nebenwirkungen negativer Art verursachen sollte. Aus diesem Gesichtspunkt ergeben sich Anforderungen an die Lichtausstrahlungscharakteristik der Arbeitsplatzleuchte.

Ein weiterer Gestaltungsgesichtspunkt ergibt sich aus der Zweischneidigkeit der Wirkung von Licht: Die Ausleuchtung eines Objekts verbessert zwar dessen Sichtbarkeit, verschlechtert aber gleichzeitig die Erkennbarkeit benachbarter Objekte, die

nicht ebenso gut beleuchtet sind. Deswegen muß eine Arbeitsplatzleuchte eine Mindestfläche mit einer hinreichenden Gleichmäßigkeit ausleuchten und darf keine spitze Lichtstärkeverteilung aufweisen. Diese Fläche muß groß genug sein, damit der Benutzer möglichst selten sein Sehobjekt bewegen bzw. die Arbeitsplatzleuchte einstellen muß, um richtig sehen zu können. Diese Mindestfläche (Hauptarbeitsfläche) wurde für übliche Büroarbeiten zu 600 mm x 600 mm festgelegt, welche vier DIN A4-Blättern entspricht. Man könnte innerhalb dieser Fläche zwei Dokumente, beidseitig bedruckt, hintereinander anordnen und beidseitig lesen, ohne sie "ins rechte Licht" rücken zu müssen. Innerhalb dieser Hauptarbeitsfläche muß der Mindestwert der Beleuchtungsstärke über 10% des Maximalwerts liegen. Gute Arbeitsplatzleuchten erreichen wesentlich bessere Werte.

Da Arbeitsplatzleuchten wegen der erforderlichen Kompaktheit des Leuchtenkörpers i.d.R. mit Lampen hoher Leuchtdichte bestückt sein werden, können sie Reflexblendung auf Sehobjekten verursachen, die sich in der waagrechten Ebene befinden. Daher kommt es wesentlich darauf an, daß die Leuchte entweder verstellbar ist oder so angeordnet, daß die Blendung vermieden wird. Die Norm DIN 5035 Teil 8 läßt zwar auch nicht verstellbare Arbeitsplatzleuchten zu, jedoch wird es zur Vermeidung der Reflexblendung i.d.R. erforderlich sein, daß die Leuchte verstellbar ist. Der Hersteller muß die lichttechnisch geeigneten Aufstellungen der Leuchte angeben.

Das Flimmern muß durch geeignete Maßnahmen vermieden werden. Welche diese im einzelnen sein sollten, wird in der Norm nicht spezifiziert, sondern beispielhaft angegeben. Der Anwender sollte elektronischen Vorschaltgeräten den Vorzug geben, und bei anderweitigen technischen Lösungen eine gleichwertige Maßnahme zur Vermeidung des Flimmerns fordern.

Da das Raumklima und die thermische Behaglichkeit durch die Arbeitsplatzleuchte beeinflußt werden können, soll eine Planung der Einzelplatzbeleuchtung das Raumklima berücksichtigen. Dies kann entfallen, wenn die Leistungsaufnahme der Leuchte 20 W nicht übersteigt. Die Leistungsaufnahme der betriebsfertigen Leuchte muß der Hersteller angeben.

Der Anwender sollte darauf achten, daß die Temperatur des Leuchtenkopfes möglichst gering ist und 40 °C nicht weit übersteigt. Dies ist zum einen sinnvoll, um einen Schreckeffekt beim Anfassen der Leuchte zu vermeiden, der bereits weit unter den zulässigen Temperaturen für Oberflächen eintritt. Die letzteren sind mit Rücksicht auf eine Verbrennungsgefahr festgelegt worden und berücksichtigen nicht die unangenehme Wirkung, die von Flächen hoher Temperatur verursacht werden kann, die nicht so hoch sind, daß sie eine Verbrennungsgefahr darstellen. Der andere Grund für möglichst geringe Oberflächentemperaturen besteht in dem lästigen Effekt der Wärmestrahlung. Diese sollte so gering wie möglich bleiben.

Bei Arbeitsplatzleuchten mit Kompaktleuchtstofflampen erübrigen sich solche Überlegungen in der Regel, jedoch sollte der Anwender bei anderen Lampen (z.B. Halogenglühlampen) prüfen, ob die Leuchten bei längerer Einschaltdauer nicht zu warm werden. Bei einigen Leuchten verfärbt sich sogar der Leuchtenkopf nach längerer Benutzung unter der Wärmeeinwirkung.

Wenn man die Raumflächen so weit aufhellt, daß ein akzeptables Leuchtdichtegleichgewicht zwischen dem Innenraum und der Außenwelt herrscht, entsteht in der Arbeitsebene eine Beleuchtungsstärke von ca. 200 lx bis 300 lx. Gute Arbeitsplatzleuchten erreichen in der Hauptarbeitsfläche eine mittlere Beleuchtungsstärke von 500 lx bis 750 lx mit recht geringem Energieaufwand. Die Gesamtbeleuchtungsstärke am Arbeitsplatz unter Berücksichtigung der Raumbelichtung beträgt dann etwa 1.000 lx, selbst wenn der Raum nur die Mindestbeleuchtungsstärke für ständig besetzte Arbeitsräume nach DIN 5035 Teil 2 (200 lx) aufweist oder entsprechend anderweitiger Anforderungen sogar übersteigt. Somit würde die aus Gründen der Sehleistung erforderliche Beleuchtungsstärke von etwa 100 lx um den Faktor 10 überboten werden. Der Sehkomfort nimmt hierdurch zu, nicht unbedingt deshalb, weil die Erkennbarkeit von Sehobjekten aufgrund einer höheren Leuchtdichte steigt, sondern insbesondere durch die Gerichtetheit der Beleuchtung. Der Gesamteffekt wird daher i.d.R. wesentlich größer sein als bei einer Erhöhung der Allgemeinbeleuchtung um die gleiche Größenordnung. Letztlich realisiert man damit das Ziel der "1000 lx-Bewegung" der sechziger Jahre, allerdings ohne die "Lichtsoße".



## **10 Ausgewählte Ergebnisse des Teilprojekts 1**

### **10.1 Zur Durchführung des Teilprojekts**

Das Teilprojekt 1 setzt sich zusammen aus den Erhebungen zur Beleuchtungstechnik, die zwischen 1979 und 1989 im Rahmen von arbeitswissenschaftlichen Untersuchungen in ca. 80 Betriebsprojekten im Verwaltungsbereich durchgeführt worden sind.

Das Ziel dieser Untersuchungen bestand u.a. darin, die Beanspruchung der Mitarbeiter und Mitarbeiterinnen in diesen Unternehmen mit Hilfe eines Fragebogens zu erfassen, mögliche Ursachen für visuelle Belastungen zu ermitteln und geeignete Abhilfemaßnahmen vorzuschlagen. Anders als in üblichen Forschungsprojekten zum Thema Beleuchtung, deren Ergebnisse zwar theoretisch wünschenswerte, jedoch zum Zeitpunkt der Untersuchung möglicherweise technisch nicht realisierbare Lösungen sein können, mußten bei diesem Projekt ausschließlich umsetzbare Ergebnisse erzielt werden, bei denen die vorhandene Raumarchitektur und die verfügbare Technik eine wichtige Rolle spielten.

Die gefundenen Lösungen waren nicht nur beleuchtungstechnischer Natur, da die Beleuchtung von Arbeitsräumen nicht die alleinige Ursache visueller Probleme darstellt, selbst wenn es den Betroffenen oft so erscheint. Die in Abschnitt 10.5 beschriebenen Fallstudien geben in verkürzter Form die Ergebnisse der Untersuchungen wieder, bei denen die Beleuchtung als Ursache eine eindeutig belegbare Rolle gespielt hat. Daß die Fallstudien generalisierbare Ergebnisse gebracht haben, kann man beispielsweise daran erkennen, daß nach Veröffentlichung von Teilergebnissen ein lebhaftes Leserecho einsetzte, wobei viele Leser das Gefühl hatten, die Untersuchung hätte in ihrem Betrieb stattgefunden. Die Diskussion wurde lebhafter, nachdem die Ergebnisse auch großes Medieninteresse geweckt haben. Das Thema stieß auf ein derart großes Interesse, das bis heute anhält, daß dieses Kapitel nur mit geringen redaktionellen Änderungen wieder publiziert wird.

### **10.2 Zur Befragungsmethode**

Bei den Fallstudien wurde ein standardisierter Fragebogen verwendet, der alle Aspekte der Büroarbeit, mit Ausnahme der Bezahlung, abfragt. Dieser Fragebogen wurde im Rahmen des Projekts "Bildschirmarbeitsplätze" des Bundesministeriums für Arbeit und Sozialordnung entwickelt (Näheres s. Çakir u.a., 1978) und später für weitere Bürotätigkeiten angepaßt (Çakir u.a., 1983).

Mit dem Fragebogen werden die in der folgenden Tabelle angeführten Faktoren erfaßt. Die zusätzlich erfolgte umfassende Erhebung aller für die Belastung des Menschen bedeutsamen Faktoren und deren statistischen Abhängigkeiten neben persönlichen Merkmalen und der Tätigkeit erlaubt es, zu analysieren, ob und in welchem Maße die Beurteilung der Arbeitssituation auf die Arbeit selbst, auf persönliche Merkmale oder auf physikalische Umgebungsbedingungen zurückgeführt werden können.

<b>PERSÖNLICHE DATEN</b>	<b>Alter, Geschlecht, Brille, Körpergröße, Tätigkeit, Arbeitszeit u.ä.</b>
<b>Beurteilung der Arbeitsbedingungen</b>	
ANFORDERUNG	Anforderungen der Arbeit an die Aufmerksamkeit und Konzentrationsfähigkeit, Ausdauer und Reaktionsfähigkeit
ÜBERFORDERUNG	Überforderung durch die Arbeit, z.B. Arbeitstempo bzw. Schwierigkeitsgrad der Tätigkeit
UNTERFORDERUNG	Zu geringe Anforderungen, Monotonie, Langeweile, geringe Verantwortung
HANDLUNGS-SPIELRAUM	Persönliche Planbarkeit der Tätigkeit, Störungen des Arbeitsablaufs u.ä.
QUALIFIKATION	Übereinstimmung des Anforderungsprofils der Tätigkeit mit der persönlichen Qualifikation
PAUSEN	Beurteilung von Arbeitspausen
LÄRM	Störungen durch Gespräche, Maschinenlärm
KLIMA	Beurteilung des Raumklimas
BELEUCHTUNG	Annehmlichkeit der Beleuchtung und Störfmpfindung
ARBEITSMITTEL	Stuhl, Arbeitstisch, Arbeitsgeräte, technische Störungen
ERMÜDUNG	Subjektive Ermüdung, Verlangen nach Ruhe und Entspannung, Aktivität
AUGENBELASTUNG	Asthenopische Beschwerden, die sich als Beanspruchung der Augen bemerkbar machen
GESUNDHEITLICHE BEEINTRÄCHTIGUNG	Körperliche Beschwerden wie Rückenschmerzen, Kopfschmerzen u.ä.
ARZTBESUCHE	Arztbesuche aufgrund von gesundheitlichen Beschwerden (Augen-, Rücken-, Kopfschmerzen, Sehnenscheidenentzündungen u.ä).

Wie auch in früheren Untersuchungen festgestellt, besteht zwischen dem Faktor „*Ermüdung*“ und dem Verhalten der Befragten im Bereich des Privatlebens ein enger Zusammenhang, d.h., je höher sie ihre Ermüdung einschätzen, desto geringer sind die in der Freizeit entfaltenen Aktivitäten (Reuter, 1979). Der Faktor wird zu 65% bis 76% (multiple Korrelation) von den weiteren Faktoren des Fragebogens bestimmt. Es besteht also ein statistisch nachweisbarer starker Zusammenhang.

Im Rahmen dieser Untersuchungen wurde auch festgestellt, daß zwischen körperlicher Beanspruchung und den für die Direktblendung maßgeblichen lichttechnischen Größen eine nachweisbare Beziehung besteht (Çakir u.a., 1978). Demnach wäre zu erwarten, daß die im Laufe der Entwicklung der Beleuchtungstechnik reduzierte Direktblendung sich positiv in der Beanspruchung niederschlagen muß, wenn die gleichzeitig erfolgte Änderung anderer Gütemerkmale der Beleuchtung unbedeutend bzw. weniger wirksam sind als die reduzierte Direktblendung.

### **10.3 Allgemeine Aussagen**

#### **10.3.1 Abweichung der praktischen Verhältnisse von den Annahmen in der Beleuchtungstechnik**

Bei der überwiegenden Zahl der von uns untersuchten Arbeitsplätze (90% und mehr) war die Beleuchtung ohne Zuhilfenahme lichttechnischer Beratung geplant und installiert worden. Die Verantwortlichen in den Betrieben gaben an, die eigentliche Entscheidung über die Beleuchtung wäre mit der Konzeption des Gebäudes durch den Architekten gefallen, ihre Entscheidungsspielräume wären durch die Dekkengestaltung einerseits und Kostenvorstellungen des Bauherrn andererseits praktisch vorgegeben gewesen, und das auch in relativ großen Neubauprojekten (z.B. bei zwei Hauptverwaltungen mit 700 bzw. 8.000 Arbeitsplätzen). In einem besonders eklatanten Fall war es nicht einmal möglich, die Lampen- und Leuchtauswahl frei durchzuführen, weil man nur noch Leuchten einsetzen konnte, die für Lampen mit einer Länge von einem Meter geeignet waren.

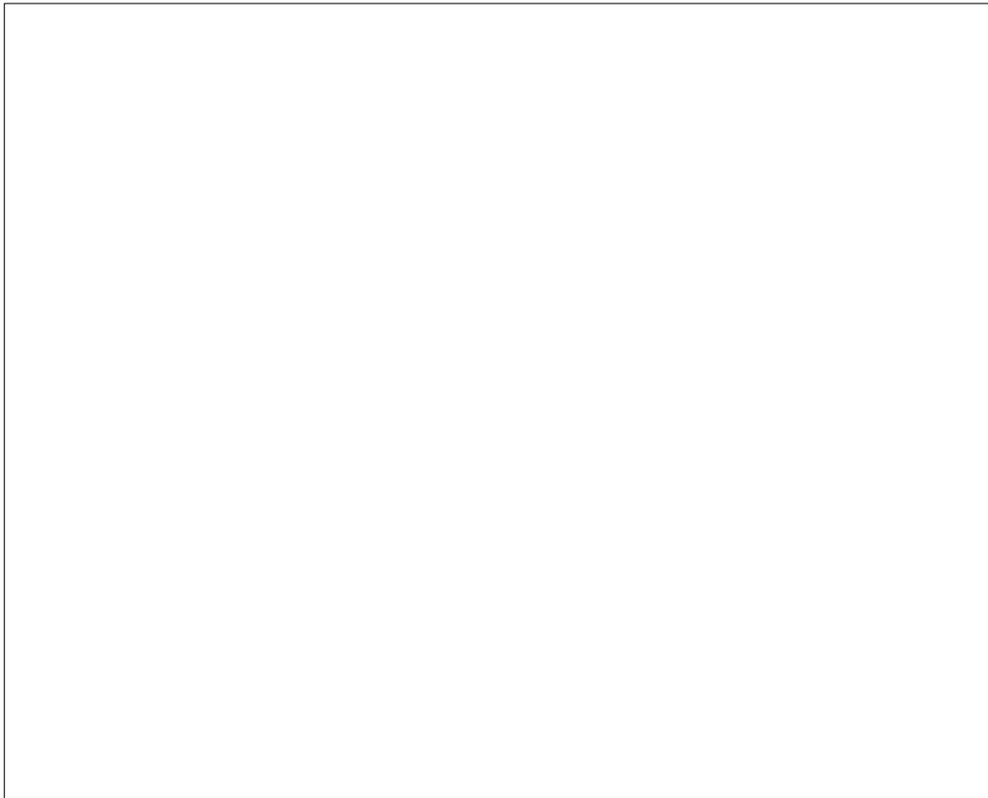
In Sanierungsfällen, die heute ca. 90% der Neuinstallationen von Beleuchtungssystemen ausmachen, bildet die vorhandene Raumarchitektur naturgemäß den maßgeblichen Einflußfaktor bei der Wahl der Beleuchtung.

Dies steht in klarem Widerspruch zu den Annahmen der Beleuchtungstechnik, die sich im Mittelpunkt des Geschehens wähnt: In der idealisierten Form der Zusammenarbeit des Lichttechnikers und der weiteren Beteiligten (s. Bild 10.1) sollte das Lichtkonzept ein Teil des architektonischen Konzepts werden. So schön das Bild auch aussehen mag, die Praxis sieht leider anders aus (s. Tab. 10.1, Çakir, 1986). Außerdem fehlen in diesem Bild Personen, die darüber hinaus in die Planung mit einbezogen werden sollten und müssen: Der Sicherheitsingenieur, der Betriebsrat, der Technische Aufsichtsbeamte der zuständigen Berufsgenossenschaft und Vertreter der Belegschaft, die in das künftige Büro einziehen wird.

Die Beteiligten der Entscheidungsprozesse haben nur geringe Freiheitsgrade, zumal heute neue Beleuchtungsanlagen in den meisten Fällen nicht für neue Gebäude geplant werden, sondern für Sanierungsobjekte. Bei diesen Projekten ist der Freiraum für Entscheidungen noch enger als bei Neubauten.

Um eigene Wege zu gehen und ein gegenüber Mindestnormen verbessertes Konzept entwickeln zu können, müßte der Praktiker im Betrieb mindestens die relevanten Normen inhaltlich beherrschen und die für seinen Anwendungsfall notwendigen

**Bild 10.1** Idealisierte Darstellung der Zusammenarbeit zwischen den an der Planung beteiligten Personen und Gruppen und dem Lichttechniker. Das Bild verdeutlicht das Ausmaß der Abstimmungsprozesse, die der Architekt koordinieren muß (Quelle: FGL)



Verbesserungen ermitteln. Weiterhin muß er sie dem Bauherren gegenüber begründen. Dies gestaltet sich sehr schwierig, zumal es für die Planung neuer Bürobeleuchtung, die meistens sinnvollerweise für Bildschirmarbeit ausgelegt wird, bis vor kurzem nicht eine, sondern gleich zwei Normen gab. Nach der Norm DIN 5035 Teil 7 müßte er z.B. die künftig in jedem Raum einzusetzenden Bildschirmgeräte kennen, da die notwendigen Eigenschaften der Beleuchtung von den Bildschirmeigenschaften - Diagonale, Krümmung der Röhre, Neigung u.ä. - abhängen. Außerdem darf er, nimmt er die Norm ernst, Bildschirmarbeitsplätze nur im Rauminnen aufstellen (s. Bild 10.2: Anm.: *Die angeführten Bilder stammen aus dem Entwurf DIN 5035-7 (04/86) . Sie wurden nach Einsprüchen verändert bzw. weggelassen, allerdings ohne eine Änderung bei dem Beleuchtungskonzept.*). Was soll mit dem restlichen Raum passieren, wenn der Betrieb nur noch Arbeitsplätze mit Bildschirmgeräten installieren will oder gar muß? Arbeitsräume, die so viel freie Fläche aufweisen, wie auf diesen Bildern dargestellt, so wünschenswert es auch wäre, gibt es leider in der Praxis nicht, man muß eher von Raumnot sprechen. Darüber hinaus versprechen auch andere Faktoren, so z.B. die langfristige Kostenentwicklung, sprich Büroflächenmiete, keine Linderung des Problems, sondern eher das Gegenteil. Abgesehen davon will niemand in dieser Anordnung - Klassenzimmer - arbeiten.

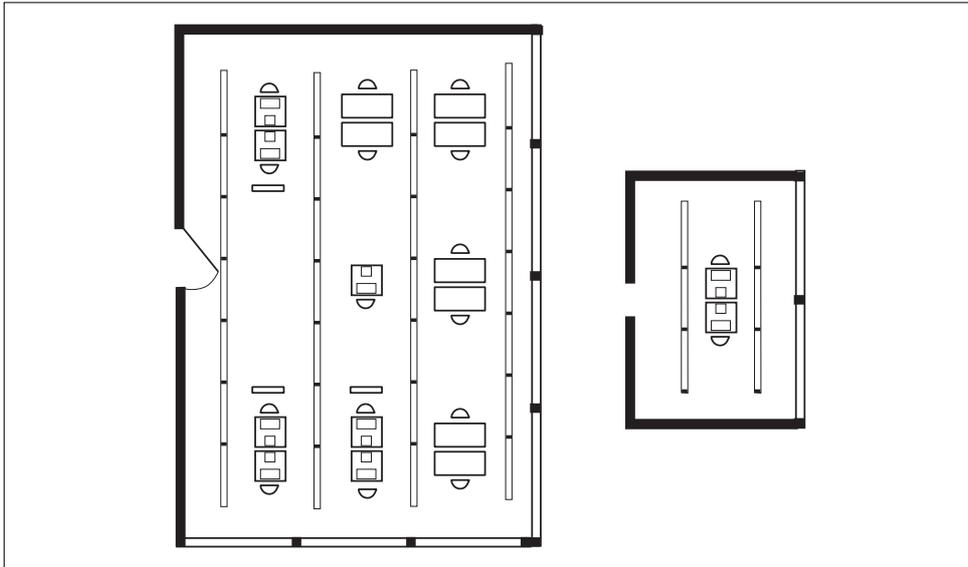
Tab. 10.1 Unterschiede der praktischen Verhältnisse zu der idealisierten Darstellung der Zusammenarbeit zwischen den an der Planung beteiligten Personen und Gruppen und dem Lichttechniker

Theoretische Planung	Tatsächliche Erfahrungen
Der Bauherr entscheidet, daß Licht entsprechend seiner Bedeutung eingesetzt wird.	Der Bauherr überläßt die Planung dem Architekten, dieser meistens einem Ingenieurbüro oder Installateur. Eine sorgfältige lichttechnische Planung findet i.a. nur bei Großprojekten statt. Zudem wird bei Mietbüros nach den geringsten Baukosten geplant, weil der Bauherr die spätere Nutzung nicht kennt. Bei Leasingbüros kennt der Bauherr zwar den späteren Nutzer, läßt aber die Beleuchtung nach eigenen Interessen planen.
Der Architekt sorgt für gute Kooperation bei der Planung.	Der Architekt muß die z.T. widersprüchlichen Interessen des Deckenbauers, des Akustikers, des Klimatechnikers und des Lichttechnikers mit den Kostenvorstellungen des Bauherrn in Einklang bringen.
Der Büroorganisator beschreibt dem Lichttechniker die Sehaufgabe in allen Raumzonen.	Der Büroorganisator weiß nicht, welche Büromaschinen wie häufig in den nächsten 5-10 Jahren eingesetzt werden und kann daher die Sehaufgaben nicht vorhersehen.
Der Arbeitsmediziner formuliert Erkenntnisse, die vom Lichttechniker berücksichtigt werden.	Der Arbeitsmediziner zieht DIN 5035 heran, die ohne eine entscheidende Mitwirkung von Arbeitsmedizinern entstanden ist. Er kann anderslautende Empfehlungen nicht aussprechen, da diese Norm die Grundlage der zuständigen Arbeitsstättenrichtlinie bildet.

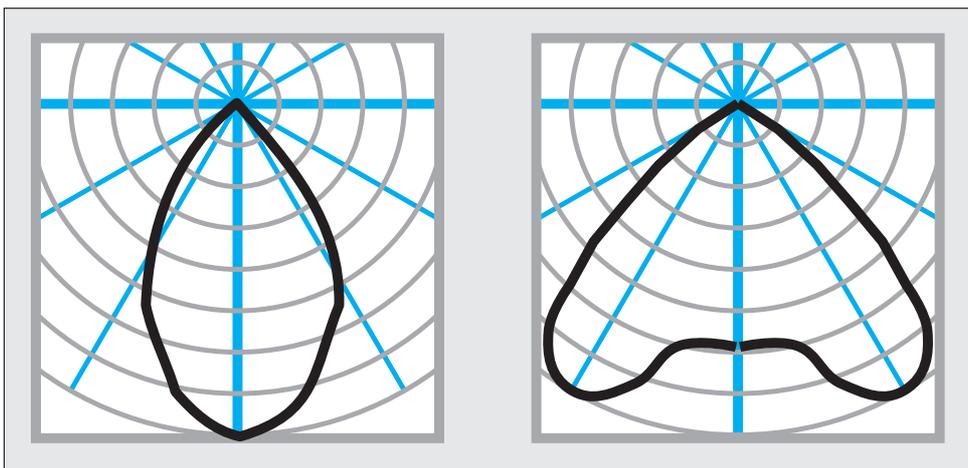
Zu ergänzen bleibt, daß die Lichtstärkeverteilung der neuen Leuchten für Bildschirmarbeitsplätze nicht mehr die Form haben, die bei dieser Arbeitsplatzanordnung für eine optimale Vermeidung der Reflexblendung sorgen sollte (s. Bild 10.3). Diese Leuchten beleuchten die für die Arbeitsplätze vorgesehenen Flächen mit einer geringeren Beleuchtungsstärke als jene Flächen, auf denen kein Arbeitsplatz stehen soll. Wenn die unten dargestellte Anordnung sachlich begründet ist, ist die angegebene Beleuchtung keine Allgemeinbeleuchtung, da sie nicht an allen Stellen des Raums gleiche Sehbedingungen schafft. Das sollte sie aber nach DIN 5035 Teil 1 sein.

Die im Kapitel 9 dargestellte Entwicklung der Beleuchtungstechnik, die wenig Rücksicht auf die vorhandenen Büroraumformen genommen hat, sowie die nicht vorhandene Koordinierung der Normen für Beleuchtung und für das Bauwesen bilden die eigentlichen Gründe für die hier dargestellte Diskrepanz zwischen der (lichttechnischen) Theorie und der Realität, mit der sich alle Beteiligten und Betroffenen auseinandersetzen müssen.

**Bild 10.2** Empfohlene Anordnungen von Bildschirmarbeitsplätzen in großen und kleinen Arbeitsräumen (DIN 5035 Teil 7 Entwurf, das linke Bild wurde später verändert, das rechte entfernt)



**Bild 10.3** Lichtstärkeverteilung von BAP-Leuchten und einer für die Vermeidung von Reflexblendung günstigen Verteilung (aus dem selben Katalog eines Herstellers entnommen)



### 10.3.2 Problemstellung aus der Sicht des Organisators

In der Praxis hat der Organisator nicht nur das Beleuchtungsproblem zu lösen, sondern gleich ein Bündel Probleme zu behandeln, die eng mit der Raumgestaltung und -besiedlung zusammenhängen. So klappt zwischen den Lösungsmodellen, die er

braucht, und dem Leitbild der Beleuchtungsnormen eine weite Lücke. Diese Lücke ergibt sich aufgrund folgender Forderungen und Gegebenheiten, auf die im folgenden eingegangen wird:

- Variabilität der Arbeitsplatzaufstellung
- Verkettung von Arbeitstischen
- Dominanz der Technik bei der Büroraumgestaltung
- Flächenknappheit
- Unterschiedlicher Lichtbedarf einzelner Mitarbeiter

### ***Variabilität der Arbeitsplatzaufstellung***

Das Büro unterliegt seit etwa zwanzig Jahren einem in seiner Dynamik noch nie gekannten Wandel, der u.a. erfordert, daß Arbeitsplätze entsprechend den organisatorischen Gegebenheiten variabel aufgestellt werden können. Wer einzeln und wer im Team arbeiten soll, läßt sich nicht vorher festlegen, und eine gefundene Lösung kann nicht ewig beibehalten werden. Deswegen besitzt jede Einschränkung der Arbeitsplatzaufstellung durch äußere Maßnahmen nur wenig Chancen, in der Praxis beachtet zu werden.

**Folge:** Auch wenn der Organisator die Arbeitsplätze für die Beleuchtung günstig, d.h. "normgerecht", für den Arbeitsablauf jedoch ungünstig aufstellt, stellen die Mitarbeiter die von ihnen gewünschte "Ordnung" wieder her.

### ***Verkettung von Arbeitstischen***

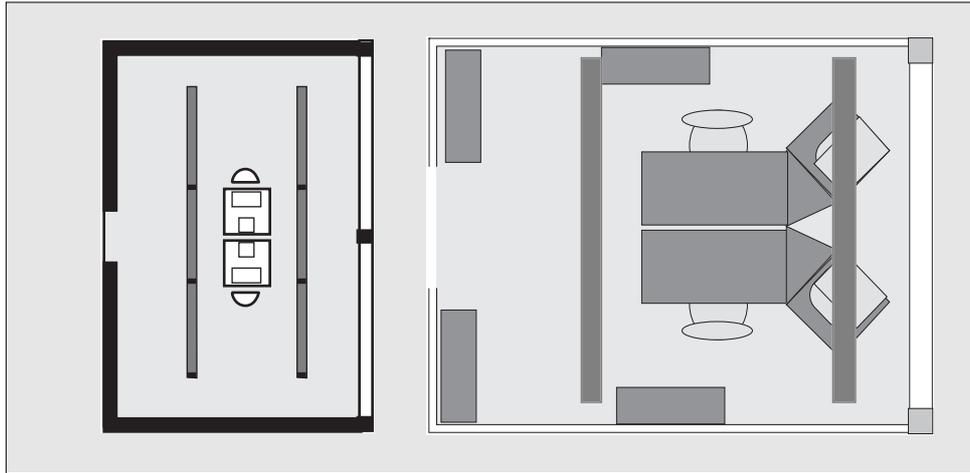
Arbeitstische besitzen heute längst nicht mehr Standardmaße, sie sind verkettbar und erstrecken sich meistens auch unter den Leuchten. Für viele Arbeitsräume ist daher die in Bild 10.2 gezeigte Anordnung der Norm DIN 5035 Teil 7 reine Theorie. Das war sie allerdings bereits auch, bevor man die Normen für die Beleuchtung von Bildschirmarbeitsplätzen in Angriff nahm.

**Folge:** Auch bei ordnungsgemäßer Planung der Beleuchtung kann nicht sichergestellt werden, daß die Arbeitsplätze auch dort stehen und genutzt werden, wo sie stehen sollen.

### ***Dominanz der Technik in der Büroraumgestaltung***

Moderne Technik in alte Gebäude zu integrieren, bedeutet unter anderem auch, daß man die Versorgung des Arbeitsplatzes mit Strom- und Datenleitungen nicht so vornehmen kann, wie man es gerne tun würde. Arbeitsplätze werden i.a. bis auf wenige Ausnahmen wie in Bild 10.4 rechts aufgestellt und von der Fensterseite her kabeltechnisch versorgt. Würde man die Arbeitsplätze so aufstellen, wie in der Norm dargestellt, würden die Leitungen entweder in der Luft hängen oder eine Kabelbrücke benötigen. Zudem sind Räume mit den in der Norm abgebildeten Proportionen in der Büroarchitektur äußerst selten, die meisten Räume sind schmal und tief, so daß man zu den wenigen Auserwählten mit viel Platz gehören muß, um mit diesem Bild etwas anzufangen.

**Bild 10.4** Empfohlene Anordnung von Bildschirmarbeitsplätzen in kleinen Zellenbüros (DIN 5035 Teil 7, Entwurf) und eine häufige Aufstellung von Winkelkombinationen in Doppelzimmern (rechts). Räume mit den links dargestellten Proportionen und Belegung bilden allenfalls eine Ausnahme. Die fensterseitige Leuchtenreihe hängt häufig über den Bildschirmen, die zweite über der Zugangsfläche.



**Folge:** Die Beleuchtung der Räume kann i.a. nicht den lichttechnischen Empfehlungen entsprechend realisiert werden. Die Leuchtenreihe vor dem Fenster hängt über den Bildschirmen und verursacht Blendung zumindest auf der Tastatur.

### ***Flächenknappheit***

Büroflächen sind knapp und teuer. Sie müssen daher günstig genutzt werden. Da sich die grundlegenden Maßstäbe für die Flächenbemessung für Büroräume in den letzten drei Jahrzehnten nicht geändert haben, aber die Fläche der Arbeitstische um mindestens 30% zugenommen hat, kann man sich den Luxus der beleuchtungsorientierten Arbeitsplatzaufstellung nur noch selten leisten. Große Verwaltungen versuchen, die Flächenansätze sogar noch zu reduzieren. Die Flächenknappheit wird daher in nächster Zukunft nicht ab-, sondern eher noch zunehmen.

**Folge:** Die gut gemeinten Vorschläge der Norm besitzen keine Aussicht auf allgemeine Umsetzung. Sie mögen zwar richtig sein, bleiben jedoch praxisfremd.

### ***Mitarbeiter mit unterschiedlichem Lichtbedarf***

Die Normen versuchen, die Beleuchtungsstärke so festzulegen, daß die Zahl der zufriedenen Benutzer maximiert wird, allerdings, wie bereits angeführt, werden nur Normalsichtige berücksichtigt. Die Vorgehensweise, mit einer einheitlichen Lösung möglichst viele Personen zu befriedigen, wäre grundsätzlich richtig, wenn es keine Möglichkeit gäbe, individuelle Bedürfnisse zu befriedigen. Eine solche Maximierung kann jedoch theoretisch nie mehr als 70% zufriedenstellen. Diese Zahl ergibt sich bei jedem Optimierungsprozeß, bei dem man jeweils 15% Unzufriedene an beiden

Enden der statistischen Verteilung einkalkulieren muß. D.h., eine "optimal" eingestellte Größe wie Beleuchtungsstärke oder Raumtemperatur ist für 15% der Betroffenen zu hoch und für weitere 15% zu gering. Somit bleiben noch 30% Unzufriedene an Arbeitsplätzen, an denen etwa die Hälfte der Erwerbsbevölkerung arbeitet. Das ist eine nicht akzeptierbare Größenordnung. Bei ca. 20 Millionen Bürobeschäftigten in der Bundesrepublik Deutschland wären das 6 Millionen Menschen! Nach den Ergebnissen der vorliegenden Studie waren es ja auch mehr als nur 30% der Befragten, die mit der Beleuchtung unzufrieden waren. Auch dies ist theoretisch erklärbar, weil etwa die Hälfte der im Büro arbeitenden Menschen nicht normalsichtig sind und ihre Augenkorrektur zu einem erheblichen Teil nicht optimal ausgeführt ist.

### 10.3.3 Schlußfolgerungen

Die obigen Ausführungen zeigen, daß eine breite Lücke zwischen den Anforderungen der Praxis und den gelieferten Lösungsmöglichkeiten klafft. Die Arbeitsplatzaufstellung und -benutzung richtet sich in der Praxis nach vielen Kriterien, jedoch selten nach der Beleuchtung. Somit ergeben sich in der Mehrzahl der Arbeitsplätze ungünstige Sehbedingungen. Auch daraus erklärt sich der Grad der Unzufriedenheit mit der Beleuchtung.

Die in den Kapiteln 5 bis 7 beschriebenen Beeinträchtigungen und Gesundheitsstörungen hätte man auch theoretisch ermitteln können. Sie sind konzeptionell bedingt, ihre Ursache liegt u.a. in der fehlenden Individualisierung der Beleuchtung begründet. Die im Konzept der Allgemeinbeleuchtung verankerte Handlungsweise wäre aus ergonomischer Sicht nur dann richtig, wenn eine Individualisierung nicht durchführbar wäre oder in der Praxis andere negative Folgen nach sich ziehen würde. Selbst bei fehlender Möglichkeit der Individualisierung ist es jedoch aus ergonomischer Sicht immer noch falsch, ein Konzept nach den Bedürfnissen der am wenigsten betroffenen Gruppe, in diesem Fall die normalsichtigen Personen, zu richten. Den Maßstab müssen nach ergonomischen Gepflogenheiten vielmehr die am stärksten Betroffenen bilden.

Bei der Beleuchtung von Arbeitsräumen herrschen Sachzwänge, die eine Individualisierung verhindern oder gar verbieten, im allgemeinen nicht, sondern nur bei Teilen der Arbeitswelt, z.B. in Industriehallen, an Schichtarbeitsplätzen u.ä. Im Bürobereich ist ein solcher Sachzwang im allgemeinen zu verneinen.

## 10.4 Aussagen zur Beleuchtungsstärke am Arbeitsplatz

Bei den Untersuchungen am Arbeitsplatz stand die Frage im Vordergrund, welche Beleuchtungsstärke am Arbeitsplatz aus ergonomischer Sicht die günstigste wäre, und ob diese sich in Übereinstimmung mit den geltenden Normen befindet, von denen eine immerhin die Grundlage einer Arbeitsstättenrichtlinie darstellt.

Trotz intensiver Beschäftigung mit dieser Frage konnte in diesem Projekt keine eindeutige Antwort gefunden werden. Dies liegt u.a. darin begründet, daß die vorge-

fundenen Werte in der Praxis sehr unterschiedlich waren und eine Auswertung nicht zuließen. Die Erwartung, daß man mehrere Jahrzehnte, nachdem die Beleuchtungsnormen wirksam geworden sind, auf einigermaßen berechenbare Zustände stoßen würde, wurde nicht erfüllt.

So mußten wir z. B. sogar bei Projekten, bei denen wir selber die Vorgaben für die Beleuchtung formuliert und später den realisierten Zustand nachgemessen haben, u.a folgende Probleme feststellen:

1. Bei einem großen Unternehmen sollten in 30 Städten der Bundesrepublik ca. 1000 Räume mit ein- und demselben Leuchtyp nach der Vorgabe gemäß DIN 5035 mit einer neuen Beleuchtungsanlage ausgestattet werden. Nach der Ausführung wurde festgestellt, daß die mittleren Beleuchtungsstärkewerte auf den Arbeitsflächen im Neuzustand zwischen 350 und 950 lx lagen, und nicht bei dem vorgegebenen Wert von 625 lx, der sich aus der Nennbeleuchtungsstärke von 500 lx und dem Planungszuschlag von 25% errechnet.
2. Beim Vergleich der Beleuchtungsstärken in Anlagen, die von verschiedenen Herstellern an verschiedenen Orten, jedoch nach der gleichen Vorgabe - Nennbeleuchtungsstärke von 500 lx nach DIN 5035 - installiert worden sind, wurden Werte zwischen etwa 300 lx bis 1700 lx (!) im Neuzustand der Anlage ermittelt.

Diese Erfahrungen legen die Schlußfolgerung nahe, daß die in der Praxis angewandten Methoden der Beleuchtungsberechnung offenbar auch nach langer Entwicklung ungenauer sind als die Methoden der Wettervorhersage und daher nicht die nötige Basis für eine wissenschaftliche Untersuchung bilden können. Was eine Richtlinie für den Arbeitsschutz wert ist, wenn die wichtigste und am einfachsten zu planende lichttechnische Größe, die Beleuchtungsstärke, sich derart ungenau realisieren läßt, sei dahingestellt. Nach den Ausführungen zur Bedeutung der Beleuchtungsstärke als Gütekriterium für die Bürobeleuchtung ist es ohnehin ziemlich bedeutungslos, was eine Beleuchtungsplanung auf dieser Basis auch immer ergibt.

Trotz der angeführten Bedenken hinsichtlich der Methoden zur Beleuchtungsberechnung läßt sich aber bereits aus unseren Untersuchungen des Projektteils 1 ein Ergebnis ableiten: Eine "zu hohe" Beleuchtungsstärke in künstlich beleuchteten Räumen gibt es bei Beachtung und einigermaßen erfolgreicher Umsetzung der Gütekriterien der Beleuchtung nicht. Das Urteil von Mitarbeitern, ein Raum sei "zu hell" oder "zu dunkel" beleuchtet, korreliert nicht mit der Beleuchtungsstärke, sondern i.d.R. mit einer unausgewogenen Leuchtdichteverteilung im Raum, d.h., Decke und Wände wirken zu dunkel, das Arbeitsgut zu hell oder umgekehrt.

Die Angaben zur Beleuchtungsstärke in der Norm DIN 5035 Teil 2, die, wie bereits angeführt, die Grundlage einer Arbeitsstättenrichtlinie bilden, entbehren einer wissenschaftlich begründeten Grundlage, wie das Forschungsprojekt der Bundesanstalt für Arbeitsschutz "Gerät zur Ermittlung der ergonomisch notwendigen Beleuchtung am Arbeitsplatz" (s. Krochmann und Kirschbaum, 1983) ergeben hat:

“Diese Untersuchungen zeigen, daß es sinnvoll erscheint, an realen Arbeitsplätzen den als optimal anzusehenden Leuchtdichtebereich bzw. Beleuchtungsstärkebereich zu ermitteln, um daraus unter Berücksichtigung der Annehmlichkeit jeweils optimale Bedingungen für bessere, humanere Arbeitsbedingungen zu schaffen.”

Diese Aussage kann aufgrund der Ergebnisse unserer Studie nur bestätigt werden. Die Anregung von Krochmann und Kirschbaum, 14 Jahre nach ihrer Veröffentlichung, bedarf noch einer Umsetzung in die Praxis. Auch wenn sie keine leichte Aufgabe darstellen dürfte angesichts der Tatsache, daß selbst die Planung der am einfachsten zu berechnenden und messenden lichttechnischen Größe, der Beleuchtungsstärke, offenbar bereits Probleme aufwirft, sind 14 Jahre eine ganz schön lange Zeit, um einem nachgewiesenen Mangel in den Grundlagen eines Regelwerkes nachzugehen.

## 10.5 Fallstudien

Im folgenden werden sechs Fallstudien dargestellt, die jeweils einen bestimmten Problemkreis beleuchten.

### 10.5.1 Fallstudie 1:

#### ***Was nützt eine höhere Beleuchtungsstärke?***

In dieser Fallstudie sollte untersucht werden, welchen Effekt eine höhere Beleuchtungsstärke erzielt. Wie die folgende Beschreibung der Untersuchungsbedingungen zeigt, geht die Änderung der Beleuchtungsstärke mit einer Reihe von weiteren Änderungen einher. An dieser Untersuchung haben 130 Mitarbeiterinnen teilgenommen. Nähere Angaben zu dieser Fallstudie sind der Literatur zu entnehmen (Çakir, 1979).

**Untersuchter Effekt:** Einfluß der Beleuchtungsstärke auf Ermüdung und Befindlichkeitsstörungen bei einer Beleuchtungsstärke von 500 lx und 1.000 lx bei gleicher Arbeit an gleichen Bildschirmgeräten.

**Randbedingungen:** Die Arbeitsräume waren unterschiedlich groß, die Anlage mit 1.000 lx befand sich in einem Großraumbüro und war mit dark-light-Leuchten ausgestattet. Direktblendung war in diesem Raum vollständig vermieden worden. Die Anlagen mit der Beleuchtungsstärke von 500 lx waren in zwei Gruppenräumen mit je 25 Arbeitsplätzen installiert. Es wurden Deckeneinbauleuchten mit einer Trübglassabdeckung verwendet. Aus der Sicht lichttechnischer Gütekriterien hoben sich die Tageslichträume positiv gegenüber dem Großraum bezüglich der Schattigkeit und der Reflexblendung auf den Arbeitsunterlagen ab, jedoch war die Direktblendung wesentlich ungünstiger. Unter Tagesbedingungen waren deutliche Reflexe auf den Bildschirmen sichtbar, außerdem war der Kontrast erheblich gemindert. In allen Räumen war die Decke relativ dunkel, insbesondere im Großraum wegen der starken Entblendung der Leuchten. In diesem Raum betrug die Leuchtdichte der Leuchtenflächen unter 45° etwa die Hälfte der Leuchtdichte der übrigen Deckenfläche.

Die Untersuchung wurde in beiden Fällen bei Tage und bei Nacht durchgeführt, was durch die Verfügbarkeit einer Spätschicht möglich war.

Von der kostenmäßig sehr aufwendigen Beleuchtung des Großraumes, die keine Direktblendung und keine Reflexblendung auf Bildschirmen verursachte, wurde eine wesentlich günstigere Bewertung durch die Befragten und ein günstigerer Einfluß auf ihre Leistungsfähigkeit erwartet, zumal die höhere Beleuchtungsstärke eine bessere Lesbarkeit der Arbeitsunterlagen gewährleisten sollte. Eine einwandfreie Lesbarkeit der Arbeitsunterlagen war bei den untersuchten Arbeitsplätzen deswegen sehr wichtig, weil die Beschäftigten z.T. sehr alte und kaum lesbare Dokumente möglichst fehlerfrei in den Computer eingeben mußten. Die Anforderung an die Sehleistung war daher extrem hoch.

**Ergebnis:** Die Augenbelastung war sowohl unter Tagesbedingungen als auch unter Nachtbedingungen bei 1000 lx erheblich größer als bei 500 lx (Bild 10.5) und war sehr hoch. Die Annehmlichkeit der Beleuchtung war bei beiden Anlagen gleich. Einen Unterschied ergab nur der Vergleich bei Tage und bei Nacht (Bild 10.6).

Die Untersuchung der Leistungsfähigkeit der Beteiligten zeigte, daß sie im Tageslichtraum größer war. Nach der Arbeit fühlten sich die im diesem Raum arbeitenden Personen weniger ermüdet als die im Großraum bei 1000 lx.

**Schlußfolgerung:** Diese Fallstudie zeigt, daß die höhere Beleuchtungsstärke eher einen negativen Effekt auf die Augenbelastung hat, obwohl aufgrund extrem hoher Anforderungen an die Sehleistung das Gegenteil zu erwarten war.

Wenn Unterschiede in der Annehmlichkeit gefunden wurden, waren diese nicht auf den untersuchten Effekt zurückzuführen, sondern vornehmlich auf das Tageslicht. Als wahrscheinlichster Grund hierfür kommt die dunkle Decke der beiden Räume in Frage, die bei Tage die Blendung durch die Fenster verstärkt.

### 10.5.2 Fallstudie 2:

#### ***Was nützt eine bessere Entblendung durch Spiegelraster?***

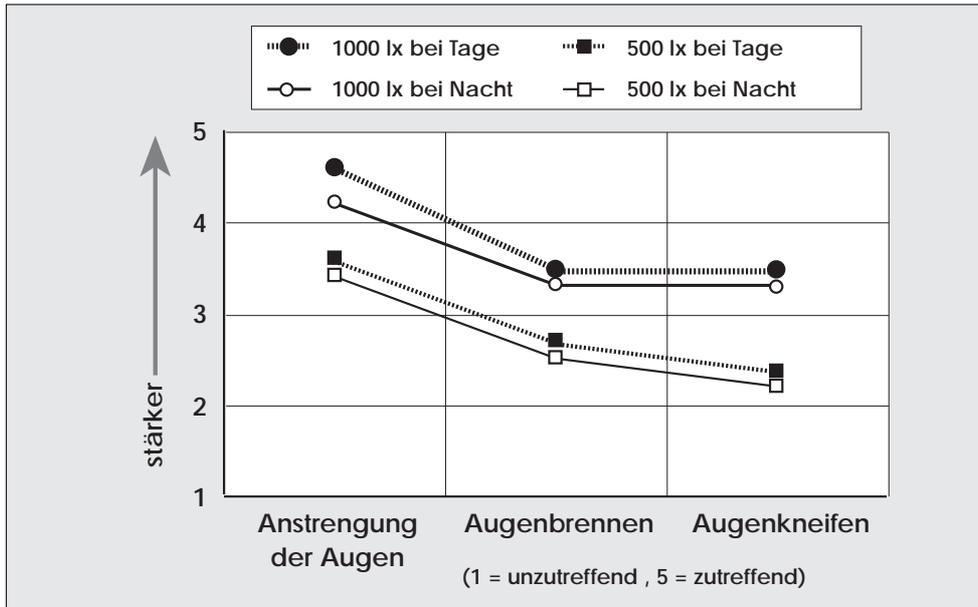
Diese Fallstudie wurde in einem Großraumbüro bei üblicher Büroarbeit durchgeführt. Hierbei wurde eine Beleuchtung mit Rastereinbauleuchten mit weißen Rastern beurteilt und das Urteil mit dem Urteil der gleichen Personen über eine neue Beleuchtungsanlage mit starker Entblendung verglichen. Die Entblendungseigenschaften waren ähnlich wie bei BAP-Leuchten ausgeprägt. Der Anlaß der Erneuerung der Anlage war die Blendung durch die Rasterleuchten, die sich jedoch in den durch die Blendungsbegrenzungskurven gegebenen Grenzen hielt. An der Untersuchung haben 38 Personen teilgenommen.

**Untersucher Effekt:** Einfluß der Leuchtenart.

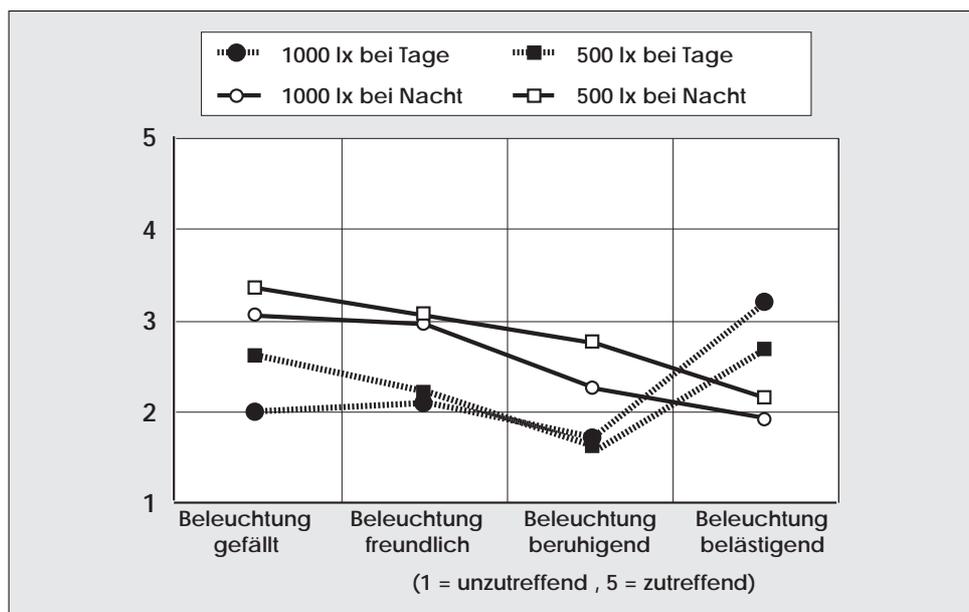
**Randbedingungen:** Keine, der einzige Unterschied in der Arbeitssituation bestand in der Änderung der Merkmale der Beleuchtung.

**Ergebnis:** Gegenüber der als ungünstig beurteilten Anlage ergab die Beurteilung der neuen Anlage keinen nennenswerten Unterschied in der Befragung, die drei Monate nach der Installation der neuen Anlage durchgeführt wurde. Im Laufe dieser Zeit

**Bild 10.5** Augenbelastung bei gleicher Arbeit und bei gleichen Arbeitsmitteln unter 1.000 lx und 500 lx. Die Unterschiede sind signifikant. Bei Nacht fällt die Beurteilung geringfügig günstiger aus.



**Bild 10.6** Annehmlichkeit der Beleuchtung bei 1.000 lx und 500 lx. Die Beleuchtung mit 1.000 lx wird tendenziell schlechter beurteilt als die mit 500 lx. Bei Nacht werden beide Beleuchtungen besser beurteilt als bei Tage.



und noch in den darauf folgenden Monaten schoben jedoch viele Personen ihre Arbeitsplätze hin und her, weil sie sich nunmehr durch die Leuchten über ihrem Arbeitsplatz gestört fühlten. Eine Störung, die durch die Blendungsbegrenzung nach unseren Normen nicht vorkommen dürfte. Die Personen beschwerten sich noch ein Jahr nach der Installation der Anlage über das Gefühl, daß ihnen "die Decke auf den Kopf falle", was sie mit der jetzt sehr dunklen Decke begründeten.

**Schlußfolgerung:** Mit der Erneuerung der Anlage wurde die Beleuchtung zwar dem Stand der - im Jahre 1983 - verfügbaren Technik angepaßt, eine Verbesserung der Situation für die Mitarbeiter ergab sich jedoch nicht. Der Effekt der Verringerung der Direktblendung wurde offenbar durch die Verschlechterung hinsichtlich anderer Gütekriterien aufgehoben.

### 10.5.3 Fallstudie 3:

#### ***Was nützt eine bessere Entblendung der Leuchten im Zellenbüro?***

In dieser Fallstudie wurde die Beleuchtung eines Zellenbüros für 8 Personen durch eine ähnliche Anlage wie bei Fallstudie 2 ersetzt. Die alte Beleuchtung bestand aus Deckenaufbauleuchten mit Trübglasswannen, die neue aus BAP-Leuchten, die den Anforderungen der DIN 5035 Teil 7 genügten.

**Untersucher Effekt:** Einfluß der Leuchtenart in Zellenbüros.

**Randbedingungen:** Keine, der einzige Unterschied in der Arbeitssituation bestand in der Änderung der Merkmale der Beleuchtung.

**Ergebnis:** Alle Beteiligten beschwerten sich darüber, daß der Raum nunmehr eine "Schlafzimmeratmosphäre" bekommen hätte, obwohl die Beleuchtungsstärke auf den Arbeitsflächen sich verdoppelt hatte. Der Raum erschien dunkler als früher, weil die Wände und die Decke wesentlich dunkler waren als vorher. Auch hier folgte das Stühlerücken, weil die Leuchten "blendeten". Die Beleuchtung hat auch ein Jahr nach der Installation keine Akzeptanz bei den Mitarbeitern gefunden.

**Schlußfolgerung:** In Zellenbüros läßt sich kein positiver Effekt der tiefstrahlenden Leuchten nachweisen, sondern eher ein negativer.

### 10.5.4 Fallstudie 4:

#### ***Wie genau sind lichttechnische Planungen?***

In dieser Fallstudie sollte gezeigt werden, daß sich bei guter Planung die oben gezeigten Mängel beseitigen lassen. Es handelt sich um jene Studie, die bereits im Abschnitt "Aussagen zur Beleuchtungsstärke" angeführt worden ist. In diesem Fall wurde vorausgesetzt, daß wegen der Größe des Auftrages eine besonders sorgfältige Planung durchgeführt würde.

Das Untersuchungsergebnis basiert auf Messungen, die in ca. 1.000 Räumen (Zellenbüros bis 4 Personen) durchgeführt worden ist.

**Untersuchter Effekt:** Nachweis einer positiven Veränderung der Beurteilung der Beleuchtung durch sorgfältige Planung.

**Randbedingungen:** Die Planung wurde von unterschiedlichen Planern des gleichen Anbieters durchgeführt. Die Räume wiesen unterschiedliche Deckenhöhen auf.

**Ergebnis:** Von einer Befragung wurde abgesehen, weil nicht einmal die Planungsvorgaben, die detailliert beschrieben waren, eingehalten worden waren. Der oben erwähnte Schlafzimmereffekt ist auch hier eingetreten. Einen Nebeneffekt hatte dieser Fall dennoch, der Anbieter mußte alle Räume mit nicht ausreichender Beleuchtungsstärke dem Vertrag entsprechend auf eigene Kosten nachrüsten, indem in vielen Räumen ein drittes Leuchtenband eingezogen wurde. Diese recht teure Aktion war nicht von Erfolg gekrönt: Die Mitarbeiter haben meistens zwei der drei Lichtbänder einfach abgeschaltet.

**Schlußfolgerung:** Offenbar sind die Mängel der Beleuchtung nicht nur durch die Technik selbst bestimmt, sondern auch durch die wenig erfolgreiche Planung.

### 10.5.5 Fallstudie 5:

#### ***Wann nützt die Entblendung durch tiefstrahlende Leuchten?***

In dieser Fallstudie wurden große Räume mit einer Fläche von ca. 100 m<sup>2</sup> und mit unterschiedlichen Raumhöhen zwischen 2,75 und 3,50 m sowie kleine Räume mit unterschiedlichen Höhen zwischen 2,60 m und 3,20 m mit BAP-Leuchten mit Rastern für 60°- und 50°-Entblendung eingebaut. Alle Räume sind mit Tageslicht beleuchtet und besitzen ausreichenden Sonnenschutz. Bei den kleinen Räumen wurde die Beleuchtung entsprechend der vorgesehenen Arbeitsplatzaufstellung eingerichtet, bei den großen Räumen konnte die Arbeitsplatzaufstellung günstig in Bezug auf die Beleuchtung aufgestellt werden. An der Befragung haben 120 Personen teilgenommen.

**Untersuchter Effekt:** Einfluß der Raumhöhe und der unterschiedlichen Entblendung.

**Randbedingungen:** Die Planung der Beleuchtung konnte relativ frei durchgeführt werden. Die Arbeitsplatzaufstellung konnte der Anordnung der Leuchten angepaßt werden.

**Ergebnis:** In den großen Räumen konnte mit beiden Rastern ein ansprechender Raumeindruck erzielt werden, wenn die Deckenhöhe über 3,20 m betrug. Die etwa nach einem Jahr nach Bezug der Räume durchgeführte Befragung ergab hier eine wesentlich bessere Beurteilung der Anlagen als in den kleinen Räumen. In beiden Fällen war die Beurteilung jedoch günstiger als bei den vorangegangenen Fallstudien. In der Beurteilung der Mitarbeiter ergibt sich kein Unterschied für die unterschiedlichen Entblendungen.

**Schlußfolgerung :** Aus Mitarbeitersicht spielt die günstige Aufstellung der Arbeitsplätze eine nachweisbare Wirkung auf die Beurteilung der Beleuchtung. Dort, wo die

Vorgaben der Norm eingehalten werden können, wird die Beleuchtung besser beurteilt.

Tiefstrahlende Leuchten sind für hohe Räume geeignet, da ihre bessere Entblendung hier zur Geltung kommt.

### 10.5.6 Fallstudie 6:

#### ***Was bringen neue Beleuchtungskonzepte?***

In dieser Fallstudie wurden die im folgenden dargestellten drei Konzepte in kleinen Büroräumen erprobt, die zwei günstigsten wurden später in einer großen Zahl von Räumen eingesetzt. Das erste dieser Konzepte war eine moderne Version der BAP-Leuchten, das zweite eine sog. CRF-Leuchte, das dritte eine 2K-Beleuchtung mit reinen Indirektleuchten und Arbeitsplatzleuchten, die den im Anhang beschriebenen Anforderungen genügten.

Die drei Konzepte wurden aus folgenden Gründen ausgewählt:

- Die CRF-Leuchte ist eine Leuchte, die auch unter ungünstigen Aufstellbedingungen für den Arbeitsplatz keine Reflexblendung verursachen soll. Die Bezeichnung CRF rührt von der englischen Bezeichnung *Contrast Rendering Factor = Kontrastwiedergabefaktor* her und wird deswegen verwendet, weil mit diesem Konzept eine Verbesserung der Kontrastwiedergabe erzielt wird.
- Die 2K-Beleuchtung wurde teilweise mit Ständerleuchten und teilweise mit Wandleuchten realisiert.
- Die eingesetzten BAP-Leuchten genügten und genügen den Anforderungen der Normen.

**Untersuchter Effekt:** Einfluß des Beleuchtungskonzepts.

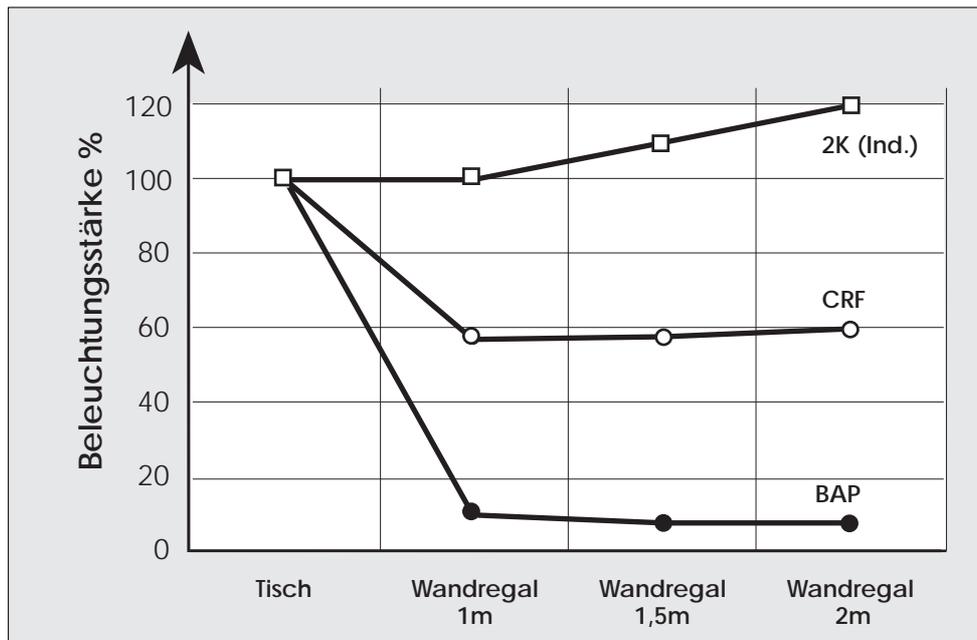
**Randbedingungen:** Die Räume wiesen eine Deckenhöhe auf, die für die Beleuchtung ungünstig ist (2,50 m bis 2,70 m). Die Arbeitsflächen waren gemessen an der Grundfläche des Raumes außerordentlich groß, sie waren mit den unterschiedlichsten Büromaschinen bestückt. Die Räume waren mit häufig benutzten Regalen ausgestattet.

**Ergebnis:** Die Beleuchtung mit BAP-Leuchten wurde bereits im Vorversuch verworfen, weil der Arbeitsraum ein düsteres Aussehen bekam, die auf die ungünstige Verteilung der Leuchtdichten an den Wänden zurückzuführen war. Diese Verteilung läßt sich anhand von Bild 10.7 berechnen, das die Verteilung der Beleuchtungsstärken auf den Raumflächen zeigt. Selbst bei hohem Reflexionsgrad der Wände lag ihre Leuchtdichte unter 10% der Leuchtdichte der Tische und die mit Ordnern bestückten Regale wirkten noch dunkler.

Die erzeugte Beleuchtungsstärke war bei der CRF-Leuchte und bei der 2K-Leuchte auf der gesamten Arbeitsfläche (Winkelkombination) praktisch gleich, während sie bei der BAP-Leuchte ungleichmäßig war (Verhältnis Minimum zu Maximum 1: 2).

Die jeweilige Präferenz bei den beiden anderen Konzepten durch die unterschiedlichen Benutzer ist eher auf die räumlichen Verhältnisse zurückzuführen als auf die

Bild 10.7 Verteilung der Beleuchtungsstärken im Raum bei unterschiedlichen Beleuchtungskonzepten, bezogen auf die Beleuchtungsstärke auf dem Arbeitsplatz. (Anm.: Die Verteilung hängt von den Raumeigenschaften ab, das Bild kann daher nicht verallgemeinert werden.)



Eigenschaften der Beleuchtung selbst. In jenen Räumen, deren Wände mit Regalen vollgestellt waren, wurde die CRF-Leuchte bevorzugt, in anderen Räumen die 2K-Beleuchtung. In beiden Fällen haben sich die Benutzer jedoch dafür entschieden, die Arbeitsplatzleuchte zu benutzen. (Anm.: Die Erfahrungen der Beteiligten müssen nach jüngsten Berichten in der Tagespresse über ein gerade fertiggestelltes Gebäude nachhaltige Wirkungen zeitigt haben, auf dessen Beleuchtung sie Einfluß hatten. Man hat dort Downlights als Allgemeinbeleuchtung und Arbeitsplatzleuchten installiert. Der Presse wurde mitgeteilt, die erstere sei nur wegen der Norm, es würde ohnehin die letzteren benutzt werden.)

Beide Konzepte haben, trotz widriger Raumverhältnisse, die im Untersuchungsfeld herrschten, eine hohe Akzeptanz gefunden, jedoch erst nach einer relativ langen Gewöhnungsperiode von einigen Monaten. Die Akzeptanz fiel, gemessen an den langjährigen Erfahrungen mit den beschriebenen und weiteren, in diesem Bericht nicht erwähnten Fallstudien unerwartet positiv aus, so daß wir hoffen, daß man mit ihrer Hilfe nicht nur die in dieser Studie beschriebenen Gesundheitsstörungen beseitigen, sondern auch den in den Normen angestrebten positiven Effekt erzielen kann.

Allerdings ist das Ergebnis dieser Fallstudie nicht ohne weiteres verallgemeinerbar, da es sich hierbei um einen Vorgang handelt, in den erhebliche Beratungstätigkeit eingeflossen ist, was in der Praxis i.a. nicht zutrifft. Für eine Verallgemeinerung in dem Sinne, daß ein bestimmtes Konzept generell besser sei, müssen alle Vergleichsobjekte unter gleichen Bedingungen geplant und installiert worden sein (s. Kap. 11).

## 10.6 Was ist *neu* an neuen Beleuchtungskonzepten?

Nachdem festgehalten ist, daß im Laufe der letzten Jahrzehnte die Technik der Beleuchtung sich fortwährend gewandelt hat, ohne daß sich ein positiver Trend hinsichtlich ihrer Akzeptanz ergeben hat, soll im folgenden deutlich gemacht werden, was neu an den zuletzt angeführten Konzepten ist, und der Frage nachgegangen werden, ob das Neue auch eine bessere Qualität verspricht.

Nicht neu, sondern anders sind die heutigen Lichtquellen. Nach wie vor beherrschen Leuchtstofflampen den Bürobeleuchtungsmarkt, es haben aber wesentliche Entwicklungen stattgefunden. Ob die Leuchtstofflampe selbst eine Gesundheitsstörung darstellt, wurde von uns, wie bereits an anderer Stelle angeführt, nicht untersucht, weil es in deutschen Unternehmen und Organisationen keine Arbeitsplätze mit alternativen Lampenarten in ausreichender Zahl und mit vergleichbarer Beleuchtungsqualität gibt, die eine Untersuchung ermöglichen würden. Der unfruchtbare Expertenstreit in dieser Frage ist zudem etwa so alt wie die Leuchtstofflampe selbst und auch aktuelle Beiträge bieten in methodischer Sicht nichts Neues.

Neu indes ist folgende Qualität: Flimmerfreies Leuchtstofflampenlicht wurde aufgrund der Entwicklung vollelektronischer Vorschaltgeräte Stand der Technik. Daß das Flimmern Ursache mannigfaltiger Beschwerden war, wurde seit langem von Kritikern angeführt, von lichttechnischen Experten jedoch früher angezweifelt, obwohl die Beziehung zwischen Flimmern der Leuchtstofflampen und Kopfschmerzen bereits in den 80er Jahren nachgewiesen worden war. Heute führen eben diese Experten die Argumente der früheren Kritiker an, wenn sie die Anwender von den Vorteilen dieser Vorschaltgeräte überzeugen wollen.

Und eine neue Qualität der Beleuchtung bietet das Konzept der CRF-Leuchte und zwar in folgender Hinsicht:

- Variabilität der Arbeitsplatzaufstellung ist zwar in beschränktem, jedoch in ausreichendem Maße möglich.
- Bei Verkettung von Arbeitstischen sind die Güteermere auf der jetzt vergrößerten Arbeitsfläche in etwa gleich gut, insbesondere ist die Kontrastwiedergabe auch bei glänzenden Objekten an allen Stellen des Arbeitsplatzes vergleichbar gut.
- Wenn sich aus welchem Grund auch immer eine Aufstellung des Arbeitsplatzes in Fensternähe empfiehlt, ist damit nicht unbedingt eine Verschlechterung der Sehbedingungen verbunden.
- Diese Beleuchtungsart hat sich bereits in einer Arbeitsumgebung mit großer Flächennot bewährt, es ist zu erwarten, daß sie sich unter besseren Bedingungen noch positiver auswirken wird.
- Für Mitarbeiter mit unterschiedlichem Lichtbedarf ändert sich die Situation nicht, sofern eine arbeitsplatzbezogene Einflußnahme nicht möglich ist.
- Der Raumeindruck hat sich verbessert, die Räume sehen heller und vor allem größer und geräumiger aus als mit konventionellen Beleuchtungsarten.

- Senkrechte Flächen, d.h. Schränke und Aktenregale, werden mit einer vergleichbaren Beleuchtungsstärke beleuchtet wie waagerechte Arbeitsflächen. Die Beleuchtung zeichnet sich somit durch zwei Nutzflächen aus.

Wie diese Aufzählung zeigt, kommt dieses neue Konzept den Anforderungen des Menschen bei seiner Arbeit im Büro entgegen. Da es zudem auch in wesentlichen Punkten den neuen organisatorischen Anforderungen entspricht, kann es nach heutigem Wissensstand als vorteilhaft bezeichnet werden.

Auch das Konzept der 2K-Beleuchtung mit zwei getrennten Quellen für den Direkt- und den Indirektanteil der Beleuchtung bietet eine neue Qualität der Beleuchtung:

- Die Variabilität der Arbeitsplatzaufstellung ist praktisch unabhängig von der Beleuchtung.
- Bei Verkettung von Arbeitstischen herrschen ähnlich gute Güteermerekmale auf der jetzt vergrößerten Arbeitsfläche, insbesondere ist die Kontrastwiedergabe auch bei nicht matten Objekten an allen Stellen des Arbeitsplatzes vergleichbar gut.
- Wenn die Technik am Arbeitsplatz oder die Menschen selbst eine Aufstellung in Fensternähe nahelegen, muß man keine Verschlechterung der Sehbedingungen in Kauf nehmen.
- Diese Beleuchtungsart hat sich in einer Arbeitsumgebung mit großer Flächennot bewährt, unter besseren Bedingungen kann sie sich nur positiver auswirken.
- Für Mitarbeiter mit unterschiedlichem Lichtbedarf verbessert sich die Lage durch den Direktanteil der Beleuchtung erheblich. So können auf dem Arbeitsgut jetzt auch bei Bedarf relativ hohe Beleuchtungsstärken erzeugt werden.
- Der Raumeindruck hat sich verbessert, die Räume sehen heller und vor allem größer und geräumiger aus als mit anderen Beleuchtungsarten.
- Senkrechte Flächen, d.h. Schränke und Aktenregale, werden mit nahezu der gleichen Beleuchtungsstärke beleuchtet wie die waagerechte Arbeitsfläche, die Beleuchtung hat nicht nur eine Nutzfläche, sondern zwei.
- Es ist möglich, die Lichtrichtung nach Sehaufgaben oder persönlicher Präferenz am jeweiligen Arbeitsplatz individuell festzulegen, ohne daß andere Arbeitsplätze davon betroffen wären.

Die durch dieses Beleuchtungskonzept bewirkten Veränderungen in den Güteermerekmalen der Beleuchtung insgesamt werden in der Tabelle 10.2 dargestellt. Auch aus dieser Tabelle läßt sich entnehmen, daß es sich um ein neues und besseres Konzept für die Beleuchtung von Arbeitsstätten handelt.

Wer die Einrichtung von Räumen aus anderen Lebensbereichen und die Rolle des Lichts in der Raumgestaltung kennt oder Bilder von individuell eingerichteten Büros, wird unschwer feststellen, daß hier viele alte Gestaltungsgesichtspunkte angesprochen werden.

Tab. 10.2 Vergleich der Allgemeinbeleuchtung zwischen direktstrahlenden Leuchten und der 2K-Beleuchtung hinsichtlich der Güte der Beleuchtung

Kriterium	Allgemeinbeleuchtung direkt	2K-Beleuchtung indirekt-direkt
Beleuchtungsstärke am Arbeitsplatz	<input type="checkbox"/> abhängig vom Ort der Aufstellung  <input type="checkbox"/> individuell nicht beeinflussbar	<input type="checkbox"/> unabhängig vom Aufstellort  <input type="checkbox"/> variabel nach Wunsch
Leuchtdichteverteilung im Raum	<input type="checkbox"/> ungünstig: Tische hell, Wände und Decken dunkel	<input type="checkbox"/> günstig: Decken und Tische hell
Blendungsbegrenzung	<input type="checkbox"/> möglich nur bei bestimmten Kopfhaltungen  <input type="checkbox"/> Vermeidung der Reflexblendung nur bei sachgerechter Aufstellung des Arbeitsplatzes  <input type="checkbox"/> Vermeidung von Reflexblendung bei ebenen Objekten	<input type="checkbox"/> unabhängig von der Kopfhaltung  <input type="checkbox"/> Reflexblendung vermeidbar bei sachgerechter Zuordnung der Indirektleuchte zum Arbeitsplatz, dann aber bei allen Aufstellungen  <input type="checkbox"/> Reflexblendung auch bei räumlichen Objekten vermeidbar
Lichtrichtung und Schattigkeit	<input type="checkbox"/> Lichtrichtung von der Aufstellung des Tisches abhängig  <input type="checkbox"/> bei starker Begrenzung der Direktblendung zu starke Schattigkeit	<input type="checkbox"/> Lichtrichtung von der Aufstellung unabhängig  <input type="checkbox"/> günstige Schattigkeit trotz Blendungsbegrenzung
Lichtfarbe	<input type="checkbox"/> fast ausschließlich von Lampe und Leuchte abhängig	<input type="checkbox"/> korrigierbar mit Deckenfarbe
freie Arbeitsplatzaufstellung	<input type="checkbox"/> stark eingeschränkt	<input type="checkbox"/> nicht eingegrenzt

In der Literatur läßt sich auch feststellen, daß die in unserer Studie nachgewiesenen Verbesserungen aus konzeptionellen Gründen zu erwarten gewesen waren (Hartmann, 1982): *“Jahrzehntelang wurde die Auffassung vertreten, daß nahezu alle Beleuchtungsprobleme mit einer guten Allgemeinbeleuchtung zu lösen sind. Nur einige wenige Fachleute haben sich dieser Meinung widersetzt und darauf hingewiesen, daß nicht nur in einigen speziellen Fällen des industriellen Bereiches, z.B. bei den Maschinenleuchten, sondern ganz allgemein, sogar bei der Bürobeleuchtung, eine spezielle Arbeitsplatzleuchte eine Reihe von Vorteilen aufweist. So kann auf diese Weise, physiologisch richtig, die eigentliche Arbeitsfläche relativ hell beleuchtet werden, während die unmittelbare Umgebung weniger stark beleuchtet, also auch weniger hell ist. Daneben ist es verhältnismäßig einfach, die Direktblendung niedrig zu halten, und auch die Reflexblendung ist durch geeignete Anordnung der Leuchte relativ zur Arbeitsfläche gut beherrschbar. Dabei entsteht noch ein hoher Anteil an gerichteter Beleuchtung, der durch eine Allgemeinbeleuchtung allein niemals in dieser Größe erreichbar wäre...*

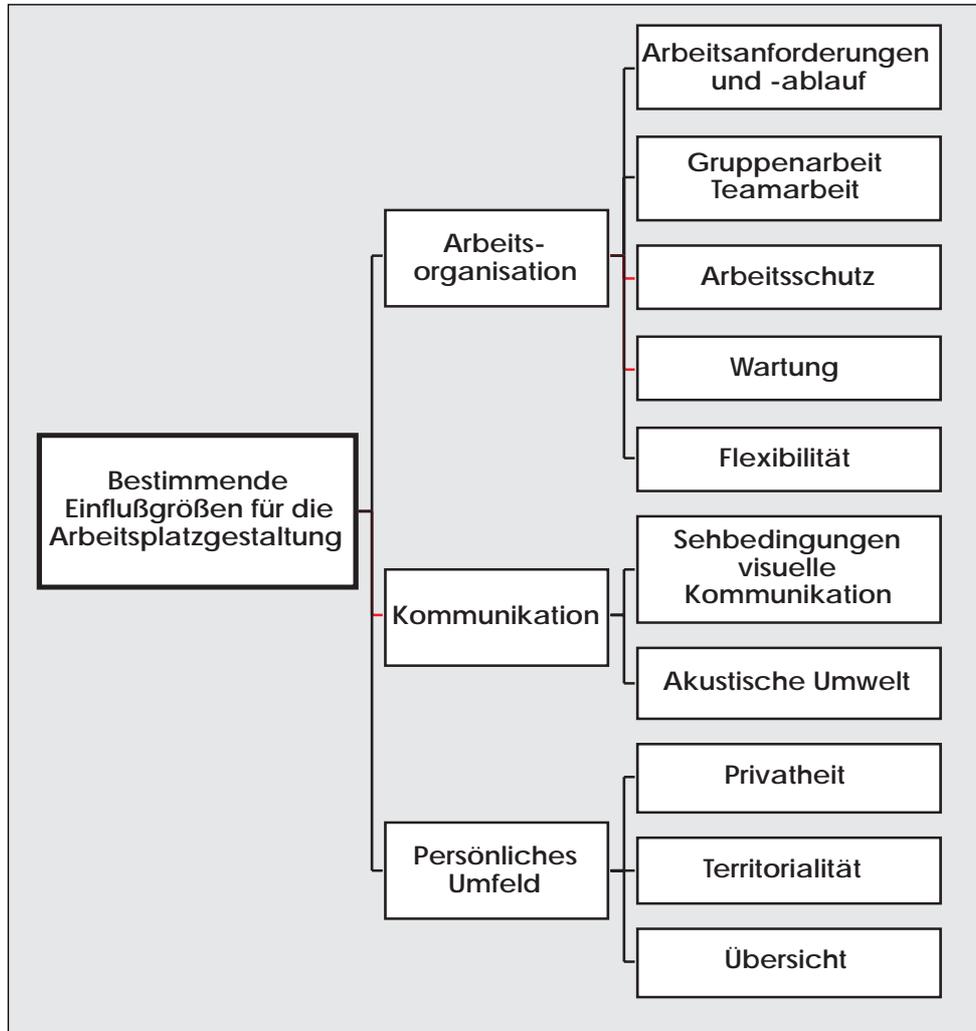
*Sowohl vom physiologischen als auch vom psychologischen und wirtschaftlichen Standpunkt betrachtet, stellt die Zweikomponentenbeleuchtung ein System dar, das gerade in größeren Räumen den individuellen Charakter des Arbeitsplatzes wieder etwas hervorhebt. Einer weiteren Verbreitung dürften im Augenblick aber vergleichsweise hohe Anlagenkosten im Wege stehen.”*

Wie dieses Zitat zeigt, wurde auch bei dem vergleichsweise ungünstigen Entwicklungsstand der Arbeitsplatzleuchten im Jahre 1982 die in unserer Studie nachgewiesenen Verbesserungen aus physiologischen wie auch psychologischen Gründen erwartet. Der Unterschied zu der damaligen Zeit besteht darin, daß die Anlagenkosten nicht mehr prohibitiv hoch sind, 2K-Beleuchtung rechnet sich, und zudem, Dank neuer Lampentechnik, Arbeitsplatzleuchten mit einer funktionellen Qualität existieren, von denen Hartmann seinerzeit nur hätte träumen können.

Im Kapitel 11 werden die Ergebnisse von Studien wiedergegeben, die aufgrund der hier dargestellten Ergebnisse konzipiert worden sind. Die Begründung für eine erneute Überprüfung der schlüssig nachgewiesenen Erkenntnisse wurde bereits erläutert.

Ein zusätzliches Argument für die in Kap. 11 dargestellten Untersuchungen liefert Bild 10.8. Das Bild zeigt, daß die Sehbedingungen nur einen Faktor unter vielen bilden, wobei die künstliche Beleuchtung selbst wiederum nur einen Teil der Sehbedingungen ausmacht. Wenn man die hier angeführten Gesichtspunkte näher prüft, wird man eher verstehen können, warum die Praxis sich nicht den Restriktionen der Beleuchtungstechnik unterwerfen will und wahrscheinlich nicht kann. Trotzdem wäre es bei sorgfältiger Planung von neuen Anlagen theoretisch möglich, Nachteile für die Mitarbeiter zu vermeiden. Genau dieser Gesichtspunkt sollte mit den in Kapitel 11 beschriebenen Untersuchungen überprüft werden.

Bild 10.8 Gesichtspunkte für die Anordnung von Arbeitsplätzen im Arbeitsbereich (ISO DIS 9241-6).



## 11 Vergleichende Studie zu Beleuchtungskonzepten

### 11.1 Zweck der Studie

Dieser Teil des Gesamtprojekts wurde in den Jahren 1991 bis 1996 durchgeführt. Zweck dieser Studie war, wie bereits angeführt, den Einfluß von Beleuchtungssystemen zu untersuchen, der voraussichtlich besser ausfallen sollte als in Projektteil 2. Aus diesem Grund wurden hierfür nicht problematische Installationen gesucht, sondern eher solche mit voraussichtlich besserer Akzeptanz. Die Auswahl erfolgte nach folgenden Kriterien:

- Die Arbeitsbedingungen in den ausgesuchten Räumen sollten für sich gesehen nicht problematisch in Bezug auf die künstliche Beleuchtung sein. Aus diesem Grund wurden tiefe Arbeitsräume, bei denen in erster Linie das Fehlen von Tageslicht und nicht die Eigenschaften der künstlichen Beleuchtung das eigentliche Problem darstellt, von der Untersuchung ausgeschlossen.
- Ebenso wurden Arbeitsplätze für CAD-Anwendungen und solche mit Mikrofilmlesegeräten von der Untersuchung ausgeschlossen, da an solchen Arbeitsplätzen die visuelle Belastung eher von den Arbeitsmitteln herrührt.
- Die Beleuchtungsanlagen sollten nach einem nachvollziehbaren Planungsprozeß entstanden sein, der der alltäglichen Praxis entspricht. Die Benutzer der Räume sollten mindestens zwei Monate unter der entsprechenden Beleuchtung gearbeitet haben, bevor sie befragt wurden.

Zudem kann in keinem der untersuchten Räume aufgrund der Raumabmessungen und der Eigenschaften der Beleuchtung psychologische Blendung vorkommen, jedenfalls nicht nach den Söllner-Kurven.

### 11.2 Methode

#### 11.2.1 Auswahl der Beleuchtungsanlagen

Die Auswahl erfolgte aufgrund der Angaben von Herstellern. Die einzelnen Unternehmen wurden von uns kontaktiert und um Teilnahme gebeten. Bei einem Teil der Untersuchungen wurden wir von den Unternehmen angesprochen und konnten bereits bei der Planung der Beleuchtung mitwirken. In diesen Fällen (15 Anlagen) konnte sichergestellt werden, daß der Planung DIN 5035 Teil 1, Teil 2 und Teil 7 zugrunde gelegt wurden. Trotzdem wurden die Anlagen einer gründlichen technischen Überprüfung unterzogen. Die Anbieter und Planer wurden über die Überprüfung und ihre Modalitäten im voraus informiert und gebeten, die Anforderungen der o.g. Normen zu erfüllen.

Bei der Auswahl wurden folgende Kriterien besonders berücksichtigt:

- *Ordnungsgemäße Planung der jeweiligen Anlage*
- *Industriemäßige Herstellung und eine der Praxis entsprechende Entstehungsgeschichte.* Abweichungen hiervon können z.B. sein: Beleuchtung eines Raums

aus repräsentativen Gründen, Auslegung der Beleuchtung entgegen den Vorstellungen der Nutzer (z.B. bei Mietbüros, Büros auf Flughäfen u.ä.), modellhafte Anlagen, die keine Aussichten haben, Eingang in die Praxis zu finden.

- *Keine Beratung über den üblichen Rahmen hinaus.* Wie die in Kap. 10 dargestellten Ergebnisse zeigen, kann eine intensive Beratung hinsichtlich Beleuchtungsplanung und Raumeinrichtung bzw. -belegung die Akzeptanz der Beleuchtung erhöhen. Jedoch entspräche das erzielte Ergebnis nicht dem, was die gleiche Technik unter üblichen Bedingungen leisten würde. Zudem hätte ein möglicherweise erreichter positiver Zustand nur bis zur nächsten Umbesetzung des Raumes oder Umgestaltung der Arbeitsplätze Bestand.
- *Keine ungünstige Raumgestaltung, was die Akzeptanz der Beleuchtung mindern würde.* Beispiele hierfür sind zu hohe Schränke, verengte und überbesetzte Arbeitsräume, zu dunkle Raumbegrenzungsflächen u.ä.
- *Zustimmung der jeweiligen Personalvertretung im voraus.*

Im Rahmen der vergleichenden Studie wurden, wie bereits angeführt, folgende Beleuchtungssysteme (-arten) untersucht:

1. Deckenbeleuchtung mit BAP-Leuchten verschiedener Hersteller
2. Deckenbeleuchtung mit Direkt-/Indirekt-Anteil
3. CRF-Leuchten verschiedener Hersteller und Ausführung
4. reine Indirektbeleuchtung
5. optimierte 2K-Beleuchtung mit getrenntem Indirekt- und Direktanteil (Indirektleuchten für die Raumbeleuchtung und Arbeitsplatzleuchten als Direktbeleuchtung).

In die Untersuchung konnten die "Sekundär"-Leuchten nicht einbezogen werden, weil die verfügbaren Objekte bereits bei einer ersten Betrachtung problematisch schienen. So war bei einem Unternehmen, das uns eine Untersuchung gerne gestattet hätte, die Beleuchtung derart gerichtet, daß man die Arbeitsplätze nur an ganz wenigen Orten in den Räumen aufstellen konnte, wobei selbst an diesen Stellen immer vierfache Schlagschatten, auch bei Tage, deutlich erkennbar waren. Eine weitere Installation (nach Bild 9.14, unten rechts), bei der die ganze Decke als Spiegel diente und mit Hochdrucklampen angestrahlt wurde, hätte ebenfalls untersucht werden können. Aber auch in diesem Fall hätte ein negatives Ergebnis vorhergesagt werden können, weil die Decke nicht nur aus allen Richtungen blendete, sondern auch noch jede Bewegung an den Arbeitsplätzen und im Verkehrsbereich der Räume sichtbar machte. In einem weiteren Fall mußten die Arbeitsplätze und die Beleuchtung aufeinander abgestimmt werden, da eine ausreichende Beleuchtungsstärke nur in der Mitte des Schreibtisches vorhanden war. Bei jeder Änderung des Arbeitsplatzes mußte die Beleuchtung mechanisch geändert werden. All dies stellt jedoch kein prinzipielles Negativum dar, aufgrund dessen man Sekundär-Leuchten ablehnen sollte. Letztlich kann man mit jeder Beleuchtungsart Unbrauchbares realisieren. So würden wir aufgrund der uns bekannten anderen Leuchten dieser Gattung in dem Konzept eher Positives sehen.

Als vollkommen ungeeignet für die Beleuchtung von Arbeitsplätzen halten wir die in Mode gekommenen Downlights mit Kompaktleuchtstofflampen. Sie erzeugen zwar das gewünschte Niveau an Beleuchtungsstärke in der Arbeitsebene und verursachen dabei keine Direktblendung, damit ist aber die Aufzählung der positiven Seiten bereits zu Ende. In einer Anlage, die wir untersuchen sollten, waren die Spots auch noch über dem Kopf des jeweiligen Mitarbeiters angebracht. Besonders bemerkenswert war bei diesem Fall, daß die Mitarbeiter als wesentliches Sehobjekt Personalausweise mit glänzender Oberfläche benutzen mußten. Damit sie nicht etwa die Beleuchtung abschalteten, hatte man die "Schaltgewalt" vorsorglich in die Hand des Hausmeisters gelegt. Manche Mitarbeiter haben sich nach einem üblichen Verfahren geholfen (Ausdrehen der Lampen aus den Fassungen), während andere untätig blieben, jedoch nicht unbehelligt.

### **11.2.2 Theoretische Vor- und Nachteile der untersuchten Beleuchtungsarten**

In diesem Abschnitt werden die theoretischen Vor- und Nachteile der untersuchten Beleuchtungsarten dargestellt. Es sollte jedoch beachtet werden, daß die Zahl der positiven bzw. negativen Argumente allein keinen Maßstab für eine Bevorzugung bzw. Ablehnung bilden kann. So ist es theoretisch möglich, daß eine einzige als positiv anzusehende Eigenschaft Grund genug für eine Präferenz sein kann. Dem Anwender sei daher geraten, nicht positive und negative Merkmale gegeneinander zu verrechnen, sondern diese unter den Bedingungen des Raums, der beleuchtet werden soll, einer Gesamtbewertung zu unterziehen.

Es gibt keine Beleuchtungsart, die unter allen Umständen empfehlenswert wäre bzw. wovon generell abgeraten werden müßte. Daher wird zu jeder Beleuchtungsart angeführt, wann sie empfehlenswert ist.

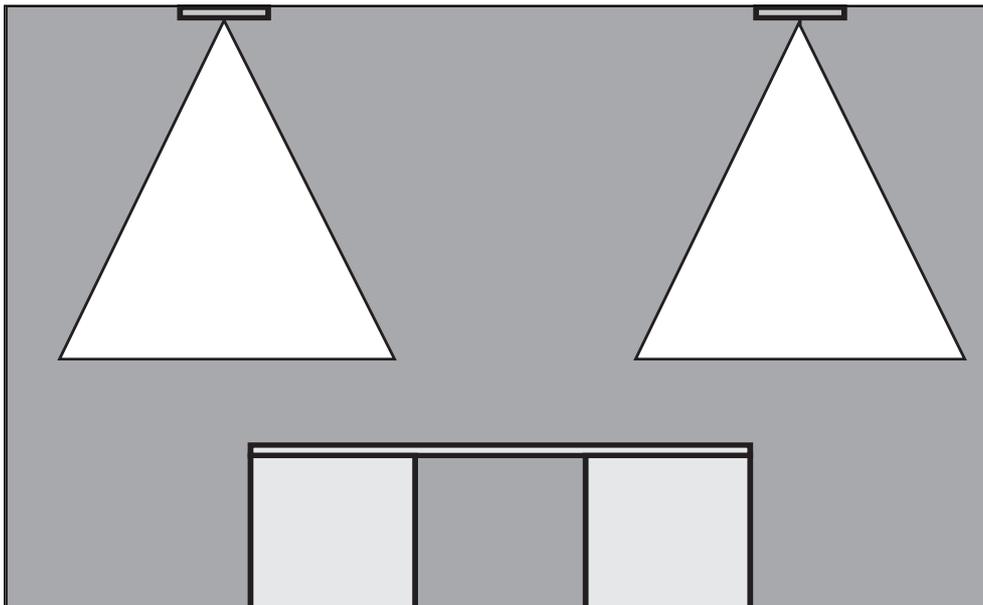
### (1) **Deckenbeleuchtung mit BAP-Leuchten**

Bei dieser Beleuchtungsform werden Spiegelrasterleuchten mit Tiefstrahlcharakteristik eingesetzt, die Leuchten entsprechen etwa einem langgestreckten Spot (Bild 11.1). Dieses System ist zu empfehlen für Räume mit lichten Höhen oberhalb 3 m, wenn alle Arbeitsmittel (auch die Schrift!) matt sind und die Ausrichtung der Arbeitsplätze nach der Beleuchtung vorgenommen werden kann.

Die besonderen Merkmale dieser Beleuchtung sind:

- + Begrenzung der Direktblendung
- + guter Beleuchtungswirkungsgrad
- + gute Ausleuchtung von Bürolandschaften bei großen Raumhöhen
- stark gerichtetes Licht, Gleichmäßigkeit stark von Raumhöhe abhängig
- Schattigkeit bei Raumgliederungen durch große Leuchtenabstände
- geringe Leuchtdichten im Decken- und Wandbereich
- Markierung der Lichtverteilungskurven im Wandbereich
- Glanzstörungen auf glänzenden Arbeitsmitteln
- großer Planungsaufwand
- Inflexibilität, d.h. eingeschränkte Aufstellmöglichkeit für Arbeitstische insbesondere
- Anpassung an das individuelle Sehvermögen nicht oder nur schwer möglich.

Bild 11.1 Schematisierte Darstellung der Beleuchtung mit BAP-Leuchten. Der gesamte von der Leuchte abgestrahlte Lichtstrom wird auf die Arbeitsebene gerichtet.



## (2) *Deckenbeleuchtung mit Direkt/Indirekt-Anteil*

Bei dieser Beleuchtungsform werden Spiegelrasterleuchten mit Tiefstrahlcharakteristik im unteren Halbraum und Breitstrahlcharakteristik im oberen Halbraum eingesetzt (Bild 11.2).

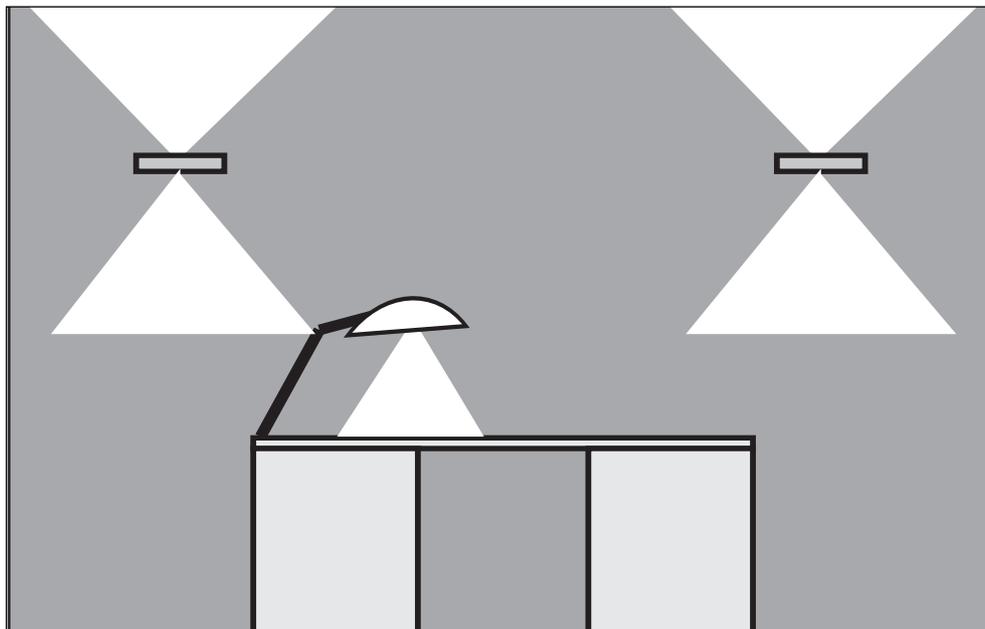
Dieses System ist zu empfehlen, wenn:

- der gesamte Raum möglichst gleichmäßig ausgeleuchtet werden soll;
- die individuelle Steuerung für die zweite Komponente (am Arbeitsplatz) entfallen kann;
- die Installation an der Decke mit genügend Abstand zur ausreichenden Lichtstreuung erfolgen kann.

Die besonderen Merkmale dieser Beleuchtung sind:

- + gute Beleuchtung der Regalflächen und der Schränke
- + Begrenzung der Direktblendung
- + Verminderung der Glanzstörungen
- bedingte Flexibilität
- verringerte lichte Raumhöhe.

Bild 11.2 Schematisierte Darstellung der Beleuchtung mit Direkt-/Indirekt-Leuchten. Etwa 30% des Lichtstromes wird indirekt abgestrahlt. (Die Arbeitsplatzleuchte ist optional und gehört nicht zum Konzept.)



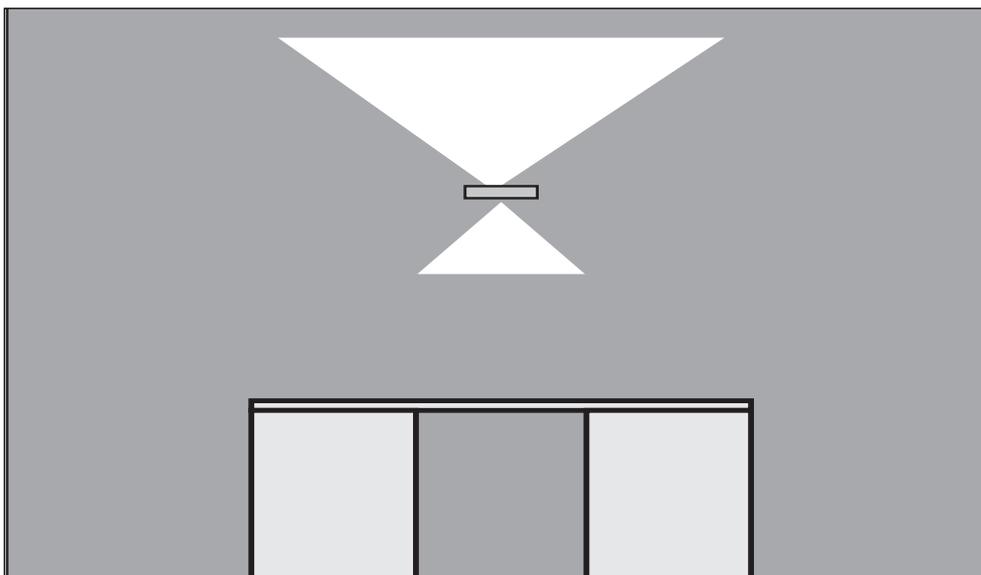
### (3) *Indirekt/Direkt-Beleuchtung* (“CRF”)

Bei dieser Beleuchtungsform werden Leuchten an der Decke bzw. am Arbeitsplatz eingesetzt, die einen indirekten Lichtstromanteil von mehr als 50% besitzen (Bild 11.3). Der Direktanteil wird von der gleichen Leuchte erzeugt, jedoch wird deren Leuchtdichte durch geeignete optische Maßnahmen so weit herabgesetzt, daß weder Direktblendung verursacht wird noch störende Reflexblendung bzw. Verminderung der Kontrastwiedergabe, selbst wenn die Leuchte über dem Arbeitsplatz angeordnet wird. Die Leuchten können unterschiedlich montiert werden, so auch an der Decke, am Arbeitsmöbel oder auf Ständern. Bei bestimmten Produkten kann das Verhältnis indirekt/direkt individuell eingestellt bzw. gesteuert werden.

Diese Beleuchtung ist für eine Vielzahl von Anwendungsfällen zu empfehlen. Die besonderen Merkmale dieser Beleuchtung sind:

- + gute Zonenbeleuchtung in Räumen mit vorhersehbarer Nutzungsart, praktisch für alle Zellenbüros
- + relativ unabhängig von der Deckenhöhe und Arbeitsraumdimensionierung
- + gute Kontrastwiedergabe über den gesamten Arbeitsbereich
- + Vermeiden von Blendung und Reflexen auf Bildschirmen und horizontal liegenden Gegenständen
- + ausgeglichene Leuchtdichte auf den vertikalen Flächen
- + Flexibilität bei Arbeitsplatzveränderungen
- + hohe Akzeptanz
- Erfordernis von hellen und geschlossenen Decken.

Bild 11.3 Schematisierte Darstellung der Beleuchtung mit CRF-Leuchten. Mehr als 60% des Lichtstroms werden indirekt abgestrahlt.



**(4) Indirekt/Direkt-Beleuchtung (2K-Opt)**  
**- Decken-, Wand- und Arbeitsplatzmontage sowie freistehend**

Bei diesem System werden indirekt strahlende Leuchten und Arbeitsplatzleuchten eingesetzt, wobei beide Teile am Arbeitsplatz montiert werden können, jedoch nicht müssen.

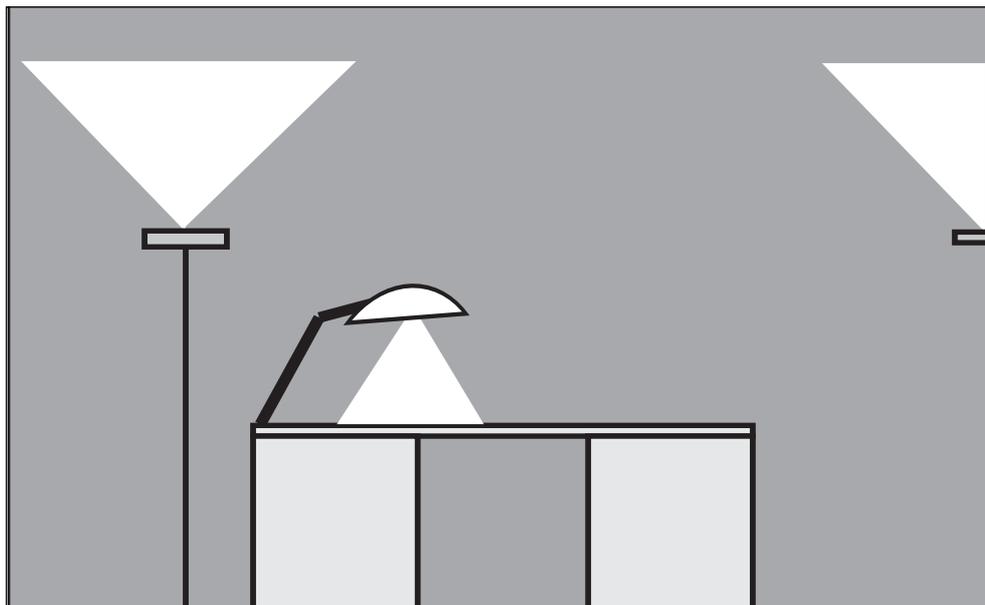
Dieses System (Bild 11.4) ist zu empfehlen, wenn:

- ein den unterschiedlichen Arbeitsfunktionen und persönlichen Präferenzen anzupassendes System eingesetzt werden soll,
- die Beleuchtung von den einzelnen Mitarbeitern nach Bedarf betätigt werden soll,
- ständig Arbeitsplätze wegen Abwesenheit der Mitarbeiter nicht benutzt werden,
- die Leuchten im Mobiliar integriert werden sollen/können,
- gute Akzeptanz erzielt werden soll.

Die Beleuchtung weist folgende Merkmale auf:

- + Beleuchtung kann entsprechend der Tätigkeit zugeordnet werden (zonierte Beleuchtung mit unterschiedlichen Beleuchtungsstärken)
- + Vermeiden von Blendung und Reflexen auf Bildschirmen und horizontal liegenden Gegenständen
- + ausgeglichene Leuchtdichte auf allen vertikalen Flächen
- + Flexibilität bei Arbeitsplatzveränderungen
- + gut beleuchtete Wandflächen bei Einsatz von Regalwänden und Containern
- + hohe Akzeptanz

Bild 11.4 Schematisierte Darstellung der Beleuchtung mit getrennten Indirekt- und Direkt-Leuchten. Die Arbeitsplatzleuchte ist Teil des Konzepts.



- + einfacher Austausch des gesamten Beleuchtungssystems
- + leicht zugängliche Elektro-Anschlüsse an Boden- oder Mobiliersteckdosen
- + Anpassung an das individuelle Sehvermögen einfach realisierbar
- Erfordernis von hellen und geschlossenen Decken.

### **(5) *Ausschließliche Indirekt-Beleuchtung*** **- *Decken-, Wand- und Arbeitsplatzmontage***

Bei dieser Beleuchtungsform werden indirekt strahlende Leuchten eingesetzt, die die Decke bzw. die Wände anstrahlen. Dieses System ist zu empfehlen, insbesondere wenn eine gute Kontrastwiedergabe erzielt werden soll oder muß, beispielsweise bei stark glänzenden Objekten.

Die Beleuchtung weist folgende Merkmale auf:

- + diffuses Licht, dadurch keine Glanzstörungen
- + keine Direktblendung sofern Deckenleuchtdichte nicht zu hoch ( $>1000 \text{ cd/m}^2$ )
- schattenarme Ausleuchtung, da fehlender Direktanteil durch die 2. Komponente
- hohe Leuchtdichten an der Decke, wenn hohe Beleuchtungsstärken erzielt werden sollen
- Anpassung an das individuelle Sehvermögen zwar realisierbar, aber aufwendig
- relativ hohe Anschlußwerte und daher auch zusätzliche Wärmebelastung des Raumes.

## **11.2.3 Technische Untersuchungen**

### ***Messung der Beleuchtungsstärke***

Alle untersuchten Räume wurden gemäß DIN 5035 Teil 6 ausgemessen. Diese Norm erlaubt aus Praktikabilitätsgründen zwei Meßmethoden, eine für leere und eine für eingerichtete Räume. Räume bzw. Raumteile, die noch nicht eingerichtet sind, können nach einem Meßraster gemessen werden (s. DIN 5035 Teil 6, Bild 2). In eingerichteten Räumen mit hohen Aufbauten würde eine solche Messung keine brauchbaren Ergebnisse liefern. Daher sollen die Messungen an ausgesuchten Stellen, z.B. an Arbeitsplätzen, vorgenommen werden. Nach der Arbeitsstättenrichtlinie 7/3 soll die Messung am Ort der Tätigkeit, am Schreibtisch am Ort des Schreibens erfolgen. Hier-nach verfahren auch die Gewerbeaufsichtsämter.

Da die durchgeführten Untersuchungen nicht alleine dazu dienen, die Einhaltung von Normen und Vorschriften zu überprüfen, wurden die Messungen an allen Stellen durchgeführt, an denen man bei Zugrundelegung der Norm bzw. der Richtlinie hätte messen müssen. So wurden die Messungen nach einem Meßraster mit einer Maschenweite von  $1 \times 1 \text{ m}$  und zusätzlich auf jedem Arbeitsplatz (an jeweils drei Punkten) durchgeführt. Wenn die Messung an einzelnen Punkten wegen einer Abschattung durch hohe Aufbauten unzuverlässig erschien, wurde der entsprechende Wert bei der Mittelwertbildung außer acht gelassen.

Alle Beleuchtungsarten mit Ausnahme derjenigen, bei denen eine Arbeitsplatzleuchte zum Konzept gehört, können nach diesem Verfahren sinnvoll gemessen werden. Die von Arbeitsplatzleuchten erzeugte Beleuchtungsstärke konnte bei früheren Messungen nicht bestimmt werden. Dies ist aber seit Mai 1994 möglich, da die Norm DIN 5035 Teil 8 eine Meßanordnung vorgibt. Diese entspricht den Empfehlungen des Forschungsberichts der Bundesanstalt für Arbeitsschutz „Empfehlungen zur Messung von Beleuchtungsanlagen“ (s. Krochmann und Lindemuth, 1989), die auch den Messungen von Arbeitsplatzleuchten zugrunde gelegt wurden. Die so gemessene Beleuchtungsstärke wurde jedoch nicht zu der Nennbeleuchtungsstärke des Raums addiert, weil eine vereinbarte Methode zur Anrechnung fehlte.

Die Beleuchtungsstärkemessungen wurden mit einem Luxmeter der Firma PRC Krochmann Berlin durchgeführt, das zuvor vom Hersteller kalibriert wurde.

### ***Messung des Reflexionsgrades***

Die Reflexionsgrade von Raumbegrenzungsflächen, Möbeln und Arbeitsmitteln wurden mit einer Stoffkennzahlenkugel der Firma LMT, Berlin durchgeführt. Dieses Instrument erlaubt eine Messung des Grades der gestreuten Reflexion mit einer Genauigkeit von ca. 2%.

### ***Messung der „zylindrischen“ Beleuchtungsstärke***

Diese Größe dient der Bestimmung der Schattigkeit. Die Meßfläche ist bei dieser Größe nicht eben (horizontal bzw. vertikal), sondern entspricht dem Mantel eines (fiktiven) senkrecht stehenden Zylinders, daher der Name. Der Sinn dieser Messung besteht darin, daß man an einem Meßpunkt die Vertikalbeleuchtungsstärke um den gesamten Punkt herum bestimmt, die dann zur Horizontalbeleuchtungsstärke am selben Punkt ins Verhältnis gesetzt wird. Hieraus errechnet man ein Maß für die Schattigkeit, die wiederum ein Maß für das Modellieren von körperlichen Objekten (z.B. Gesichter) ergibt. Aus dem Meßwert kann grob abgeschätzt werden, wie groß der Kontrastwiedergabefaktor am Meßpunkt ist. Die Größe selbst läßt sich nur unter labormäßigen Bedingungen zuverlässig bestimmen.

Die Messung wurde nach DIN 5035 Teil 6 mit einem Meßkopf der Firma LMT, Berlin durchgeführt.

### ***Messung der Leuchtdichten***

Die Messung wurde nach DIN 5035 Teil 6 durchgeführt, die eine Festlegung von repräsentativen Arbeitsplätzen und Blickrichtungen verlangt. Die Messungen müssen an dem jeweiligen Ort eines fiktiven Beobachterauges erfolgen. Dieser Ort wurde in 500 mm Höhe über der Schreibtischkante (Augenhöhe der theoretisch kleinsten Person in aufrechter Haltung) festgelegt.

Für diese Studie wurden repräsentativ Arbeitsplätze an beiden Enden des jeweiligen Arbeitsraums festgelegt und folgende Leuchtdichten bestimmt:

- Sehobjekt am Arbeitsort (weißes Blatt Papier in Schreibtischmitte)
- maximale und minimale Leuchtdichten der Decke
- maximale und minimale Leuchtdichten der Wände in Hauptblickrichtung
- maximale und minimale Leuchtdichten der sichtbaren Teile des Fußbodens.

Die Messung der Leuchtdichten wurde mit einem Topcon Leuchtdichtemesser durchgeführt.

### 11.2.4 Fragebogen

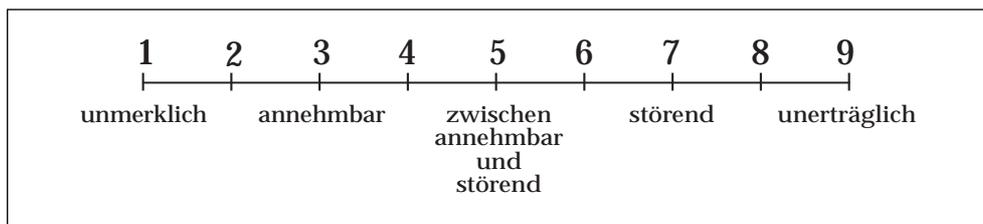
Die Befragung erfolgte mit dem in Teilprojekt 2 verwendeten Fragebogen. Die Instruktionen wurden in Absprache mit dem jeweiligen Unternehmen angepaßt und leicht modifiziert.

Bei einem Teil der Untersuchungen war es möglich, nicht nur die Rauminsassen zu befragen, sondern auch andere Mitarbeiter, die die jeweilige Beleuchtung kurz kennenlernen konnten. Diese Personen wurden nur zur Akzeptanz der Beleuchtung gefragt, d.h. zur "Annehmlichkeit" und "Störimpfindung", da sie nur diese zuverlässig beurteilen konnten, jedoch nicht etwaige Auswirkungen auf ihre Gesundheit.

Bei diesen Untersuchungen wurde zusätzlich eine Blendenskala eingesetzt, wie sie in der Lichttechnik seit langem in Gebrauch ist (Bild 11.5, Çakir, 1975).

Die Befragung wurde in den Abendstunden (Winter) durchgeführt, damit die Versuchspersonen die Wirkung der künstlichen Beleuchtung ohne Tageslichtbeeinflussung beurteilen konnten.

Bild 11.5 Für die Bewertung der Blendung eingesetzte Skala



## 11.3 Vergleichende Bewertung der optimierten 2K-Beleuchtung und der Direktbeleuchtung mit BAP-Leuchten

### 11.3.1 Vergleichsobjekte

Die Vergleichsobjekte waren "Direktbeleuchtung mit BAP-Leuchten" (Objekt 1) und optimierte 2K-Beleuchtung "2K-OPT" (Objekt 2). Objekt 1 bestand aus vier geringfügig unterschiedlichen Installationen mit BAP-Leuchten. Alle Räume, in denen die Untersuchung durchgeführt wurde, waren kleine Arbeitsräume mit weniger als 10 Arbeitsplätzen. Alle Räume waren befenstert. Da die subjektive Bewertung der ein-

zelen Installationen etwa gleich war, wurden sie zu einer Gruppe zusammengefaßt. Die Stichprobe für Objekt 1 bestand aus 80 Personen.

Objekt 2 stellte die Zusammenfassung von zwei praktisch identischen Installationen in zwei gleich großen Räumen dar. Die Zahl der Befragten betrug 28.

Aus beleuchtungstechnischer Sicht unterschieden sich die beiden Objekte erheblich, so z.B. in der mittleren Beleuchtungsstärke, der räumlichen Verteilung der Beleuchtungsstärke, der Leuchtdichteverteilung im Gesichtsfeld, der Schattigkeit, der Reflexblendung u.a.

Im Durchschnitt lag die mittlere Beleuchtungsstärke bei Objekt 1 ( $>500$  lx) über den Werten für Objekt 2 (ca. 400 lx). Der wesentliche Unterschied bei der Leuchtdichteverteilung bestand in der Deckenleuchtdichte (etwas weniger als  $400 \text{ cd/m}^2$  für Objekt 2 und maximal  $30 \text{ cd/m}^2$  für Objekt 1). Das Verhältnis der zylindrischen Beleuchtungsstärke zur horizontalen ("Schattigkeit") betrug beim Objekt 1 im Mittel 0,3, lag allerdings an jedem zweiten Arbeitsplatz erheblich darunter. Bei Objekt 2 betrug der Mindestwert 0,40 und der Mittelwert 0,45. Aus den letztgenannten Zahlen kann man auch ersehen, daß die Streuung der Werte sehr gering war.

Der Mittelwert von 0,45 zeigt auch, daß die Expertenmeinung, Indirektbeleuchtung würde zu einer schattenlosen Umwelt und somit zu einer monotonen Raumstimmung führen, nicht zutrifft.

In keinem der untersuchten Räume war "psychologische Blendung" zu erwarten, da beim Objekt 1 die Leuchten gut abgeschirmt waren. Zudem hätten auch schlechter entblendete Leuchten keine Blendung verursachen können, da die Raumabmessungen und die Anordnung der Arbeitsplätze dies unwahrscheinlich machte, jedenfalls nach den Vorstellungen der Normen. Bei Objekt 2 lagen die Maximalwerte der Deckenleuchtdichte unter  $500 \text{ cd/m}^2$ , der Mittelwert bei  $400 \text{ cd/m}^2$ . Beide lagen somit unter dem Wert von  $500 \text{ cd/m}^2$ , die für leuchtende Decken aus der Sicht der Direktblendung zulässig ist.

Aus der Sicht der anwendbaren Normen (DIN 5035 Teile 1, 2 und 7) stellt das Objekt 1 die bessere Beleuchtung dar. Es erzeugt ein höheres Beleuchtungsstärkeniveau (jedenfalls, wenn man die Arbeitsplatzleuchte bei Objekt 2 nicht mitzählt) und die Leuchtdichte der Decke, die sich im Bildschirm spiegeln könnte ist geringer. Zudem wurden in diesem Fall keine Arbeitsplatzleuchten eingesetzt, die damals für Bildschirmarbeitsplätze als problematisch angesehen wurden. Der einzige theoretisch zu erwartende Vorteil des Objekts 2 wäre ein günstigeres Verhältnis von zylindrischer Beleuchtungsstärke zu horizontaler und ein günstigerer Kontrastwiedergabefaktor. Der letztere wäre jedoch ohne Bedeutung, wenn alle Arbeitsmittel matt wären.

### 11.3.2 Ergebnis der Untersuchung

Das Ergebnis der Untersuchung steht in klarem Gegensatz zu den theoretischen Erwartungen auf der Basis der Expertenmeinung: Objekt 1, also Direktbeleuchtung wird weder als angenehmer empfunden noch erzeugt es eine geringere Störimpfin-

dung. Die Befragung ergibt vielmehr genau das Gegenteil: Die optimierte 2K-Beleuchtung wirkt nicht nur angenehmer, sie ist „*angenehm*“, und zwar unabhängig davon, ob die Befragten an einem konventionellen Büroarbeitsplatz arbeiten oder an einem Bildschirmarbeitsplatz (s. Bild 11.6 und Bild 11.9). Die gleiche Bewertung erfolgt hinsichtlich der Störfempfindung (Bild 11.7 und Bild 11.8).

Bild 11.6 Vergleichende Bewertung von Direkt-Beleuchtung und optimierter 2K-Beleuchtung an Bildschirmarbeitsplätzen

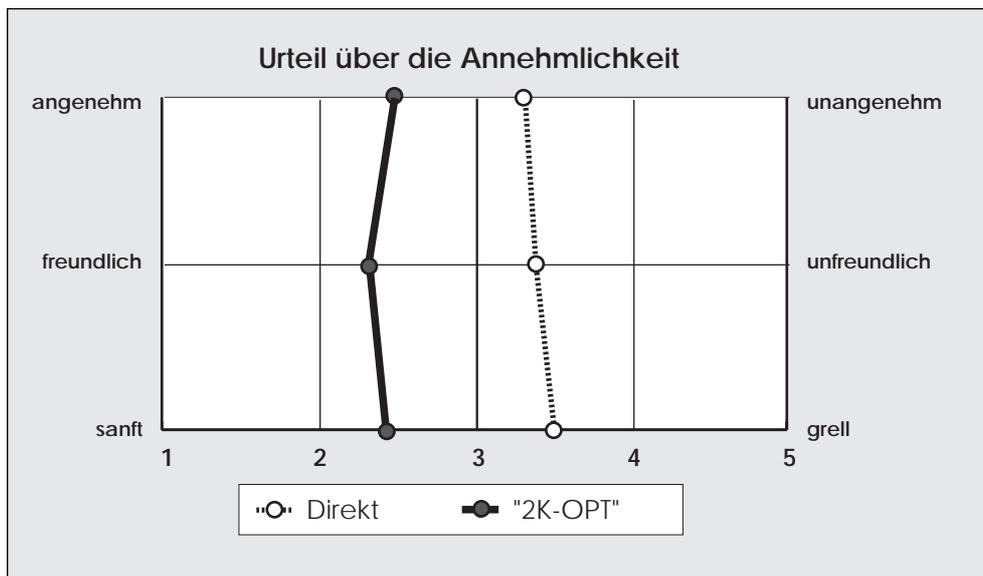


Bild 11.7 Vergleichende Bewertung von Direkt-Beleuchtung und optimierter 2K-Beleuchtung an Bildschirmarbeitsplätzen

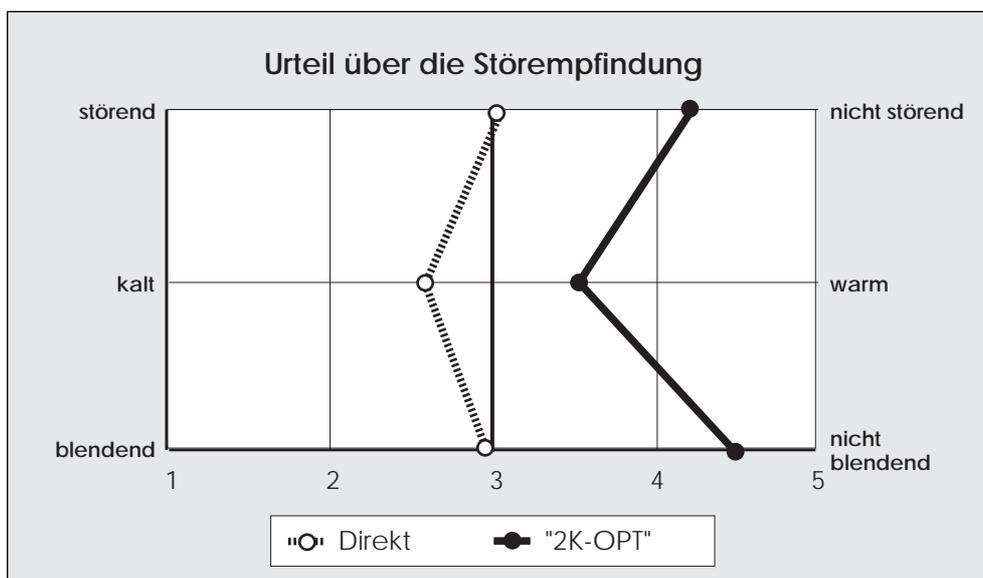


Bild 11.8 Vergleichende Bewertung von Direkt-Beleuchtung und optimierter 2K-Beleuchtung an konventionellen Büroarbeitsplätzen

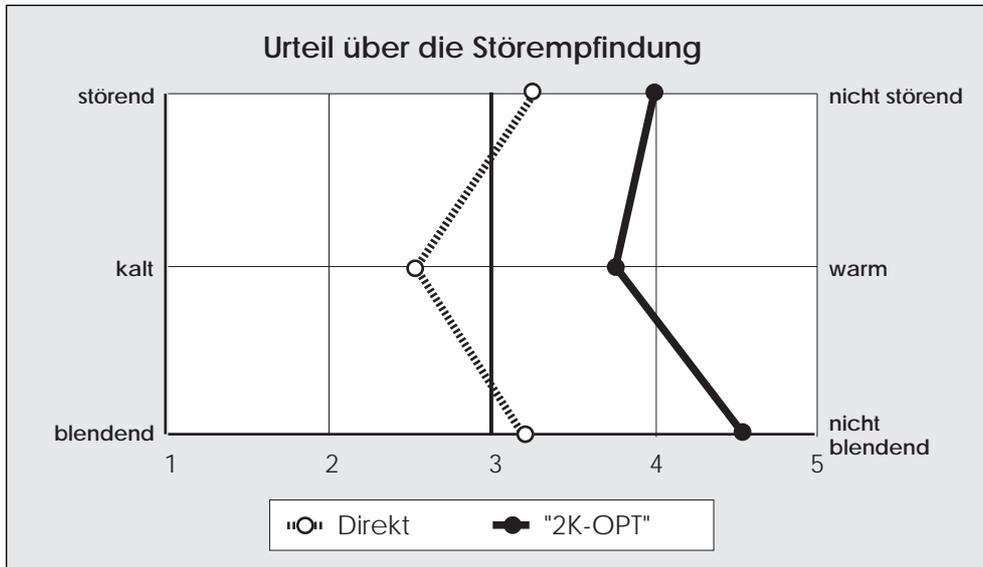
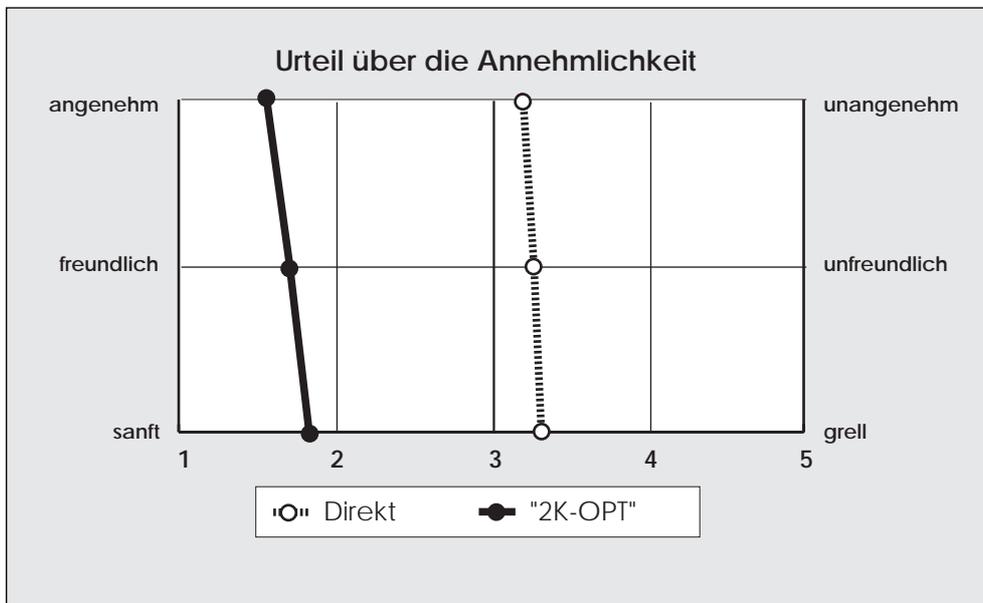


Bild 11.9 Vergleichende Bewertung von Direkt-Beleuchtung und optimierter 2K-Beleuchtung an konventionellen Büroarbeitsplätzen



Bezüglich der subjektiven Bewertung der Beleuchtungssituation stellt die optimierte 2K-Beleuchtung somit die wesentlich bessere Variante dar. Es muß jedoch geprüft werden, ob diese Aussage auch für die Beeinträchtigungen gilt. Daß eine subjektiv als angenehm und nicht störend beurteilte Beleuchtung nicht notwendigerweise auch hinsichtlich der Beanspruchung des Menschen besser sein muß, zeigen die Ergebnisse des Projektteils 2: In diesem Teil ist die "Tischlampe" als „*angenehmer*“ beurteilt worden als die Vergleichsobjekte, jedoch hatten die Benutzer mehr gesundheitliche Beschwerden als alle anderen Befragten.

Bei der hier beschriebenen Untersuchung korrelieren die Ergebnisse der Befragung nach „Annehmlichkeit“ und „Störepfindung“ und nach Beeinträchtigungen der Gesundheit (Bild 11.10). In diesem Bild sind die für die beiden Untersuchungsobjekte erzielten Ergebnisse dem Resultat aus Teil 2 für die "Deckenbeleuchtung" gegenüber gestellt worden. Die BAP-Beleuchtung erzielt etwas bessere Ergebnisse als die Deckenbeleuchtung, während die optimierte 2K-Beleuchtung bei sieben von acht Fragen signifikant besser abschneidet.

Den Unterschied zwischen der 2K-Beleuchtung in Teil 2 des Projekts, einer Kombination von Deckenbeleuchtung und Tischleuchten, und der optimierten 2K-Beleuchtung zeigt Bild 11.11. Die Gesundheitsstörungen sind bei der optimierten 2K-Beleuchtung mit einer Ausnahme (Reizbarkeit) geringer, bei sechs Beschwerden ist der Unterschied statistisch signifikant. Diese Unterschiede wären mit Sicherheit größer ausgefallen, wenn in der Stichprobe für 2K-OPT nicht wesentlich mehr Bildschirmbenutzer vertreten gewesen wären als in der Stichprobe 2K (ca. 70% anstelle von ca. 30%).

Dieser Teil der Studie ist in zweierlei Hinsicht bedeutsam. Zum einen konnte gezeigt werden, daß eine günstigere (künstliche) Beleuchtung die gesundheitlichen Störungen erheblich reduzieren kann. So gaben die ansonsten als visuell höher belastet geltenden Bildschirmbenutzer bei optimierter 2K-Beleuchtung weniger häufig Gesundheitsstörungen an als die Mitarbeiter an konventionellen Büroarbeitsplätzen, die unter Deckenbeleuchtung arbeiten. Zum anderen ist ein Teil der Beschwerden (z.B. "Rasche Ermüdung") so weit zurückgegangen, daß man mit einer Befragung kaum noch günstigere Bewertungen erzielen kann. Dies bedeutet u.a., daß die Kritik über Leuchtstofflampen vermutlich auf ungünstige Beleuchtungskonzepte zurückzuführen ist und nicht auf die Eigenschaften der Lampen selbst.

## **11.4 Vergleichende Studie zu fünf Beleuchtungskonzepten**

### **11.4.1 Vergleichsobjekte**

Folgende Vergleichsobjekte wurden für diese Untersuchung realisiert:

- Allgemeinbeleuchtung mit Deckeneinbauleuchten mit einer 50°-Entblendung (BAP-Leuchten), drei Installationen in zwei Räumen (Konzept 1)





- wie oben, jedoch mit abgependelten Leuchten mit einem Indirektanteil von ca. 30% (Direkt-Indirekt-Beleuchtung), fünf Räume (Konzept 2)
- arbeitsplatzorientierte Beleuchtung mit verbesserter Kontrastwiedergabe ("CRF" bzw. Indirekt-Direkt-Beleuchtung), zwei Räume (Konzept 3)
- Indirektbeleuchtung, zwei Räume (Konzept 4)
- Indirektbeleuchtung mit Arbeitsplatzleuchten (2K-OPT), ein Raum (Konzept 5).

Die fünf Vergleichsobjekte entsprechen den in Abschnitt 11.2 dargestellten Beleuchtungsarten. Insgesamt wurden 13 Beleuchtungsanlagen in Zellenbüros mit gleichen Eigenschaften installiert. Die Büros unterschieden sich nur in der Breite und in der Zahl der Arbeitsplätze. Die Planung der Anlagen wurde von verschiedenen Unternehmen durchgeführt. Die wichtigste Planungsvorgabe war die Einhaltung der relevanten Normen der Reihe DIN 5035.

Da die Untersuchung in eingerichteten Räumen stattfinden mußte, waren einige Umgebungsbedingungen ungünstig, wovon die wichtigste der relativ geringe Reflexionsgrad der Decke (ca. 0,7) war. Hierdurch wurden diejenigen Installationen benachteiligt, deren Indirektanteil an Beleuchtungsstärke hoch war. Diese würden bei helleren Decken besser abschneiden.

#### 11.4.2 Ergebnisse der technischen Untersuchungen

Die Ergebnisse der umfangreichen technischen Untersuchungen werden im folgenden nur so weit dargestellt, wie sie für die Studie relevant sind.

##### ***Beleuchtungsstärke***

Wie man Tabelle 11.1 entnehmen kann, erfüllten nur zwei Installationen die Anforderung hinsichtlich der Nennbeleuchtungsstärke. Im Neuzustand müßte die mittlere Beleuchtungsstärke im Raum, nach DIN 5035 Teil 6 gemessen, 625 lx betragen (Nennbeleuchtungsstärke von 500 lx + 25% Planungszuschlag). Aber auch bei diesen zwei Installationen war am Arbeitsplatz keine ausreichende Beleuchtungsstärke vorhanden, da diese nicht nur ungleichmäßig, sondern auch unsinnig verteilt war (s. Bild 11.12). Der Wert für die mittlere Beleuchtungsstärke wurde im wesentlichen durch diejenigen Raumteile bestimmt, an denen kein Arbeitsplatz plaziert werden soll. Dort hingegen, wo nach den Empfehlungen der Normen die Arbeitsplätze angeordnet werden sollen, beträgt die Beleuchtungsstärke im Neuzustand nur 300 lx und würde bei einer Alterung der Anlage auf einen Wert von nur noch 240 lx sinken. Würde man die Anlage bei Erreichen von 80% der Nennbeleuchtungsstärke warten, wäre die Beleuchtungsstärke am Arbeitsplatz bereits unter 200 lx gesunken.

Tab. 11.1 Mittlere Beleuchtungsstärke, Gleichmäßigkeit der Beleuchtungsstärke und Schattigkeit für verschiedene Beleuchtungsarten

Beleuchtungsart (Konzept)	Beleuchtungs- stärke	Gleich- mäßigkeit	Schattigkeit
BAP (1)	625	gering	ungünstig
BAP (1)	570	hoch	teilweise ungünstig

Tab. 11.1 Mittlere Beleuchtungsstärke, Gleichmäßigkeit der Beleuchtungsstärke und Schattigkeit für verschiedene Beleuchtungsarten

Beleuchtungsart (Konzept)	Beleuchtungsstärke	Gleichmäßigkeit	Schattigkeit
BAP (1)	490	sehr gering	annehmbar
Direkt-Indirekt (2)	560	gering	annehmbar
Direkt-Indirekt (2)	590	gering	teilweise ungünstig
Direkt-Indirekt (2)	640	gering	annehmbar
Direkt-Indirekt (2)	480	sehr gering	teilweise ungünstig
Direkt-Indirekt (2)	433	sehr gering	teilweise ungünstig
Indirekt-Direkt (3)	410	mittel	gut
Indirekt-Direkt (3)	330	hoch	gut
Indirekt (4)	330	hoch	annehmbar
Indirekt (4)	225	mittel	annehmbar
2K-OPT (5)	240	sehr hoch	sehr gut

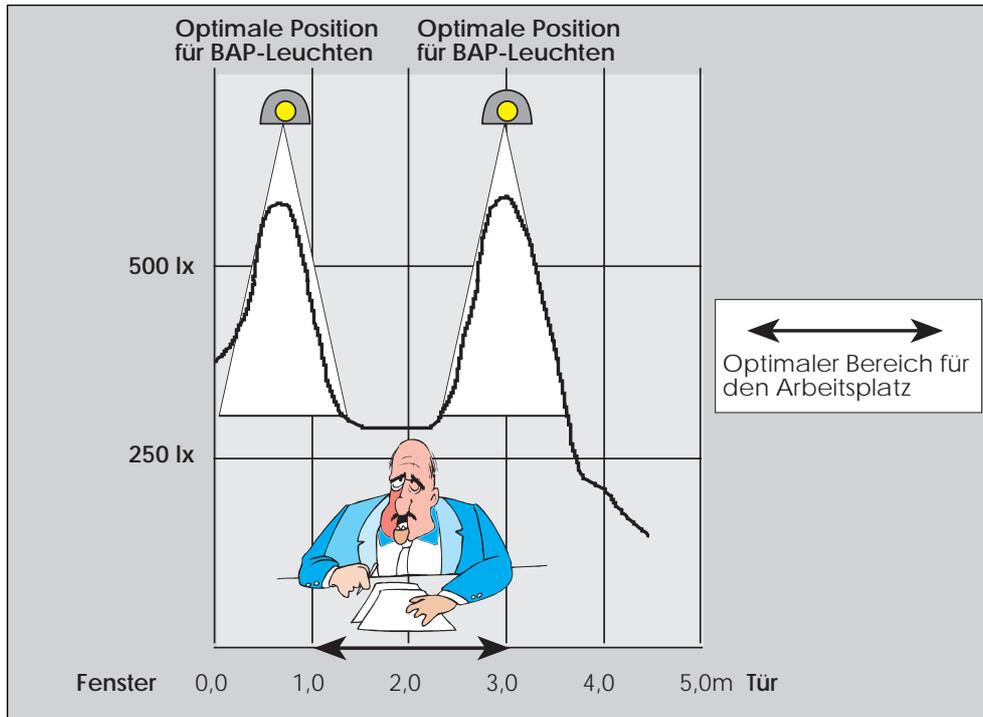
Insgesamt wurde festgestellt, daß es selbst innerhalb einer einzelnen Beleuchtungsart (z.B. Konzept 1) höchst unterschiedliche Beleuchtungsstärken, Beleuchtungsstärkeverteilungen u.ä. gibt, nachdem man alle Planer auf eine bestimmte Norm verpflichtet hat. Obwohl das Konzept der Allgemeinbeleuchtung darauf abzielt, an allen Stellen des Raumes gleiche Sehbedingungen zu schaffen, brachten die Planer es bei diesem Projekt nicht einmal fertig, die Nennbeleuchtungsstärke einzuhalten. In einem besonders bemerkenswerten Fall unterschied sich die Beleuchtungsstärke bereits an drei Punkten auf dem Schreibtisch um 300 lx, und das bei einer Planungsvorgabe von 500 lx.

Die Studie zeigte auch, daß die rechnerische Ermittlung der Nennbeleuchtungsstärke zu wenig mit der tatsächlichen Beleuchtungsstärke am Arbeitsplatz zu tun hat: So beträgt der mittlere Wert für Konzept 3 (CRF-Leuchten) nach Tabelle 11.1 410 lx bzw. 330 lx. Da bei diesem Konzept die Beleuchtungsstärke am Arbeitsplatz am höchsten ist, ist die am Arbeitsplatz wirksame Beleuchtungsstärke wesentlich höher als bei Konzept 1, wo der rechnerisch ermittelte Mittelwert viel höher liegt (490 lx bis 625 lx).

Die Mittelung über den gesamten Raum und die Vernachlässigung der Beleuchtungsstärke durch den Arbeitsplatz benachteiligt die Beleuchtung des Typs 5 (2K-OPT). Zu dem Wert von 240 lx müßte ein zusätzlicher Wert von ca. 700 lx addiert werden, um die wirksame Beleuchtungsstärke zu ermitteln, da die Arbeitsplatzleuchten je nach Einstellung bis zu 700 lx über eine Fläche von 600 mm x 600 mm (etwa 6 x DIN A4) erzeugen können.

Die Untersuchungen zu diesem Teil der Studie belegen eine der Kernaussagen des Kapitels 10, daß bei der Planung neuer Beleuchtungsanlagen nicht einmal die Beleuchtungsstärke vernünftig berücksichtigt wird. Die Tatsache, daß nur bei zwei

Bild 11.12 Beleuchtungsstärkeverteilung in einem Raum mit zwei Lichtbändern mit BAP-Leuchten. In dem für die Aufstellung von Arbeitsplätzen empfohlenen Bereich herrschen die niedrigsten Werte.



Installationen eine Gleichmäßigkeit besser als 1:1,5 (Minimalwert zum Mittelwert) erreicht wurde, spricht für sich. Dies ist jedoch nicht zufällig nur bei diesem Projekt vorgekommen. Man kann aufgrund von Herstellerangaben unter Berücksichtigung der Raumhöhe ohne weiteres ausrechnen, daß man mit zwei Lichtbändern die erforderliche Gleichmäßigkeit in den meisten Räumen gar nicht erzielen kann, weil sie zu niedrig sind. Dies läßt vermuten, daß es auch kein Zufall ist, daß die lichttechnischen Normen keine Gleichmäßigkeit mehr vorschreiben. (Anm.: Die Gleichmäßigkeit der Beleuchtungsstärke soll in der künftigen Europäischen Norm zur Beleuchtung wieder eingeführt werden, allerdings nur innerhalb einer bestimmten Zone und nicht für den gesamten Raum.)

### Schattigkeit

Die Schattigkeit, gemessen als Verhältnis der zylindrischen Beleuchtungsstärke zur horizontalen, ist bei 2K-OPT (Typ 5) sehr gut (zwischen 0,40 und 0,50) und bei den Indirekt-Direkt-Leuchten gut. Überraschenderweise wiesen die beiden Installationen mit Indirektleuchten (Typ 4) ungünstigere Werte auf, die nicht besser waren als die einer Installation mit BAP-Leuchten. Die Direkt-Indirekt-Beleuchtung (Typ 2) erreichte auch keine wesentlich besseren Resultate als die tiefstrahlende BAP-Beleuchtung.

Das überraschende Ergebnis für die Indirekt-Beleuchtung läßt sich darauf zurückführen, daß bei realen Installationen ein geringe Anzahl von Leuchten im Raum installiert werden kann, deren Anordnung zudem nicht überall möglich ist. Das Bild von einer schattenlosen indirekten Beleuchtung, die die plastische Wirkung von Objekten beseitigt und die Gesichter der Menschen flach erscheinen läßt, muß vermutlich aus der Theorie entstanden sein.

### ***Leuchtdichteverhältnisse***

Wie in Kapitel 9 ausgeführt, sind Leuchtdichten und ihre Verhältnisse aus visueller Sicht die wichtigsten Größen, während Beleuchtungsstärken und Reflexionsgrade eher Planungshilfsgrößen darstellen. Welches Ergebnis erzielt man hinsichtlich dieser Größen, wenn man Anlagen in Auftrag gibt, die alle normgerecht sein und gute Sehbedingungen schaffen sollen?

Tab. 11.2 Leuchtdichteverteilung im Gesichtsfeld (Leuchtdichte 1 = weißes Papier in Schreibtischmitte, Leuchtdichte 2 = Decke bzw. sichtbare Teile der Leuchte, Leuchtdichte 3 = Wände)

<b>Beleuchtungsart (Konzept)</b>	<b>Leuchtdichte 1 (cd/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Leuchtdichte 2 (cd/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Leuchtdichte 3 (cd/m<sup>2</sup>)</b>
BAP (1)	150/255	12/580	20/80
BAP (1)	78/217	20/700	20/100
BAP (1)	100/110	60/460	50/120
Direkt-Indirekt (2)	119/165	30/290	70/80
Direkt-Indirekt (2)	134/148	20/1400	60/110
Direkt-Indirekt (2)	138/235	30/350	30/350
Direkt-Indirekt (2)	140/170	50/280	30/150
Direkt-Indirekt (2)	175/180	20/300	30/75
Indirekt-Direkt (3)	120/130	30/500	20/50
Indirekt-Direkt (3)	65/80	30/300	15/100
Indirekt (4)	75/88	10/530	13/40
Indirekt (4)	--	--	--
2K-OPT (5)	25/60	30/420	30/55
BAP (1)	150/255	12/580	20/80
BAP (1)	78/217	20/700	20/100
BAP (1)	100/110	60/460	50/120

Wie man Tab. 11.2 entnehmen kann, sind die erreichten Werte höchst unterschiedlich. Beispielsweise kann die Leuchtdichte eines Blattes Papier in Schreibtischmitte, d.h. dort, wo man seine Akten liest, zwischen  $45$  und  $255 \text{ cd/m}^2$  variieren, wenn man alle Anlagen insgesamt betrachtet. Aber auch innerhalb eines einzelnen Raums können die Leuchtdichten sich von Arbeitsplatz zu Arbeitsplatz um das Verhältnis 1:3 unterscheiden. Hinzu kommt, daß man zuweilen je nach Position des Leseguts auch auf einem einzelnen Platz um den Faktor drei unterschiedliche Leuchtdichtewerte erhält. Insgesamt kein gutes Zeugnis für Planer, denn die Leuchtdichte des Leseguts ist die wichtigste beleuchtungstechnische Größe bezüglich der Lesbarkeit.

Die Leuchtdichten der sichtbaren Deckenbereiche (gemessen in Hauptblickrichtung und  $60^\circ$  darüber) bewegen sich zwischen  $10 \text{ cd/m}^2$  und  $1400 \text{ cd/m}^2$ . Die größte Ungleichmäßigkeit innerhalb einer Decke (Minimum zu Maximum) betrug 1:70, die zweitgrößte 1:53. Interessanterweise wurde die größte Ungleichmäßigkeit bei einer Direkt-Indirekt-Beleuchtung gemessen, aber auch die geringste mit einem Verhältnis von 1:6. Die zweitgrößte Ungleichmäßigkeit ergab sich für die Indirektbeleuchtung.

Diese Ergebnisse legen nahe, daß man mit seinem Urteil über eine Beleuchtungsart vorsichtig umgehen sollte, weil reale Anlagen nach dem gleichen Konzept in der technischen Ausführung offenbar sehr unterschiedlich ausfallen können.

Die Leuchtdichten in den Wandbereichen waren erwartungsgemäß gleichmäßiger als die in den Deckenbereichen. Das ungünstigste Verhältnis betrug 1:12, während das günstigste fast 1:1 war, d.h., die gesamte Wand wies praktisch die gleiche Leuchtdichte auf.

*Anm.: Die hier kurz referierten Ergebnisse der Messungen sowie die vom jeweiligen Hersteller eingereichten üblichen Bilder, die von Planungsprogrammen erzeugt werden (z.B. Bild 11.12), wurden in verfremdeter Form bei verschiedenen Veranstaltungen diskutiert. Anwesende Lichttechniker wollten nicht einmal glauben, daß sie echt sind. In einem Fall hat sogar der Entwicklungsleiter eines Anbieters eine Planung aus dem eigenen Hause als Unsinn bezeichnet.*

### 11.4.3 Ergebnisse der Befragung der Raumbenutzer

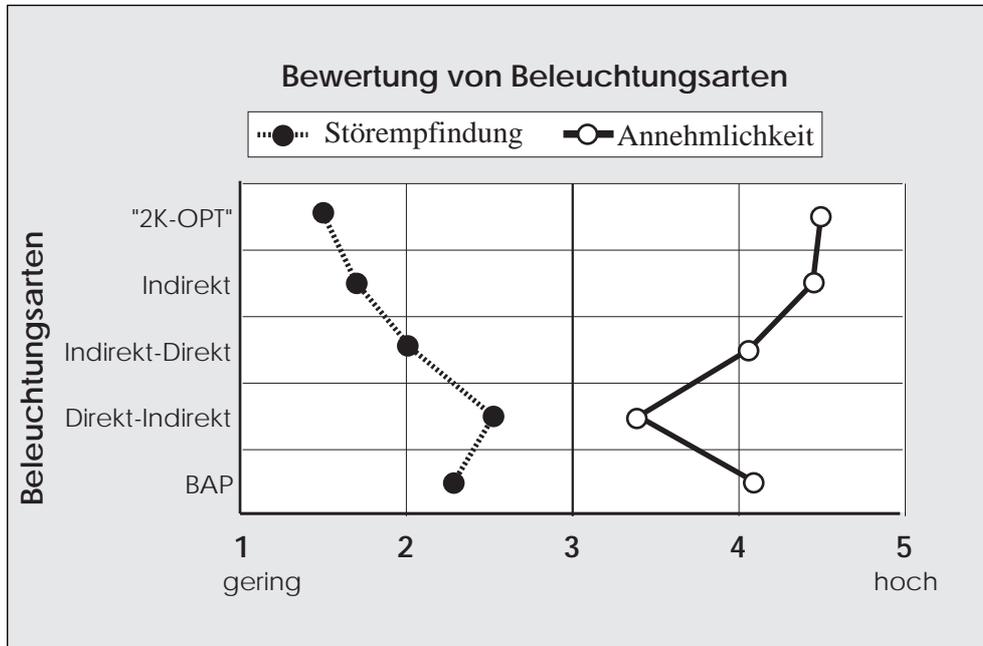
Die Befragung nach „Annehmlichkeit“ („angenehm“, „freundlich“ und „sanft“) und nach „Störempfindung“ („störend“, „kalt“, „blendend“) ergibt die gleiche Reihenfolge der Präferenz der verglichenen Beleuchtungsarten (s. Bild 11.13). Die beiden Kurven für „Annehmlichkeit“ und „Störempfindung“ sind fast Spiegelbilder.

Eine solche Beziehung zwischen den beiden Bewertungskriterien herrscht nur dann, wenn die Störung durch die Beleuchtung deutlich fühlbar ist (Çakir, 1975). Hingegen werden die beiden Größen bei geringfügiger Störung relativ unabhängig bewertet.

Nach den hier angeführten Kriterien ergibt sich folgende Reihenfolge der Präferenz:

1. 2K-OPT
2. Indirekt-Beleuchtung

Bild 11.13 Bewertung von fünf Beleuchtungsarten nach Störimpfindung und Annehmlichkeit



3. Indirekt-Direkt-Beleuchtung ("CRF")
4. BAP-Beleuchtung
5. Direkt-Indirekt-Beleuchtung.

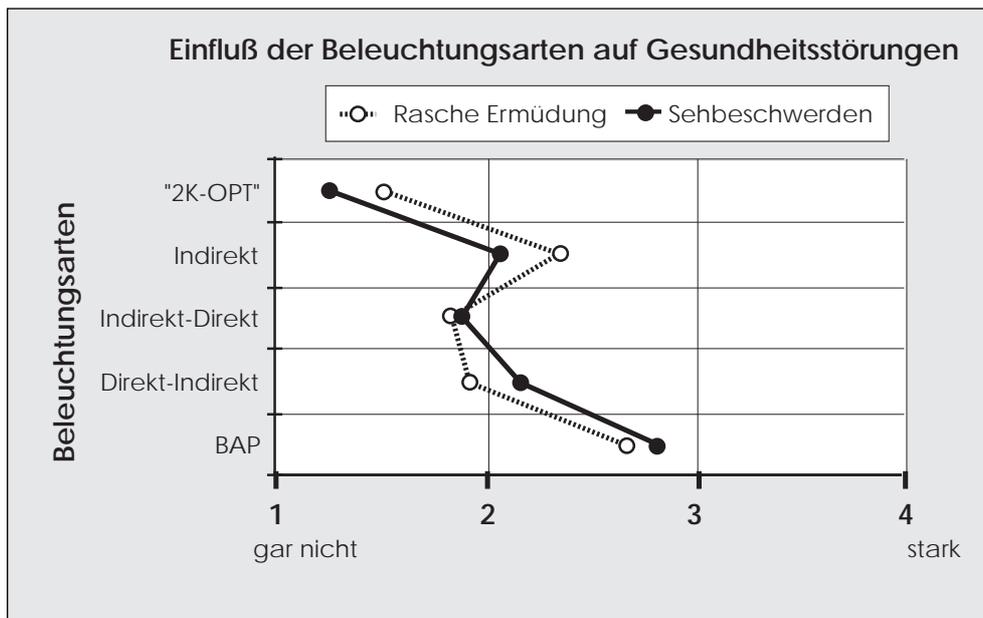
(Anm.: Die Bewertung der "Indirekt-Direkt"-Beleuchtung mit "CRF"-Leuchten (3.) kann in der Praxis wesentlich günstiger ausfallen als in dieser Untersuchung, da die hier eingesetzte Leuchte später durch technisch verbesserte Lösungen ersetzt worden ist. Dennoch hat auch die technisch noch nicht ausgereifte Lösung eine bemerkenswert positive Bewertung erhalten. S. hierzu auch Fallstudie 6 in Kapitel 10.)

Die Bewertung hinsichtlich der erfaßten Gesundheitsstörungen fällt etwas anders aus (s. Bild 11.14):

1. 2K-OPT
2. Indirekt-Direkt-Beleuchtung
3. Direkt-Indirekt-Beleuchtung
4. Indirekt-Beleuchtung
5. BAP-Beleuchtung.

Diese Tendenz ergibt sich nicht nur für die in Bild 11.14 angeführten Störungen „*Rasche Ermüdung*“ und „*Sehbeschwerden*“, sondern generell für alle.

Bild 11.14 Bewertung von „*Rasche Ermüdung*“ und „*Sehbeschwerden*“, die von verschiedenen Beleuchtungsarten hervorgerufen werden.

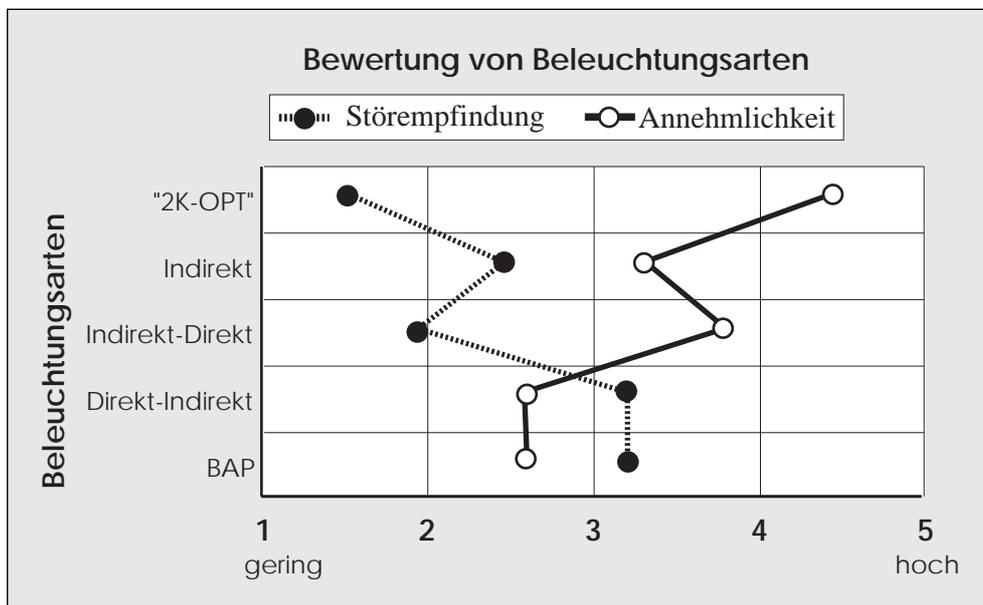


#### 11.4.4 Ergebnisse der Befragung von raumfremden Mitarbeitern

Die gleichen Beleuchtungsanlagen wurden in einer weiteren Befragung von 68 Mitarbeitern aus dem gleichen Haus bewertet, die mit der jeweiligen Anlage nicht vertraut waren. Wie bereits erwähnt, sollten diese nicht nach Gesundheitsstörungen befragt werden, weil das Ergebnis spekulativ wäre. Sie wurden daher lediglich nach „*Annehmlichkeit*“, „*Störfempfindung*“ und „*Blendung*“ gefragt. Dieser Teil der Untersuchung entspricht den Kurzzeitversuchen in Labors, allerdings mit dem Unterschied, daß die Mitarbeiter wußten, daß die von ihnen als beste empfundene Beleuchtung wahrscheinlich später an ihrem Arbeitsplatz installiert werden würde.

Die Tendenz aus dieser Befragung entspricht in etwa der aus der Mitarbeiterbefragung (s. Bild 11.15). Lediglich die empfundenen Unterschiede fallen größer aus. Dies ist vermutlich darauf zurückzuführen, daß sich die Befragten in einem Kurzzeitversuch die „Beleuchtung“ ansehen und so größere Unterschiede empfinden, während die Rauminnsassen nach einer Phase der Eingewöhnung eher nach den Sehbedingungen urteilen. Auch nach dieser Befragung wird die optimierte 2K-Beleuchtung am günstigsten, die BAP-Beleuchtung am ungünstigsten beurteilt.

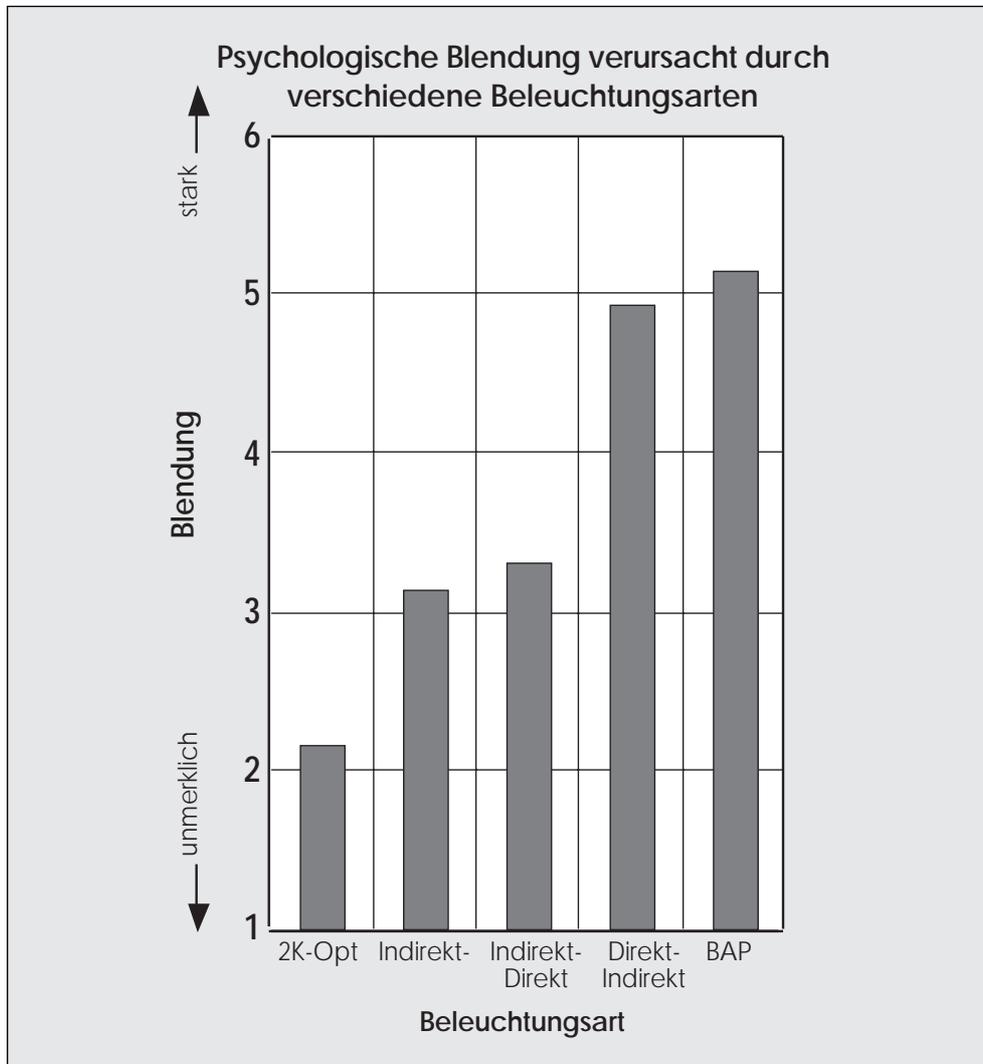
Bild 11.15 Bewertung von fünf Beleuchtungsarten nach Störimpfindung und Annehmlichkeit, beurteilt von raumfremden Kollegen (vgl. Bild 11.13)



Die Befragung nach der psychologischen Blendung sollte nach den derzeitigen Blendungsbewertungskurven für alle untersuchten Beleuchtungen das gleiche Ergebnis bringen, nämlich "keine Blendung". Wenn sich die Ergebnisse unterscheiden sollten, dann müßte die BAP-Beleuchtung deutlich bevorzugt werden. Diese Erwartungshaltung wurde jedoch enttäuscht: Die Blendwirkung durch die einzelnen Beleuchtungsarten ist unterschiedlich, die BAP-Beleuchtung wird nicht am besten, sondern am schlechtesten beurteilt. Die Reihenfolge der Präferenz ist (s. Bild 11.16):

1. 2K-OPT
2. Indirekt-Beleuchtung
3. Indirekt-Direkt-Beleuchtung
4. Direkt-Indirekt-Beleuchtung
5. BAP-Beleuchtung.

Bild 11.16 Bewertung der psychologischen Blendung bei fünf Beleuchtungsarten



### 11.5 Schlußfolgerungen aus den vergleichenden Untersuchungen

Die vergleichenden Untersuchungen, die hier dargestellt wurden, ließen seinerzeit (1994) folgende Schlußfolgerungen zu:

1. Die künstliche Beleuchtung stellt nicht notwendigerweise die Ursache von Gesundheitsstörungen dar, sie kann Gesundheit und Wohlbefinden sogar fördern.
2. Die für die Beleuchtung von Bildschirmarbeitsplätzen propagierte Art der Beleuchtung mit tiefstrahlenden Leuchten (BAP-Leuchten) löst weder die visuellen Probleme an diesen Arbeitsplätzen noch an anderen. Vielmehr sind diese Leuchten als Ursache von Störungen der Gesundheit und des Befindens anzusehen.

3. Die aus der Sicht der Mitarbeiter günstigste Beleuchtung besteht aus einer indirekten Raumbeleuchtung und einer zusätzlichen Komponente, über die der Einzelne selbst bestimmen kann. (*Anm.: Das setzt in Gemeinschaftsräumen voraus, daß man andere selbstverständlich nicht stören darf.*)
4. Direktstrahlende Leuchten in Verbindung mit modernen Leuchtstofflampen, die eine hohe Leuchtdichte aufweisen, werden auch dann nicht akzeptiert, wenn die Leuchte einen Indirektanteil aufweist.
5. Aus den Untersuchungen zu den bisher durchgeführten drei Teilen dieses Projekts kann als wichtigstes Merkmal einer Beleuchtung aus der Sicht des Menschen ihre Anpassung bzw. ihre Anpaßbarkeit an individuelle Bedürfnisse abgeleitet werden, d.h. der Grad der Flexibilität.

Auch die nach Abfassung des Berichts vom Jahre 1994 weitergeführten Untersuchungen belegen, daß die oben angeführten Feststellungen generalisierbar sind. Zudem gibt es von unseren Studien vollkommen unabhängige Untersuchungen (s. "1.7 Vergleich mit Resultaten anderer Studien" ), deren Ergebnisse in die gleiche Richtung weisen.

Allerdings konnte diese Studie nicht die Frage beantworten, ob die Güte Merkmale der Beleuchtung als Bewertungsmaßstab für gute Beleuchtung tauglich sind. Der wesentliche Grund hierfür war, daß bislang kein Planer vorführen konnte, wie man alle Gütekriterien einhält. Da stellt sich die Frage, ob die Gütekriterien alle gemeinsam überhaupt einzuhalten sind, wie die Norm es verlangt.

## 11.6 Überprüfung der Zuverlässigkeit der Ergebnisse

### 11.6.1 Methodischer Grund der Überprüfung

Bei einer Untersuchung, die sich über einen sehr langen Zeitraum erstreckt hat, ist es sinnvoll, zum Schluß zu überprüfen, ob die ermittelten Ergebnisse noch zuverlässig sind. So kann beispielsweise eine Änderung der Intensität der Arbeit am Bildschirm, die während der Durchführungszeit von dieser Studie ohne Zweifel eingetreten ist, dazu geführt haben, daß bei gleicher Symptommhäufigkeit (z.B. Häufigkeit des Auftretens von Kopfschmerzen) die Wirkung von Beleuchtung abgenommen hat, während die des Bildschirms gleichzeitig zugenommen hat. Es ist denkbar, und nach den Untersuchungen von Östberg (Östberg, 1979) sogar wahrscheinlich, daß eine Erschwerung von Sehbedingungen durch andere Faktoren eine ungünstigere Bewertung einer Beleuchtung nach sich zieht.

Aus den o.g. Gründen werden an dieser Stelle die Ergebnisse zweier Projekte aus dem Jahr 1996 herangezogen, bei denen folgende Fragen im Vordergrund standen:

- Mit welcher Genauigkeit der Übereinstimmung der Ergebnisse ist zu rechnen, wenn die Befragung für eine bestimmte Beleuchtung mit einer anderen Gruppe von Benutzern wiederholt wird (Test-Retest-Reliabilität)?
- Läßt sich die positive Wirkung der Arbeitsplatzleuchte verallgemeinern?

### **11.6.2 Zur Durchführung**

In einem Unternehmen, das Großraumbüros betreibt, bei dem die Arbeitsbedingungen einschließlich der Beleuchtung in allen wesentlichen Details die gleichen sind, wie sie beim Einsatz des in Kapitel 10 angegebenen Fragebogens im Jahr 1976 vorlagen, wurden im Jahr 1996 120 Personen befragt, von denen ein Drittel etwa 4-6 Stunden am Bildschirm arbeitete und weitgehend die gleiche Tätigkeit ausführte wie die im Jahre 1976 befragten Personen. Die weiteren zwei Drittel arbeiteten ausschließlich am Bildschirm. Ihre Sehaufgabe wurde aufgrund des verstärkten Bildschirmesatzes als deutlich schwieriger bezeichnet.

Die seinerzeit erhobene Beurteilung der Beleuchtung hatte sich nur marginal von späteren Beurteilungen unterschieden, so daß wir die Urteile von insgesamt 450 Personen, die vergleichbare Tätigkeiten in vergleichbaren Organisationen aus der gleichen Branche als eine Vergleichsstichprobe zusammengefaßt haben. Obwohl sich die Arbeitsräume der Befragten erheblich unterschieden haben (von 2-Personen-Zellenbüros bis Großraumbüro), wurde die Beleuchtung einheitlich beurteilt. Allen gemeinsam war nur die Art der Beleuchtung.

Die Beurteilung der Beleuchtung mit der so erhaltenen Stichprobe wurde mit der neuen Erhebung verglichen.

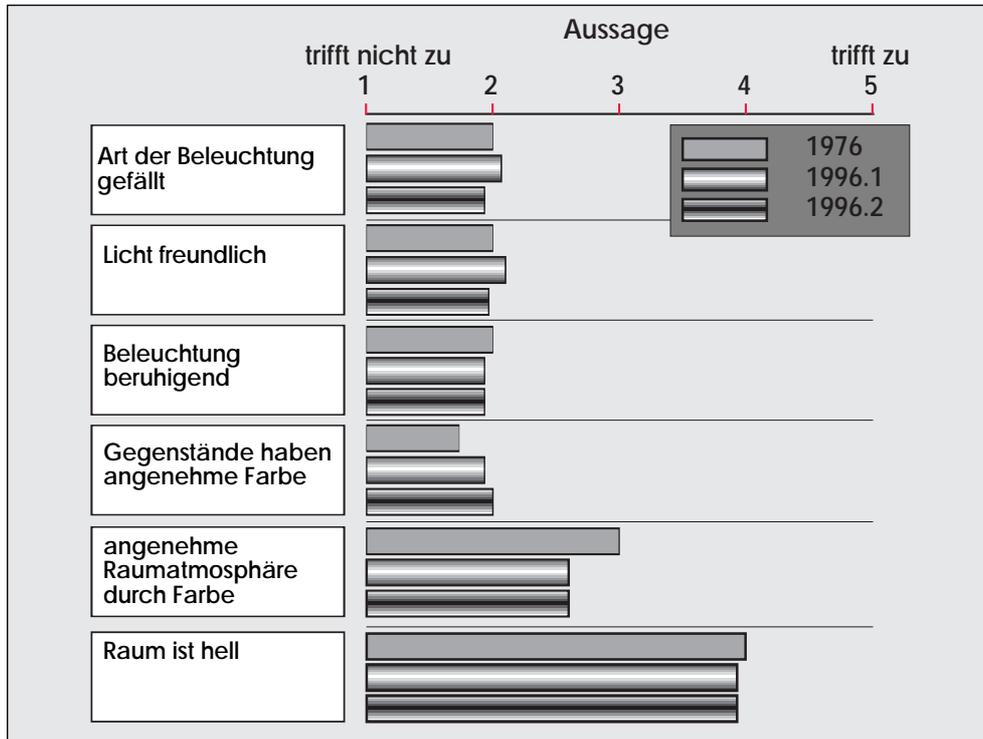
Die zweite Untersuchung wurde in einem Betrieb durchgeführt, der eine recht große Zahl von unterschiedlichen Beleuchtungsarten installiert hatte. Das Spektrum reichte von Direktbeleuchtung bis hin zu Indirektbeleuchtung mit Wandleuchten als Allgemeinbeleuchtung, wobei eine Reihe von Arbeitsplätzen mit ergänzenden Arbeitsplatzleuchten bestückt war, andere wiederum nicht. Mit Hilfe dieser Erhebung ließ sich der Einfluß der Arbeitsplatzleuchte sehr gut untersuchen. An dieser Untersuchung haben sich 250 Personen beteiligt.

### **11.6.3 Zur Zuverlässigkeit der Bewertung der Beleuchtung**

Die Beurteilung der Beleuchtung aus dem Jahr 1976 unterscheidet sich von der im Jahr 1996 nicht einmal marginal (s. Bild 11.17). Lediglich geringfügige, allerdings statistisch nicht signifikante, Unterschiede wurden zwischen den beiden Gruppen aus dem Jahr 1996 gefunden, wobei die als schwieriger eingeschätzte Sehaufgabe durch die Dauerarbeit am Bildschirm die Bewertung der Beleuchtung geringfügig zu verschlechtern scheint. Die Unterschiede sind jedoch derart geringfügig, daß sie nicht interpretiert werden dürfen. Es zeigt sich also, daß die subjektive Beurteilung der Beleuchtung fast ausschließlich von der Art der Beleuchtung selbst abhängt. Der benutzte Fragebogen besitzt somit eine sehr hohe Test-Retest-Reliabilität.

Die Bewertung der Beleuchtung in unseren Studien unterscheidet sich zudem bei vergleichbaren Bewertungsskalen ("Beleuchtung blendet", "Beleuchtung unangenehm" und "Beleuchtung störend") nur unwesentlich von der Bewertung der Direktbeleuchtung mit tiefstrahlenden Leuchten, die bei einer Studie der Cornell-University in den USA ermittelt wurde (s. "1.7 Vergleich mit Resultaten anderer Studien").

Bild 11.17 Vergleich der Beurteilung einer Direktbeleuchtung im Jahre 1976 und 1996 bei ähnlichen Arbeitsbedingungen (1996.1 = Vergleichsgruppe, 1996.2 = Vergleichsgruppe mit schwierigeren Sehaufgaben)



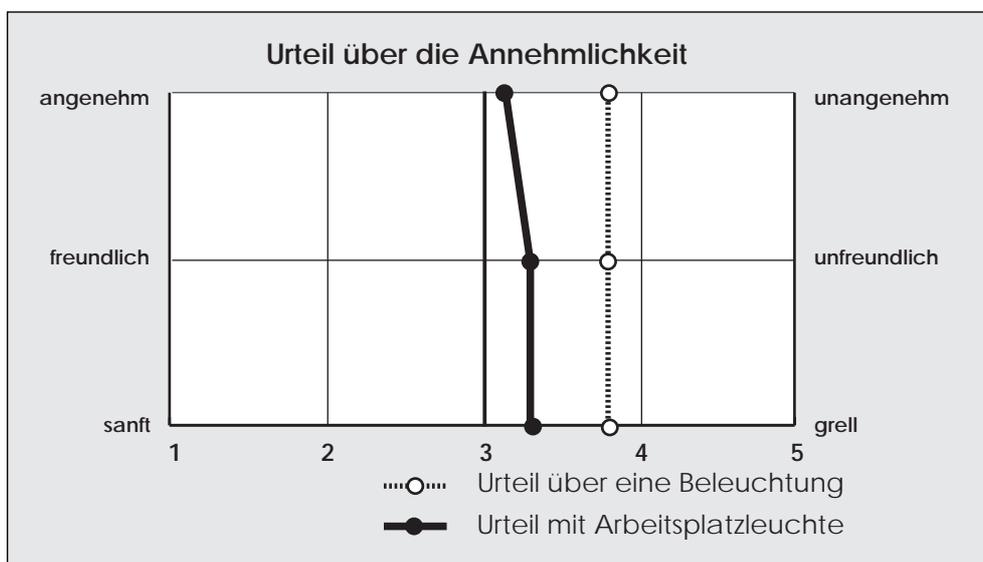
#### 11.6.4 Läßt sich die Wirkung der Arbeitsplatzleuchte verallgemeinern?

Die in Kapitel 5 dargestellte positive Wirkung der "Tischleuchte" kann theoretisch gesehen darauf beruhen, daß die bewertete Allgemeinbeleuchtung, über deren Qualität wir keine Aussagen machen können, derart ungünstig war, daß die Benutzer die Benutzung der Tischleuchte notgedrungen vorgezogen haben. Eine solche Vermutung ist nicht abwegig, da z.B. die Benutzer von Regieräumen eine an sich recht fragwürdige Beleuchtung vorziehen, weil sie sonst unter noch unbefriedigenderen Beleuchtungsverhältnissen arbeiten müssen, da sie mit lauter glänzenden Arbeitsmitteln zu tun haben. Daher sollte geprüft werden, ob ein positiver Einfluß einer Arbeitsplatzleuchte auch dann feststellbar ist, wenn die Allgemeinbeleuchtung zumindest nach lichttechnischen Kriterien annehmbar gestaltet ist. Die Möglichkeit hierzu hatten wir in der zweiten der o.g. Untersuchungen, wo die gleiche Allgemeinbeleuchtung mit Direktleuchten mit und ohne eine Arbeitsplatzleuchte in ähnlichen Räumen installiert war.

Das Ergebnis der Untersuchung zeigt Bild 11.18: Es läßt sich also nachweisen, daß sich die Akzeptanz einer bestimmten Beleuchtung durch den Einsatz einer zusätzlichen Arbeitsplatzleuchte steigern läßt.

Diese Aussage muß allerdings nicht notwendigerweise bedeuten, daß die wahre Ursache die Arbeitsplatzleuchte sei. Wie bereits in diesem Kapitel dargestellt, kann die Wirkung schlicht darauf beruhen, daß den individuellen Bedürfnissen besser Rechnung getragen wird. In diesem Fall, d.h. bei Anpaßbarkeit der Beleuchtung an persönliche Bedürfnisse, können sich auch sonstige Maßnahmen, die demselben Ziel dienen, ebenso erfolgreich auswirken.

Bild 11.18 Veränderung der Bewertung der Direktbeleuchtung durch den Einsatz von Arbeitsplatzleuchten



## 11.7 Vergleich mit Resultaten anderer Studien

In den vergangenen Jahren sind eine Reihe von anderen Projekten zur subjektiven Bewertung der künstlichen Beleuchtung durchgeführt worden. Im folgenden werden die Resultate der vier wichtigsten Untersuchungen dargestellt:

- Studie der Cornell-University in den USA (Hedge u.a.)
- Studie der Universität Karlsruhe (Bodmann u.a.)
- Studie der Fachhochschule Gießen (Lorenz)
- Studie der TU Ilmenau (Gall u.a.)

### 11.7.1 Studie der Cornell-University

Diese Studie wurde in den Jahren 1988 bis 1990 in den USA von einem Wissenschaftler durchgeführt (Hedge u.a., 1990, 1995), der an den umfangreichsten Projekten zum sog. sick building syndrome beteiligt gewesen ist. Der Autor hat in seinen früheren Studien nachgewiesen, daß die Beleuchtung eine der wichtigsten Ursachen für das "sick building syndrome" bildet. Den Anlaß zu dieser Studie gaben Untersuchungen verschiedener Stellen, deren wichtigste Ergebnisse wie folgt lauteten:

- Die American Society of Interior Designers hatte herausgefunden, daß sich 68% der Büromitarbeiter über die Beleuchtung ihrer Arbeitsplätze beklagten.
- Eine Untersuchung aus Kalifornien ergab, daß 79% der Benutzer von Bildschirmgeräten eine bessere Beleuchtung wünschten.
- Eine Louis Harris Studie ergab, daß Büromitarbeiter die Augenbelastung als die wichtigste Gefährdung einstufen, noch vor Strahlung und Asbest.

(Angaben aus der Zusammenfassung der Studie)

Die Untersuchung wurde in Großraumbüros durchgeführt, die in kleine Zellen unterteilt waren. Die Vergleichsobjekte waren eine Indirektbeleuchtung und tiefstrahlende Direktbeleuchtung (ähnlich wie BAP). Etwa die Hälfte der 200 Teilnehmer an der Studie, alle Bildschirmbenutzer, erhielt Indirektbeleuchtung. Die Untersuchung wurde ein Jahr später wiederholt, um den Gewöhnungseffekt zu ermitteln.

Zu Beginn der Studie bevorzugten 79% der unter Indirektbeleuchtung arbeitenden diese und nur 2% die Direktbeleuchtung. Die andere Gruppe, die unter der Direktbeleuchtung arbeitete, bevorzugte zu 48% die Indirektbeleuchtung und zu 28% die Direktbeleuchtung. Ein Jahr später ist die Akzeptanz der Indirektbeleuchtung bei der ersten Gruppe auf 70% zurückgegangen, bei der zweiten hingegen auf 75% angewachsen.

Am Ende der Studie gaben die Befragten ein Votum zu möglichen Problemen mit der Beleuchtung ab, das in Bild 11.19 dargestellt ist (alle Daten: Quelle Hedge, 1992), alle Differenzen sind statistisch signifikant): Bei jedem einzelnen Problem schneidet die Direktbeleuchtung signifikant schlechter ab, der Prozentsatz der Unzufriedenen liegt bei der Direktbeleuchtung um den Faktor zwei bis vier höher.

Nicht nur dieses Ergebnis der Studie bestätigt unsere Resultate. Auch die von den Benutzern getroffenen "Maßnahmen" zur Verbesserung ihrer visuellen Umwelt stimmen mit denen überein, die in Kapitel 10 dargestellt worden sind (s. Tab. 11.3). Zudem findet man solche Angaben häufig in der Literatur (z. B. Çakir u.a., 1978).

Tab. 11.3 Von den Benutzern getroffene Maßnahmen zur Verbesserung der visuellen Umgebungsbedingungen

Von Benutzern getroffene Maßnahme	Indirektbeleuchtung	Direktbeleuchtung
Lampen entfernt, um weniger Licht zu erhalten	15%	66%
Lampen entfernt, um Reflexblendung auf Bildschirmen zu reduzieren	12%	55%
Computer umgestellt, um Reflexblendung auf Bildschirmen zu reduzieren	34%	72%

Tab. 11.3 Von den Benutzern getroffene Maßnahmen zur Verbesserung der visuellen Umgebungsbedingungen

Von Benutzern getroffene Maßnahme	Indirekt-beleuchtung	Direkt-beleuchtung
Arbeitstisch umgestellt, um weniger Licht zu erhalten	10%	24%
Beleuchtung meistens abgeschaltet, um Reflexblendung auf Bildschirmen zu reduzieren	10%	39%

Im übrigen ist man gar nicht auf die Literatur angewiesen, um die beschriebenen Erscheinungsbilder zu finden, sie lassen sich in jedem Büro feststellen.

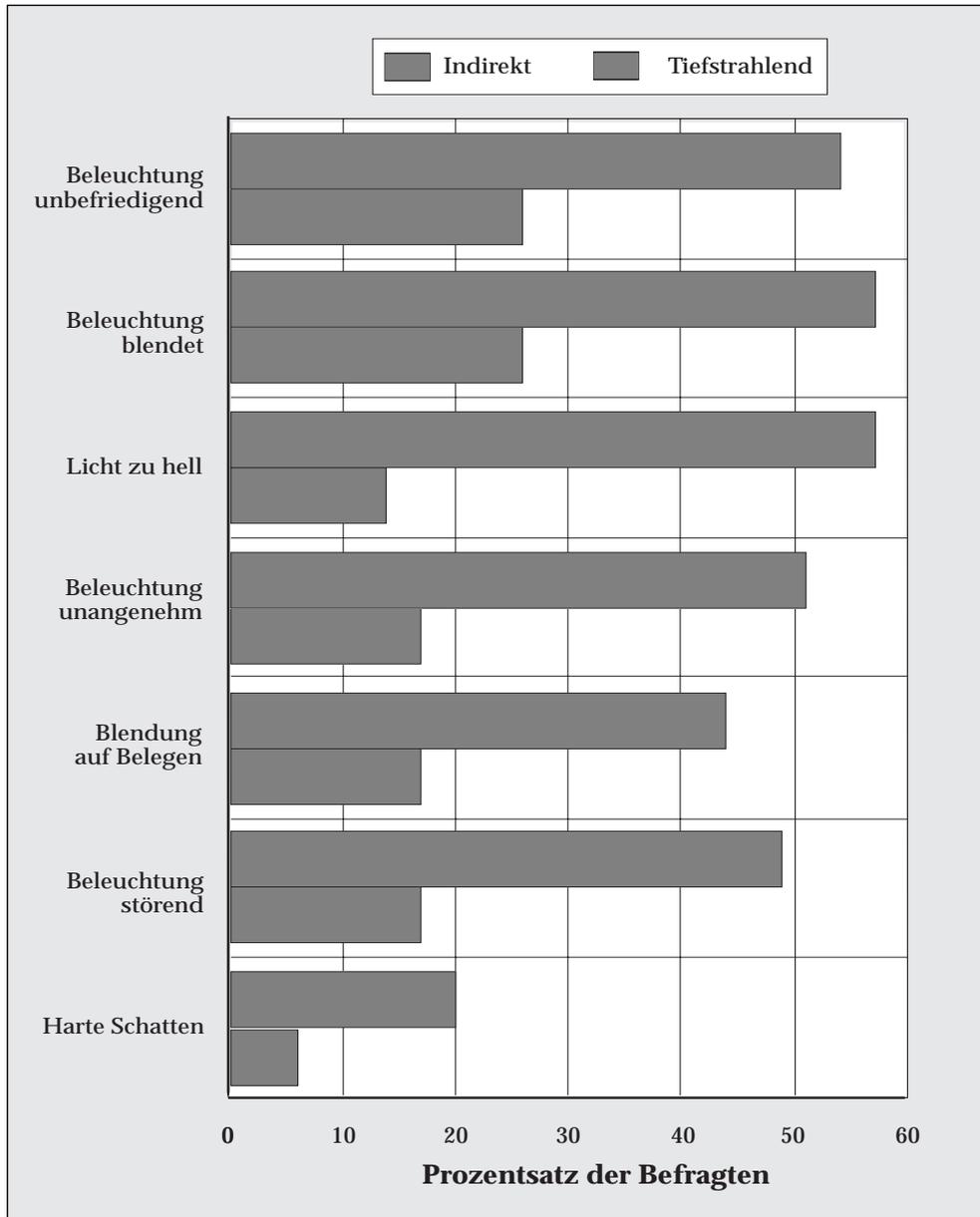
Die Gründe für das Hin- und Herschieben der Möbel, das Abschalten von Lampen u.ä. lassen sich aus Bild 11.20 entnehmen, das die Beleuchtungsstärkeverteilung in zwei Räumen und die Position der Arbeitsplätze zeigt: Dort, wo man hohe Beleuchtungsstärken benötigt (am Schreibtisch), sind die geringsten Werte vorhanden, während die Leuchten entweder über den Bildschirmtischen hängen und damit auf diesen die höchsten Beleuchtungsstärken erzeugen, oder den Fußboden am Gang beleuchten: Insgesamt gesehen eine Beleuchtung, deren Sinn man den Benutzern nur schwer vermitteln kann.

### 11.7.2 Studie der Universität Karlsruhe

Diese Studie wurde zur Bestimmung der Akzeptanz von neuen Beleuchtungssystemen als Laborstudie durchgeführt (Bodmann u.a., 1995). Es wurden acht Beleuchtungsinstallationen untersucht:

- (1) Direkt-Beleuchtung, Deckenanbauleuchte mit weißem Raster
- (2) Direkt-Beleuchtung, Deckenanbauleuchte mit Parabolspiegelraster, hochglänzend, mit 60°-Entspiegelung (BAP)
- (3) desgl., mit seidenmattem Spiegel (BAP)
- (4) Direkt-Indirekt-Beleuchtung, Pendelleuchte mit Parabolspiegelraster, seidenmatt
- (5) Indirekt-Beleuchtung, Standleuchte mit Metallhalogen-Hochdrucklampe
- (6) Indirekt-Direkt-Beleuchtung mit Standleuchte und Tischleuchte, mit Kompaktleuchtstofflampen (entspricht im Prinzip "2K-OPT")
- (7) Direkt-Beleuchtung, Deckenanbauleuchte mit abgeschirmter Lampe und mattweißem Reflektor, mit Kompaktleuchtstofflampen (entspricht im Prinzip der "Sekundärleuchte")
- (8) Direkt-Direkt-Beleuchtung, Deckenanbauleuchte wie bei (7) und Tischleuchte wie bei (6).

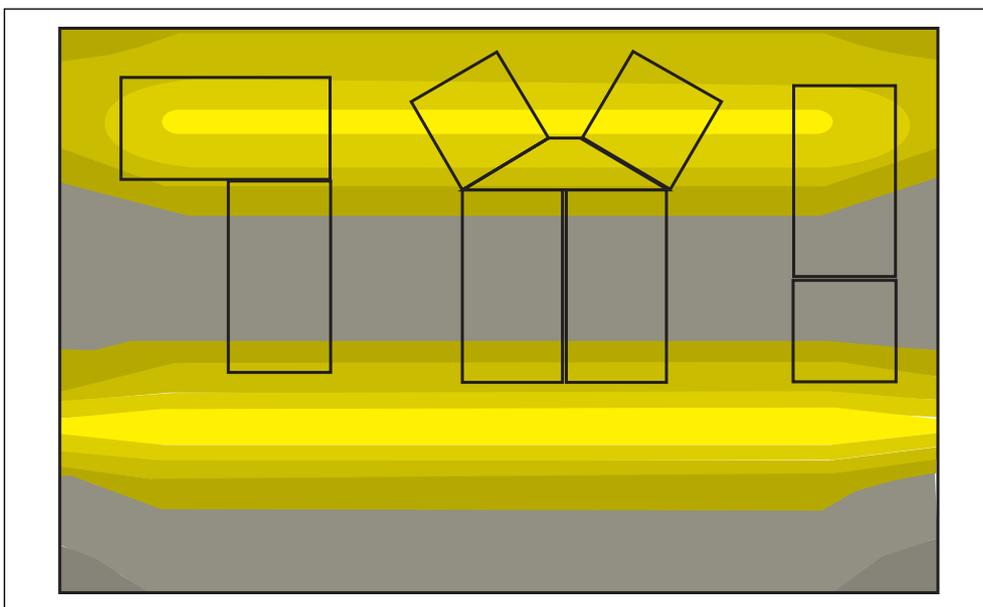
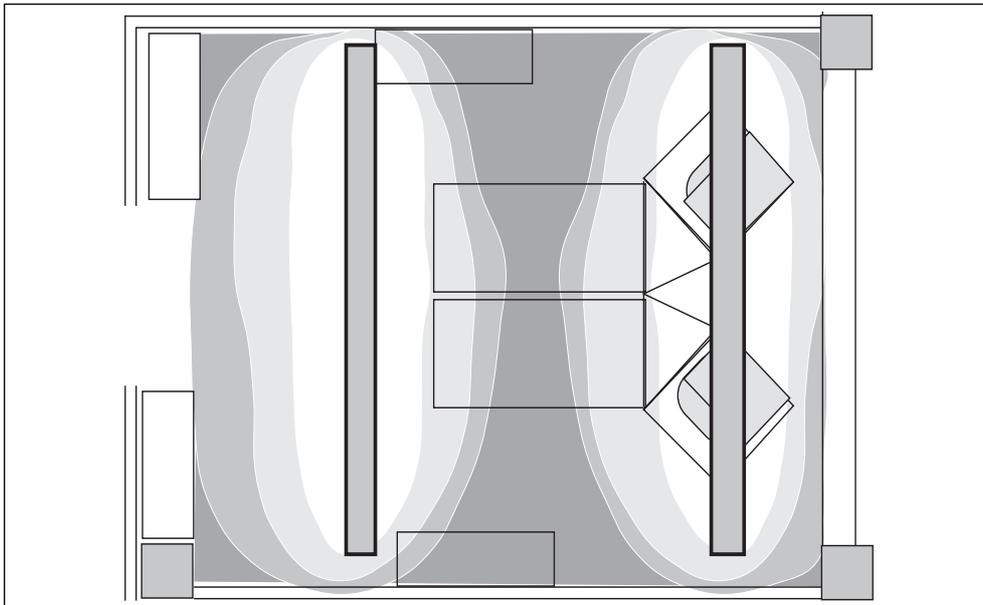
Bild 11.19 Täglich erlebte Probleme mit der Beleuchtung bei tiefstrahlender Direktbeleuchtung und bei Indirektbeleuchtung (nach Hedge, 1992)



An dieser Stelle wird nur ein Auszug aus den Ergebnissen angeführt. Die Reihenfolge der Präferenz war hinsichtlich der Blendungsbeurteilung:

1. Objekte (5) und (6) mit Indirektbeleuchtung
2. Objekte (7) und (8) (jedoch mit weitem Abstand)
3. Objekte (4) und (2) (Direkt-Indirekt-Beleuchtung mit seidenmattem Spiegelraster und Direktbeleuchtung mit Hochglanz-Spiegelraster)

Bild 11.20 Räumliche Verteilung der Beleuchtungsstärke in zwei Zellenbüros mit BAP-Leuchten (vgl. auch Bild 11.12). Die fensterseitigen Leuchtenbänder beleuchten vorwiegend die Bildschirmtische, die türseitigen den Fußboden, während die Schreibtische relativ dunkel bleiben.



- Objekte (1) und (3) (Direktbeleuchtung, weiße Rasterleuchten und seidenmatte Spiegelrasterleuchten).

Insgesamt hat sich gezeigt, daß indirekt abstrahlende Beleuchtungsanlagen auf eine höhere Akzeptanz stoßen als direkt abstrahlende (Bodmann u.a., 1993).

Diese Studie ergibt nach den oben angeführten Ergebnissen die gleiche Reihenfolge der Bewertung wie die von uns durchgeführten vergleichenden Studien, die in diesem Bericht dargestellt werden.

Obwohl es sich um eine Laborstudie handelte, bei der man keine erheblichen Wirkungen auf die Gesundheit feststellen kann, haben etwa 20% der Versuchsteilnehmer Störungen durch trockene Augen und Augenbrennen reklamiert. Bei den mit Tischleuchten kombinierten Indirekt-Beleuchtungsanlagen fielen diese deutlich geringer aus.

Bei den sonstigen Störungen des Wohlbefindens wurde folgendes festgestellt:

**Konzentrationsmangel** : Die mit Tischleuchten kombinierten Beleuchtungsanlagen (6) und (8) sowie die Indirekt-Beleuchtungsanlage (5) erzeugten weniger Störungen als die Direktbeleuchtungsanlagen (1),(2),(3) sowie die Direkt/Indirektbeleuchtungsanlage (4).

**Rasche Ermüdung** : Die Anlagen (1) bis (4) erzeugten mehr Störungen als die Anlagen (5) bis (8).

**Reizbarkeit und Nervosität** : Bei den Anlagen (5) und (6) wurden keine Störungen angegeben. Am schlechtesten schnitt Anlage (1) ab.

**Kopfschmerzen** : Die Anlagen (1) und (2) (BAP) schnitten am schlechtesten ab, Anlage (8) am besten.

Die subjektive Bewertung der Beleuchtungsarten fiel teilweise sehr ungünstig aus (s. Bild 11.21, nach Bodmann u.a.). Einige Bewertungen, die hier nicht dargestellt werden, sind zwar deutlich besser als bei unseren Untersuchungen, jedoch bedeutet die unten dargestellte Beurteilung eine erhebliche Verschlechterung gegenüber unseren Studien (eher bedrückend als freundlich, eher ungeeignet als zweckmäßig, eher ermüdend und belastend als belebend und entspannend).

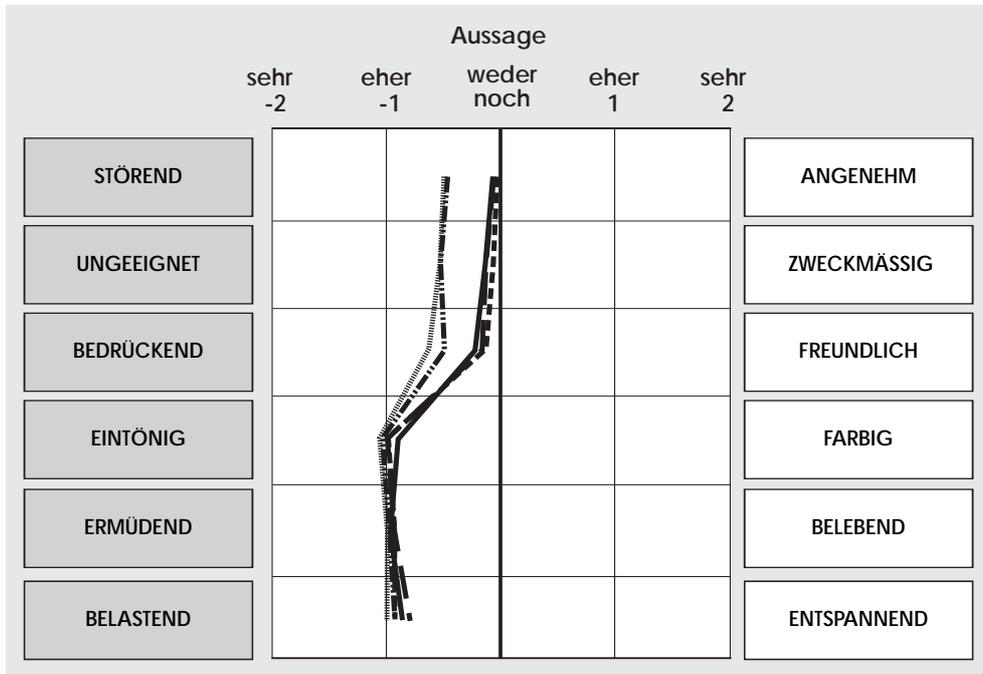
### 11.7.3 Nutzwertanalyse für Beleuchtungsarten

An der Fachhochschule Gießen wurde eine Nutzwertanalyse für verschiedene Beleuchtungsarten durchgeführt (Lorenz, 1993). Hierbei wurden der Bewertung folgende Zielkriterien und Gewichte zugrunde gelegt (Tabelle 11.4).

Die Vergleichsobjekte sind:

- (1) Direktbeleuchtung mit Spiegelrasterleuchte
- (2) wie 1, zusätzliche Arbeitsplatzleuchte
- (3) Indirektbeleuchtung mit Stehleuchte
- (4) Indirektbeleuchtung mit abgependelter Deckenleuchte
- (5) Direkt-Indirekt-Beleuchtung mit abgependelter Deckenleuchte
- (6) Direktbeleuchtung mit Deckenleuchte, Indirektbeleuchtung mit Stehleuchte

Bild 11.21 Einige Beurteilungen der Beleuchtungsanlagen (linke Kurven: (2) BAP, (4) Direkt/Indirekt, rechte Kurven: (5) Indirekt, (6) Indirekt/Direkt mit Arbeitsplatzleuchte, (8) Direkt/Direkt mit Arbeitsplatzleuchte



Tab. 11.4 Zielkriterien und Gewichte für die Wertanalyse

%	Zielkriterien	%	Einzelkriterien
25	Funktions- erfüllung	10	Gleichmäßigkeit der Ausleuchtung
		10	Leuchtdichteunterschiede Umfeld und Infeld
		20	Vermeidung der Direktblendung
		15	Vermeidung der Reflexblendung
		25	Gute Schattigkeit
		20	Verhinderung von Glanzstörungen
5	Lösungsprinzip	100	Einfachheit des Beleuchtungskonzepts

Tab. 11.4 Zielkriterien und Gewichte für die Wertanalyse

%	Zielkriterien	%	Einzelkriterien
25	Flexibilität	50	Anpassung an geänderte Arbeitsplatzanforderungen
		10	Anpassungsmöglichkeiten an versch. Raumhöhen
		10	Anpassung an andere Lichterfordernisse
		15	Anpassung an andere Reflexionsgrade
		15	Leichte Austauschbarkeit des gesamten Systems
20	Kosten	20	Kaufpreis
		20	Installationskosten
		15	Wartungskosten
		45	Beleuchtungswirkungsgrad, Energiekosten
5	Wartung	60	Wartungsintervalle
		40	Erforderliche Qualifikation des Wartungspersonals
20	Subjektive Kriterien	45	Beleuchtungsstärkeregelung individuell, altersgerecht
		45	Zufriedenheit der Mitarbeiter
		10	Lichtfarbe

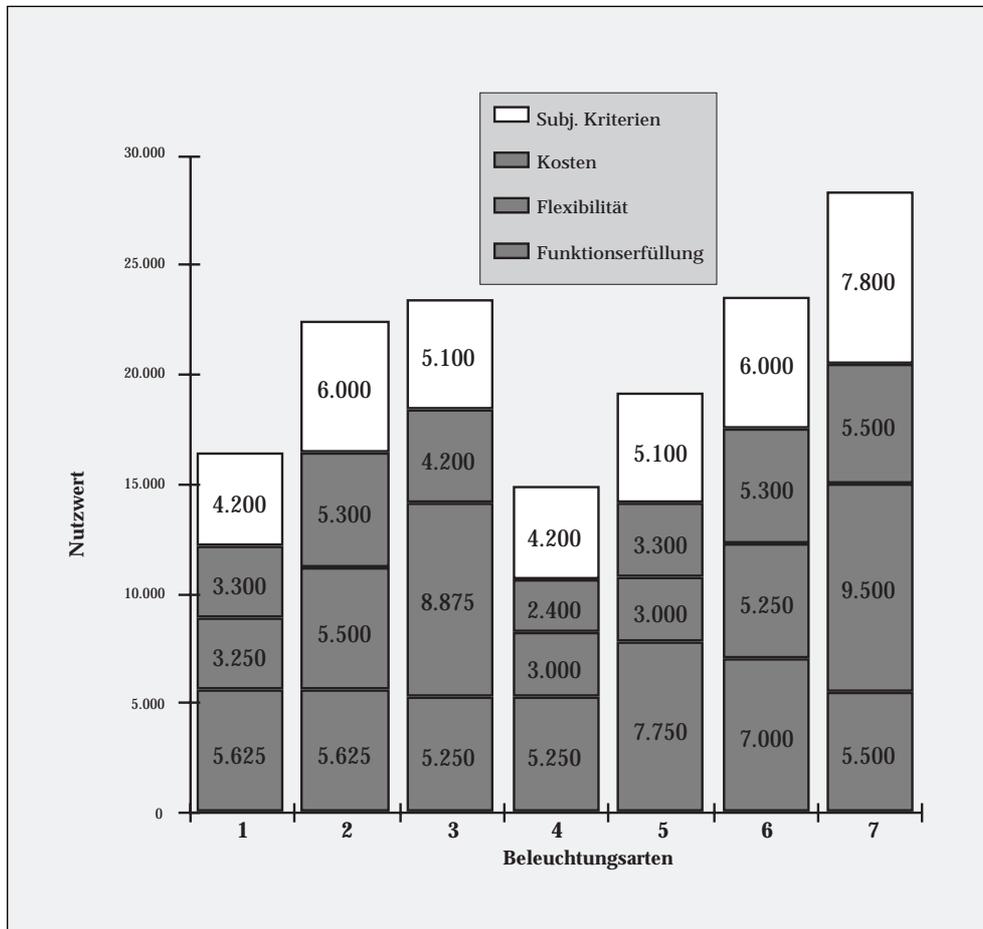
(7) Indirektbeleuchtung mit Stehleuchte, Direktbeleuchtung mit Arbeitsplatzleuchte (entspricht 2K-OPT).

Das Ergebnis der Untersuchung ist in Bild 11.22 zusammengefaßt dargestellt.

Auch bei dieser Betrachtungsweise schneidet die Indirektbeleuchtung mit Arbeitsplatzleuchte (2K-OPT) am besten ab. Die Reihenfolge der Präferenz ist hierbei:

1. Konzept (7): Indirektbeleuchtung mit Stehleuchte, Direktbeleuchtung mit Arbeitsplatzleuchte (entspricht 2K-OPT)
2. Konzept (3): Indirektbeleuchtung mit Stehleuchte
3. Konzept (6): Direktbeleuchtung mit Deckenleuchte, Indirektbeleuchtung mit Stehleuchte
4. Konzept (2): Direktbeleuchtung mit Spiegelrasterleuchte, zusätzlich Arbeitsplatzleuchte
5. Konzept (5): Direkt-Indirekt-Beleuchtung mit abgependelter Deckenleuchte
6. Konzept (1): Direktbeleuchtung mit Spiegelrasterleuchte

Bild 11.22 Errechneter Nutzwert für sieben Beleuchtungsarten



#### 7. Konzept (4): Indirektbeleuchtung mit abgependelter Deckenleuchte

Die Direktbeleuchtung mit Spiegelrasterleuchte (Konzept (1)) liegt an vorletzter Stelle der Nutzwertskala. Die Bewertung des Autors zu diesem Konzept und zu (4) und (5) lautet: *„Das schlechte Ergebnis der restlichen Beleuchtungskonzepte zeigt deutlich, daß sich mit ihrer Hilfe aktuelle Beleuchtungsproblem nur in Ausnahmefällen lösen lassen.“*

Ähnliches hat man allerdings, wie in Kap. 9 angeführt, im „Handbuch für Beleuchtung“ bereits im Jahre 1975 lesen können.

### 11.7.4 Studie der Technischen Universität Ilmenau

In dieser Ende 1996 veröffentlichten Studie (Gall u.a., 1996) wurden im Auftrag der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin Aspekte der Einzelplatzbeleuchtung und Allgemeinbeleuchtung in Labor- und Feldstudien untersucht. Nachfolgend werden einige interessante Ergebnisse aus dem Forschungsbericht wiedergegeben. Weitere Einzelheiten können dem Bericht entnommen werden. Es liegen auch zahlreiche Studien- und Diplomarbeiten zu Einzelaspekten vor, die von der Technischen Universität Ilmenau angefordert werden können.

Insgesamt kommt die Studie zu der Schlußfolgerung, daß die Einzelplatzleuchten nicht nur mehr Verwendung finden, sondern auch bevorzugt werden: *“Da dieses Leuchtensystem sehr viele Vorteile aufweist, ist die Akzeptanz durch die Nutzer sehr hoch. Diese und auch weitere Untersuchungen (...) haben das sehr deutlich gezeigt.”* Allerdings muß dieses Urteil ergänzt werden durch den Zusatz, daß das Ergebnis dann gilt, wenn eine Raumbelichtung vorhanden ist.

### **Wie hoch soll die Allgemeinbeleuchtungsstärke sein?**

Die Studie kommt zu dem Ergebnis, daß es nicht erforderlich ist, die Nennbeleuchtungsstärken nach DIN 5035 Teil 2 als Allgemeinbeleuchtung einzuhalten. Vielmehr genügt ein Niveau von 250 lx. Die Begründung für die Höhe beruht nicht auf der Sehleistung, sondern auf der Raumwirkung einerseits und auf einem günstigen Verhältnis zwischen der Allgemeinbeleuchtung und der Einzelplatzbeleuchtung andererseits: *“... damit der Raum aufgehellt ist und als Ganzes erfaßt werden kann. Diese Grundaufhellung ist außerdem notwendig, um günstige Beleuchtungsstärkeverhältnisse zwischen Allgemeinbeleuchtung und Einzelplatzbeleuchtung erreichen zu können.”*

### **Wie hoch soll die Gesamtbeleuchtungsstärke sein?**

Die Gesamtbeleuchtungsstärke, d.h., die Summe der Allgemeinbeleuchtungsstärke und der Einzelplatzbeleuchtungsstärke, soll sich im Bereich von 600 lx und 1.000 lx bewegen. Hiervon soll einen erheblichen Beitrag die Einzelplatzleuchte erbringen, weil *“es als angenehmer empfunden wird, wenn sich die Einzelplatzbeleuchtung deutlich vom restlichen Raum abhebt.”*

### **Wie hoch soll der Anteil der Arbeitsplatzleuchte an der Gesamtbeleuchtungsstärke sein?**

Für die Einzelplatzbeleuchtungsstärke wurden günstige Werte zwischen 500 lx und 750 lx ermittelt, und zwar unabhängig von der Allgemeinbeleuchtung. Das optimale Verhältnis Allgemeinbeleuchtungsstärke/Einzelplatzbeleuchtungsstärke liegt zwischen 2 : 1 und 1 : 3.

## **12 Begründung von beleuchtungstechnischen Maßnahmen auf der Basis neuer Arbeitsschutzbestimmungen**

### **12.1 Rechtliche Grundlagen**

#### **12.1.1 Aktuelle gesetzliche Regelwerke zur Bildschirmarbeit**

Die Beleuchtung von Arbeitsstätten allgemein wurde bisher in Regelwerken unterschiedlicher rechtlicher Bedeutung geregelt, so in der Arbeitsstättenverordnung (ArbStättV) und in den relevanten Arbeitsstättenrichtlinien sowie in spezifischen Normen (z.B. DIN 5035). Hierbei war die ArbStättV das einzige gesetzliche Regelwerk.

Aufgrund der Umsetzung der EU-Arbeitsschutzrahmenrichtlinie und vier der dazugehörigen Einzelrichtlinien in deutsches Recht, die im Jahre 1996 erfolgt ist, sind zum einen neue nationale gesetzliche Regelwerke entstanden und zum anderen haben sich erhebliche Änderungen bei bestehenden nationalen Regelwerken bzw. für deren Anwendung ergeben, so auch für die ArbStättV. Insbesondere hat sich eine Veränderung für die künstliche Beleuchtung von Bildschirmarbeitsplätzen ergeben, für die es bisher kein spezifisches gesetzliches Regelwerk gab.

Dadurch ist auch eine neue Situation zur Bewertung der künstlichen Beleuchtung im Hinblick auf die Gesundheit am Arbeitsplatz entstanden, insbesondere bei der Bewertung der Beleuchtung von Bildschirmarbeitsplätzen.

Rechtsgrundlage für die Richtlinien der EU zum Arbeitsschutz ist der 1987 durch die Einheitliche Europäische Akte in den EG-Vertrag eingefügte Artikel 118a "Verbesserung der Arbeitsumwelt; Mindestvorschriften". Diese Richtlinien richten sich nicht an die Bürger der Mitgliedstaaten der Union, sondern an den jeweiligen Staat selbst, der diese in nationales Recht überführen, d.h. "umsetzen" muß. Das Prinzip der Mindestvorschriften erlaubt es den Staaten, über das von der EG vorgegebene Niveau hinauszugehen und auch Konkretisierungen vorzunehmen.

In keinem Fall darf ein EU-Mitgliedsstaat aber das in einer Richtlinie vorgegebene Arbeitsschutzniveau unterschreiten. Die Gesamtheit der aufgrund der EU-Gesetzgebung erforderlich gewordenen Änderungen im deutschen Arbeitsschutzrecht, die auch heute, im Jahr 1997, noch nicht vollständig erfolgt sind, wird von Bückner, Feldhoff und Kohte in dem Werk "Vom Arbeitsschutz zur Arbeitsumwelt" (s. Bückner u.a., 1994) dargelegt und kommentiert.

Es ist allerdings nicht erforderlich, daß zu jeder EU-Richtlinie ein entsprechendes deutsches Gesetz geschaffen werden muß. Ein Mitgliedsland kann auch unter Hinweis auf anderweitige Vorschriften eine Umsetzung vorsehen, die Teile einer Richtlinie berücksichtigt. Dies ist in Deutschland geschehen. Die Arbeitsschutzrahmenrichtlinie (*Richtlinie des Rates vom 12. Juni 1989 über die Durchführung von Maßnahmen zur Verbesserung der Sicherheit und des Gesundheitsschutzes der Arbeitnehmer bei der Arbeit (89/391/EWG)*) wurde in Deutschland durch das

- Gesetz zur Umsetzung der EG-Rahmenrichtlinie Arbeitsschutz und weiterer Arbeitsschutz-Richtlinien

in nationales Recht umgesetzt bzw. integriert, das im Juli 1996 die parlamentarischen Hürden genommen hat und am 8.8.1996 in Kraft getreten ist. Im Rahmen dieses Gesetzes wurde zum einen

- das Arbeitsschutzgesetz (ArbSchG) verabschiedet
- und zum anderen das Arbeitssicherheitsgesetz, das Betriebsverfassungsgesetz, das Arbeitnehmerüberlassungsgesetz sowie die Gewerbeordnung modifiziert.

Das Arbeitsschutzgesetz enthält u.a. eine spezielle Ermächtigung, die es ermöglicht, die zur Rahmenrichtlinie verabschiedeten EG-Einzelrichtlinien durch Verordnungen in deutsches Recht umzusetzen. So wurden im Dezember vier Einzelrichtlinien in Verordnungen umgesetzt, von denen die beiden folgenden für die hier geführten Überlegungen zur künstlichen Beleuchtung von Bildschirmarbeitsplätzen von grundlegender Bedeutung sind:

- **Verordnung über Sicherheit und Gesundheitsschutz bei der Arbeit an Bildschirmgeräten (BildscharbV)**

Hierbei handelt es sich um eine im wesentlichen inhaltsgleiche Umsetzung der Bildschirmrichtlinie (*Richtlinie des Rates vom 29. Mai 1990 über die Mindestvorschriften bezüglich der Sicherheit und des Gesundheitsschutzes bei der Arbeit an Bildschirmgeräten (90/270/EWG)*). Da Teile dieser Richtlinie bereits in bestehenden Gesetzen (Betriebsverfassungsgesetz, Arbeitsschutzgesetz) geregelt waren, wurden allerdings zur Vermeidung von Doppelregulierungen, einige Anforderungen der Richtlinie nicht in der BildscharbV geregelt, sondern in eben diesen anderen Gesetzen. Dies ist zwar aus gesetzgeberischen Gründen sinnvoll, erschwert aber die Anwendung.

- **Verordnung zur Änderung der Verordnung von Arbeitsstätten (ArbStättV)**

Hier besteht eine besondere Situation: In Deutschland existiert bereits seit langem eine Arbeitsstättenverordnung. Diese ist im Jahr 1975 in Kraft getreten und damit lange vor der Erarbeitung des Konzepts der EU für Sicherheit und Gesundheitsschutz am Arbeitsplatz. Ihre Bestimmungen wurden jetzt durch die Verordnung an die Richtlinie "Richtlinie des Rates vom 30. November 1989 über Mindestvorschriften für Sicherheit und Gesundheitsschutz in Arbeitsstätten (89/654/EWG)" angepaßt.

### **12.1.2 Anforderungen des bisherigen gesetzlichen Regelwerks zur künstlichen Beleuchtung von Bildschirmarbeitsplätzen**

Für die Beleuchtung von Arbeitsstätten allgemein war und ist die ArbStättV von zentraler Bedeutung. In § 7 legt sie für die künstliche Beleuchtung fest:

*"Beleuchtungseinrichtungen in Arbeitsräumen und Verkehrswegen sind so anzuordnen und auszulegen, daß sich aus der Art der Beleuchtung keine Unfall- und Gesundheitsgefahren für die Arbeitnehmer ergeben können. Die Beleuchtung muß sich nach der Art der Sehaufgabe richten. Die Stärke der Allgemeinbeleuchtung muß mindestens 15 lx betragen."*

Spezifische Anforderungen für bestimmte Tätigkeiten sind in der ArbStättV selbst nicht enthalten, so auch nicht für die Bildschirmarbeit.

### 12.1.3 Anforderungen der neuen gesetzlichen Regelwerke im Hinblick auf die künstliche Beleuchtung von Bildschirmarbeitsplätzen

Die neuen Gesetze zum Arbeitsschutz gehen ebenso wie die ihnen zugrundeliegenden EG-Richtlinien zum Arbeitsschutz von einem umfassenden Verständnis von Arbeitsschutz aus. Bereits der Titel der Rahmenrichtlinie zeigt deutlich, was der Gesetzgeber bezweckt: "Richtlinie des Rates vom 12. Juni 1989 über die Durchführung von **Maßnahmen zur Verbesserung** der Sicherheit und des Gesundheitsschutzes ..."

Anforderungen, die für die Beleuchtung von Bildschirmarbeitsplätzen relevant sind, finden sich

- im Arbeitsschutzgesetz
- nach wie vor in der Arbeitsstättenverordnung
- sowie in der Bildschirmarbeitsverordnung.

Die wichtigsten, da grundsätzlichen Änderungen, die mit dem Arbeitsschutzrecht der EU eingeführt wurden, sind im Arbeitsschutzgesetz enthalten. Die dort festgelegten Anforderungen gelten auch immer für die nachrangig zugeordneten Verordnungen, d.h. die Verordnungen sind immer im Zusammenhang mit dem Arbeitsschutzgesetz zu betrachten. (Anm.: Bei einigen Verordnungen ergibt sich dies schon aus dem Grund, da in diesen Verordnungen explizit auf das Arbeitsschutzgesetz verwiesen wird, so auch bei der novellierten Arbeitsstättenverordnung und der Bildschirmarbeitsverordnung.)

### 12.1.4 Anforderungen des Arbeitsschutzgesetzes

Das Arbeitsschutzgesetz bestimmt die relevanten Pflichten des Arbeitgebers wie folgt:

- Grundpflichten des Arbeitgebers (ArbSchG §3 (1)):  
*"Der Arbeitgeber ist verpflichtet, die erforderlichen Maßnahmen des Arbeitsschutzes unter Berücksichtigung der Umstände zu treffen, die Sicherheit und Gesundheit der Beschäftigten bei der Arbeit beeinflussen. Er hat die Maßnahmen auf ihre Wirksamkeit zu überprüfen und erforderlichenfalls sich ändernden Gegebenheiten anzupassen. Dabei hat er eine Verbesserung von Sicherheit und Gesundheitsschutz der Beschäftigten anzustreben."*
- Allgemeine Grundsätze (ArbSchG § 4)
  1. Die Arbeit ist so zu gestalten, daß eine Gefährdung für Leben und Gesundheit möglichst vermieden und die bleibende Gefährdung so gering wie möglich gehalten wird;
  2. Gefahren sind an ihrer Quelle zu bekämpfen;
  3. bei den Maßnahmen sind der Stand von Technik, Arbeitsmedizin und Hygiene sowie sonstige gesicherte arbeitswissenschaftliche Erkenntnisse zu berücksichtigen;
  4. (.)
  5. individuelle Schutzmaßnahmen sind nachrangig zu anderen Maßnahmen;
  6. ...

- Verpflichtung zur Beurteilung der Arbeitsbedingungen (ArbSchG § 5)
  1. *Der Arbeitgeber hat durch eine Beurteilung der für die Beschäftigten mit ihrer Arbeit verbundenen Gefährdung zu ermitteln, welche Maßnahmen des Arbeitsschutzes erforderlich sind;*
  2. ....
  3. *Eine Gefährdung kann sich insbesondere ergeben durch*
  4. *die Gestaltung und die Einrichtung des Arbeitsplatzes,*
  5. *physikalische, chemische und biologische Einwirkungen,*
  6. *die Gestaltung, die Auswahl und den Einsatz von Arbeitsmitteln, insbesondere von Arbeitsstoffen, Maschinen, Geräten und Anlagen sowie den Umgang damit,*
  7. ....

### **12.1.5 Anforderungen der Bildschirmarbeitsverordnung**

Die Bildschirmarbeitsverordnung gliedert sich

- in einen eher allgemeinen Teil mit grundsätzlichen Anforderungen an die Arbeitsbedingungen, die Gestaltung des Arbeitsplatzes, die Organisation des täglichen Arbeitsablaufs und die Untersuchung der Augen und des Sehvermögens
- und in einen Anhang über an Bildschirmarbeitsplätze zu stellende Anforderungen.

Im Hinblick auf die Beleuchtung sind folgende Bestimmungen von Bedeutung:

#### *“§ 3 Beurteilung der Arbeitsbedingungen*

*Bei der Beurteilung der Arbeitsbedingungen nach § 5 des Arbeitsschutzgesetzes hat der Arbeitgeber bei Bildschirmarbeitsplätzen die Sicherheits- und Gesundheitsbedingungen insbesondere hinsichtlich einer möglichen Gefährdung des Sehvermögens sowie körperlicher Probleme und psychischer Belastungen zu ermitteln und zu beurteilen.”*

#### *“§4 Anforderungen an die Gestaltung*

*(1) Der Arbeitgeber hat geeignete Maßnahmen zu treffen, damit die Bildschirmarbeitsplätze den Anforderungen des Anhangs und sonstiger Rechtsvorschriften entsprechen.“*

Im Anhang wird unter der Rubrik “Arbeitsumgebung” für die Beleuchtung gefordert:

*“15. Die Beleuchtung muß der Art der Sehaufgabe entsprechen und an das Sehvermögen der Benutzer angepaßt sein; dabei ist ein angemessener Kontrast zwischen Bildschirm und Arbeitsumgebung zu gewährleisten. Durch die Gestaltung des Bildschirmarbeitsplatzes sowie Auslegung und Anordnung der Beleuchtung sind störende Blendwirkungen, Reflexionen oder Spiegelungen auf dem Bildschirm und den sonstigen Arbeitsmitteln zu vermeiden.”*

Bei der Auslegung dieser Vorschriften empfiehlt es sich, auch die EU-Richtlinie 90/270/EWG selbst heranzuziehen, da die deutsche Umsetzung die Anforderungen der Richtlinie weniger klar ausgedrückt hat. Die Richtlinie schreibt im Anhang mit den Mindestvorschriften unter “2. Umgebung” folgendes für die Beleuchtung vor:

“b) *Die allgemeine Beleuchtung und/oder die spezielle Beleuchtung (Arbeitslampen) sind so zu dimensionieren und anzuordnen, daß zufriedenstellende Lichtverhältnisse und ein ausreichender Kontrast zwischen Bildschirm und Umgebung im Hinblick auf die Art der Tätigkeit und die sehkraftbedingten Bedürfnisse des Benutzers gewährleistet sind.*

*Störende Blendung und Reflexe oder Spiegelungen auf dem Bildschirm und anderen Ausrüstungsgegenständen sind durch Abstimmung der Einrichtung von Arbeitsraum und Arbeitsplatz auf die Anordnung und die technischen Eigenschaften künstlicher Lichtquellen zu vermeiden.”*

Der erste Absatz fordert, weitergehend als die ArbStättV, nicht nur die Anpassung der Beleuchtung an die Sehaufgaben (Art der Tätigkeit) sondern auch an die sehkraftbedingten Bedürfnisse bzw. an das Sehvermögen des Benutzers. Diese Anforderung stellt ein Novum in den Regelwerken zur Beleuchtung dar: Weder in der ArbStättV noch in den deutschen Beleuchtungsnormen sind bisher individuelle Bedürfnisse der Benutzer explizit berücksichtigt worden. (Anm: *Die neue Anforderung ist auch für die Planung von Beleuchtungsanlagen von zentraler Bedeutung. Es ist daher zu prüfen, welche Änderungen in den bisher geltenden Regelwerken aus diesem Grunde vorgenommen werden müssen.* )

Ungeachtet dessen muß diese zusätzliche Anforderung im Betrieb angemessen berücksichtigt werden, da die BildscharbV die relevante spezifische gesetzliche Grundlage ist und in ihrem Anhang die Mindestanforderungen für die Gestaltung des Arbeitsplatzes vorgegeben sind.

Ein weiteres Novum ist, daß anders als in bisherigen Regelwerken (Normen und Sicherheitsregeln), die Beleuchtung in einer Zusammensetzung von “allgemeiner Beleuchtung und/oder spezieller Beleuchtung (Arbeitslampen)” angeführt wird und damit der speziellen Beleuchtung, die als Einzelplatzbeleuchtung bzw. Individualbeleuchtung zu sehen ist, ein neuer Stellenwert gegeben wird. Dies ist von um so größerer Bedeutung als gemäß diesen Regelwerken bisher eine Einzelplatzbeleuchtung zu vermeiden war.

Der zweite Absatz fordert, daß störende Blendung und Reflexe auf Bildschirmen und sonstigen Sehobjekten, z.B. Tastatur, Belege u.ä. zu vermeiden sind. Zu den genannten Ausrüstungsgegenständen gehören weiterhin mindestens alle in der Definition des Bildschirmarbeitsplatzes angeführten gegebenenfalls vorhandenen Arbeitsmittel (optionale Zusatzgeräte, Anlagenelemente einschließlich Diskettenlaufwerk, Telefon, Modem, Drucker, Manuskripthalter, Arbeitstisch u.ä.) (s. BildscharbV § 2 Begriffsbestimmungen). Mit welchen Mitteln der Arbeitgeber das genannte Ziel, Vermeidung von Störungen durch Blendung und Reflexe, erreicht, wird nicht spezifiziert. Vielmehr kann er wahlweise eine sinnvolle Anordnung des fraglichen Arbeitsplatzes bzw. des dort aufgestellten Bildschirms in bezug auf den Raum, eine sinnvolle Anordnung der Beleuchtungseinrichtung oder eine geeignete technische Ausführung von Leuchten bzw. beliebige Kombinationen hiervon vorsehen. Die Vorschrift spricht daher von einer Abstimmung, deren Ziel erreicht ist, wenn sich Blendung und Reflexe nicht mehr störend bemerkbar machen. Sie gibt sinnvollerweise nicht an, welcher Maßnahme der Vorrang einzuräumen ist.

### 12.1.6 Anforderungen der Arbeitsstättenverordnung

Die Bestimmung der ArbStättV zur künstlichen Beleuchtung von Arbeitsstätten ist im Wortlaut unverändert geblieben. Wegen der Vollständigkeit wird sie im folgenden noch einmal wiedergegeben.

*“Beleuchtungseinrichtungen in Arbeitsräumen und Verkehrswegen sind so anzuordnen und auszulegen, daß sich aus der Art der Beleuchtung keine Unfall- und Gesundheitsgefahren für die Arbeitnehmer ergeben können. Die Beleuchtung muß sich nach der Art der Sehaufgabe richten. Die Stärke der Allgemeinbeleuchtung muß mindestens 15 lx betragen.“*

### 12.1.7 Besonderheiten

Alle drei Regelwerke geben Ziele zur Vermeidung bzw. zur Minimierung einer Gefährdung der Gesundheit von Beschäftigten bei der Arbeit vor.

Hilfestellung zum Erreichen dieser Ziele werden allerdings z.Z. nur bei der Arbeitsstättenverordnung durch die zugeordneten Arbeitsstättenrichtlinien gegeben. Im Fall der künstlichen Beleuchtung ist dies die Arbeitsstättenrichtlinie ASR 7/3, die allerdings anders als die ArbStättV keine Rechtsnorm darstellt. Die ASR 7/3 bevorzugt keine bestimmte Art der Beleuchtung, sofern die in der Richtlinie aufgeführten Teile der Beleuchtungsnormen erfüllt sind. Spezifische Aussagen zur Beleuchtung von Räumen mit Bildschirmarbeitsplätzen werden auch hier nicht gemacht.

Die Arbeitsstättenrichtlinien wiederum verweisen aber auf relevante Beleuchtungsnormen. Für die Planung von Beleuchtungseinrichtungen sind dies die Teile 1, 2, 6 und 7 der Norm DIN 5035. Und hier erfolgt auch der einzige Hinweis, daß für Bildschirmarbeitsplätze eine besondere Planung zu erfolgen hat, indem auf DIN 5035 Teil 7 *“Beleuchtung von Räumen mit Bildschirmarbeitsplätzen und mit Arbeitsplätzen mit Bildschirmunterstützung“* verwiesen wird.

Die in der ASR 7/3 angeführten Beleuchtungsnormen (z.B. DIN 5035 Teile 1, 2, 6, 7) selbst sind zwar keine Rechtsnormen, sondern *“Regeln der Technik“*, die darin angeführten bzw. berücksichtigten Erkenntnisse sind allerdings für den Arbeitgeber, den Adressaten der Arbeitsschutzbestimmungen, dann verpflichtend, wenn in Rechtsnormen auf sie verwiesen und damit de facto eine Verbindlichkeit geschaffen wird.

Eine derartige Zuordnung von Normen ist beim Arbeitsschutzgesetz und der Bildschirmarbeitsverordnung nicht vorhanden und auch nicht vorgesehen.

**Fazit:** Ungeachtet der Frage, ob eine derartige Zuordnung sinnvoll ist oder nicht, ergibt sich heute, im Jahr 1997, die Situation, daß zwei gesetzliche Regelwerke, die ArbStättV und die BildscharbV, Bestimmungen zur künstlichen Beleuchtung von Bildschirmarbeitsplätzen enthalten und bei einem dieser Regelwerke, der ArbStättV, de facto Zuordnungen zu Normen geschaffen worden sind.

Es stellt sich damit aber die Frage, ob die Anforderungen und Empfehlungen dieser Normen den Anforderungen der BildscharbV zur Beleuchtung entsprechen.

## 12.2 Mögliche Gefährdungen der Gesundheit durch die künstliche Beleuchtung am Bildschirmarbeitsplatz

Die drei angeführten gesetzlichen Regelwerke haben alle das Ziel, eine Gefährdung der Gesundheit der Beschäftigten zu vermeiden bzw. so gering wie möglich zu halten, somit auch eine Gefährdung der Beschäftigten durch die künstliche Beleuchtung am Bildschirmarbeitsplatz. Die ArbStättV fordert sogar uneingeschränkt die Vermeidung von Gesundheitsgefahren durch die künstliche Beleuchtung. In diesem Zusammenhang stellt sich die Frage, welcher Art diese Gefahren bzw. Gefährdungen durch künstliche Beleuchtung am Bildschirmarbeitsplatz sein können und was unter diesen Begriffen überhaupt zu verstehen ist.

### 12.2.1 Erläuterung der relevanten Begriffe

Die Begriffe "Gefahr" und "Gefährdung" werden in der Sicherheitstechnik wie folgt definiert:

- Als "**Gefahr**" werden alle Einwirkungsmöglichkeiten auf Menschen mit unerwünschter Wirkung bezeichnet und zwar ohne Rücksicht auf das tatsächliche Auftreten von Schädigungen. So ist z.B. elektrische Energie eine Gefahr.
- Als "**Gefährdung**" wird das Zusammentreffen von Mensch und Gefahr verstanden, wobei dieser Begriff in etwa dem Begriff Risiko entspricht. Die Gefährdung des Menschen durch elektrische Energie läßt sich z.B. in der Wahrscheinlichkeit von Schädigungen (Verletzung oder Tod) ausdrücken, die durch die Gefahr verursacht werden.

Das im Arbeitsschutzgesetz angeführte Prinzip der "**Bekämpfung der Gefahr an der Quelle**" bedeutet, daß Gefahren als solche von der Arbeitsstätte ferngehalten werden. Da dies bei einer Reihe von Gefahren nicht möglich ist, z.B. bei der elektrischen Energie, wird vorgeschrieben, die Gefährdung, d.h. das Risiko, möglichst gering zu halten. So werden z.B. Stromunfälle in Deutschland durch vielfältige technische wie organisatorische Maßnahmen weitgehendst vermieden.

Für die weiteren Ausführungen ist es zudem erforderlich, sich mit dem Begriff "Gesundheit" zu befassen. Wegen der besonderen Bedeutung dieses Begriffs werden nachfolgend einige Aussagen aus Kapitel 7 erneut angeführt.

Arbeitsbedingungen, die als Beeinträchtigungen erlebt werden, stellen nicht notwendigerweise auch einen Faktor zur Beeinträchtigung der Gesundheit dar. Was aber läßt sich überhaupt als eine Beeinträchtigung der Gesundheit festlegen? Das erklärt sich zunächst aus der Definition des Begriffs "Gesundheit".

- Die umfassendste Definition der "Gesundheit" ist die der WHO (World Health Organisation), die besagt, daß Gesundheit einen Zustand des Wohlbefindens darstellt und nicht die Abwesenheit von Krankheit. (*Anm.: Im Gegensatz zum Begriff "Gesundheit" existiert zum Begriff "Krankheit" keine Definition.*)

Der Gesundheitsbegriff nach der WHO ist zwar umfassend, wird jedoch als wenig praktikabel bezeichnet (s. Bückler u.a., 1994). Daher wurde von der Internationalen

Arbeitsorganisation ILO folgender etwas einschränkender Begriff vorgeschlagen und in dem "Übereinkommen Nr. 155" endgültig festgelegt.

- Danach bedeutet **Gesundheit** im Zusammenhang mit der Arbeit **nicht nur das Freisein von Krankheit oder Gebrechen, sondern umfaßt auch die physischen und geistig-seelischen Faktoren, die sich auf die Gesundheit auswirken und die in unmittelbarem Zusammenhang mit der Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit stehen.** " (Bieneck, BABl 10/1984, 5, 7; zitiert aus Bükker u.a., 1994)

Dieses Abkommen hat bei der Erstellung der EU-Richtlinien eine wesentliche Rolle gespielt. Nach der Rechtsprechung des Europäischen Gerichtshofes sind die Beschlüsse der ILO für die Auslegung gemeinschaftsrechtlicher Begriffe heranzuziehen, so auch beim Gesundheitsbegriff. Bei den folgenden Ausführungen wird "Gesundheit" im Sinne dieses Übereinkommens verstanden.

### 12.2.2 Mögliche Gefährdungen durch Bildschirmarbeit

Die besonders hervorgehobenen Gefahren an Arbeitsplätzen mit Bildschirmgeräten sind gemäß BildscharbV § 3:

- Gefährdung des Sehvermögens
- körperliche Probleme
- psychische Belastungen.

Ob und ggf. welche Gefährdungen durch die künstliche Beleuchtung entstehen können, wird in den folgenden Abschnitten abgeleitet. Die Hervorhebung im Gesetzwerk bedeutet, daß der Gesetzgeber besondere Gefahren in solchen Faktoren vermutet, die sich auf die drei aufgezählten Aspekte auswirken können. Allerdings bedeutet die Vermutung von Gefahren nicht etwa, daß diese auch an jedem Arbeitsplatz zur Wirkung kommen. Vielmehr hat der Arbeitgeber diesbezügliche Gefährdungen gezielt zu ermitteln. Falls die Bewertung der Situation der Arbeitsplätze ergibt, daß den potentiellen Gefahren hinreichend Rechnung getragen worden ist, herrscht der vom Gesetzgeber angestrebte Zustand vor.

### 12.2.3 Schlußfolgerungen aus Rechtsnormen und "anerkannten Regeln der Technik"

Ob beim Arbeitsschutz ein Betrachtungsgegenstand als Gefahr einzustufen ist, läßt sich u.a. unmittelbar daran erkennen, daß es hierauf bezogene Rechtsnormen gibt. Diese Aussage findet sich in der Begründung des Beschlusses des 1. Senats des BAG (Bundesarbeitsgericht) vom 2.4.1996 - 1ABR 47/95. In dem Rechtsstreit ging es u.a. um die zwischen den beteiligten Parteien umstrittene Frage, ob Bildschirmarbeit tatsächlich mit Gefahren für die Gesundheit der Arbeitnehmer verbunden ist. Diese Frage bedarf nach der Begründung des BAG keiner Beantwortung, da die von der Bildschirmrichtlinie verlangten Maßnahmen und Regelungen ausschließlich zum Schutz der Arbeitnehmer gegen Gefahren für Leben und Gesundheit dienen. Das Urteil führt hierzu an: "Damit ist für den deutschen Gesetzgeber verbindlich vorgegeben,

*daß von der Bildschirmarbeit Gefahren für Sicherheit und Gesundheit der Arbeitnehmer ausgehen, welche die in der Richtlinie vorgesehenen Regelungen erforderlich machen...* Demnach müssen die im Anhang der BildscharbV behandelten Regelungsgegenstände, somit auch die Beleuchtung, als Gefahren angenommen werden. Nach der Logik der Begründung des BAG hätten die betreffenden Sachverhalte ansonsten nicht in eine Rechtsnorm zum Schutz der Arbeitnehmer gegen Gefahren für Leben und Gesundheit aufgenommen werden dürfen.

Auch die EU-Richtlinie für Arbeitsstätten enthält Vorschriften, die eine Beziehung zwischen der Beleuchtung und der Gesundheit aufzeigen: "Die Arbeitsstätten müssen möglichst ausreichend Tageslicht erhalten und **mit Einrichtungen für eine der Sicherheit und Gesundheit angemessenen künstlichen Beleuchtung ausgestattet sein.**" (EU-Richtlinie 89/391/EWG, Anhang I, 8.). Und in dem Kommentar zu § 7 der ArbStättV (Beleuchtung) betonen Opfermann/Streit (Opfermann/Streit, 1997) die besondere Bedeutung der Beleuchtung mit folgender Einleitung: "*Eine der Grundvoraussetzungen für die Verhütung von Unfällen und arbeitsbedingten Erkrankungen im weitesten Sinne ist eine den Arbeitsbedingungen und Arbeitsabläufen angepasste **Beleuchtung der Arbeitsplätze, Arbeitsbereiche und der innerbetrieblichen Verkehrswege.***" (Hervorhebung im Originaltext).

Auch aus dem Kommentar zu Arbeitsstättenrichtlinien (Opfermann/Streit) geht hervor, daß die Beleuchtung eine Gefahr für die Gesundheit darstellen kann. In diesem Zusammenhang sprechen Opfermann/Streit sogar von Gesundheitsschäden: "... *Eine starke Wärmestrahlung der Lampen (...) und zu hohe bzw. zu niedrige Beleuchtungsstärken können zu Gesundheitsschäden (z.B. Kopfschmerzen ...) führen.*" Somit wäre z.B. das Verursachen von Kopfschmerzen durch die Beleuchtung, das nach den Ausführungen in Kapitel 7 von der Beleuchtungsart abhängt, als ein Gesundheitsschaden einzustufen, und die möglicherweise dazu führenden Faktoren als Gefahr.

Obwohl hiermit bereits die Bedeutung der Beleuchtung als Gefahr sowohl im Hinblick auf die Sicherheit als auch auf die Gesundheit hinreichend belegt ist, soll nicht der Hinweis fehlen, daß auch die deutsche Norm DIN 5035 seit ihren Anfängen auf die Bedeutung der Beleuchtung für die Gesundheit und Sicherheit hinweist. Wie bereits in Kapitel 9 dargestellt, hat die ursprüngliche Fassung der Norm die Gesundheit sogar zum primären Ziel der Gestaltung erklärt: "*Die künstliche Beleuchtung von Innenräumen muß den Forderungen der Gesundheit und Schönheit entsprechen, und dabei zweckmäßig und wirtschaftlich sein.*" (DIN 5035, Ausgabe 11/1935). In der letzten Fassung der inzwischen mehrteiligen Norm wird in Teil 1 ausgeführt: "*Die Beleuchtung beeinflusst durch ihre Qualität (...) die Sehleistung, die Aktivierung, die Arbeitssicherheit und das Wohlbefinden des Menschen.*" (DIN 5035 Teil 1, 1990) Aus der letzten Aussage kann unmittelbar abgeleitet werden, daß die genannten Aspekte, somit auch das Wohlbefinden, durch ungeeignete Beleuchtung auch negativ beeinflusst werden können, was nach dem Gesundheitsbegriff der WHO bereits eine Gesundheitsbeeinträchtigung bedeutet.

Daß den hinter der Norm DIN 5035 stehenden Vorstellungen die Berücksichtigung der Gesundheitsdefinition der WHO zugrundeliegt, läßt sich auch aus folgenden

Ausführungen des damaligen Vorsitzenden des zuständigen Normenausschusses ableiten: *“Eine Behandlung der Innenbeleuchtung wäre unvollkommen, wenn sie sich nur auf Sehleistung und arbeitsphysiologische Anforderungen stützen würde. Selbstverständlich ist dabei die hygienische Bedeutung des Lichtes zu beachten; es ist in Quantität und Qualität so einzusetzen, daß es der Gesundheit förderlich ist. Dabei ist unter Gesundheit nach der bekannten Definition der Weltgesundheitsorganisation nicht nur das Freisein von Krankheit zu verstehen, sondern auch das völlige körperliche und geistige Wohlbefinden des Menschen.”* (Hentschel, 1972, S. 258)

#### **12.2.4 Schlußfolgerungen aus der Literatur zum “Sick Building Syndrome“**

Zur Klärung der Frage, ob die als existent angenommene Gefahr “Beleuchtung“ eine methodisch feststellbare Gefährdung der Gesundheit hervorruft, oder aber im Gegenteil eine eher untergeordnete und vernachlässigbare Rolle spielt, können u.a. die Forschungsergebnisse zum Sick Building Syndrome (SBS oder auch Gebäudesyndrom) herangezogen werden. Hierunter wird das Auftreten von Gesundheitsstörungen verstanden, die durch die Arbeitsumwelt verursacht werden (nähere Ausführungen s. Çakir, 1993; Çakir, 1996). Das Phänomen ist zwar seit der Jahrhundertwende bekannt, wurde jedoch erst seit den siebziger Jahren systematisch untersucht. Im folgenden wird auf die Ergebnisse einiger relevanter Veröffentlichungen zum SBS eingegangen.

- SBS bildete u.a. den Gegenstand eines EU-Projektes (COST, 1989), im Rahmen dessen man auch die relevante Literatur analysiert hat. Hierbei zeigte es sich, daß für eine Reihe von angenommenen Gefahren keine Gefährdung nachgewiesen werden konnte. D.h., entweder war die Annahme der Gefahr falsch oder die tatsächlich vorhandene Wirkung ließ sich nicht nachweisen. Anders hingegen wird die künstliche Beleuchtung als eine nachgewiesene Ursache des SBS angeführt. Der für betriebliche Untersuchungen empfohlene Fragebogen führt die Beleuchtung als Untersuchungsgegenstand an.

Der Nachweis, daß die künstliche Beleuchtung eine Gefahr darstellt, ist mit hinreichend großer Sicherheit bei zwei Studien erbracht worden (Hedge u.a., 1989; Wilkins u.a, 1988).

- In der ersten Studie, die 4373 Arbeitsplätze in 47 Bürohäusern umfaßt hat, wurde nachgewiesen, daß die Beleuchtung eine der Ursachen von Sick Building Syndrome darstellt. In dieser Studie konnte auch ein Modell für die Einwirkung aufgestellt werden.
- Die zweite Studie umfaßt nur einen Teilaspekt, die Wirkung von elektronischen Vorschaltgeräten auf Kopfschmerzen und Augenbeschwerden. Hierbei wurde gezeigt, daß nach dem Einsatz von elektronischen Vorschaltgeräten, die die Lichtwelligkeit eliminieren, bei 50% der untersuchten Mitarbeitern die Häufigkeit von Kopfschmerzen und Augenbeschwerden zurückgegangen ist, d.h., die Gefährdung wurde nachweislich reduziert.

Für die Bedeutung der Lampenart (z.B. Leuchtstofflampe, Glühlampe u.ä.) gibt es in der Literatur zum SBS nur wenige Belege, obwohl Beschwerden über das Leuchtstofflampenlicht seit der Einführung dieser Lampen in allen Ländern geläufig sind. Ein Grund hierfür mag darin liegen, daß es praktisch unmöglich ist, eine seriöse wissenschaftliche Untersuchung zu dieser Fragestellung durchzuführen, weil praktisch alle einer Untersuchung zugänglichen Arbeitsplätze mit Leuchtstofflampen beleuchtet sind. Trotzdem lassen sich zu dieser Frage zwei indirekte Beweise anführen:

- Der erste folgt aus einer Fallstudie, die in Kapitel 10 dargestellt wurde (Fallstudie 6). Bei diesem Projekt wurde eine vorhandene Glühlampenbeleuchtung durch eine Leuchtstofflampenbeleuchtung ersetzt, ohne daß zusätzliche Beschwerden auftraten. Die Beschwerden konnten vielmehr sogar erheblich gemindert werden.
- In der zweiten Fallstudie, die in diesem Bericht nicht dokumentiert wird, wurde in vier Betrieben eine bestimmte Beleuchtungsart mit Leuchtstofflampen installiert, wonach die Gesundheitsstörungen ebenfalls erheblich gemindert werden konnten, und zwar so weit, daß man eher von einer allgemeinen Zufriedenheit sprechen kann.

Es ist daher davon auszugehen, daß die von der Beleuchtung verursachten Störungen eher auf eine unsachgemäße Verwendung der Leuchtstofflampen als auf ihre Eigenschaften selbst zurückgeführt werden können. Diese Feststellung entspricht im übrigen der Argumentation der Beleuchtungsindustrie, die fast so alt ist wie die Beschwerden über die Leuchtstofflampe.

In der arbeitspsychologischen Literatur, die man auch zu Veröffentlichungen über das SBS zählen kann, wird die künstliche Beleuchtung häufig als "Streßfaktor" angeführt, d.h. als eine Art psychische Belastung. Wegen der Mehrdeutigkeit des Begriffs "Streß" sind jedoch diesbezügliche Erkenntnisse nicht immer unbedingt mit einer negativen Wirkung in Verbindung zu bringen.

### **12.3 Fazit**

Aufgrund der Vorschriften zum Arbeitsschutz sind Maßnahmen gegen Gefahren vorzusehen, sofern diese an einem bestimmten Arbeitsplatz Gefährdungen hervorrufen bzw. hervorrufen können. Zu solchen Gefahren gehört unstrittig auch die künstliche Beleuchtung.

Die in den bisher gültigen Regelwerken getroffenen und möglicherweise in die Praxis umgesetzten Schutzmaßnahmen könnten theoretisch hinreichend sein, so daß man zwar eine Gefahr annehmen, jedoch keine besonderen Maßnahmen treffen muß. Dieser Forschungsbericht zeigt jedoch, daß zum einen dies nicht der Fall ist. Zum anderen aber muß entsprechend dem Gebot des Arbeitsschutzgesetzes die Gefahr bereits an der Quelle beseitigt, und wenn dies nicht möglich ist, zumindest gemindert werden. Hierbei hat der Arbeitgeber zum einen den Stand der Technik zu berücksichtigen und zum anderen eine Verbesserung von Sicherheit und Gesundheit anzustreben.

Für den Fall von Bildschirmarbeitsplätzen bedeutet dies, daß alle Faktoren, die hinsichtlich folgender Aspekte relevant sind, nämlich

- Gefährdung des Sehvermögens,
- körperliche Probleme,
- psychische Belastungen,

berücksichtigt werden müssen. Eine Minimierung der Gefahren durch die Beleuchtung an diesen Arbeitsplätzen würde die Einführung derjenigen Beleuchtungsart bedingen, die nach den Ausführungen in Kapitel 11 am besten abgeschnitten hat (eine optimierte 2-Komponenten-Beleuchtung), da diese die geringsten Gesundheitsbeeinträchtigungen hervorruft.

Eine derartige Vorgehensweise wäre sicherlich bei Neubauplanungen angezeigt und realisierbar, jedoch z.B. bei vorhandenen Arbeitsplätzen zuweilen nicht erforderlich und zuweilen nicht durchführbar, z.B., wenn die Raumbedingungen sie nicht zulassen. Bei jeder Maßnahme muß bedacht werden, daß das Ziel des Arbeitsschutzes darin besteht, den Menschen soweit wie möglich bzw. erforderlich zu schützen, und nicht etwa darin, ihn gegen die Gefahren der Beleuchtung zu schützen, ungeachtet anderweitiger Probleme, die gerade dieser Schutz verursachen könnte.

Aufgrund der in der Fallstudie 5 in Kapitel 10 dargestellten Umstände kann ausgesagt werden, daß man vermutlich auch bei der ungünstigsten Beleuchtungsart, der Direktbeleuchtung, keine besonderen Maßnahmen ergreifen muß, sofern die Randbedingungen und Annahmen nach DIN 5035 Teil 7 erfüllt sind. Hierzu gehört auch die geeignete Platzierung des Arbeitsplatzes und daß eine Anpassung an die Sehkraft des Benutzers nicht erforderlich ist, da die vorhandene Beleuchtung eine hinreichende Anpassung aufweist.

Die Frage, ob und ggf. welche beleuchtungstechnische Maßnahmen erforderlich sind, kann nur an den Anforderungen des einzelnen Arbeitsplatzes beantwortet werden. Eine solche Aussage ist allerdings für einen Planer eines Büroraums nicht annehmbar, da er nicht für einzelne Arbeitsplätze plant, sondern eher für ein ganzes Gebäude, im Extremfall gar für sämtliche Bürohäuser seines Unternehmens rund um den Globus. Letztlich würde eine den persönlichen Bedürfnissen des Einzelnen und seinen Sehauflagen angepaßte Beleuchtung bereits in der Theorie nicht funktionieren, weil Büromenschen nicht nur ihren Arbeitsplatz häufig wechseln, sondern auch ihre (Seh)Aufgaben. Es sei denn, die technische Lösung ist derart flexibel, daß eine individuelle Anpassung jederzeit problemlos vorgenommen werden kann. Noch besser wäre es allerdings, wenn eine solche Anpassung nur selten benötigt würde bzw. ganz entfallen könnte. Das Konzept der Allgemeinbeleuchtung in Verbindung mit Anforderungen, die als *Minimal* anforderungen formuliert werden, sollte eigentlich genau diesem Zweck dienen. Offenbar bleibt es weit hinter der Zielmarke zurück.

Wie man in der Praxis vorgehen kann bzw. sollte, läßt sich anhand des Konzepts der Gebrauchstauglichkeit darlegen. Dieses Konzept ist ein Qualitätskonzept, d.h., es geht nicht davon aus, daß ein Betrachtungsgegenstand aufgrund seiner Eigenschaften per se gebrauchstauglich sein kann, sondern aufgrund der Erfüllung der an ihn gestellten Anforderungen.

## 12.4 Gebrauchstauglichkeit von Beleuchtungsarten

### 12.4.1 Erläuterung des Konzepts der Gebrauchstauglichkeit

Die Gebrauchstauglichkeit ist definiert in ISO 9241-11 als *“das Ausmaß, in dem ein Produkt durch bestimmte Benutzer in einem bestimmten Nutzungskontext genutzt werden kann, um bestimmte Ziele effektiv, effizient und mit Zufriedenheit zu erreichen.”* Diese Definition wurde zwar einst mit Bezug auf Software festgelegt, jedoch läßt sich die Gebrauchstauglichkeit allgemein auf alle Produkte anwenden, deren Nutzen nicht ausschließlich durch ihre eigenen Eigenschaften bestimmt wird, sondern sich vielmehr nur in Kenntnis der Benutzer, der Umstände der Nutzung (Nutzungskontext) und der mit der Nutzung verbundenen Ziele bewerten läßt.

So kann eine Beleuchtung z.B. für Kinder (Schulen), Kranke (Heilstätten), Festteilnehmer (Ballsaal, Disco) oder eben für Arbeitsstätten ausgelegt werden, in denen Menschen einer bestimmten Altergruppe einer bestimmten Tätigkeit nachgehen. Zweifelsohne wird sich eine für einen bestimmten Zweck gestaltete Beleuchtung von anderen stark unterscheiden, ohne daß man behaupten kann, ob sie allgemein richtig oder falsch sei. Die Richtigkeit, d.h. die Eignung der künstlichen Beleuchtung bestimmt sich an dem Nutzungskontext, zu dem u.a. die vorgesehenen Benutzer, ihre Sehaufgaben und Arbeitsmittel sowie die Raumarchitektur gehören. Die Bedeutung des Nutzungskontexts anzuerkennen fällt nicht schwer, wenn dieser stark unterschiedlich ausfällt, hier Disco, dort Krankenhaus. Ungemein schwieriger ist es indes, feiner zu differenzieren, z.B. verschiedene Altersstufen der Benutzer, unterschiedliche Sehaufgaben innerhalb des Bürobereichs, unterschiedliche Raumformen in Bürohäusern u.ä. als bedeutsamen Unterschied im Nutzungskontext anzuerkennen und zu berücksichtigen.

Nach dem Konzept der Gebrauchstauglichkeit kommt es nicht unbedingt darauf an, ob eine Beleuchtung für eine Disco oder für ein Krankenhaus bestimmt ist, sondern lediglich darauf an, ob ihre Benutzer *“bestimmte Ziele”* nach den drei Kriterien erreichen, Effektivität, Effizienz und Zufriedenstellung.

- **Effektivität** bedeutet hierbei die Genauigkeit und Vollständigkeit, mit der Benutzer ein bestimmtes Ziel erreichen. Bei der Beleuchtung heißt das z.B., daß ein Benutzer alle seine Unterlagen fehlerfrei lesen kann.
- Die **Effizienz** ist der im Verhältnis zur Genauigkeit und Vollständigkeit eingesetzte Aufwand, mit dem Benutzer ein bestimmtes Ziel erreichen. In Bezug auf die Beleuchtung ließe sich die Effizienz z.B. daran messen, wie schnell der Benutzer seine Unterlagen fehlerfrei lesen kann, oder daran, ob und ggf. wie stark er sich dazu anstrengen muß.

Beides, Effektivität und Effizienz, ist nicht hinreichend, um die Gebrauchstauglichkeit zu bestimmen.

- Hierzu gehört die **Zufriedenstellung**, d.h., die Freiheit von Beeinträchtigungen und eine positive Einstellung gegenüber der Nutzung des Produktes. So kann es z.B. vorkommen, daß ein Benutzer zwar seine Unterlagen fehlerfrei und schnell

genug lesen kann, ohne daß er mit einer Beleuchtung zufrieden wäre, weil diese ihn während der Arbeit blendet.

Die Gebrauchstauglichkeit eines Objektes beschreibt somit seine Eignung bezüglich der für seine **Nutzung** gestellten Anforderungen. Diese wiederum stellen einen Teil aller an das Produkt gestellten Anforderungen dar, da ein Betrachtungsgegenstand wie Beleuchtung geplant, installiert, gewartet und irgendwann wieder entsorgt werden muß. Die diesbezüglichen Anforderungen interessieren andere Personen als die Benutzer, ihre Erfüllung bedingt andere Qualitätsmerkmale als die in der Gebrauchstauglichkeit berücksichtigten. Somit ist die Gebrauchstauglichkeit ein Merkmal für Qualität, beschreibt jedoch nicht die gesamte Qualität. Diese ist definiert als "*Gesamtheit von Eigenschaften und Merkmalen eines Produkts oder einer Tätigkeit, die sich auf die Eignung zur Erfüllung gegebener Erfordernisse beziehen.*" (DIN 55350, Teil 1) Die Unterscheidung zwischen der (Gesamt)Qualität und der Gebrauchstauglichkeit ist hilfreich, um zu erkennen, warum verschiedene Menschen in einem Unternehmen zu unterschiedlichen Ergebnissen bei dem gleichen Sachverhalt kommen. Während für den Benutzer die im Rahmen der Gebrauchstauglichkeit wichtigen Aspekte der künstlichen Beleuchtung von Bedeutung sind, muß beispielsweise der Planer sowohl diese als auch die zusätzlichen Qualitätsmerkmale und darüber hinaus noch die Kosten berücksichtigen.

Was aber sind "gegebene Erfordernisse" und wer stellt sie auf? In Bezug auf die Beleuchtung einer Arbeitsstätte kann dies nur der Betrieb sein, der einerseits an der Erledigung der Arbeitsaufgaben interessiert ist und andererseits die Arbeitsschutzbestimmungen einhalten muß. Gerade die neuen Arbeitsschutzbestimmungen, allen voran das Arbeitsschutzgesetz, gehen daher von einer "Verbetrieblichung" aus, was in Klartext bedeutet, daß der Betrieb seine Probleme am besten kennt und daher besser als andere Instanzen befähigt ist, deren Lösungen zu finden. Die Gesamtheit der Anforderungen eines Betriebs an die Beleuchtung betreffen ihre "Qualität", wovon die Gebrauchstauglichkeit nur einen Teil darstellt, wenn auch einen sehr wichtigen.

Die Verbetrieblichung von Maßnahmen, d.h., das Herunterbrechen der Beurteilung von Arbeitsmitteln und -verhältnissen, besitzt zweierlei Vorzüge, einen für den Betrieb und einen für die Mitarbeiter. Der Vorzug für den Betrieb besteht darin, daß bei sachlicher betriebsbezogener Abwägung der Umstände Lösungen gefunden werden können, die gleich einem Maßanzug besser passen als solche, die für eine ganze Branche oder gar für eine Union von Staaten einheitlich vorausgedacht werden. Der Vorzug für die Mitarbeiter entsteht dadurch, daß allgemeine Regelungen die finanziell schwächsten Betriebe bzw. die ungünstigsten Rahmenbedingungen berücksichtigen müssen. Definitionsgemäß gehört dann die Mehrzahl der Betriebe aber nicht zu den finanziell schwächsten und auch nicht zu denen mit den ungünstigsten Bedingungen. Daher können sie i.d.R. eine bessere Situation realisieren, als sich allgemein vorschreiben läßt. In der Tat wird man zwar Betriebe finden, die sich hier und dort nicht an die Regeln halten, hingegen wird man selten Betriebe ausfindig machen können, die sich generell und ausschließlich daran orientieren, was sie unbedingt erfüllen müssen.

Die Qualität von technischen Produkten seitens des Anwenders zu definieren bedeutet zweifellos eine neue ungewohnte Denkweise, ging man doch stets davon aus, daß Produkte eine ihnen innewohnende Qualität besäßen. Indes gibt es nur sehr wenige Produkte, die tatsächlich eine vollkommen vom Nutzungskontext unabhängige Qualität aufweisen. Selbst das Universalmittel, das unsere technische Zivilisation vorangebracht hat wie kaum ein anderes, das Rad, ist völlig nutzlos, je zuweilen hinderlich, z.B. wenn man ein Fahrzeug über morastigem Grund bewegen will. Deswegen mußte ja seit einigen Jahrtausenden buchstäblich die Welt mit Wegen gepflastert werden, um den richtigen Nutzungskontext herzustellen. Manche Räder brauchen dennoch eiserne Schienen, um rollen zu können. Sie sind weder richtig noch falsch gestaltet, sondern für die Schiene richtig und für die Straße falsch.

#### **12.4.2 Der Bezug zur “objektiven” Produktqualität?**

Das Konzept der Gebrauchstauglichkeit wäre wertlos ohne ein Gegenstück, das die Produktqualität für den Hersteller beschreibt, sozusagen “objektiv”. Hersteller können im allgemeinen keine Produkte gestalten, wenn sie nur von Anforderungen ausgehen, die nachträglich durch den Anwender aufgestellt werden. Vielmehr müssen sie diese möglichst gut vorhersehen. In der gleichen Lage befindet sich auch der Planer, der z.B. ein Produkt für eine Reihe von Betriebsstätten aussuchen muß bzw. will. Bei einem langlebigen Investitionsobjekt wie der Beleuchtung wäre es zudem unpraktisch, sich an dem jeweiligen Nutzungskontext zu orientieren, z.B. an dem neuen Besitzer eines Arbeitsplatzes, der wesentlich älter oder jünger ist als sein Vorgänger.

Der Hersteller kann hierzu eine der folgenden Strategien wählen:

- den Nutzungskontext versuchen zu ändern, derart daß eine gegebene Qualität des Produktes sich als richtig erweisen wird. Dies entspricht der Vorgehensweise, eine Straße oder einen Schienenweg zu bauen, damit das Rad funktioniert.
- denjenigen Nutzungskontext zu beschreiben, unter dem ein gegebenes Produkt richtig eingesetzt werden kann. Dies entspricht der Vorgehensweise, die “bestimmungsgemäße” Verwendung festzulegen. Anwender, die das Produkt anderweitig einsetzen, können eine mangelhafte Qualität des Produktes nicht reklamieren.
- Das Produkt so flexibel zu gestalten, daß es auch unter nicht vorhersehbaren Einsatzbedingungen vermutlich die Anforderungen des Benutzers erfüllen kann. Ein Beispiel hierfür ist eine dimmbare Beleuchtung. Zu einer solchen Strategie kann allerdings ein Hersteller aus verständlichen Gründen nicht allgemein verpflichtet werden. Es handelt sich um eine freiwillige Leistung.

Nach der ersten Strategie kann ein Planer, der aus welchen Gründen immer eine bestimmte Leuchte oder Beleuchtungsart einsetzen will, dafür sorgen, daß die Büroräume entsprechend gestaltet werden. Diesen Weg ging man z.B. beim Bau sog. “intelligent buildings”, bei denen viele Gegebenheiten der Gebäude weltweit

standardisiert wurden. Ähnlich hat man beim Bau der Hauptverwaltung eines großen Fahrzeugherstellers "Standardräume" geplant und realisiert.

Wer Produkte für den allgemeinen Markt realisiert, wird hingegen häufig nach der zweiten Strategie fahren müssen. Dies tut z.B. ein Hersteller von Leuchten in seinem Katalog, in dem für jeden Leuchtentyp der Abstand von Lichtbändern angegeben wird, der eingehalten werden muß, damit bei einer gegebenen Raumhöhe die gewünschte Gleichmäßigkeit der Beleuchtungsstärke eingehalten werden kann. Andere Gesichtspunkte, die der Anwender berücksichtigen muß, sind der Normung zu entnehmen. Somit kennt der Anwender die "bestimmungsgemäße" Verwendung der Produkte dieses Herstellers.

Die letzte Strategie, flexible Produktgestaltung, wird bei vielen technischen Objekten mehr oder weniger ausgeprägt verfolgt, so z.B. bei Fahrrädern, bei denen der Benutzer den Sattel und das Lenkrad seinen Bedürfnissen entsprechend verstellen kann. Noch flexibler ist das Fahrrad hinsichtlich der Kraftübertragung gestaltet, der Benutzer kann diese bei Änderung seiner Bedürfnisse (z.B. Übergang von der Ebene zu einer Steigung) unmittelbar anpassen, indem er die Gangschaltung betätigt. Noch günstiger ist eine automatische Gangschaltung.

An diesem Beispiel kann auch der Nachteil der Flexibilität demonstriert werden. Zum einen verursacht sie Kosten. Zum anderen aber müssen technische Einrichtungen vorgesehen werden, die anfällig sein können. Deswegen unterliegt die Flexibilität gewissen Einschränkungen. Sie kann sich sogar verbieten, wenn der davon zu profitierende Benutzer eher Probleme mit zu großer Flexibilität hat, z.B. wenn ein Auto für den Stadtverkehr 21 Gänge besitzt oder gar je einen Motor für jedes Rad. Solche Fahrzeuge sind nur für Profis geeignet, die die gegebene Funktionalität sinnvoll nutzen können. Andere Fahrer sind damit überfordert.

Im Lichte der oben genannten Gründe macht es Sinn, die normativen Bestimmungen über die Gebrauchstauglichkeit von Produkten darauf zu beschränken, die methodische Vorgehensweise festzulegen. Die Beurteilung selbst sollte derjenige vornehmen, der den Nutzungskontext kennt. Der Hersteller eines Produkts muß es entweder für einen von ihm beschriebenen Kontext gestalten (bestimmungsgemäße Verwendung) oder möglichst derart, daß das Produkt die Anforderungen in jedem Kontext erfüllen kann (Flexibilität). Die dritte Möglichkeit, den Nutzungsbedingungen dem vorhandenen Produkt entsprechend zu ändern, kann nur in Betracht gezogen werden, wenn die Produkteigenschaften unveränderbar oder derart nützlich sind, daß auch der Anwender bzw. Benutzer davon profitiert (Beispiel Rad).

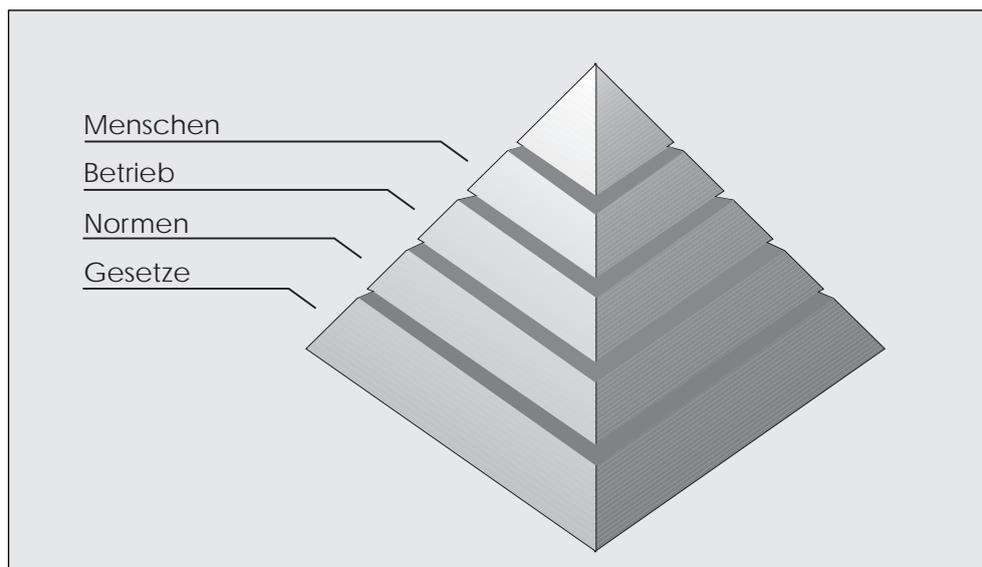
## **12.5 Anwendung der Gebrauchstauglichkeit auf die Beleuchtung**

### **12.5.1 Zielbestimmung**

Die Festlegung der Ziele, die ein Betrieb mit der Gestaltung einer Beleuchtung verbindet, muß in mehreren Ebenen erfolgen, um eventuelle Zielkonflikte identifizieren zu können (Bild 12.1). Ein Beispiel für einen solchen Konflikt wäre eine aus

Gründen der Sehleistung erforderliche Ausprägung der Beleuchtung, die den Raum in ein unangenehmes "Licht" bringt. Der Fall tritt z.B. dort ein, wo man eine bestimmte Lichtfarbe braucht, um Farbmuster gut unterscheiden zu können.

Bild 12.1 Anordnung der Betrachtungsebenen der Gebrauchstauglichkeit in Form einer Akzeptanzpyramide



Diejenige Ebene, über deren Bedeutung ein ordnungsgemäß handelnder Betrieb nicht diskutiert, ist die gesetzliche. Sie wird bei üblichen Arbeitsstätten durch die Arbeitsstättenverordnung, bei der Arbeit an Bildschirmgeräten zusätzlich durch die Bildschirmarbeitsverordnung gebildet.

Eine weitere Ebene wird durch die Anforderungen der Normen gebildet, die sich allerdings immer im Einklang mit den gesetzlichen Anforderungen befinden müssen. Wenn eine bestimmte Anforderung einer Norm den gesetzlichen Bestimmungen widerspricht, gelten die letzteren. Grundsätzlich kann ein Anwender eine andere Lösung anstreben als nach der Norm, wenn er damit die Ziele der Norm gleich gut bzw. besser erfüllen kann. Dieses Prinzip gilt nicht nur in Bezug auf Normen, sondern für alle Regelwerke.

Da Normen und Gesetze nicht alle Eigenschaften einer Beleuchtungsanlage beschreiben bzw. beschreiben dürfen, bestimmt sich die wünschenswerte Gestaltung desweiteren an der nächsten Ebene, der betrieblichen. Hierbei wird stellvertretend für den Betrieb der Organisator angeführt, weil dieser die Nutzungsanforderungen aus der Sicht der Arbeit zu formulieren imstande ist, selbst wenn er nicht der Alleinentscheider sein kann. Vielmehr koordiniert er die Entscheidungsfindung in Zusammenarbeit mit dem Arbeitsschutzausschuß, Betriebsrat, Haustechnik, Beschaffung etc.

Die oberste Ebene des Konzepts wird von den Interessen des "Menschen", d.h. des Mitarbeiters, bestimmt, weil der Gegenstand der Betrachtungen Arbeitsschutz heißt. Eine solche Vorgehensweise läßt sich im Büro ohne weiteres befolgen, allerdings

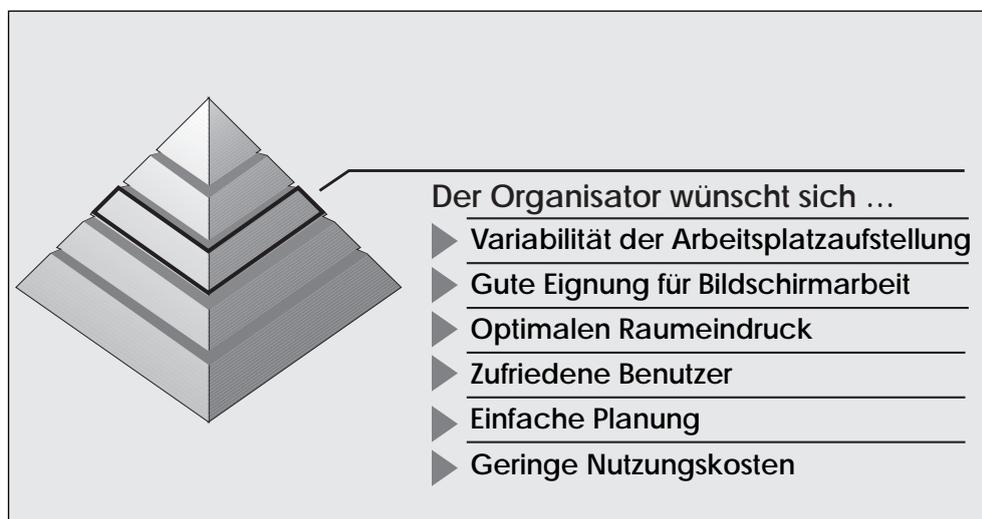
nicht überall. In Arbeitsbereichen, wo die Beleuchtung nicht nur Arbeitsmittel ist, sondern z.B. dekorativen Zwecken dient, muß man eine Interessenabwägung zwischen dem Benutzer und anderen Menschen (z.B. Kunde im Geschäft, Besucher im Ballsaal) vornehmen.

Eine gute Beleuchtung sollte, um Akzeptanz zu genießen, den oberen beiden Ebenen möglichst gut entsprechen und den unteren in möglichst wenigen Punkten widersprechen. Die letztere Aussage bedeutet nicht etwa, daß man sich exakt an die Vorgaben halten muß, sondern an die Ziele. Jede technische Ausgestaltung ist zulässig, die diese Ziele gleich gut bzw. besser erreicht als die etwa vorgegebene Ausführung. (Anm.: In neueren Regelwerken dürfen Ausführungsformen für technische Produkte ohnehin nicht mehr vorgegeben werden. Deswegen muß z.B. eine Reihe von Unfallverhütungsvorschriften geändert bzw. zurückgezogen werden, weil sie sog. "Bau- und Ausrüstungsvorschriften" enthalten.)

### 12.5.2 Anforderungen aus der Sicht des Betriebs

Die aus der Sicht des Betriebs bedeutsamen Aspekte, die an eine Bewertung der Gebrauchstauglichkeit einer Beleuchtung gestellt werden, beziehen sich auf eine möglichst universelle Nutzung bei jeglicher Form der Bildschirmarbeit, die Zufriedenstellung der Benutzerwünsche und möglichst eine Planung sowie geringe Nutzungskosten (Bild 12.2).

Bild 12.2 Zusammenfassung der Anforderungen des Organisations an die Beleuchtung



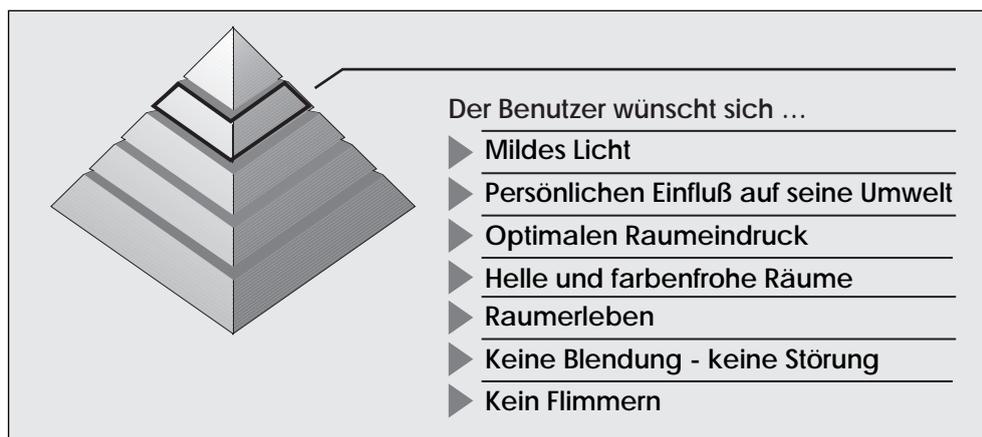
Die Reihenfolge der Aufzählung entspricht in etwa der Rangfolge der Überlegungen. Daß die Nutzungskosten als letztes aufgeführt werden, hängt nicht damit zusammen, daß diese unwichtig wären. Die Reihenfolge entsteht im Gegenteil aus der Logik von Wirtschaftlichkeitsüberlegungen, erst der Nutzen, dann die Kosten.

Dem Bild läßt sich entnehmen, daß zwei wichtige Punkte, optimaler Raumeindruck und zufriedene Benutzer, auch für die Benutzer interessant sind. Die Gründe hierfür sind einerseits das Bestreben des Organisators, möglichst zufriedenstellende und "vorzeigbare" Bedingungen schaffen zu wollen, und andererseits der programmierte Ärger mit den Benutzern bzw. ihren Vorgesetzten, wenn das Ergebnis nicht gefällt.

### 12.5.3 Anforderungen aus der Sicht des Menschen

Für den Benutzer steht die Störfreiheit und Annehmlichkeit der Beleuchtung im Vordergrund, wobei diese häufig erst dann als akzeptabel anerkannt werden, wenn man einen persönlichen Einfluß auf seine Umgebung ausüben kann (Bild 12.3). Die Begründung der oben zusammengestellten Anforderungen wurde aus den in diesem Bericht beschriebenen Erkenntnissen abgeleitet, so daß eine weitere Erläuterung an dieser Stelle entfallen kann.

Bild 12.3 Zusammenfassung der Anforderungen des Benutzers an die Beleuchtung



Insgesamt folgen die Anforderungen des Benutzers zum einen aus der Raumwirkung der Beleuchtung, zum anderen aber aus der Förderung seiner Leistungsfähigkeit durch die Beleuchtung, die nicht mit der Sehleistung verwechselt werden darf. Die einzelnen Einflußfaktoren sind in Bild 12.4 dargestellt. Die schwarz in Versalien dargestellten Aspekte stellen positive Wirkungen der Beleuchtung dar, während die rot dargestellten die negativen (Störungen) zeigen. Eine gebrauchstaugliche Beleuchtung maximiert die Leistungsfähigkeit durch eine für die Aufgabe hinreichende Sehleistung, die Betonung der Körperlichkeit von Sehobjekten ("Modelling") und aktiviert den Organismus durch eine helle und anregende Umgebung. Die negativen Wirkungen können in direkte (störender Glanz bzw. schlechte Kontrastwiedergabe) und in indirekte (Ermüdung z.B. infolge Blendung, ermüdungsbedingte Fehler und gesundheitliche Beeinträchtigungen) eingeteilt werden.

Dieses recht komplizierte Bild soll nicht etwa einen Anreiz darstellen, wissenschaftliche Studien anzustellen, sondern helfen, Entscheidungskriterien für den spezifischen Fall zu finden, wie folgende Beispiele zeigen.

Bild 12.4 Positive und negative Einflüsse der Beleuchtung auf die Leistungsfähigkeit des Menschen.



**Beispiel 1** Arbeit mit vorwiegend glänzenden Vorlagen (Werbeagentur, Studieren von Illustrierten, Umgang mit Folien etc.): Hier kommt es insbesondere darauf an, störenden Glanz zu vermeiden. Hierzu eignet sich die Indirektbeleuchtung am besten. Sie trägt durch die Aufhellung des Raums auch positiv zur Aktivierung bei. Um eine gute Raumwirkung zu erzielen, sollte die Beleuchtung allerdings nicht zu diffus sein. Die Beleuchtungsstärke ist relativ bedeutungslos, weil die Sehleistung durch Vermeiden des störenden Glanzes wesentlich stärker beeinflusst wird als etwa durch eine hohe Beleuchtungsstärke.

**Beispiel 2** Arbeit am CAD-System ohne Papiervorlagen: Die Sehleistung am Bildschirm steht im Vordergrund, häufig das Erkennen von Farben am Bildschirm. Die Bildschirme sind i.d.R. schlechter entspiegelt als andere Büromonitore, da sie häufig in Negativdarstellung betrieben werden. Es ist eine Beleuchtung zu wählen, die die Raumwände nicht stark aufhellt, in großen Räumen, wo man auch die Spiegelungen der Decke im Bildschirm sehen kann, muß auch die Helligkeit der Decke gering gehalten werden. Geeignete Beleuchtungsarten können Indirektbeleuchtung bzw. CRF-Leuchten sein, am besten dimmbar. Welcher man auch den Vorzug gibt, ist es wichtig, daß die gewählte Technik das Helligkeitsgefühl möglichst gut unterstützt, aber hierbei die geringste Beleuchtungsstärke auf dem Bildschirm erzeugt. Das Gefühl, in einem hellen Raum zu sitzen, besitzt bei dieser Arbeit eine besondere Bedeutung, weil sie häufig längere Zeit am Stück verrichtet wird. Zu bestimmten Zeiten pflegen Konstrukteure ohne Rücksicht auf Arbeitszeiten und Pausen zu arbeiten. Ein dunkles Raumgefühl kann hierbei durch einen negativen Einfluß auf die Aktivierung zu Ermüdung und Fehlern infolge dieser führen.

Besonderes Augenmerk ist auch auf die Blendung zu richten, da CAD-Arbeit die Augen ungleich höher belastet als etwa Daten- und Textverarbeitung.

**Beispiel 3 Mischarbeit:** Die Anforderungen an die Beleuchtung variieren von Zeit zu Zeit, von Arbeitsplatz zu Arbeitsplatz. Bei bestimmten Aufgaben kommt es auf die Sehleistung an, bei anderen überhaupt nicht. Die Beleuchtung sollte insbesondere mit Rücksicht auf die Unterschiedlichkeit und Unberechenbarkeit der Sehaufgaben ausgelegt werden. Für diesen Zweck bietet eine Beleuchtung mit Arbeitsplatzleuchten die besten Voraussetzungen. Da sie allein ausreicht, eine höhere Beleuchtungsstärke zu erzeugen als für die meisten Sehaufgaben im Büro überhaupt benötigt wird, besteht die Bedeutung der restlichen Teile der Beleuchtung im Erzeugen der Raumwirkung. Hierzu eignen sich die Indirektbeleuchtung, sog. "mildes Licht", CRF-Beleuchtung.

#### 12.5.4 Entscheidungsfindung für den allgemeinen Fall

Wenn eine Entscheidung gefordert ist, bei der es um eine zukunftssichere Auslegung der Beleuchtung ohne Differenzierung der Einzelaufgaben ankommt, was erfahrungsgemäß eine häufige Fragestellung für den Büroplaner darstellt, sollte der künftige Nutzungskontext abgeschätzt werden. Dieser läßt sich hinreichend genau an der Entwicklung der Bürotechnologie bestimmen. Infolge dieser Entwicklung wird es nicht nur zu einer weiteren Verbreitung von Computerbildschirmen kommen, sondern zur verstärkten Einführung von sog. Imaging-Systemen - das sind Computeranwendungen, bei denen weitgehend oder ganz papierlos gearbeitet wird. Die erforderliche Technik ist bereits vorhanden und einsatzfähig. Die berechenbaren (und erprobten) Vorteile für die Steigerung der Produktivität lassen eine relativ rasche Verbreitung vermuten. Derzeit bremsen allenfalls die Kosten und die mangelnde Kenntnis der richtigen Organisation die Entwicklung solcher Systeme.

Davon sollte man sich nicht täuschen lassen, wie man es sich mit den Computeranwendungen anfang der 80er Jahre geleistet hatte. Seinerzeit wurden Überlegungen angestellt, ob man so was denn bräuchte und auf Kongressen vor interessiertem Publikum vorgetragen. So wie es um solche Fragen still geworden ist, wird es vermutlich mit Imaging geschehen. Daher sollte sich jeder, der heute ein Beleuchtung plant, auch auf die damit verbundenen Probleme gefaßt machen. Diese sind insbesondere ein überdimensionaler Bildschirm (heute 21 Zoll), eine eher schlechte Qualität der eingescannten Vorlagen, die bestenfalls langfristig besser werden können, und dazu ein lichtempfindlicher Bildschirm, wo eine Besserung ebenfalls nur langfristig sein wird. Insgesamt keine augenschonende Angelegenheit!

Während Imaging die Anwendung der Zukunft für Unternehmen wie Versicherungsgesellschaften oder Banken darstellt, werden sich andere Unternehmen mit neuen Computeranwendungen beschäftigen bzw. befassen müssen, die allesamt mit Farbe auf dem Bildschirm arbeiten, und dies bedeutet mehr Abhängigkeit von der Beleuchtung als heute üblich, zudem mehr Augenbelastung. Die Bildschirme werden ebenfalls größer.

Auf beide Entwicklungen muß man sich gefaßt machen, da sich niemand angesichts der Vorteile der neuen Möglichkeiten von den mit ihnen verbundenen Nachteilen abschrecken lassen wird. Einen möglichen Ansatzpunkt für die Linderung der Probleme von heute und morgen weist die Beleuchtung auf.

Einen Weg zur Entscheidungsfindung in der betrieblichen Ebene auf der Basis des Gebrauchstauglichkeitskonzepts zeigt Bild 12.5. In diesem Bild sind die jeweils besten Antworten auf die Einzelanforderungen dargestellt. Offen bleiben mußten die Anforderungen bezüglich der einfachen Planung und der Kosten. Sie sind im Einzelfall ebenso prüfen wie die Gesamtbilanz. Diese sollte nach dem in diesem Bericht propagierten Vorgehen der Betrieb ziehen und niemand anders, sofern dieser einer gesetzlichen Bestimmung nicht zuwiderhandelt.

Bevor man eine Gesamtbilanz zieht, sollte man nach den Möglichkeiten des Betriebs erwägen, ob es denn nicht sinnvoll wäre, sich selbst anhand realer Beispiele zu überzeugen. Große Betriebe können zu diesem Zweck eine Bemusterung in ihren Räumen nach dem Muster der in Kapitel 11 dargestellten Untersuchungen organisieren. Andere können eine Begehung von Arbeitsräumen von Unternehmen in ihrer Nähe durchführen, in denen unterschiedliche Beleuchtungsarten installiert sind. Der Augenschein und die Gespräche mit den Benutzern überzeugt erfahrungsgemäß mehr als jede wissenschaftliche Abhandlung. Zudem besteht der geistige Hintergrund der neuen gesetzlichen Bestimmungen, wie bereits angeführt, darin, daß die Entscheidungen über die Arbeitsschutzmaßnahmen "verbetrieblicht" werden, dem man mit einer solchen Vorgehensweise sicherlich besser Rechnung trägt als mit jeder anderen.

Bild 12.5 Die jeweils beste Erfüllung von Einzelanforderungen an die Beleuchtung

<u>Der Benutzer wünscht sich ...</u>	<u>beste Erfüllung bietet ...</u>
▶ Mildes Licht	Indirektbeleuchtung, CRF, mildes Licht
▶ Persönlichen Einfluß auf seine Umwelt	Arbeitsplatzleuchte
▶ Optimalen Raumeindruck	Indirektbeleuchtung, CRF
▶ Helle und farbenfrohe Räume	Indirektbeleuchtung
▶ Raumerleben	harmonische Helligkeitsverteilung
▶ Keine Blendung - keine Störung	Indirektbeleuchtung, Arbeitsplatzleuchte
▶ Kein Flimmern	Elektronisches Vorschaltgerät
<hr/>	
<u>Der Organisator wünscht sich ...</u>	<u>beste Erfüllung bietet ...</u>
▶ Variabilität der Arbeitsplatzaufstellung	Indirektbeleuchtung
▶ Gute Eignung für Bildschirmarbeit	2-Komponentenbeleuchtung
▶ Optimalen Raumeindruck	harmonische Helligkeitsverteilung
▶ Zufriedene Benutzer	2-Komponentenbeleuchtung
▶ Einfache Planung	vergleichen
▶ Geringe Nutzungskosten	vergleichen

## Literatur

- Aschoff, J.; Daan, S.; Groos, G.A.: *Vertebrate Circadian Systems - Structure and Physiology*, Springer, Berlin Heidelberg New York, 1982
- Bartenwerfer, H.: Psychische Beanspruchung und Ermüdung, in: Mayer, A; Hartwig, B. (Ed.), *Handbuch der Psychologie, Bd. 9*, Göttingen 1970, S. 168 - 209
- Batzel, M.: Die Schatten des Kunstlichtes, in Stanjek, K.: *Zwielicht - Die Ökologie der künstlichen Helligkeit*, Raben, München, 1989
- Bauer, D.: *Beseitigung visueller Probleme am Bildschirmarbeitsplatz*, AFA Informationen, 5/88, S. 14-23
- Bodmann, H.-W.: *Kriterien für optimale Beleuchtungsniveaus*. Lichttechnik, 1961
- Bodmann, H.-W. : *Beleuchtungsniveaus und Sehtätigkeit*, Int. Licht Rundschau, 1962, S. 41- 43
- Bodmann, H.-W.; Eberbach, K.; Lesczynska, H.: *Acceptance of various modern office lighting systems*, Proceedings Lux Europa 1993, S. 893
- Bodmann, H.W.; Eberbach, K.; Lesczynska, H.: *Lichttechnische und ergonomische Gütekriterien der Einzelplatzbeleuchtung im Büro*, Forschungsprojekt F 1267 der Bundesanstalt für Arbeitsschutz, Dortmund, 1995
- Böcker, W.: *Künstliche Beleuchtung: Ergonomisch und energiesparend*, Campus, Frankfurt/Main, New York, 1981
- Bücker, A.; Feldhoff, K.; Kothe, W., *Vom Arbeitsschutz zur Arbeitsumwelt*, Hermann Luchterhand Verlag GmbH, Neuwied, Kriftel, Berlin, 1994
- Çakir, A.: *Untersuchungen über die empfindungsgemäße Beurteilung von farbfernsehgerechten Flutlichtanlagen*, (Dissertation an der TU Berlin), Berlin, 1975
- Çakir, A.: *Die Anwendung der Faktorenanalyse auf das Problem der psychologischen Blendung*, CIE Konferenz in London, (Sitzungsberichte, P-75-66), 1975a
- Çakir, A.; Reuter, H.-J.; Schmude, L.v.; Armbruster, A.: *Anpassung von Bildschirmarbeitsplätzen an die physische und psychische Funktionsweise des Menschen*, Bundesminister für Arbeit und Sozialordnung, Bonn, 1978
- Çakir, A.: Strukturwandel im Büro und die Änderung des Beanspruchungsprofils. In: Armbruster, A., Çakir, A.(Eds.): *Das Datensichtgerät als Arbeitsmittel*, ERGONOMIC, Berlin, 1979
- Çakir, A.: Zwei besondere Probleme des modernen Büros: Bildschirmarbeit und Zeitdruck, in Frese, M. (Hrsg.): *Streß im Büro*, Hans Huber Bern Stuttgart Wien, 1981
- Çakir, A.; Franke, R.P.; Piruzram, M.: *Arbeitsplätze für Phonotypistinnen*, BAU Forschungsbericht Nr. 363, Wirtschaftsverlag NW, Bremerhaven 1983
- Çakir, A.: *Vergleichende Untersuchung ergonomischer Eigenschaften von Bildschirmgeräten*, Forschungsbericht, ERGONOMIC Berlin 1983
- Çakir, A.: *Bürobeleuchtung - Ein neues Konzept nimmt Formen an*, Office Design, 1986
- Çakir, A.: Robustness of Perceptibility of Electronic Displays under unfavourable Environmental Conditions, *Proceedings IEA Congress*, Sydney, 1988
- Çakir, A.: *Licht und Gesundheit*, ERGONOMIC, Berlin, 1990
- Çakir, A.: *Light and Health*, ERGONOMIC, Berlin, 1991

- Çakir, A.: *Das Sick Building Syndrome*, Sicherheitsreport 2/93, Verwaltungs-Berufsgenossenschaft, Hamburg, 1993
- Çakir, A., Çakir, G.: *Licht und Gesundheit*, ERGONOMIC, Berlin, 1994
- Çakir, A.: *Über das Sick-Building-Syndrome*, in Florian, H.J.; Stollenz, E., Valentin, H., Zober, A. (Hrsg.) *Arbeitsmedizin aktuell*, Gustav Fischer, Stuttgart, Loseblattsammlung, Lieferung 39/1996
- Couve, R.: *Grundsätze für die Gestaltung und Einrichtung der Büroarbeitsplätze*. DIWIV-Blätter, Heft 3, 1930
- DGB Deutscher Gewerkschaftsbund (Hrsg.) : *Menschengerechte Arbeitsgestaltung*, Informationsschrift 2, Bund-Verlag, Köln, 1978
- Eiermann, E. V.; Kuhlmann, A.: *Ideen für die Umwelt von morgen - Planungsstudie Verwaltungsgebäude*, Technische Universität Berlin, 1967
- Fischer, D.: *Optimale Beleuchtungsniveaus in Arbeitsräumen*, Lichttechnik 22, 1970
- Frank, H.: *Kybernetische Maschinen*, S. Fischer, Frankfurt, 1964
- FGL Fachgemeinschaft Gutes Licht: *Lichtanwendung*, Richard Pflaum, München, 1976
- Fritz, H.-J.: *Menschen in Büroarbeitsräumen*. Heinz Moos Verlag, München, 1983
- Gall, D.; Vandahl, C.; Greiner Mai, U.; Wolf, S.; Helm, H.-P., Fb 1437 *Einzelplatzbeleuchtung und Allgemeinbeleuchtung am Arbeitsplatz*, Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, Dortmund, 1996
- Graf, O.: *Arbeitsablauf und Arbeitsrhythmus*. In: *Handbuch der ges. Arbeitsmedizin*, Band I, Arbeitsphysiologie, Berlin, München, Wien 1961
- Hartmann, E.: *Optimale Beleuchtung am Arbeitsplatz*. Kiehl Verlag Ludwigshafen 1977
- Hartmann, E.: *Beleuchtung*. In: Schmidtke, H. (Hrsg.): *Lehrbuch der Ergonomie*, Hanser Verlag, München, Wien 1981
- Hartmann, E.: *Beleuchtung am Arbeitsplatz*, Bayerisches Staatsministerium für Arbeit und Sozialordnung, München, 1982
- Hartmann, E.; Müller-Limmroth, W.: *Stellungnahme zur Frage der Verträglichkeit des Leuchtstofflampenlichtes*. LiTG, Karlsruhe, 1981
- Haubner, P.: *Zur Bewertung der psychologischen Blendung in Innenräumen*. Lichttechnisches Institut der TU Karlsruhe, 1970
- Hedge, A.: *The Cornell University Study*, Cornell University, Ithaca, NY, 1990
- Hedge, A. : Persönliche Mitteilung, Dezember 1992
- Hedge, A.; Sims, W.R.; et al: Effects of lensed-indirect and parabolic lighting on the satisfaction, visual health, and productivity of office workers, *Ergonomics*, Vol 38, Num 2, 1995, S. 260 - 280
- Hentschel, H.-J.: *Licht und Beleuchtung*, Siemens Berlin München 1972
- Kaufmann(Hrsg.): *IES Lighting Handbook*, Ill. Eng. Soc. New York 1972
- Kiesel, R., Pinnau, H.: *Leuchtentausch 2:1 fürs Klima*, OTTI Technologie Kolleg, 1997, S. 39-49
- Klingenberg, H.: *Die Wirkung verschiedener Leuchtdichtemuster auf einige Merkmale des Erlebens und Verhaltens von Versuchspersonen*. Institut für Psychologie/Institut für Lichttechnik, TU Berlin, 1973

- Krochmann, J.; Kirschbaum, C.F.: *Gerät zur Ermittlung der ergonomisch notwendigen Beleuchtung am Arbeitsplatz*, Research report Nr. 335, Wirtschaftsverlag NW, Bremerhaven 1983
- Krochmann, J.; Lindemuth, F.: *Empfehlungen zur Messung von Beleuchtungsanlagen*, Wirtschaftsverlag NW, Bremerhaven, 1989
- Kröling, P.: *Studie zur Ermittlung von Gesundheits- und Befindensstörungen in klimatisierten Gebäuden*, W. Zuckschwerdt Verlag, München, Bern, Wien 1985
- Küller, R.: The effects of indoor lighting on well-being and the annual rhythm of hormones, *CIE 21st session, Venice 1987, Volume 1*. No 601, pp. 342-345
- Lorenz, D.: *Die richtige Beleuchtung an Büroarbeitsplätzen mit und ohne Bildschirm*, Akzente Studiengemeinschaft GmbH, Murnau, 1993
- Opfermann, R.; Streit, W., *Arbeitsstätten - Arbeitsstättenverordnung und Arbeitsstätten-Richtlinien mit ausführlicher Kommentierung*, Loseblattsammlung, Forkel, Heidelberg, 1997
- Östberg, O.: Towards Standards and Threshold Limit Values for Visual Work, in: Tengroth, B.; Epstein, D.: *Current Concepts in Ergophthalmology*, Stockholm 1979
- Peters, Th.: *Arbeitswissenschaft für die Büropraxis*, Friedrich Kiehl, Ludwigshafen, 1976
- Ratzke, D.: *Handbuch der Neuen Medien*, Deutsche Verlags-Anstalt Stuttgart, 1982
- Reuter, H.-J.: *Freizeitverhalten und soziale Interaktion*, Berlin 1979
- Rick-Lenze, R.; Hoffmann, E.; Schulte, F.; Hoffmann, E.; Richter H.-J. u.a.: *Lichter und Leuchten - Entwicklungsgeschichte und Technik eines alten Kulturgutes*, Trilux-Lenze GmbH, 1987
- Riechert, H.: *Optimale Lichtfarben von Leuchtstofflampen in Arbeitsräumen für die Tageslichtergänzungsbeleuchtung*, (Diss.) TU Berlin 1975
- Rohmert, W.: Physische Beanspruchung durch muskuläre Belastungen, in: Schmidtke, H. (Ed.) : *Lehrbuch der Ergonomie*, Hanser, München, Wien 1981
- Roessler, G.: Gestaltung von Fenstern für den Ausblick ins Freie, *Proceedings of, LiTG Congress Berlin 1978*
- Schober, H.: Licht und Beleuchtung, in : Baader, W.; Lehmann, G. (Hrsg.): *Handbuch der gesamten Arbeitsmedizin, Band I, Arbeitsphysiologie*, Berlin, München, Wien, 1961, S. 446
- Siegel, C., Wonneberg, R.: *Bau- und Betriebskosten von Büro- und Verwaltungsbauten*, Bauverlag, Wiesbaden, Berlin, 1979
- Sieverts, E.: *Bürohaus- und Verwaltungsbau*, W. Kohlhammer GmbH, Stuttgart, Berlin, Köln, Mainz, 1980
- Sieverts, E.: Beleuchtung und Raumgestaltung, in: *Beleuchtung am Arbeitsplatz*, BAU Tb 49, Wirtschaftsverlag NW, Bremerhaven, 1988
- Spieser, R. u.a. (Ed.) : *Handbuch für Beleuchtung*, Girardet, Essen 1975
- Stolzenberg, K.; Marx, P.: *Gutachten zur Beleuchtung von Räumen mit Bildschirmgeräten*, Berlin 1987
- VDEW e.V. Vereinigung Deutscher Elektrizitätswerke, *Kompaktleuchtstofflampen, Richtig eingesetzt*, Informationsbroschüre, 1989
- v. Zerssen, D.: *Die Befindlichkeitsskala (Bf-S). Die Beschwerdeliste (b-L). Klinische Selbstbeurteilungsskalen aus dem MPI*. Beltz Test GmbH Weinheim 1975

## Regelwerke

89/391/EWG: Richtlinie des Rates vom 12. Juni 1989 über die Durchführung von Maßnahmen zur Verbesserung der Sicherheit und des Gesundheitsschutzes der Arbeitnehmer bei der Arbeit

89/654/EWG: Richtlinie des Rates vom 30. November 1989 über Mindestvorschriften für Sicherheit und Gesundheitsschutz in Arbeitsstätten

90/270/EWG: Richtlinie des Rates vom 29. Mai 1990 über die Mindestvorschriften bezüglich der Sicherheit und des Gesundheitsschutzes bei der Arbeit an Bildschirmgeräten

*Arbeitsschutzgesetz (ArbSchG)*: Gesetz über die Durchführung von Maßnahmen des Arbeitsschutzes zur Verbesserung der Sicherheit und des Gesundheitsschutzes der Beschäftigten bei der Arbeit (07. 08.1996)

Arbeitsstättenrichtlinie ASR 7/1 (04/76), Sichtverbindung nach draußen, *Arbeitsstätten, Vorschriften und Richtlinien, Rw Nr. 2*, Wirtschaftsverlag NW, Bremerhaven, 1994

Arbeitsstättenrichtlinie ASR 7/3 (11/93), Künstliche Beleuchtung, *Arbeitsstätten, Vorschriften und Richtlinien, Rw Nr. 2*, Wirtschaftsverlag NW, Bremerhaven, 1994

*Arbeitsstättenverordnung (ArbStättV)*: Verordnung über Arbeitsstätten vom 20.3.1975, geändert zuletzt am 20. 12.1996

*Bildschirmarbeitsverordnung (BildscharbV)*: Verordnung über Sicherheit und Gesundheitsschutz bei der Arbeit an Bildschirmgeräten (20. Dezember 1996)

DIN 5034 Teil 1 (12/83) Tageslicht in Innenräumen, Allgemeine Anforderungen

DIN 5035 (11/35) Leitsätze für Innenraumbeleuchtung mit künstlichem Licht

DIN 5035 (07/53) Innenraumbeleuchtung mit künstlichem Licht; Leitsätze

DIN 5035 (06/62) Innenraumbeleuchtung mit künstlichem Licht; Leitsätze (Entwurf)

DIN 5035 Teil 1 (10/72) Innenraumbeleuchtung mit künstlichem Licht; Allgemeine Richtlinien

DIN 5035 Innenraumbeleuchtung mit künstlichem Licht;

Teil 1 (10/79) Begriffe und allgemeine Anforderungen

Teil 2 (10/79) Innenraumbeleuchtung mit künstlichem Licht; Richtwerte für Arbeitsstätten

Teil 6 (11/83) Innenraumbeleuchtung mit künstlichem Licht; Messung und Bewertung

Teil 7 (08/88) Innenraumbeleuchtung mit künstlichem Licht; Spezielle Empfehlungen für die Beleuchtung von Räumen mit Bildschirmarbeitsplätzen und mit Arbeitsplätzen mit Bildschirmunterstützung

Teil 8 (05/94) Spezielle Anforderungen zur Einzelplatzbeleuchtung in Büroräumen und büroähnlichen Räumen

- 
- DIN 66 234 Teil 7 (12/84) Bildschirmarbeitsplätze, Ergonomische Gestaltung des Arbeitsraumes; Beleuchtung und Anordnung
- ISO DIS 9241Teil 6 (94) Ergonomic requirements for office work with visual display terminals (VDTs); Environmental requirements
- ZH 1/535 (01/76) Sicherheitsregeln für Büroarbeitsplätze
- ZH 1/618 (10/80) Sicherheitsregeln für Bildschirm-Arbeitsplätze im Bürobereich
- G 37 (10/82) Berufsgenossenschaftliche Grundsätze für arbeitsmedizinische Vorsorgeuntersuchungen in Bildschirm-Arbeitsplätzen



## Begriffe aus der Lichttechnik und Sehphysiologie

Benennung	Definition
Adaptation	Vorgang der Anpassung an die Leuchtdichte im Gesichtsfeld
Allgemeinbeleuchtung	Gleichmäßige Beleuchtung eines Raumes, die an allen Stellen des Raumes etwa gleiche Sehbedingungen schafft.
Annehmlichkeit	Subjektive Empfindung, die ein angenehmes Gefühl als Auswirkung der Beleuchtung beschreibt. Die Annehmlichkeit und die Störfempfindung sind zwei Skalen, mit deren Hilfe die Wirkung einer Beleuchtung erfaßt werden kann. Nur bei sehr starker Störfempfindung (z.B. Absolutblendung) sind beide Skalen hoch miteinander korreliert. Bei Vorliegen einer wirksamen Blendungsbegrenzung hingegen ist ihre Korrelation klein.
Arbeitsbereich (task area) (s. auch Umgebungsbe- reich)	Räumlicher Bereich, in dem sich die Sehaufgabe befindet, für die eine Beleuchtung ausgelegt wird. Auch: Der Teilbereich im Arbeitssystem, in dem die Sehaufgabe ausgeführt wird. (E DIN 5035-2, 1996)
Arbeitsplatzorientierte Allgemeinbeleuchtung	Allgemeinbeleuchtung mit fester Zuordnung zwischen Leuchten und bestimmten Arbeitsplätzen
Beleuchtungsstärke	Quotient aus dem auf eine Fläche auftreffenden Lichtstrom $\Phi$ und der beleuchteten Fläche (Formelzeichen $E$ , Einheit Lux = lx)
Beleuchtungsstärke, horizontale	In der horizontalen Ebene gemessene Beleuchtungsstärke (Formelzeichen $E_h$ )
Beleuchtungsstärke, mittlere	Arithmetischer Mittelwert der Beleuchtungsstärken in einem Raum oder in einer bestimmten Tätigkeit dienenden Raumzone
Beleuchtungsstärke, vertikale	In der vertikalen Ebene gemessene Beleuchtungsstärke (Formelzeichen $E_v$ , Einheit lx)
Beleuchtungsstärke, Wartungswert	Wert, den die Beleuchtungsstärke nicht unterschreiten darf. (s. auch Nennbeleuchtungsstärke) <i>Anm.: Dieser Wert wird künftig die "Nennbeleuchtungsstärke" ablösen. Ein Wert von 500 lx entspricht nach gängiger Praxis einem Nennwert von 625 lx. Daher sollte bei Ausschreibungen die gemeinte Größe spezifiziert werden.</i>
Beleuchtungsstärke, zylindrische	Auf der Oberfläche eines senkrecht stehenden fiktiven Zylinders als Bezugsfläche gemessene Beleuchtungsstärke (Formelzeichen $E_z$ )

Benennung	Definition
Blendung	Herabsetzung des Sehvermögens (physiologische Blendung) und/oder Störgefühl (psychologische Blendung), hervorgerufen durch unterschiedliche Leuchtdichteverteilungen im Gesichtsfeld oder sehr hohe Leuchtdichten im Gesamtgesichtsfeld
Blendung, Absolutblendung	Zustand, bei dem unter der Einwirkung sehr hoher Leuchtdichte in großen Teilen des Gesichtsfeldes ein Sehen durch Einsetzen von Schutzreflexen, wie unwillkürlichem Zukneifen der Lider, Augen- und Kopfbewegung, Tränenfluß, nicht mehr möglich ist.
Blendung, Direktblendung	Blendung, die unmittelbar durch Leuchten oder leuchtende Decken hervorgerufen wird.
Blendung, Kontrastblendung	Blendung, die durch zu hohe Kontraste ausgedehnter Objekte im Gesichtsfeld verursacht wird, z.B. durch dunkle Bildschirme vor hellen Fenstern.
Blendung, Reflexblendung	Blendung und Kontrastminderung, die durch Spiegelungen hoher Leuchtdichte auf glänzenden Oberflächen verursacht werden. <i>Anm.: Die durch Reflexblendung hervorgerufenen Störungen sind im wesentlichen Kontrastminderung, Fusions- und Akkomodationsschwierigkeiten.</i>
Blendung, Umfeldblendung	Blendung durch ausgedehnte Flächen relativ hoher Leuchtdichte im peripheren Gesichtsfeld
Blendungsbewertung, physiologische	Bewertung der Herabsetzung des Sehvermögens, gemessen an der Beeinträchtigung von Sehfunktionen, z.B. der Formenerkennbarkeit.
Blendungsbewertung, psychologische	Bewertung der Blendung allein unter dem Gesichtspunkt der Störempfindung, bedeutsam auch dann, wenn keine physiologische Blendung vorkommt.
Flimmern	Wahrnehmung einer raschen periodischen Schwankung der Leuchtdichte im Frequenzbereich von einigen Hz bis zur Verschmelzungsfrequenz, ohne daß die einzelnen Phasen noch erkennbar sind.
Gesichtsfeld	Gesamtheit der Punkte im Außenraum, die bei ruhendem Kopf und ruhendem Auge gleichzeitig wahrgenommen werden können. (Synonym: Sehfeld)
Glanz	Empfindung, die bei Betrachtung von Körperoberflächen bei zumindest teilweise gerichteter Beleuchtung unter bestimmten Winkeln durch Maxima der Reflexion entsteht (Spiegelungseffekt). Glanz tritt bei Lichtemission mit ausgeprägter Vorzugsrichtung auf.

Benennung	Definition
Helligkeit	Stärke der Lichtempfindung; die Helligkeit eines Sehobjektes ist je nach den Sehbedingungen das empfindungsgemäße Korrelat zur photometrischen Größe der "Leuchtdichte". Die Helligkeitsempfindung wird auch durch die Adaption beeinflusst. Anm.: <i>Deswegen gibt es kein physikalisches Maß für die Helligkeit.</i>
Kontrast, photometrischer	Relativer Leuchtdichteunterschied zwischen benachbarten Feldern mit unterschiedlichen Leuchtdichten
Leuchtdichte	<p>Quotient aus dem durch eine Fläche A in einer bestimmten Richtung (<math>\epsilon</math>) durchtretenden (auftreffenden) Lichtstrom <math>\Phi</math> und dem Produkt aus dem durchstrahlten Raumwinkel <math>\Omega</math> und der Projektion der Fläche A auf eine Ebene senkrecht zur betrachteten Richtung (Formelzeichen L, Einheit <math>\text{cd}/\text{m}^2</math>)</p> <p>Anm.: <i>Die geringe Anschaulichkeit dieser Definition rührt von der Komplexität der Sehfunktionen her. Die L. stellt die bestmögliche physikalische Umschreibung der Empfindung "Helligkeit" dar.</i></p>
Nennbeleuchtungsstärke	<p>Nennwert der mittleren Beleuchtungsstärke im eingerichteten Raum oder in der einer bestimmten Tätigkeit dienenden eingerichteten Raumzone, für die die Beleuchtungsanlage auszulegen ist.</p> <p>Die Nennbeleuchtungsstärke bezieht sich im allgemeinen auf die horizontale Arbeitsfläche in 0,85 m Höhe über dem Fußboden, wenn nicht eine andere Bezugsebene vorgegeben ist, in der sich die wesentlichen Sehobjekte befinden. Sie bezieht sich auf den mittleren Alterungszustand der Anlage.</p> <p>Anm.: <i>Die N. stellt einen fiktiven Planungsbegriff dar. Wegen der geringen Anschaulichkeit wird sie durch den Wartungswert der Beleuchtungsstärke ersetzt.</i></p>
Netzhaut	Lichtempfindliches Gewebe, das die Augenwand innen auskleidet und anatomisch wie funktionell einen vorgeschobenen Teil des Gehirns darstellt.
Schattigkeit	<p>Durch die Lichteinfallrichtung auf einem Objekt verursachte Schattenwirkung. Die Schattigkeit wird als Maß für die Modellierung, d.h. für die Wiedergabe der räumlichen Struktur eines Körpers benutzt. Zur Kennzeichnung der Schattigkeit bei der Innenraumbeleuchtung wird das Verhältnis der zylindrischen Beleuchtungsstärke zur horizontalen in 1,20 m Höhe (Augenhöhe bei sitzender Haltung) herangezogen, <math>E_z/E_h</math>-Verhältnis.</p> <p>Anm.: <i>Im Text wurde dieser Wert als Schattigkeitsfaktor benutzt.</i></p>

Benennung	Definition
Sehaufgabe	<p>Die sehrelevanten Elemente der auszuführenden Arbeit</p> <p><i>Anm.: Der Begriff bezieht sich auf die funktionell bedeutsamen Elemente der Arbeit. Er umfaßt diese global und differenziert nicht zwischen verschiedenen Sehaufgaben am selben Arbeitsplatz.</i></p>
Sehobjekt	<p>Objekt im Außenraum, dessen Abbildung auf der Netzhaut zu einer Wahrnehmung führt.</p>
Sehvermögen, Sehleistung	<p>Gesamtheit der Sehfunktionen des Auges</p>
Störempfindung	<p>Subjektive Wahrnehmung einer Störung durch die Beleuchtung, die nicht notwendigerweise mit einer Verschlechterung von Sehleistungen einhergehen muß (psychologische Blendung).</p>
UGR-Verfahren	<p><b>Unified Glare Rating</b> = Blendungsbewertungsverfahren, das die derzeit unterschiedlichen Verfahren in europäischen Ländern vereinheitlichen soll.</p> <p><i>Anm.: Die derzeit in Deutschland (Söllner-Verfahren) und in Großbritannien (Hopkinson-Verfahren) benutzten Verfahren sind nicht verträglich. Daher muß für die europäische Normung ein Kompromiß gefunden werden.</i></p>
Umfeld	<p>Derjenige Teil des Gesichtsfeldes, der das Feld der Sehaufgabe umgibt. (entspricht dem Umgebungsbereich)</p>
Umgebungsbereich	<p>Der räumliche Bereich, der sich direkt an einen oder mehrere Arbeitsbereiche anschließt.</p> <p><i>Anm.: Dieser Begriff dient der unterschiedlichen Festlegung von Anforderungen innerhalb eines Raumes, z.B. Schreib-/Lesebereich und Verkehrszone.</i></p>
Verschmelzungsfrequenz	<p>Grenzfrequenz einer Folge von Lichtreizen, bei der das Flimmern in eine gleichbleibende Gesichtsempfindung übergeht oder umgekehrt.</p> <p>Die Verschmelzungsfrequenz nimmt i.a. mit zunehmendem Alter ab. Sie nimmt mit körperlicher Aktivierung zu, mit Ermüdung ab.</p> <p><i>Anm.: Die Verschmelzungsfrequenz hängt sehr stark vom Alter und von den Beobachtungsbedingungen ab (beweglicher oder starrer Blick). Daher sind die Aussagen aus der Literatur mit Vorsicht zu genießen, da sie häufig mit künstlich fixiertem Blick gewonnen worden sind.</i></p>

## FRAGEBOGEN

Im Rahmen des Projektes **Licht und Gesundheit** wollen wir den Einfluß der künstlichen Beleuchtung in Arbeitsräumen auf das Wohlbefinden und die Gesundheit ermitteln. Die Ergebnisse dieses Projektes dienen zur Aufstellung von Anforderungen an die Beleuchtung aus der Sicht der Menschen, die in Büros arbeiten.

Ihre Angaben werden für wissenschaftliche Zwecke benötigt und bleiben, da eine Namensnennung nicht erforderlich ist, vollständig geheim.

Bitte füllen Sie den Fragebogen vollständig aus und schicken Sie ihn mit dem beigefügten Umschlag an uns zurück.

### Zu Ihrer Person

- Geschlecht** weiblich   
 männlich
- Altersgruppe** unter 20   
 21 - 30   
 31 - 40   
 41 - 50   
 über 50

#### Benutzen Sie bei der Arbeit eine Brille?

- Brille** Nahbrille (für Lesen, Arbeiten)   
 Fernbrille (für Autofahren, Fernsehen)   
 Mehrstärkenbrille   
 keine

### Zu Ihrer Tätigkeit

- Wöchentliche Arbeitszeit bis 20 Stunden  über 20 Stunden
- Tägliche Arbeitszeit von ..... Uhr bis ..... Uhr
- gegenwärtige Tätigkeit .....
- Wo verbringen Sie den größten Teil Ihrer Arbeitszeit?
- am Schreibtisch   
 am Bildschirmgerät   
 an der Schreibmaschine   
 an .....
- Seit wann arbeiten Sie in Ihrem jetzigen Arbeitsraum? seit ..... Jahren
- Wieviel Mitarbeiter beschäftigt Ihr Unternehmen?
- weniger als 10  10 bis 100   
 100 bis 500  mehr als 500
- Zu welcher Gruppe gehört Ihre Verwaltung?
- Industrieverwaltung   
 reine Verwaltung   
 Dienstleistungsbetrieb   
 öffentliche Verwaltung

### Zu Ihrem Arbeitsraum

---

Mit wieviel Kolleginnen und Kollegen teilen Sie den Raum?

- allein                       1                       2-5   
6-15                       mehr als 15

Wie ist Ihr Arbeitsraum beleuchtet?

- Deckenbeleuchtung                       Tischlampe

Wie viele Fenster besitzt der Raum?

..... Fenster

Wie weit ist das nächste Fenster von Ihrem Arbeitsplatz entfernt?

etwa ... m

Sind Lichtschutzeinrichtungen vorhanden?

- Jalousien     Vorhänge   
sonstige     keine

In welcher Himmelsrichtung befinden sich die Fenster?

- Westen     Süden   
Osten     Norden                       weiß nicht

### Wie wirkt die Beleuchtung des Arbeitsraumes auf Sie?

---

*Bitte kreuzen Sie diejenige Zahl an, die Ihrem Empfinden nach am besten zutrifft: Wenn der Ausdruck links zutrifft, die " 1 "; wenn der Ausdruck rechts zutrifft, die " 5 ". Wenn kein Ausdruck voll zutrifft, wählen Sie die Zahlen „2“ bis „4“ entsprechend Ihrer Einschätzung.*

- |            |   |   |   |   |   |                |
|------------|---|---|---|---|---|----------------|
| angenehm   | ① | ② | ③ | ④ | ⑤ | unangenehm     |
| störend    | ① | ② | ③ | ④ | ⑤ | nicht störend  |
| freundlich | ① | ② | ③ | ④ | ⑤ | unfreundlich   |
| kalt       | ① | ② | ③ | ④ | ⑤ | warm           |
| blendend   | ① | ② | ③ | ④ | ⑤ | nicht blendend |
| hell       | ① | ② | ③ | ④ | ⑤ | dunkel         |
| sanft      | ① | ② | ③ | ④ | ⑤ | grell          |
-

**Wie ändert sich der Raumeindruck,  
wenn die Beleuchtung eingeschaltet wird?**

---

*Bitte kreuzen Sie diejenige Zahl an, die Ihrem Empfinden nach am besten zutrifft.*

angenehmer	①	②	③	④	⑤	unangenehmer
störender	①	②	③	④	⑤	weniger störend
freundlicher	①	②	③	④	⑤	unfreundlicher
kälter	①	②	③	④	⑤	wärmer
farbiger	①	②	③	④	⑤	farbloser
schöner	①	②	③	④	⑤	häßlicher
sanfter	①	②	③	④	⑤	greller

**Fühlen Sie sich an Ihrem Arbeitsplatz durch  
bestimmte Arbeitsbedingungen regelmäßig beeinträchtigt?**

---

	stark	mäßig	kaum	gar nicht
Lärm, Geräusche	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Räumliche Verhältnisse	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Zu warme Temperaturen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Zu kühle Temperaturen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Trockene Luft	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Beleuchtungsverhältnisse	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Gespräche	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Zu viel Tageslicht	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Zu wenig Tageslicht	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

---

**Leiden Sie bei Ihrer Arbeit an  
auffälligen Störungen Ihres Wohlbefindens?**

---

	stark	mäßig	kaum	gar nicht
Konzentrationschwäche	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Rasche Ermüdung	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Benommenheit	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Reizbarkeit	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Sehbeschwerden	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Kopfschmerzen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Trockene Augen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Augenbrennen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

**Herzlichen Dank für  
das Ausfüllen des Fragebogens!**

Adresse, wenn Sie das  
Projektergebnis erfahren möchten:

---