Ergonomische Evaluation von Bildschirmgeräten

Autor(en): **Grandjean, E. / Bräuninger, U. / Heiden, G. van der**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association Suisse des Electriciens, de l'Association des Entreprises électriques suisses**

Band (Jahr): **74 (1983)**

Heft 11

PDF erstellt am: **25.05.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-904808

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

Ergonomische Evaluation von Bildschirmgeräten

E. Grandjean, U. Bräuninger, G. van der Heiden und R. Gierer

Am Beispiel von ausgedehnten Untersuchungen in Banken werden Kriterien besprochen, mit denen Bildschirme bezüglich ihrer Benützerfreundlichkeit beurteilt werden können.

Discussion de critères, établis sur la base de longues recherches dans des banques et permettant de juger du degré de confort d'emploi d'écrans de visualisation.

1. Physiologische Gesichtspunkte

Zum Lesen von Texten werden zwei Funktionen der Augen in Anspruch genommen: die Scharfeinstellung (Akkommodation) der Augen auf das Schriftbild und die Anpassung der Empfindlichkeit des Sehapparates (Adaptation der Netzhaut und der Pupillenweite) auf verschiedene Flächenhelligkeiten im Gesichtsfeld.

Die *Scharfeinstellung* ist erschwert
- bei geringer Trennschärfe,
- bei ungenügenden Kontrasten zwischen den Zeichen selbst und den Zwischenräumen innerhalb oder zwischen den Zeichen,
- bei Unstabilität der Zeichen,
- durch spiegelnde Reflexionen auf der Bildschirmoberfläche,
- durch unzweckmässige Schriftbilder.

Die *Anpassung der Empfindlichkeit* des Sehapparates kann gestört werden
- durch übermässige Kontraste der Flächenhelligkeiten zwischen Bildschirm und Vorlage (gelegentlich auch wegen hoher Kontraste mit Fenstern oder anderen Raumelementen),
- durch übermässige Oszillation der selbstleuchtenden Schriftzeichen.

Th. Läubli und seine Mitarbeiter [1] haben in Banken 162 Bildschirmangestellte und zur Kontrolle 133 andere Büroangestellte untersucht. Die wichtigsten Ergebnisse können wie folgt zusammengefasst werden:
- Die Gruppe der Angestellten an Dialog-Bildschirmarbeitsplätzen klagten am häufigsten über Augenbeschwerden (Müdigkeit, Brennen, Stechen, Rötung, verschwommene Sicht, Flimmern und Doppeltsehen). Ein Teil dieser Beschwerden war eindeutig Ausdruck einer Beanspruchung der Scharfeinstellung der Augen.
- Die Beschwerden waren häufiger an Arbeitsplätzen mit übermässiger Oszillation der Zeichen und mit grossen Kontrasten der Flächenhelligkeiten. Ferner hatten die Angestellten an einem Bildschirm mit ungenügenden lichttechnischen Eigenschaften häufiger Augenbeschwerden als eine vergleichbare Gruppe von Angestellten an einem Bildschirm mit guten lichttechnischen Bedingungen.

Diese Befunde haben uns veranlasst, Methoden zur Erfassung lichttechnischer Eigenschaften von Bildschirmen [2; 3] zu entwickeln und 21 Bildschirme verschiedener Herkunft zu evaluieren. Die Ergebnisse sollen in den nächsten Kapiteln zusammengefasst dargestellt werden.

2. Kontraste der Flächenhelligkeiten

Um ein komfortables Lesen zu gewährleisten, sollen die Helligkeiten der Flächen im Gesichtsfeld möglichst ausgeglichen sein. Die Ergonomie empfiehlt in der Mitte des Gesichtsfeldes die Kontraste auf 3:1 und in der Peripherie auf 10:1 zu limitieren. Diese Empfehlungen sind beim dunklen Bildschirmhintergrund und den hellen Vorlagen schwer zu verwirklichen. Wir müssen heute zufrieden sein, wenn die Flächenhelligkeitskontraste kleiner als 1:10 sind.

In der Tabelle I sind die gemessenen Kontraste zwischen Bildschirmhintergrund und Vorlage von 21 verschiedenen Gerätetypen zusammengestellt. Die geprüften Marken und Typen sind alphabetisch kodiert. Die übermässig hohen Kontraste sind vor allem bei Bildschirmen gemessen worden, welche unzweckmässige Anordnungen zur Verhinderung von spiegelnden Reflexionen aufweisen.

Adresse der Autoren
Prof. Dr. *E. Grandjean, U. Bräuninger, G. van der Heiden, R. Gierer,* Institut für Hygiene und Arbeitsphysiologie, ETHZ, 8092 Zürich.

Flächenhelligkeitskontraste zwischen Bildschirmhintergrund (Bhg) und Vorlagen (V) unter standardisierten Beleuchtungsbedingungen (400 lx)

Tabelle I

Marken oder Typen	Kontraste zwischen Bhg und V	Beurteilung
J_2, J_3, H, GV, E, A, L, N, O, P, Q	weniger als 1:10	befriedigend
B, D, K	1:10 bis 1:15	knapp annehmbar
C, F, G, J_1, M, R, S	1:16 bis 1:25	ungenügend

Oszillationsgrade von 21 Bildschirmgeräten [2; 3]

Tabelle II

Marken oder Typen	Oszillationsgrad *a*	Beurteilung
A, B, GV, K	0,02–0,08	gut
Q, R	0,09–0,19	ziemlich gut
C, D, E, F, 061, 071	0,2 –0,35	unbefriedigend
G, H, J, L, P, S, SM	0,45–0,8	ungünstig
M, N	~1,0	sehr ungünstig

3. Der Oszillationsgrad der Bildschirmzeichen

Die Schriftzeichen werden durch einen Elektronenstrahl erzeugt, der den Phosphor der Bildschirmröhren zum Aufleuchten bringt. Da die Lichtabgabe des Phosphors rasch abklingt, muss der Elektronenstrahl laufend mit grosser Geschwindigkeit über die Bildschirmröhre fahren und das Aufleuchten der Phosphorpunkte wiederholen. Diese Wiederholung ist durch die sog. Regenerationsfrequenz gekennzeichnet, welche bei den heutigen Ausführungen fast immer 50 Hz beträgt. Die Bildschirmzeichen haben somit nicht ein konstantes Licht, wie das beim natürlichen Licht der Fall ist, sondern weisen eine rasche Folge von Lichtblitzen auf.

Nicht unähnlich ist die Lichtgebung von Leuchtstoffröhren, die mit einer Regenerationsfrequenz von 100 Hz ebenfalls ein oszillierendes Licht aufweisen. Zu Beginn der Ära der Leuchtstoffröhren hat ein Teil der Büroangestellten über Augenbeschwerden geklagt. In der Folge hat die Lichttechnik eine Phasenverschiebung zwischen einzelnen Röhren innerhalb einer Leuchte entwickelt, was zu einer starken Reduktion des Oszillationsgrades und zum Verschwinden der Beschwerden Anlass gegeben hat.

Die Messung des Oszillationsgrades beruht im Prinzip auf der Bestimmung der Amplitude der Oszillation, dividiert durch die mittlere Helligkeit der Zeichen. Die Methode ist von *Fellmann* [2] und von *Bräuninger* [3] genau beschrieben worden. Zu Vergleichszwecken seien hier die Werte für den Oszillationsgrad *a* für folgende Bedingungen angegeben:

	Oszillationsgrad *a*
natürliches Tageslicht	0
dreiphasig verschobene Leuchtstoffröhren	0,02
Leuchtstoffröhren mit langsam abklingendem Phosphor ohne Phasenverschiebung	0,26
Leuchtstoffröhren mit rasch abklingendem Phosphor ohne Phasenverschiebung	0,42

Die Oszillationsgrade der 21 gemessenen Bildschirmgeräte sind in Tabelle II zusammengestellt. Die Beurteilung des Oszillationsgrades muss vorläufig auf der allgemeinen Erfahrung mit dem Leuchtstoffröhrenlicht abgestellt werden, da genaue Kenntnisse über die Auswirkungen oszillierender Lichtquellen auf die Augen noch fehlen. Hier sei noch festgehalten, dass der Oszillationsgrad sowohl von der Regenerationsfrequenz als auch vom Abklingverhalten des Phosphors abhängig ist. Er ist *um so niedriger, je höher die Regenerationsfrequenz und je grösser die Abklingzeit des Phosphors sind.*

In Figur 1 sind die Oszillationen von je einem Zeichenlichtpunkt (∅ 0,08 mm) dargestellt. Gerät *A* hat einen sehr niedrigen und Gerät *G* einen sehr hohen Oszillationsgrad. Das Gerät *A* hat einen langsam abklingenden Phosphor (Abklingzeit etwa 100 ms), während das Gerät *G* einen rasch löschenden Phosphor (Abklingzeit etwa 3 ms) aufweist. Beide Geräte haben die gleiche Regenerationsfrequenz von 50 Hz, d. h. dass der Phosphor alle 20 ms angeregt wird. Für den vorliegenden Versuch wurde ein ungefähr gleicher Helligkeitseindruck von 40 bzw. von 38 cd/m² eingestellt. Um diese notwendige mittlere Helligkeit der Zeichen zu erreichen, muss beim Gerät *A* die Spitze der Oszillation auf etwa 75 cd/m² steigen, während beim Gerät *G* die Oszillationsspitze auf über 700 cd/m² aufsteigt. An diesem Beispiel ist der starke Einfluss der Abklingzeit des Phosphors auf den Oszillationsgrad erkenntlich.

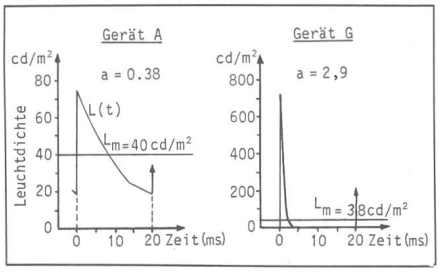

Fig. 1 Lichtoszillation eines Phosphorpunktes von zwei unterschiedlichen Bildschirmgeräten A und G

Die Helligkeit (Leuchtdichte) steigt beim Gerät A mit langsam abklingendem Phosphor viel weniger an als beim Gerät G mit rasch abklingendem Phosphor. Gerät A hat einen niedrigen, Gerät G einen hohen Oszillationsgrad *a*.

L_m mittlere Helligkeit

A_n Amplituden der Fourier-transformierten Leuchtdichtefunktion

$$a = \frac{1}{L_m}\sqrt{\sum_1^\infty A_{neff}^2}$$

4. Die Trennschärfe der Bildschirmzeichen

Zeichen mit unscharfen Rändern erschweren die Scharfeinstellung der Augen auf die Schriftzeichen. Die Trennschärfe ist gekennzeichnet durch das Ausmass der Randzone, innerhalb welcher die Helligkeit der Zeichen ansteigt beziehungsweise abfällt. Um die Trennschärfe zu messen, wird ein Mikroskop, welches die Helligkeit aufnimmt und an ein Registriergerät weiterleitet, mit einem Vorschub von 5 mm/s quer über zwei Buchstaben *U* geführt. Die gleichzeitige Registrierung der Helligkeit (Leuchtdichte) zeigt den Anstieg beziehungsweise den Abfall der Helligkeit in der Randzone der Schriftzeichen. Das Vorgehen ist in Figur 2 dargestellt. Aus der Steilheit des Anstieges kann die Breite der Randzone in mm *(r)* bestimmt werden. Je kleiner die Werte *r*, um so grösser ist die Trennschärfe. Wir schätzen, dass die Randzone $r < 0{,}3$ mm sein sollte und dass Werte $> 0{,}4$ mm als un-

Trennschärfe der Bildschirmzeichen gemessen nach dem Verfahren von Bräuninger [3]

Tabelle III

Marken oder Typen	Trennschärfe r (mm)	Beurteilung
K	<0,1	sehr gut
B, D, G_{13}, GA, J_2	0,2–0,3	gut
G_{12}, G_{17}, GV, D_3, D_4, J_3, S, SM	0,31–0,4	unbefriedigend
A, E, J_1, L, N, M, P, R	0,41–0,5	ungünstig
F, G, O, Q	>0,5	sehr ungünstig

Helligkeit der Zeichenzwischenräume als Prozentsatz der Helligkeit der Zeichenschenkel ausgedrückt (Zeichenkontraste)

Tabelle IV

Marken oder Typen	Resthelligkeit der Zeichenzwischenräume (%)	Beurteilung
B, G_{12}, G_{13}, GV, GA, G_{17}, J_1, J_2, J_3, L, S	<1%	gut
D, SM, K, R	1 –25%	knapp annehmbar
A, D_4	26–50%	ungenügend
E, F, G, M, N, D_3, O, P, Q	>50%	sehr ungünstig

günstige Bedingungen zu betrachten sind.

In der Tabelle III sind die Werte von 26 verschiedenen Gerätetypen zusammengestellt. Dazu sei noch festgehalten, dass mehrere Geräte ungünstige Trennschärfewerte aufwiesen, weil sie mit unzweckmässigen Antireflexionsvorrichtungen versehen waren (Micromesh-Gitter u. a. m.).

5. Die Zeichenkontraste

Bei gedruckten Texten gewährleisten Helligkeitskontraste zwischen Zeichen und Hintergrund von 1:10 bis 1:15 gute Lesebedingungen. Für selbstleuchtende Bildschirmzeichen sind die besten Lesebedingungen bei ähnlichen Kontrasten zu erwarten. Die Zeichenhelligkeit der heutigen Bildschirme ist einstellbar. Eine hohe Einstellung wird von den Angestellten abgelehnt, weil dabei die Zeichen sichtbar zu flimmern beginnen. Unter normalen Lichtbedingungen werden in der Regel Zeichenhelligkeiten von rund 40 cd/m² gewählt. Aus diesem Grunde wurde die Helligkeit eines Zeichenschenkels selbst und die Helligkeit in den Räumen innerhalb oder zwischen den Zeichen gemessen, und die sich ergebenden Kontraste wurden bestimmt. Für die Ermittlung der Zeichenkontraste werden nach Bräuninger [3] die Resthelligkeiten innerhalb bzw. zwischen den Zeichen in Prozenten der Zeichenhelligkeit ausgedrückt.

Die Resultate ergaben für alle Bildschirme gute Kontraste zwischen der Helligkeit innerhalb der Buchstaben und der Zeichenhelligkeit. Dagegen waren die Kontraste der Zeichenzwischenräume zu den Buchstaben vielfach ungenügend. Wenn die Helligkeit dieser Zwischenräume weniger als 15% beträgt, dann wird der Zeichenkontrast als gut bewertet (Kontraste grösser als ≈6:1); wenn die Helligkeit Werte von 26% überschreitet, dann muss der Zeichenkontrast als ungenügend bezeichnet werden (Kontraste kleiner als ≈4:1). In Tabelle IV sind diese Resultate der Zeichenkontraste zusammengestellt.

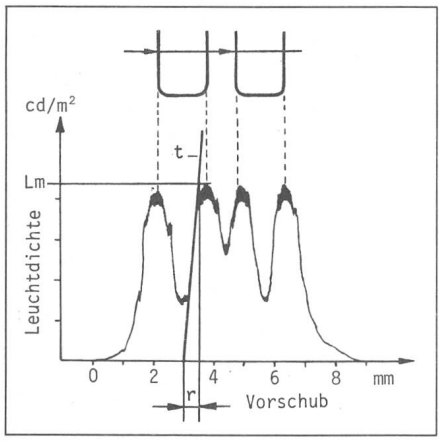

Fig. 2 Messung der Trennschärfe

Während das Mikroskop mit einem Vorschub von 5 mm/s über zwei Buchstaben U fährt, wird der Verlauf der Helligkeit der Zeichen registriert. Je grösser die Steilheit t des Anstieges, um so kleiner die Breite der Randzone (r) und um so grösser die Trennschärfe.

L_m Spitzenhelligkeit
$r = L_m/t$ Zeichenschärfe

6. Die Stabilität der Bildschirmzeichen

Bei guter Steuerung des Elektronenstromes weisen die Bildschirmzeichen eine hohe Stabilität auf. Bei ungenügender Steuerung bewegen sich die Zeichen, so dass die Buchstaben vorübergehend zusammenfliessen können.

Um die Stabilität zu erfassen, wird die Helligkeit eines Punktes (∅ 0,08 mm) eines Zeichens fortlaufend registriert. Bewegungen der Zeichen äussern sich in Veränderungen der Helligkeit des angepeilten Punktes. Die Ergebnisse der Registrierung von acht Geräten sind in Figur 3 dargestellt.

Aufgrund der Registrierungen der Helligkeitsschwankungen hat *Bräuninger* [2] die Stabilität quantitativ erfasst, indem die Abweichungen der Helligkeit als Prozentsatz der mittleren Helligkeit eines angepeilten Lichtpunktes betimmt werden. Da die Stabilität in den Randzonen des Bildschirms erheblich schlechter ist als in der Mitte, sind die Messungen an neun Stellen ausgeführt worden. Die Resultate sind in Tabelle V zusammengestellt.

In Figur 4 sind Ausschnitte von Schriftbildern von drei Bildschirmen verschiedener Herkunft dargestellt. Der unterste Ausschnitt zeigt die Folgen einer grossen Unstabilität der Zeichen.

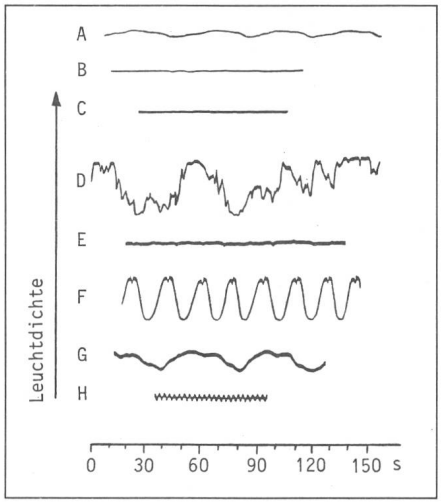

Fig. 3 Stabilität der Zeichen von acht Bildschirmgeräten

Laufende Registrierungen der Helligkeit eines einzelnen Punktes in einem Zeichen. Eine Unstabilität der Zeichen äussert sich in starken Abweichungen der Helligkeit [2]

Stabilität der Bildschirmzeichen

Tabelle V

Marken oder Typen	Mittlere Abweichung %	Beurteilung
A, B, C, E, K, D_3, D_4, O	<5	sehr stabil
H, J_1, J_2, J_3, M, N, P, Q, R	6 -20	befriedigend
H, L, S, SM	21-40	ungenügend
D, F, G, GV, GA, G_{12}, G_{13}, G_{17}	>40	sehr unstabil, nicht annehmbar

Die Abweichungen der Helligkeit eines Lichtpunktes in einem Zeichen werden als % der mittleren Helligkeit ausgedrückt. Neun Registrierungen in verschiedenen Zonen des Bildschirmes.

Helligkeit der Reflexion einer Blendquelle bei verschiedenen Verfahren
Blendquelle: Glühlampe 100 W

Tabelle VI

Reflexionsschutz	Anzahl Geräte	Reflektierte Helligkeit (cd/m²)	Nachteile
Kein Schutz	3	525-2450	
$\lambda/4$-Beschichtung	1	26	schmutzempfindlich
Micromesh-Filter	6	33- 72	Reduktion Zeichenschärfe, Staubfänger
Aufgerauhte Oberfläche	11	46- 250	Reduktion Zeichenschärfe
Polaroidfilter	2	160-1480	Doppelbilder
Vorgehängtes Farbfilter	1	205	Reduktion Zeichenschärfe

7. Reflexionen auf dem Bildschirm

Leuchten, helle Flächen und Fenster können sich auf der Glasoberfläche des Bildschirmes spiegeln. Diese Reflexionen bewirken Helligkeitskontraste und erschweren die Erkennung der Bildschirmzeichen. Die wirksamsten Massnahmen sind die zweckmässige Anordnung der Bildschirme im Raum und die richtige Wahl der Leuchten.

Verschiedene Systeme zur Herabsetzung der Reflexionen am Bildschirm werden auf dem Markt angeboten. Um ihre Wirksamkeit zu prüfen, wird eine Blendquelle (100-W-Lampe) aufgestellt und die Helligkeit der Reflexionen auf der Bildschirmoberfläche gemessen. Die Ergebnisse sind in Tabelle VI zusammengestellt.

Alle Verfahren haben den Nachteil, den Hintergrund des Bildschirmes mehr oder weniger stark zu verdunkeln, wodurch die Kontraste zu den Vorlagen ungünstig erhöht werden. Weitere erhebliche Nachteile sind in Tabelle VI aufgeführt.

8. Das Schriftbild

Die Zeichen werden entweder durch eine Strich- oder durch eine Punktmatrix erzeugt. Die Angestellten ziehen die Punktmatrix vor. Für die Darstellung eines Grossbuchstabens wird eine Zeichenmatrix von 9×7 (Höhe × Breite) Punkten empfohlen.

Eine günstige Dimension der Zeichenhöhe liege zwischen 2,3 und 2,9 mm, was bei einer Sehdistanz von 50 cm eine gute Lesbarkeit gewähren soll. Für eine Sehdistanz von 70 cm, die von vielen Angestellten bevorzugt wird, sei eine Zeichenhöhe von 3,3... 4,1 mm zweckmässig. Grössere Zeichen können zu einer Trennung der Lichtpunkte Anlass geben. Die Breite der Zeichen soll 70% der Zeichenhöhe oder mehr betragen, 50...70% sind annehmbar.

Der Raum zwischen den Zeichen soll 20...50% der Zeichenhöhe erreichen, während die Distanz zwischen den Zeilen 100...150% der Zeichenhöhe ausmachen soll. Eine andere Empfehlung lautet: Zeilenzwischenraum zu Zeilenbreite = 1:30.

Die Mehrzahl der untersuchten Bildschirme hatte ein gutes Schriftbild. Einige hatten einen ungenügenden Zwischenraum zwischen den Zeichen oder auch zwischen den Zeilen. Der mittlere Abschnitt in Figur 4 ist ein Beispiel hierfür.

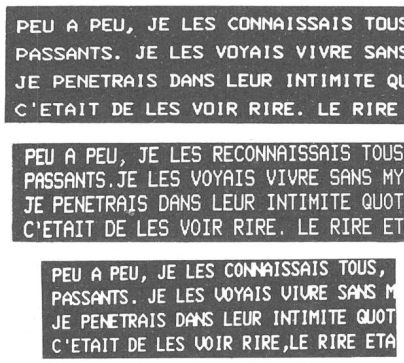

Fig. 4 Ausschnitte der Schriftbilder von drei verschiedenen Bildschirmmarken

Oben Gute Trennschärfe und gute Zeichengeometrie

Mitte Zeichen zu hoch und zu schmal; Zwischenräume zwischen den Zeichen und zwischen den Zeilen zu eng

Unten Wegen grosser Unstabilität der Zeichen berühren sich die einzelnen Buchstaben häufig

9. Empfehlungen an die Adresse der Benützer von Bildschirmgeräten

Im folgenden sollen die wichtigsten Massnahmen, für welche die Benützer von Bildschirmgeräten zuständig sind, zusammengefasst werden.

Aufstellung der Bildschirme. Um das Risiko von Reflexionen zu reduzieren, soll die Vorderfront der Bildschirme senkrecht zur Fensterfront aufgestellt werden. Fenster sollen weder im Rükken noch vor dem Angestellten liegen. Notfalls können Stellwände vor Fenstern oder übermässig hellen Wandflächen aufgestellt werden.

Beleuchtung. Damit die Leuchten nicht im Bildschirm reflektiert werden, sollen sie nicht hinter dem Rücken des Angestellten, sondern seitlich angebracht sein. Leuchten mit kleinen Spiegelrastern und mit einem Ausstrahlungswinkel von höchstens 50° zur Senkrechten sind als ungünstige Anlagen zu bewerten.

Beleuchtungsniveau. Für die Lesbarkeit von Vorlagen wären hohe, für diejenige des Bildschirmes niedrige Beleuchtungsstärken erwünscht. Die Angestellten geben Beleuchtungsstärken (horizontal) von 200 bis 400 lx den Vorzug. In Grossraumbüros kann man häufig beobachten, dass die Angestellten einzelne Röhren abgeschaltet haben, um die bevorzugte Beleuchtungsstärke zu erreichen.

Phasenverschobene Beleuchtungsanlagen. Einzelne Leuchtstoffröhren haben ebenfalls ein oszillierendes Licht. Die Oszillationen der Leuchtstoffröhren addieren sich periodisch mit denjenigen der Bildschirmröhre, so dass der Oszillationsgrad verstärkt wird. Es sol-

len deshalb in Räumen mit Bildschirmarbeitsplätzen nur Anlagen vorgesehen werden, die mindestens zwei phasenverschobene Leuchtstoffröhren in *einer* Leuchte aufweisen.

10. Empfehlungen an die Adresse der Hersteller von Bildschirmgeräten

Kontraste. Die Helligkeit des Bildschirmhintergrundes soll so bemessen sein, dass bei einer Beleuchtungsstärke von 300 lx die Kontraste mit einer Vorlage Werte von 1:10 nicht überschreiten. Die Helligkeit der Tastatur und des Gehäuses des Bildschirmes soll ungefähr in der Mitte zwischen derjenigen des Bildschirmhintergrundes und einer Vorlage (bei 400 lx) liegen.

Oszillationsgrad. Der Oszillationsgrad der Bildschirmzeichen soll Werte aufweisen, wie sie bei phasenverschobenen Leuchtstoffröhren gemessen werden. Der nach [2] oder [3] gemessene Oszillationsgrad soll *a*-Werte von weniger als 0,1 erreichen. Eine Erhöhung der Regenerationsfrequenz und die Verwendung von einem Phosphor mit langer Abfallzeit kann empfohlen werden.

Trennschärfe. Die Randzone, innerhalb welcher die Helligkeit (Leuchtdichte) auf- bzw. absteigt, soll möglichst klein sein. Der nach [2] gemessene Wert *r* der Randzone soll 0,3 mm nicht überschreiten.

Zeichenkontraste. Die Resthelligkeit der Zeichenzwischenräume soll nicht höher als 15% der Helligkeit der Zeichenschenkel (bei einer Einstellung von 40 cd/m²) sein.

Stabilität der Zeichen. Die Registrierung der Helligkeitsschwankungen eines Lichtpunktes soll nach dem Verfahren von *Bräuninger* [2] in der Mitte und in Randgebieten des Bildschirmes eine mittlere Abweichung von 20% nicht überschreiten. Bildschirme, bei denen sich die Buchstaben gelegentlich berühren, sind abzulehnen.

Reflexionen. Bezüglich Reflexion sollte die nach dem beschriebenen Verfahren gemessene reflektierte Helligkeit auf 200...150 cd/m² reduziert werden. Der angewendete Reflexionsschutz darf dabei die Trennschärfe der Zeichen nicht beeinträchtigen, keine Doppelbilder verursachen und den Bildschirmhintergrund nicht stark verdunkeln.

Schriftbild. Minimale Zeichenhöhe: 2,3 mm (günstige Höhen: 3...4 mm).

Zeichenbreite: 50...75% der Zeichenhöhe.

Raum zwischen den Zeichen: 20...50% der Zeichenhöhe.

Distanz zwischen Zeilen: 100...150% der Zeichenhöhe.

Literatur

[1] *T. Läubli, W. Hünting* and *E. Grandjean:* Postural and visual loads at VDT workplaces. II. Lighting conditions and visual impairments. Ergonomics 24(1981)12, p. 933...944.

[2] *T. Fellmann* a. o.: An ergonomic evaluation of VDT's. Behaviour and Information Technology 1(1982)1, p. 69...80.

[3] *U. Bräuninger, T. Fellmann* und *R. Gierer:* Ergonomische Evaluation von Bildschirmgeräten. Neue Zürcher Zeitung 202(1981)207 vom 8. September, S. 19.