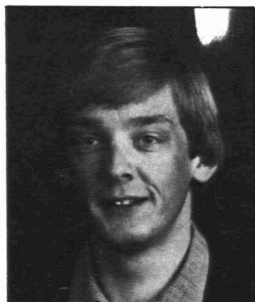


Beleuchtungstechnische Probleme bei der Bildschirmarbeit



Uwe PAWLAK, Dipl.-Ing., Jahrgang 1957, Studium der Elektrotechnik mit der Fachrichtung Nachrichtentechnik an der Technischen Hochschule in Darmstadt, Vertiefung im Fach Lichttechnik, 1983 Ablegung des Diploms.

Seit 1985 Mitarbeiter der Siemens AG, Abteilung für angewandte Arbeitswissenschaft. Betreut das Lichtlabor in der Ergonomiegruppe (Fragen der Sehbedingungen an Arbeitsplätzen und ergonomische Produktgestaltung).

Der Einsatz von Bildschirmen als modernes Kommunikationsmittel im Büro darf nicht isoliert unter einseitigen Optimierungsgesichtspunkten erfolgen. Es ist vielmehr das Gesamtsystem Bildschirm, Mensch und Umgebung miteinzubeziehen. In der ungestörten Informationsübertragung liegt das ergonomisch anzustrebende Optimum. Dazu ist die Gestaltung der Bildschirme und die Beleuchtung des Arbeitsplatzes so auf die Sehfunktionen des Menschen abzustimmen, daß eine gute Erkennbarkeit der Information ohne Störung durch Kontrastreduktion oder Reflexionen erreicht wird.

1. Grundsätzliche Aspekte der Bildschirmarbeit

Der Bildschirm entwickelt sich in zunehmendem Maß zum zentralen Arbeitsmittel im modernen Büro. Er bildet das »Fenster zum Computer«, ohne dessen Hilfe die wachsende Informationsflut vom Menschen kaum noch zu bewältigen ist. Ist die Tätigkeit des Menschen von der Arbeitsaufgabe und von der Arbeitszeit am Bildschirm bestimmt, so spricht man umfassend vom Bildschirmarbeitsplatz. Die Gestaltung dieses Arbeitsplatzes stellt den Ergonomen vor eine Fülle neuer Probleme. Sie ist aber notwendig, um Arbeitsabläufe unter Beachtung der menschlichen Leistungsfähigkeit und Bedürfnisse so rationell wie möglich vollziehen zu können. Dabei ist zu beachten, daß nicht die Summe aller optimalen Einzelelemente zum optimalen Gesamtsystem führen muß, sondern daß es darauf ankommt, das Zusammenwirken der Elemente so gut wie möglich zu gestalten.

Das Arbeitssystem Bildschirmarbeitsplatz als informationsverarbeitendes System ist deshalb bezüglich des Informationsflusses zu optimieren. Dabei spielt die Beseitigung von Störungen aus der Umgebung eine entscheidende Rolle.

2. Das Arbeitssystem Bildschirmarbeitsplatz

Die wesentlichen Elemente des Gesamtsystems Bildschirmarbeitsplatz (siehe auch Abb. 1):

- Arbeitsaufgabe
 - Mensch
 - Arbeitsmittel (Rechner, Bildschirm, Tastatur, Belege)
 - Arbeitsgegenstand (Informationsein- und -ausgabe)
 - Arbeitsplatz
 - Umgebung (Licht, Klima, Lärm, Raum)
- Der Mensch führt im System Tätigkeiten

geistiger und körperlicher Art aus, wie sie durch die Arbeitsaufgabe vorgegeben werden. Dazu kommuniziert er über Bildschirm und Tastatur mit dem Hauptarbeitsmittel Rechner. Papierbelege dienen außerdem als Träger von Informationen in Form von alphanumerischen Zeichenketten. Die räumliche Zuordnung von Mensch und Betriebsmittel geschieht am Arbeitsplatz, der mit einem anthropometrisch geeigneten Stuhl und Tisch ausgestattet sein muß. Aus der Umgebung wirken förderliche und störende Größen ein, wie Licht, Klima, Lärm und Raum. Im weiteren sollen nur noch die Umgebungseinflüsse Licht und Raumgestaltung betrachtet werden.

ist deshalb, Bildschirm und Beleuchtung so aufeinander abzustimmen, daß ein Höchstmaß an Information ungestört übertragen wird.

Ansatzpunkte sind dabei:

- Mensch
- Bildschirm
- Beleuchtung

3. Der Mensch als Nutzer des Bildschirms

Der Mensch als Informationsempfänger hat am Bildschirmarbeitsplatz mehrere Sehaufgaben zu bewältigen [2].

Er muß

- vom Beleg lesen,
- Zeichen auf der Tastatur erkennen,
- Tastenorte zur Auge-Hand-Koordination erkennen,
- Informationen auf dem Bildschirm lesen.

Die Beanspruchung der Sehorgane durch

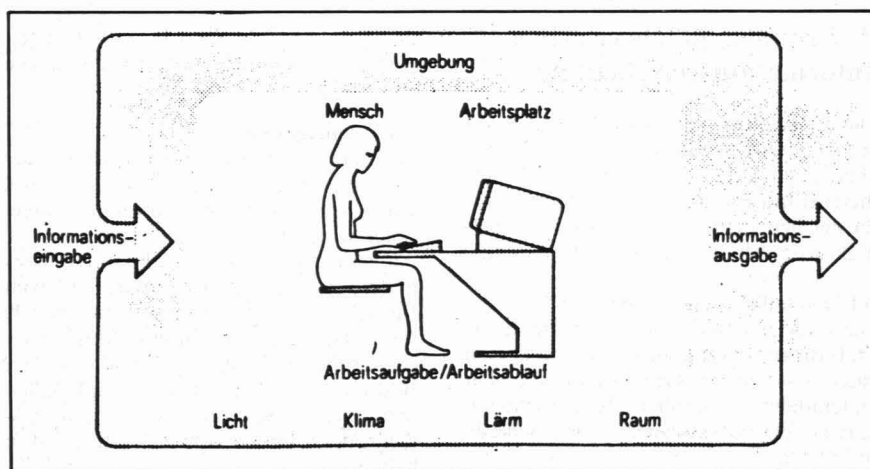


Abb. 1: Gesamtsystem Bildschirmarbeitsplatz

Die Beziehungen der eben dargestellten Systemelemente sind in Abb. 2 dargestellt. Der Informationsfluß von den Arbeitsmitteln zum Menschen läuft etwa zu 80% über den visuellen Kanal [1]. Trägermedium ist also das Licht. Es verursacht aber leider auch die meisten Störungen im Informationsfluß. Hauptaufgabe neben der anthropometrischen Arbeitsplatzgestaltung

diese verschiedenen Aufgaben wird bei richtiger Adaptation, Akkommodation und Vergenz am geringsten.

Die Adaptation ist die Anpassung der Netzhaut an die Sehaufgabe durch nervöse und chemische Vorgänge in und zwischen den Rezeptorelementen. Durch sie wird hauptsächlich die Kontrastempfindlichkeit, die Flimmerempfindlichkeit, das



Formsehen und Farbsehen beeinflusst. Als Akkommodation wird die Einstellung der Augenlinse zur scharfen Abbildung eines Objektes auf der Netzhaut bezeichnet. Hierdurch wird die Sehschärfe maßgeblich mitbestimmt. Beim binokularen Sehen müssen die Sehachsen der Augen am fixierten Objekt zusammentreffen, diese Augenstellung oder Vergenz ist nervös mit der Akkommodation gekoppelt.

Um eine Eignung der Sehorgane für die Tätigkeit am Bildschirm festzustellen, sollten vor Aufnahme der Arbeit die Grundfunktionen der Augen überprüft werden. Mitarbeiter, die bereits eine Brille wegen Weitsichtigkeit tragen, sollten daraufhin überprüft werden, ob ihre Akkommodationsbreite für die unterschiedlichen Sehentfernungen am Bildschirmarbeitsplatz ausreicht. Ansonsten sind die Brillengläser neu anzupassen.

4.2 Zeichenkontrast

Um eine gute Erkennbarkeit der Zeichen zu gewährleisten, sollte sich die Zeichenleuchtdichte mindestens um den Faktor 3 von der Hintergrundleuchtdichte abheben. Gute Leserlichkeit wird, das haben Versuche gezeigt, zwischen 5:1 und 8:1 erreicht [1].

4.3 Zeichengestalt

Die Zeichen sollen so gestaltet sein, daß sie in ihrer Bedeutung eindeutig und schnell erkannt werden.

Dazu gehört, so weit wie möglich, der Fortfall von Serifen, die Ausbildung von Ober- und Unterlängen und ein Höhen-Breiten-Verhältnis von 50% bis 70%. Sind die Zeichen in Matrixform dargestellt, so muß die PunktezahI mindestens 5 in der Breite und 7 in der Höhe betragen, besser ist eine große Anzahl, weil dies eine bessere Ausformung der charakteristischen Zeichen-

5. Antireflexmaßnahmen

Zur Vermeidung von Störungen durch das Licht aus der Umgebung gibt es prinzipiell 3 Möglichkeiten:

1. Die Entstehung von Störquellen kann durch richtige Beleuchtung und Umgebungsgestaltung verhindert werden (worüber ausführlicher in Kapitel 7 geschrieben wird).
2. Spiegelungen des Umgebungslichtes können durch Antireflexmaßnahmen abgeschirmt werden.
3. Das Auge kann gegen Störung unempfindlich gemacht werden.

Als Antireflexmaßnahme seien hier genannt:

- Micromeshfilter, ein feines Maschengewebe, welches einen Teil des Störlichtes am Einfall und Wiederaustritt (nach Reflexion an der Bildschirmoberfläche) hindert. Die Störung wird auf etwa ein Zehntel des Wertes ohne Filter reduziert. Nachteil: Die Filter verschmutzen leicht und setzen die Leuchtdichten des Bildschirms um etwa 70% herab. Der Beobachtungswinkel des Bildschirms ist eingeschränkt.
- Filter aus Grauglas, die mit einer optisch wirksamen Schicht der Dicke $\lambda/4$ bedampft werden. Sie reduzieren das reflektierte Störlicht ebenfalls auf ca. 10%. Nachteil: Die Filter sind sehr schmutzempfindlich, sie bilden an der Grenzfläche zur Luft ein zweites Spiegelbild. Die Wirkung der $\lambda/4$ -Schicht ist nur in der normalen Richtung zur Scheibe optimal.

- direktes Beschichten der Bildschirmoberfläche mit einer $\lambda/4$ -Schicht.
- Mattieren der Bildschirmoberfläche. Die Störleuchtdichte wird auf ein Viertel gegenüber der glatten Scheibe reduziert. Die scharfe Kontur der leuchtenden Fläche verschwimmt. Der Akkommodationsreiz wird kleiner. Nachteil: Die Zeichen werden unschärfer, dies beeinträchtigt die Lesbarkeit nach bisherigen Erfahrungen aber kaum [1].

Beim Wechsel der bisher üblichen Bildschirmdarstellung von negativ nach positiv wird das Auge auf gleiche Störleuchtdichten unempfindlich werden, weil sich der Kontrast von Störbild zu Hintergrundleuchtdichte bei Positivdarstellung verringert.

6. Beleuchtung von Bildschirmarbeitsplätzen

6.1 Lichttechnische Größen

Zum besseren Verständnis der folgenden Ausführungen sei hier kurz erläutert, wie eine Beleuchtungssituation durch die lichttechnischen Größen gekennzeichnet ist (siehe Abb. 3). Das Licht einer Lampe gelangt direkt oder nach Reflexion an einem Gegenstand in das Auge des Menschen. Am Ort des Gegenstandes kann man die

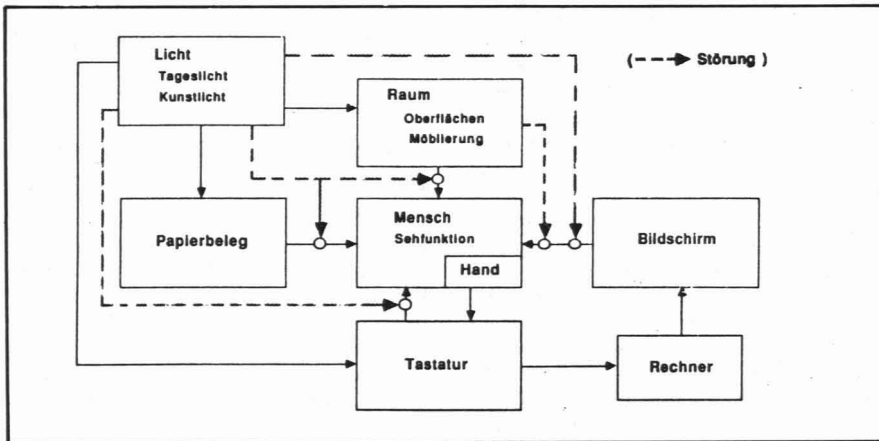


Abb. 2: Information und Störung am Bildschirmarbeitsplatz

4. Grundlagen der visuellen Informationsverarbeitung

Der Bildschirm bietet dem Menschen die Information in Form von Zeichen oder Zeichenketten dar. Um ein sicheres Wahrnehmen der Information zu ermöglichen, muß die Zeichendarbietung richtig an die Sehfähigkeit des Menschen angepaßt werden.

4.1 Leuchtdichte des Hintergrundes

Ganz allgemein ist die Leuchtdichte ein Maß für den Helligkeitseindruck, den das Auge von einem Gegenstand hat. Die Leuchtdichte ist definiert als die Lichtstärke (Candela, cd) bezogen auf die Fläche, also in cd/m^2 .

Die Hintergrundleuchtdichte des dargebotenen Bildes bestimmt zum großen Teil den Adaptionszustand des Auges. Sie liegt im allgemeinen je nach Darstellungsart des Bildschirms, ob negativ oder positiv, bei 10 bis $15 \text{ cd}/\text{m}^2$ oder 85 bis $150 \text{ cd}/\text{m}^2$. Der Trend geht zum Bildschirm mit Positivdarstellung (dunkle Zeichen auf hellem Grund). Damit werden große Leuchtdichtesprünge zum Beleg, zur Tastatur und zur Umgebung vermieden und das Auge ist im Bereich des Tagessehens adaptiert.

details zuläßt. Innerhalb der einzelnen Zeichen sind große Leuchtdichteunterschiede zu vermeiden.

4.4 Zeichengröße

Ein richtig gestaltetes Zeichen wird sicher erkannt, wenn es unter einem Sehwinkel von mindestens $18'$ Bogenminuten dargeboten wird. Dabei ist bereits eine mögliche Alterssichtigkeit berücksichtigt [1]. Normalerweise beträgt der Sehabstand vom Bildschirm etwa zwischen 450 mm und 600 mm. Daraus ergibt sich eine Mindestzeichengröße von 2,5 mm bis 3,5 mm auf dem Bildschirm, welche nur in Sonderfällen überschritten wird, um die Informationsdichte des Schirmes so hoch wie möglich zu halten.

In der Ergonomie dürfen nicht einzelne Gesichtspunkt, sondern es muß das Arbeitssystem in seiner Gesamtheit optimiert werden.

4.5 Zeileneinteilung und Zeilenabstand

Um ein Zeichen von seinem Nachbarzeichen separieren zu können, soll mindestens 15% der Zeichenbreite bzw. der Schrifthöhe mit Ober- und Unterlängen als Zwischenraum frei bleiben.



Beleuchtungsstärke E in Lux (lx) messen. Sie ist ein Maß für das an einem Ort eintreffende Licht. Dieses Licht wird durch den Körper reflektiert und bildet nun die meßbare Leuchtdichte des Körpers, der mit einer bestimmten Helligkeit gesehen wird. Wieviel Licht wohin reflektiert wird, liegt an den Oberflächeneigenschaften des Körpers (Reflexionsgrad ρ). Im einfachsten Fall gilt bei völlig diffuser (richtungsunabhängiger) Reflexion:

$$L = \frac{\rho}{\pi} \cdot E = q \cdot E$$

L : Leuchtdichte in cd/m^2

E : Beleuchtungsstärke in lx

ρ : Reflexionsgrad (Stoffeigenschaft)

q : Leuchtdichtekoeffizient in $\text{cd}/\text{m}^2 \cdot \text{lx}$

Für die Leuchtdichte eines Gegenstandes sind also immer zwei Größen verantwortlich, die beide in die leuchttechnische Betrachtung von Arbeitsplätzen einbezogen werden müssen:

- Beleuchtungsstärke E
- Leuchtdichtekoeffizient q

Werden Lichtquellen nicht ausreichend abgeschirmt, dann kann es zur Direktblendung durch die Beleuchtung kommen.

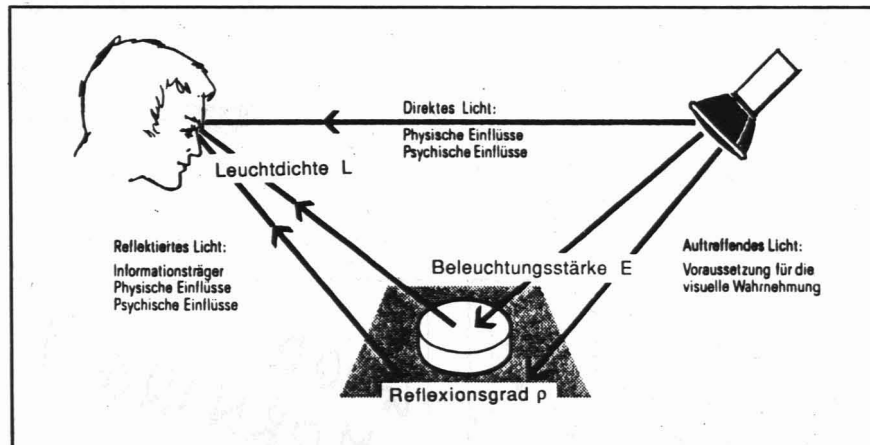


Abb. 3: Beleuchtungssituation

6.2 Beleuchtungsniveau

DIN 5035 Teil 2 legt die Nennbeleuchtungsstärken für Großraumbüros je nach Reflexionsgrad des Raumes zwischen 750 lx und 1000 lx fest. Installiert man in diesen Büros Bildschirme, so weisen diese trotz maximaler Zeichenkontrasteinstellung einen nur sehr geringen Kontrast auf. Dies erklärt sich aus der Tatsache, daß das im Raum vorhandene Licht durch Reflexion am Phosphor und an der Bildschirmoberfläche sowohl dem Zeichen als auch dem Hintergrund überlagert wird und so einen kontrastreduzierenden Schleier bildet. Im Unterschied dazu verändert der Papierbeleg seinen Kontrast nicht, wenn sich die Beleuchtungsstärke an der Papieroberfläche ändert.

Der Unterschied wird durch folgende Modellrechnung, die auf realen Ausgangsdaten beruht, deutlich:

Zeichenkontrast am Negativ-Bildschirm:

$$K = \frac{L + q \cdot E}{q \cdot E}$$

Zeichenkontrast am Papierbeleg:

$$K = \frac{q_H \cdot E}{q_Z \cdot E} = \frac{L_H}{L_Z}$$

K : Zeichenkontrast

L : Leuchtdichte der Bildschirmzeichen

L_Z : Zeichenleuchtdichte am Papierbeleg

L_H : Hintergrundleuchtdichte am Papierbeleg

E : Beleuchtungsstärke am Bildschirm bzw. Papierbeleg

q : Leuchtdichtekoeffizient der Bildschirmoberfläche

q_Z : Zeichenleuchtdichtekoeffizient am Papierbeleg

q_H : Hintergrundleuchtdichtekoeffizient am Papierbeleg

Der Zeichenkontrast am Bildschirm mit Negativdarstellung (helle Zeichen auf dunklem Grund) beträgt bei einer vertikalen Beleuchtungsstärke von 250 lx noch 5:1 (siehe Abb. 4). Er sinkt bei doppelter Beleuchtungsstärke schon unter den gefor-

schirm und 750 lx auf der Arbeitsebene angedehnt werden kann. 750 lx entspricht dem Planungswert aus DIN 5035 für konventionelle Büroarbeit in größeren Räumen.

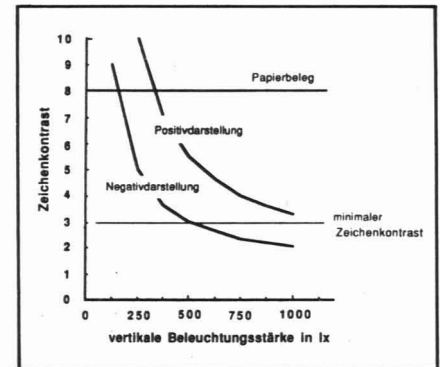


Abb. 4: Kontrastreduzierung durch Umgebungslicht

6.3 Leuchtdichteverteilung im Raum

Die Adaption des Menschen dauert umso länger, je größer der Leuchtdichteunterschied ist. Daher dürfen im Gesichtsfeld des Menschen keine zu hohen Leuchtdichtesprünge auftreten, weil dies zur Blendung führt. Im Innenraum mit Ausnahme der Fenster und Leuchten werden im Mittel Leuchtdichten zwischen 80 und 500 cd/m^2 erreicht. Für eine ausgewogene Verteilung sorgt man durch richtige Nennbeleuchtungsstärke und typische Reflexionsgrade von

- etwa 70% für die Raumdecke
- etwa 50% für die Wände
- etwa 20 — 50% für die Möbel
- etwa 20% für die Fußböden

Die Leuchtdichteverteilung soll dabei nicht monoton (in der Höhe eines Mittelwertes) verlaufen, was zu einer Kontrastarmut im Raum führen würde.

7. Gestaltung reflexarmer Beleuchtung

Reflexionen auf dem Bildschirm werden durch zu helle Flächen im Raumbereich hinter dem Arbeitsplatz hervorgerufen. Diese Reflexionen werden als störend empfunden, wenn sie als helle, konturscharfe Spiegelbilder im Bildschirm erscheinen. Dies führt zu einer dauernd wechselnden Akkommodation und Vergenz der Augen verbunden mit einer Reflexblendung. Maßnahmen zur Beseitigung der Reflexion direkt am Bildschirm sind in diesem Artikel schon behandelt worden. Bei sehr hohen Leuchtdichten von Beleuchtungskörpern, etwa 2000 bis 5000 cd/m^2 oder Fenstern bis 10.000 cd/m^2 muß die Leuchtdichte schon am Ort der Entstehung begrenzt werden.

7.1 Fenster

Um Störungen durch die hellen Fenster zu vermeiden, sind Bildschirmarbeitsplätze fensterfern einzurichten. Die Aufstellrichtung soll mit Blickrichtung parallel zum Fenster gewählt werden, so daß keine Di-



rektblendung der Nutzer und keine Reflexionen am Bildschirm entstehen. Die Fenster werden durch Lamellenstores so abgeschirmt, daß ein Blick senkrecht nach außen durch die senkrecht zum Fenster gedrehten Lamellen möglich ist, schräg einfallendes Licht jedoch abgeschirmt wird (siehe Abb. 5).

Die Zuordnung der Plätze zu den Leuchten kann jedoch nicht völlig außer Acht gelassen werden. Es zeigt sich nämlich, daß bei Direktbeleuchtungssystemen aufgrund der vorwiegend senkrechten Lichtabstrahlung eine schlechtere Kontrastwiedergabe durch Reflexionen auf horizontal liegenden Belegen eintreten kann. Eine Aufstellung der

Der Bildschirm ist das Fenster zum Computer.

Das Arbeitssystem Bildschirmarbeitsplatz ist bezüglich seines Informationsflusses zwischen Mensch und Computer zu optimieren.

Die besten Beleuchtungssysteme für Bildschirmarbeitsplätze sind derzeit Direkt/Indirektleuchten in Spiegelrastertechnik.

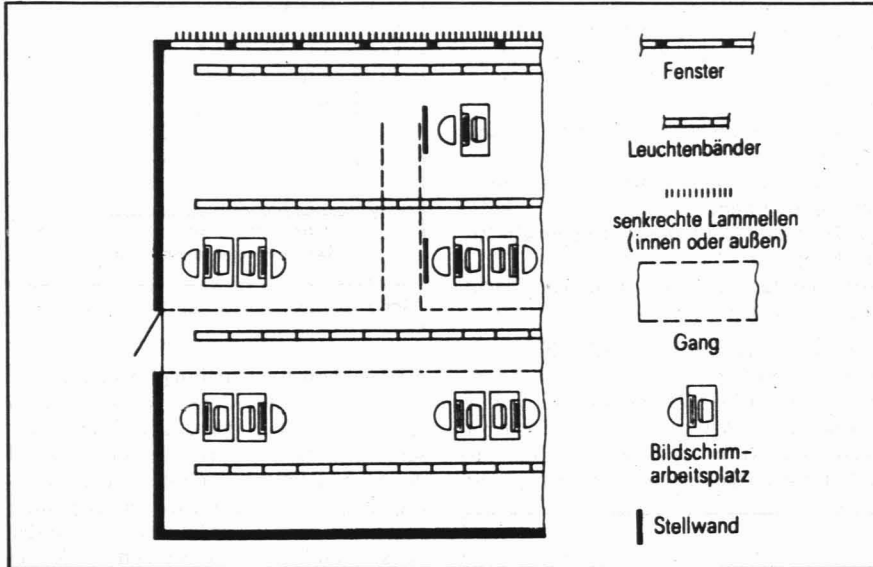


Abb. 5: Anordnung der Bildschirmarbeitsplätze im Raum

7.2 Leuchten

Da man sich über die Größe der noch akzeptablen Störleuchtdichte anfangs nicht klar war, sind im Lichtlabor der Siemens AG Untersuchungen zur Klärung durchgeführt worden.

Die Ergebnisse dieser Untersuchungen zeigen, daß jede Fläche, die sich im Bildschirm spiegelt, im Mittel eine Leuchtdichte von höchstens 200 cd/m^2 aufweisen soll. Versucht man dies mit reinen Indirektbeleuchtungssystemen zu realisieren, so reicht die Deckenleuchtdichte nicht aus, um die als Minimum geforderten 500 lx Nennbeleuchtungsstärke am Arbeitsplatz zu erhalten. Unter Zugrundelegung auch anderer lichttechnischer Gütemerkmale und Berücksichtigung der elektrischen Anschlußleistung, kommen zur Beleuchtung von Bildschirmarbeitsplätzen am ehesten Spiegelrasterleuchten in Betracht.

7.3 Bewertung von Beleuchtungssystemen

Die Bewertung fällt am besten für eine abgehängte Direkt/Indirektleuchte in Spiegelrastertechnik aus (siehe Abb. 6). Der Abschirmwinkel für den Direktanteil, bei dem die oben angeführten 200 cd/m^2 gerade unterschritten werden, liegt im 50° -Winkel zur Senkrechten. Bei diesem Abschirmwinkel ist eine aus ergonomischer Sicht erforderliche Neigung der Bildschirme nach hinten möglich, ohne daß am oberen Bildschirmrand eine helle Spiegelung sichtbar wird. Der Indirektanteil in Verbindung mit dem Deckenreflektionsgrad führt zu einer Deckenleuchtdichte von weniger als 200 cd/m^2 .

Arbeitsplätze direkt unter den Leuchten ist daher ungünstig. Die Tische sollten so zwischen den Leuchtenbändern stehen, daß die Blickrichtung parallel zu den Leuchten verläuft (siehe Abb. 5).

Merkmale	Bewertung				
	++	+	0	-	--
Bildschirm-tauglichkeit	•	•	•	•	•
Kontrast-wiedergabe	•	•	•	•	•
Leuchtdichte-verhältnis	•	•	•	•	•
Installierte Leistung	•	•	•	•	•

Direktsystem ———
 Direkt/Indirektsystem - - - -
 Indirektssystem

Abb. 6: Bewertung von Beleuchtungssystemen

8. Schlußbemerkungen

Die vorstehend geschilderten Maßnahmen zeigen deutlich, daß eine einseitige Optimierung der Elemente des Bildschirmarbeitsplatzes aus ergonomischer Sicht nicht sinnvoll ist. Mögen an Einzelplätzen zunächst »Insellösungen« von den betroffenen Mitarbeitern akzeptiert werden, so zeigt sich, daß beim massierten Einsatz des Bildschirms über längere Dauer nur komplette Systemlösungen für den Bildschirmarbeitsplatz in einer richtig beleuchteten Umgebung menschengerechte und wirtschaftliche Arbeit ermöglichen.

Literatur:

- [1] BENZ, C.; GROB, R.; HAUBNER, P.: Gestaltung von Bildschirmarbeitsplätzen, Köln 1981.
- [2] DIN 66234 Teil 7, Berlin 1984.
- [3] JAINSKY, P.: Die Unterschiedsmepfindlichkeit des menschlichen Auges bei verschiedenen Lichtarten, Lichttechnik 12 (1960) 6, S. 355 — 359.
- [4] Sicherheitsregeln für Bildschirm-Arbeitsplätze im Bürobereich, Verwaltungsberufsgenossenschaft, Best.Nr. ZH 1/618, Köln 1980.
- [5] LEIBIG, J.; ROLL, K.-F.: Bildschirmarbeitsplatzbeleuchtung, Licht (1984) 7, S. 494 — 497.

