

Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins
Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke
Band: 37 (1946)
Heft: 14

Artikel: Flimmern und stroboskopische Erscheinungen als Folge netzfrequenter Schwankungen des Lichtes
Autor: König / Bänninger / Berlepsch, von
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1061112>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 03.04.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

REDAKTION:

Sekretariat des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins
Zürich 8, Seefeldstrasse 301

ADMINISTRATION:

Zürich, Stauffacherquai 36 ♦ Telefon 23 77 44
Postcheck-Konto VIII 8481

Nachdruck von Text oder Figuren ist nur mit Zustimmung der Redaktion und nur mit Quellenangabe gestattet

37. Jahrgang

Nr. 14

Samstag, 13. Juli 1946

Flimmern und stroboskopische Erscheinungen als Folge netzfrequenter Schwankungen des Lichtes

Bericht der Fachgruppe Flimmern an das Schweiz. Beleuchtungskomitee *)

612.843.53

Das Schweizerische Beleuchtungskomitee hat Ende 1944 zum Studium des Flimmerns und verwandter Erscheinungen eine Fachgruppe eingesetzt. Der folgende Bericht orientiert über die bis heute gesammelten Erfahrungen und Erkenntnisse und versucht, die für die lichttechnische Praxis hinreichende Abklärung zu schaffen.

Die Fälle, in denen die Welligkeit des Lichtes wirklich stört, sind selten und nicht leicht zu erkennen. Wo eine solche Störung festgestellt worden ist, sollen die bekannten Mittel zur Abhilfe angewandt werden.

A fin 1944, le Comité Suisse de l'Éclairage avait chargé un groupe d'étudier le papillotage et les phénomènes connexes. Le présent rapport donne des renseignements sur les expériences faites jusqu'ici dans ce domaine et sur les connaissances acquises. Le but était de résoudre pratiquement ce problème, à l'intention des éclairagistes.

Les fluctuations de la lumière ne sont que rarement gênantes, mais il n'est pas toujours facile de s'en rendre compte. Lorsqu'un cas de ce genre est manifeste, il y a lieu d'en supprimer les inconvénients par des mesures appropriées.

Aufgabe

Die zunehmende Bedeutung des Fluoreszenzlichtes in der Beleuchtungstechnik hat in letzter Zeit, namentlich im Anschluss an eine Untersuchung von Birkhäuser¹⁾, die Frage aktuell werden lassen: Inwiefern können die Intensitätsschwankungen wechselstrombetriebener Lichtquellen auf den Menschen störend einwirken?

Das SBK hat in seiner Sitzung vom 21.12.44 eine Fachgruppe mit der Abklärung dieser Frage beauftragt. Am 12.4.45 fand in Bern eine Tagung gemeinsam mit Gästen aus lichttechnischen Kreisen statt²⁾. Das von der Fachgruppe**) gesammelte Material, die Referate und Diskussionsvoten jener Tagung, und Untersuchungen im Eidg. Amt für Mass und Gewicht bilden die Grundlage dieses Berichtes.

Begriffe und Erscheinungen

In 50-Hz-Netzen weisen alle Lichtquellen mehr oder weniger starke *Lichtschwankungen* der Frequenz 100 Hz auf, Leuchtröhren an den Enden ausserdem gelegentlich solche von 50 Hz. Wenn man von *welligem Licht* sagt, «es flimmert», so meint man damit, es verursahe in uns die *Empfindung des Flimmerns*. Aber nicht jeder objektive periodische Wechsel der Lichtintensität wird als Flimmern empfunden; so flimmert ein *ruhendes* mit 100- und mehr-periodigem Wechsellicht beleuchtetes Objekt nicht. Andererseits ist eine häufige Klage von älteren oder rekonvaleszenten Leuten, es «flimmere ihnen» nach einiger Zeit Lesen vor

*) Vom SBK in seiner 32. Sitzung vom 19. Juni 1946 genehmigt.

**) Ihr gehören an die Herren König (Präsident); Bänninger, von Berlepsch, Birkhäuser, Goldmann, Guanter, Höger, Kessler, Loeb, Paschoud, Roesgen, Spieser.

den Augen, «die Buchstaben tanzen». Diese subjektive Angabe, die vieldeutig sein kann, wird auch bei zeitlich völlig konstantem Licht gemacht. Von diesem «Flimmern» wird im folgenden nicht die Rede sein. Langsame Lichtschwankungen (Frequenz kleiner als 5 Hz) und Flackern beschäftigt uns hier ebenfalls nicht. Wir befassen uns also nur mit denjenigen Erscheinungen, die uns mehr oder weniger unmittelbar bewusst werden als Folge davon, dass Licht eine Welligkeit aufweist, deren Frequenz einem ganzzahligen Vielfachen (meist dem Doppelten) der Netzfrequenz entspricht.

Physikalisch ist die *Licht-Zeit-Kurve* durch eine Zeitfunktion bzw. deren Fourier-Zerlegung vollständig charakterisiert; als erste für die subjektive Grösse des Flimmerns *nicht* massgebende Orientierung mag die *Lichtschwankungszahl* I_{min}/I_{max} dienen. Vom *Welligkeitsgrad* hingegen verlangt man, dass er verschiedene Lichtarten inbezug auf jenen Beitrag *objektiv* zu charakterisieren gestattet, d. h. dass er zu *berechnen* gestattet, ob zwei Lichtarten «flimmeräquivalent» seien. Es scheint, dass hiefür in erster Linie der relative Anteil der Grundwelle in der Fourier-Zerlegung massgebend ist.

Praktisch sind nur folgende zwei Effekte von Bedeutung:

Schwankende *Lichtintensität*, *bewegtes* Objekt oder *wandernder* Blick; diese Momente können zu *Flimmern im Raum* oder *Bewegungsflimmern* führen; und

Schwankende *Lichtintensität*, *Periodizität* in der Struktur (Rad mit Speichen) oder in der Bewegung des Objektes (z. B. schwingende Feder); dies kann zu *stroboskopischen Erscheinungen*, im besonderen zu *Bewegungstäuschungen* führen.

Minder wichtig ist der Fall:

Schwankende Lichtintensität, Beobachtungsobjekt *ruhend*; dies kann Anlass zu *Flimmern in der Zeit*, dem sog. *Helligkeitsflimmern* sein, aber nur, wenn die Frequenz merklich unter 100 Hz liegt.

Der Fall der schwankenden Lichtfarbe ist weder bei ruhendem noch bei bewegtem Objekt von praktischer Bedeutung.

Während die Bereiche, ausserhalb derer keine Erscheinungen bemerkt werden können, aus physiologischen Gründen allgemein abgrenzbar sind, wird die die psychische Sphäre berührende Frage des «arbeitshemmenden Störens» ganz individuell beantwortet. Nur eine von suggestiven Momenten möglichst freie Umfrage könnte hier Anhaltspunkte liefern.

Wir haben mit diesem ersten Gang durch die Begriffs- und Erscheinungswelt eigentlich nur Fragen aufgeworfen, ohne dazu Stellung zu nehmen. Hiezu wird sich bei der folgenden Besprechung von Teilproblemen Gelegenheit bieten.

Das Flimmern in der Zeit

Am einfachsten kann man die Phänomene studieren, die hier in Frage kommen, wenn man sich vor eine Wand setzt, in der sich ein Loch von variabler Grösse befindet, hinter dem mit abstufbarer Geschwindigkeit eine Scheibe mit schwarzen und weissen Sektoren rotiert. Das Ganze wird vollkommen gleichmässig, sagen wir von Tageslicht oder von Gleichstromlicht beleuchtet. Fixiert man dieses Loch oder einen Punkt der Wand, dann kann man sämtliche Gesetzmässigkeiten des Flimmerns in der Zeit studieren, d. h. die *Phänomene, die auftreten, wenn ein und dieselbe Netzhautstelle hintereinander periodisch heller und weniger hell beleuchtet wird*. Man sieht folgendes: Je rascher die schwarzweisse Scheibe rotiert, um so undeutlicher wird das Flimmern, und schliesslich tritt bei der sogenannten Verschmelzungsfrequenz oder *kritischen Frequenz* eine gleichmässige Ausleuchtung des Loches ohne Flimmern ein. Oberhalb der kritischen Frequenz ist die Fleckhelligkeit gleich dem

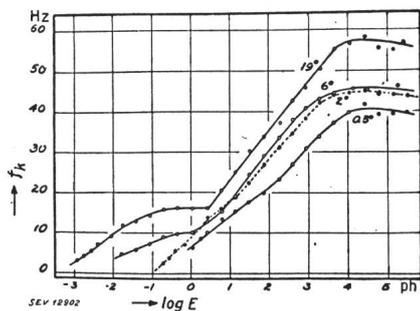


Fig. 1.

Weisses Licht. Abhängigkeit der kritischen Frequenz von der Feldgrösse bei zentraler Fixation

Abszisse: Logarithmus der Netzhautbeleuchtung in Photon. (Das Photon ist der im angelsächsischen Sprachgebiet gebräuchliche Name für die Einheit der Netzhautbeleuchtung. 1 Photon ist diejenige Beleuchtungsstärke auf der Netzhaut, die von einer Leuchtdichte von 10⁻⁴ Kerzen/cm² bei einer Augenpupillenfläche von 1 mm² erzeugt wird.)

Ordinate: kritische Frequenz (Hz).

Man sieht, dass im Bereiche der Helladaptation ca. zwischen 10 und 1000 Photon die kritische Frequenz dem Logarithmus der Netzhautbeleuchtung direkt proportional ist.

zeitlichen Mittelwert aus heller und dunkler Phase (Talbot-Gesetz). Diese kritische Frequenz liegt um so höher, je grösser der Helligkeitsunterschied zwischen den hellen und den dunklen Sektoren der rotierenden Scheibe ist (Ferry-Porter-Gesetz). Sie liegt umso höher, je grösser die allgemeine Beleuchtung ist. Sie liegt umso höher, je grösser das Loch im Winkelmass gerechnet ist, durch das die flimmernde Scheibe erscheint, erreicht allerdings

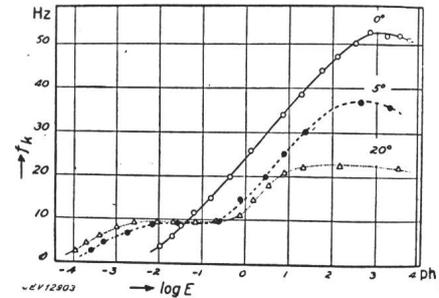


Fig. 2.

Weisses Licht. Abhängigkeit der kritischen Frequenz vom Netzhautort im Fixierpunkt 5° und 20° exzentrisch (gilt sicher nur für Objekte geringer Ausdehnung) Abszisse und Ordinate wie Fig. 1.

bald asymptotisch einen Grenzwert (Fig. 1). Dabei ist die kritische Frequenz bei Helladaptation und kleinem Objekt (ca. 1/2°) am höchsten, wenn man direkt die Mitte des Loches fixiert; wenn man hingegen unter diesen Bedingungen neben dem Loch fixiert, so hört das Flimmern bereits bei niedrigeren Frequenzen auf (Fig. 2). Für Helladaptation und grosses Feld liegt, wie Fig. 2a zeigt, die kritische Frequenz in der Netzhautperipherie höher als im Zentrum. Dieser Umstand lässt verstehen, dass das 50-Hz-Flimmern an den Leuchtröhrenden stärker ist, wenn man an der Röhre vorbeischaute.

Nimmt man statt einer schwarz-weißen Scheibe eine solche mit farbigen und schwarzen Sektoren, so findet man, dass verschiedene Farben, die bei gleicher Beleuchtung unter sonst gleichen Bedingungen die gleiche kritische Frequenz haben, uns als gleich hell erscheinen (Ferry-Porter-Gesetz), so dass die kritische Frequenz als Mass der Helligkeit eine gewisse Bedeutung bei der heterochromen Photometrie hat.

Die kritischen Frequenzen bei maximalem Kontrast liegen, wie Fig. 3 zeigt, unter 100 Hz. Die normalen 100-periodigen Lichtschwankungen geben daher bei *ruhendem* Objekt zu keinem Helligkeits-

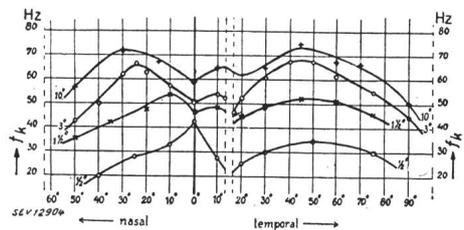


Fig. 2a.

Abhängigkeit der kritischen Frequenz vom Netzhautort für verschieden grosse Objekte (1/2°, 1 1/2°, 3°, 10°)

Abszisse: Netzhautort. Ordinate: kritische Frequenz.

flimmern Anlass. Deshalb tritt dieses Phänomen hinsichtlich Augenfälligkeit hinter dem Bewegungsflimmern und den stroboskopischen Erscheinungen ganz zurück.

Wichtig ist die Frage, ob nicht die intermittierende Beleuchtung zu einer Schädigung der Netzhaut führen könnte. Die nähere Kenntnis der Erregungsvorgänge in der Netzhaut genügt, um eine solche Möglichkeit sofort auszuschliessen.

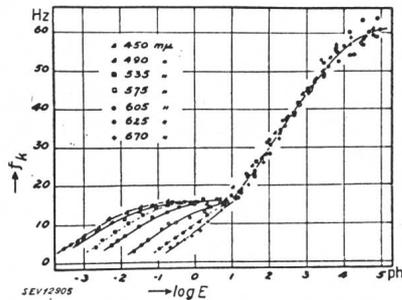


Fig. 3.
Abhängigkeit der kritischen Frequenz von der Netzhautbeleuchtung für Licht verschiedener Wellenlängen (Grundlagen der heterochromen Photometrie)
Man sieht, dass im Gebiet der Helladaptation zwischen 10 und 1000 Photon gleich helle Farben gleiche kritische Frequenz haben.

Wir wissen aus den elektrophysiologischen Untersuchungen, vor allem von Granit und seinen Mitarbeitern, dass in der Rezeptorschicht der Netzhaut, also dort, wo das Licht seine Reizwirkung entfaltet, ein elektrischer Vorgang als Ausdruck der Erregung (wenn auch nicht als Erregung selbst) entsteht, der uns über die Art und den Verlauf der Erregung recht gute Aufschlüsse gibt: das Elektretinogramm. Untersucht man das Elektretinogramm mit diskontinuierlichem (welligem) Licht, so zeigt auch das Elektretinogramm eine Welligkeit, wenn die Frequenz der Reize unter einer bestimmten kritischen Zeit liegt (Fig. 4 und 5).

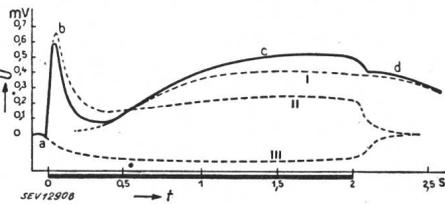


Fig. 4.
Normales Elektretinogramm

Dick ausgezogener Abszissenstrich: Dauer der Beleuchtung. Ordinate: Spannung.

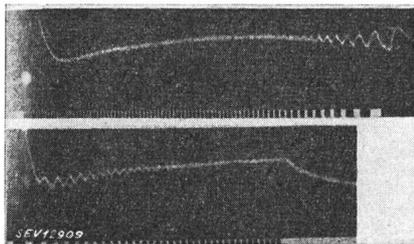


Fig. 5.
Elektretinogramm bei diskontinuierlicher Reizung

Oben: mit abnehmender Frequenz.
Unten: mit zunehmender Frequenz.
Die Lichtreize sind auf der Abszissenlinie aufgezeichnet. Mit zunehmender Frequenz tritt im Elektretinogramm Verschmelzung auf.

Die kritische Zahl stimmt mit grosser Annäherung mit den kritischen Zahlen, die sich aus dem Ferry-Porter-Gesetz ergeben, überein. Oberhalb der kritischen Frequenz, die weit unter 100 Hz liegt (meist zwischen 16 und 30 Hz), ist das Elektretinogramm glatt. Die Spannung des Elektretinogramms steht zur Reizstärke in einer bestimmten Beziehung (Chaffee), die ungefähr logarithmisch ist. Die Erregung, welche in der Rezeptorschicht der Netzhaut entsteht, wird nach Uebertragung auf eine Ganglienzellenreihe (zwei hintereinander geschaltete Ganglienzellen) in sehr eigentümlicher Weise weitergeleitet. Es wird nämlich die Erregungsintensität der Rezeptorzelle in Entladungsfrequenzen der Ganglienzellen um-

geformt (Adrian und Mathews). Je grösser die Erregung im Rezeptor war (gemessen an der Potentialdifferenz des Elektretinogramms), desto grösser wird die Entladungsfrequenz der nachgeschalteten Ganglienzellen, so dass ein Diagramm, in dem auf der Ordinate die Entladungsfrequenz im Sehnerv und auf der Abszisse die Zeit aufgetragen ist, uns im Groben das

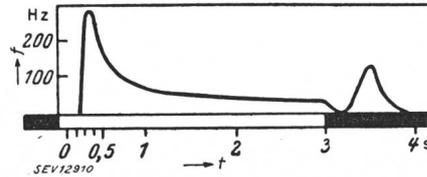


Fig. 6.
Frequenzdiagramm der Sehnervenerregungen
Abszisse: Zeit.
Ordinate: Frequenz.

Man sieht, dass das Frequenz-Zeit-Diagramm der Sehnerven sehr angenähert dem Elektretinogramm entspricht (s. Fig. 4). Reizdauer von 0...3 Sekunden auf der Abszisse angezeichnet.

Bild des Elektretinogramms wieder liefert. Man sieht aus dem Gesagten bereits, dass eine Reizfrequenz des Lichtes, welche höher ist als die kritische Frequenz des Flimmerns (*Flimmern in der Zeit*), überhaupt nicht im Elektretinogramm und schon gar nicht bei den weiteren Leitungsprozessen irgendeine Rolle spielt, weil bereits im photochemischen Vorgang eine solche Welligkeit des Reizes gar nicht erscheint. Andererseits werden die Augen physiologischerweise ständig bewegt. Starre Blickfixation ist unphysiologisch. Ständig wird jede Netzhautstelle *physiologischerweise* in rapidem Wechsel von verschiedenen Lichteindrücken getroffen. Ob zwischen zwei von hellen Lichteindrücken erregten Stellen eine wenig erregte liegt, wie dies beim im nächsten Abschnitt erörterten Bewegungsflimmern der Fall ist, oder ob sich die Lichtimpulse an *derselben* Netzhautstelle überlagern (*Flimmern in der Zeit*), kann die Funktion der verschiedenen Netzhautstellen nicht berühren.

Bevor dieser Gedankengang weiter verfolgt wird, seien kurz die übrigen, praktisch wichtigeren subjektiven Phänomene besprochen.

Das Bewegungsflimmern

Nehmen wir an, wir betrachten einen Fleck, der gerade noch flimmerte und jetzt durch Erhöhung der Frequenz uns vollkommen gleichmässig erscheint. Machen wir mit dem Auge eine kleine Blickbewegung nach der Seite, so flimmert in diesem Moment der Fleck von neuem, eventuell sehen wir sogar mehrere Flecken nebeneinander. Das ist *Flimmern im Raum* oder *Bewegungsflimmern*. Dadurch nämlich, dass wir das Bild des Loches über die Netzhaut dahinschiessen lassen, wird eine Netzhautstelle von der hellen Hälfte der Scheibe, die nächste aber von der dunklen getroffen und das wird sehr deutlich vom Auge registriert. Das Bewegungsflimmern sieht man recht gut, wenn man den Versuch nicht, wie oben angedeutet, ausführt, sondern wenn man auf einem mit dunklem Papier belegten Schallplattenteller einen schmalen Papierstreifen (Breite s) radial auflegt, mit verschiedenen Geschwindigkeiten dreht und mit Licht verschiedener Kurvenform beleuchtet. Fig. 7 ist ein Versuch, den Eindruck, der sich dem Auge infolge der Nachdauer der Erregung (ca. $\frac{1}{30}$ s) simultan darbietet, zeichnerisch festzuhalten, und zwar für den Fall der Rechteckkurve, bei welcher hell und dunkel in gleichen Intervallen abwechseln. Auffallend ist die Unterbrechung des Flimmerbildes durch *flimmerfreie Zonen*; die Theorie zeigt, dass diese an den Stellen

liegen, wo der Vorschub S des Streifens pro Lichtperiode gerade ein ganzzahliger Bruchteil der Streifenbreite ist: $S = s/m$ (m ganze Zahl)³). S ist gleich dem Produkt aus Geschwindigkeit v und Lichtperiode T ($T = s/f$; f Frequenz, hier 100 Hz).

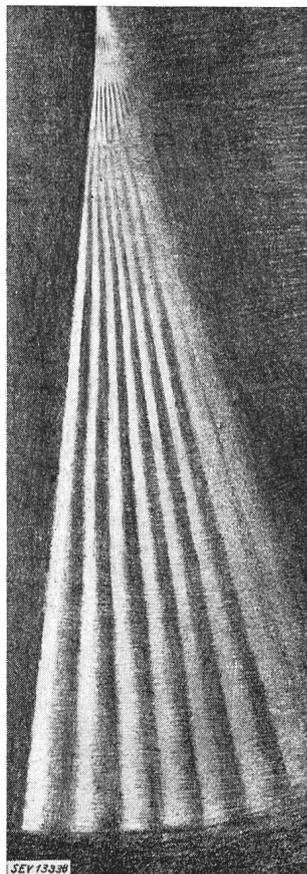


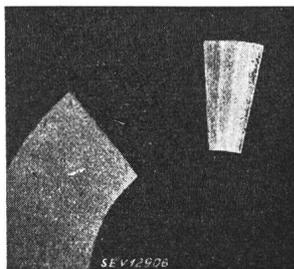
Fig. 7.

Flimmerbild

Versuch der Wiedergabe des subjektiven Eindruckes, der in uns entsteht, wenn ein Papierstreifen auf dunklem Grund um einen seiner Punkte gedreht wird.

Das Flimmerbild ist deutlich, wenn der Vorschub S merklich grösser ist als s . Das Bewegungsflimmern ist nur für Objekte deutlich, deren Breite kleiner als v/f ist. Das Flimmerbild ist am augenfälligsten an der Stelle $S = 2s$, und zwar, wie die Theorie ebenfalls zeigt, unabhängig von der Form der Licht-Zeit-Kurve.

Neben diesen quantitativen Beziehungen treten beim Bewegungsflimmern noch andere auf, die schwerer fassbar, aber für die Beurteilung des Phä-

Fig. 8.
Nachbilder

Wird vor einem dunkeladaptierten Auge ein heller Streifen mit mässiger Geschwindigkeit vorbeigezogen, so erscheint er mehrfach (die sogenannten ersten Nachbildphasen), in einem Abstand von einem breiteren Nachbildstreifen gefolgt. Die Figur zeigt den Eindruck dieser Nachbilder, wenn ein radial gestellter heller Streifen langsam rotiert.

nomens auch wichtig sind. So ist häufig der subjektive Eindruck der nebeneinander liegenden, durch dunkle Intervalle getrennten Bilder eines vorbeibewegten Streifens so, dass sie voneinander durch sehr dunkle Zwischenräume getrennt zu sein schei-

nen, auch wenn die Welligkeit des Lichtes einen so grossen Unterschied gar nicht erwarten liess. Der subjektive Eindruck verstärkt also häufig den Eindruck der Lichtschwankung. Dies hängt damit zusammen, dass jeder helle Fleck in unserem Gesichtsfeld seine Umgebung kontrastiv verdunkelt, ein rein subjektives Phänomen, auf das wir bei der Besprechung des Welligkeitsgrades zurückkommen werden.

Ausserdem hat die Netzhaut die Eigentümlichkeit, besonders bei mässiger Beleuchtung auf Einzelreize periodisch zu reagieren. Wenn z. B. bei herabgesetzter Beleuchtung ein heller Streifen am Auge vorbeigezogen wird, so kann es vorkommen, dass trotz vollkommen konstanter Beleuchtung der Streifen mehrfach gesehen wird; ja, ein jeder kann sich davon überzeugen, dass, wenn er im Dunkeln eine brennende Zigarette quer durchs Gesichtsfeld zieht, hinter dem glimmenden Fleck in deutlicher Entfernung wie ein Geist ein zweiter nachläuft (vgl. Fig. 8 und 9).

Es wurde bereits darauf hingewiesen, dass Lichtschwankungen einer höheren als der kritischen Frequenz (die also kein Flimmern in der Zeit verur-

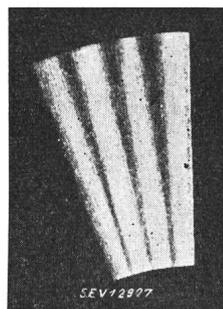


Fig. 9.

Die ersten Nachbildphasen allein, vergrössert

sachen) *nach allem, was wir wissen, zu keiner Netzhautschädigung führen*, dass ferner beim Bewegungsflimmern die Netzhaut nur insofern anders belastet wird, als dann zwischen erregten Stellen eine weniger erregte liegt, und dass demnach *auch Bewegungsflimmern der Netzhaut nicht schaden kann*.

Birkhäuser¹⁾ hat versucht, den Unterschied der Welligkeit zwischen Glühlampenlicht und Gasentladungslicht prägnant mit einer mechanischen Analogie zu veranschaulichen, indem er den «gleichförmigen Druck» auf die Netzhaut den «spitzen Stichen» gegenüberstellte. Da der Mensch dazu neigt, beim Wort «Stich» automatisch mit dem Gedanken an etwas Schädliches zu reagieren, kam eine teils unbewusste, teils bewusste Missdeutung jenes Vergleiches nicht unerwartet. Herr Prof. Birkhäuser legt Wert auf die Feststellung, dass in seiner Darstellung mit keinem Wort von Schädigung der Netzhaut die Rede sei.

Der stroboskopische Effekt

Dieser Effekt hängt mit einer Grundeigentümlichkeit unseres gesamten der Erkennung der Aussenwelt dienenden Apparates zusammen. Wir sehen nämlich immer nur *Dinge* oder *Bewegungen*, während uns die Netzhaut in Wirklichkeit eine Menge von wechselnden Farbflecken liefert. Für unsere Orientierung ist es aber wichtig, dass wir die «Dinge» unter den verschiedenen Bedingungen wieder erkennen. Der Weg von den Farbflecken der

Netzhaut bis zu dem Ich, das sieht, ist sehr kompliziert, und es bedarf einer grossen Schulung und Anstrengung, um sogenannte «einfache» Empfindungen aus dem, was wir ständig sehen, herauszulösen. Bei «Bewegungen von Objekten» werden nacheinander einfach verschiedene Netzhautstellen von ähnlichen Reizen getroffen. Die weitere Verarbeitung erfolgt durch das Zentralnervensystem, besonders durch den Teil, den wir unter dem Namen «Sehorgan» zu einer Einheit zusammenzufassen gewohnt sind.

Wenn uns z. B. knapp nacheinander zwei verschiedene aber gleich aussehende Streifen Papier, die in einigem Abstand voneinander liegen, dargeboten werden, so dass wir erst das eine, dann das andere, aber nicht beide zur gleichen Zeit sehen, so haben wir den zwingenden Eindruck, es habe sich der erste Streifen bewegt und die Lage des zweiten eingenommen, wir sähen einen bewegten Streifen seinen Ort ändern. Das ist das Grundphänomen der Kinematographie. Es ist gleichgültig, ob ein Objekt sich wirklich bewegt, oder ob zwei Objekte, die einander genügend ähnlich sehen, nacheinander in nicht allzu grossem Abstand und in ähnlicher Lage gesehen werden; es wird dies von uns einfach als ein *bewegtes* Objekt wahrgenommen.

Wenn ein Zahn eines Zahnrades, das sich nach rechts bewegt, kontinuierlich verfolgt werden kann, dann sehen wir das Zahnrad sich nach rechts drehen. Wird dieses Zahnrad diskontinuierlich beleuchtet, so kommt es darauf an, welcher Zahn nach dem Dunkelintervall am nächsten einem vorher gesehenen Zahn liegt. Ist es derselbe Zahn, der etwas nach rechts gerückt ist, dann sehen wir dasselbe Phänomen wie früher. Ist der nächste Zahn dagegen von links her dem ersten so nahe gekommen, dass er ihn fast erreicht, dann haben wir im Gegenteil den Eindruck, dieser Zahn sei nun identisch mit dem früher gesehenen; das Zahnrad scheint sich nach links zu drehen. Ist in der Dunkelperiode der nächste Zahn sogar über den ersten ein wenig nach rechts hinaus gerückt, dann wird dieser Zahn wiederum mit dem ersten Zahn identifiziert und man hat nun den Eindruck, dass sich zwar das Rad nach rechts bewegt, aber viel langsamer als in Wirklichkeit. Das sind stroboskopische Effekte, die an rotierenden Maschinen unter diskontinuierlicher Beleuchtung beobachtet werden können, nicht nur bei Gasentladungslampen, sondern unter gewissen Umständen überhaupt bei *jedem welligen Licht* (auch mit geringer Welligkeit), und es ist wichtig, solche stroboskopischen Effekte unbedingt zu beseitigen, *wenn sie zu gefährlichen Täuschungen Anlass geben können*.

Wir haben uns bis jetzt mit den *Phänomenen* von der mehr physiologischen Seite her befasst, wo noch einigermassen überindividuelle Aussagen gemacht werden können. Hierbei handelte es sich um Versuche unter *Laboratoriumsbedingungen*, für welche die Form der Licht-Zeit-Kurve meistens von geringerer Bedeutung, das Vorhandensein der Lichtschwankung überhaupt die Hauptsache war. Die Beantwortung der Frage, wie sich diese Phänomene als *Störungen* unter *Arbeitsbedingungen* auswirken, verlangt, dass wir uns zunächst mit den in der Praxis wirklich verwendeten Lichtquellen befassen.

Die Licht-Zeit-Kurven einiger technischer Lichtquellen

Fig. 10 zeigt eine Auswahl aus den im Eidg. Amt für Mass und Gewicht ausgeführten Messungen; die

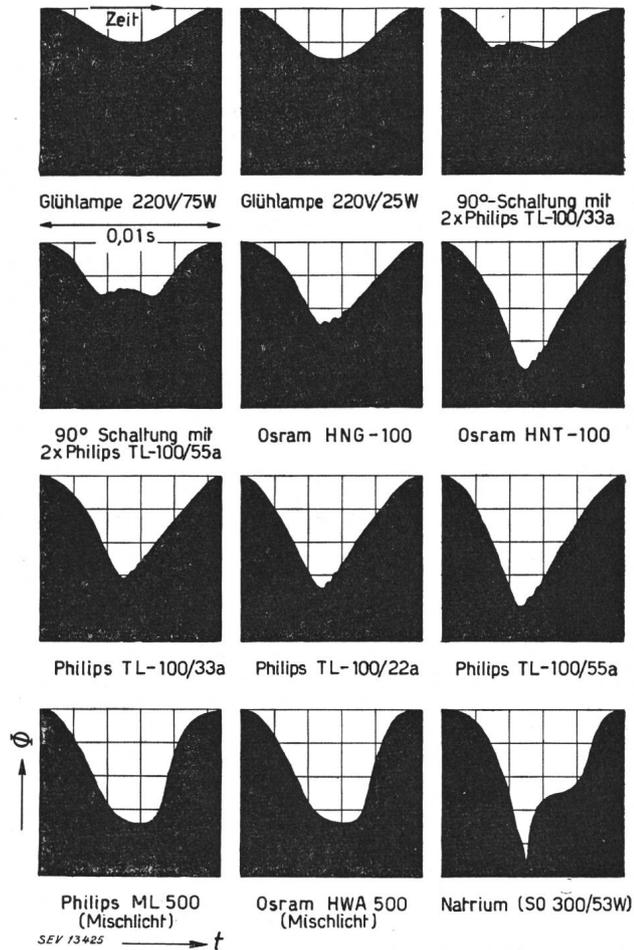


Fig. 10. Einige Licht-Zeit-Kurven

Ergebnisse decken sich mit den Angaben in der Literatur⁴). Hochspannungs-Fluoreszenzröhren weisen nahezu dieselbe Kurvenform auf wie Niederspannungs-Fluoreszenzröhren. Wir führten zur summarischen Ordnung der Kurven die *Lichtschwankungszahl* I_{min}/I_{max} ein, sie beträgt (Netzfrequenz 50, Flimmerfrequenz 100 Hz):

Idealfall (Gleichstrom)	1
3 Fluoreszenzlampen (Leuchtstoffröhre), Tageslicht Nieder- oder Hochspannung in Dreiphasenschalt. } über 0,9	
Kleinspannungs-Glühlampen, einphasig	
Glühlampen 220 V, 75 W	0,8
Glühlampen 220 V, 25 W	0,7
2 Fluoreszenzlampen (Leuchtstoffröhren) Nieder- oder Hochspannung in 90°-Schaltung	
weiss	0,8
Tageslicht	0,7
Fluoreszenzlampe (Leuchtstoffröhre), Rovo Nr. 80, gelblichweiss, Hochspannung . .	0,6
Fluoreszenzlampe (Leuchtstoffröhre)	} 0,5...0,4
Osram HNG 100, gelblichweiss, Niederspann.	
Philips TL 100/33a, weiss, Niederspannung . .	
Rovo Nr. 104, rötlichweiss, Hochspannung . .	

Mischlicht-Lamp. Osram HWA 500, Philips ML 500

Bei diesen Lampen ist das Mischverhältnis von Glühlampenlicht zu Quecksilberlicht 1:1. Sofern es nötig ist, kann durch Wahl eines kleineren Mischverhältnisses bzw. Zumischen von Glühlampenlicht die Lichtschwankungszahl erhöht werden.

Fluoreszenzlampe (Leuchtstoffröhre)	} 0,2...0,25
Osram HNT 100, Tageslicht, Niederspannung	
Philips TL 100/55a, Tageslicht, Niederspannung	
Rovo Nr. 107, Tageslicht, Hochspannung	} 0,1...0
Quecksilber-Lampen (Hg, rein)	
Natrium-Lampen (Na, rein)	

Figur und Tabelle entnehmen wir: Es gibt heute schon Fluoreszenzröhren, für welche die Licht-Zeit-Kurve nicht unter die Hälfte des Höchstwertes sinkt.

Es gibt schalttechnische Massnahmen, die gestatten, die Lichtschwankungszahl auf über 0,9 hinaufzudrücken.

Bei gleichem Maximalwert sind die Lichtschwankungen von weissen (gelblichweissen, rötlichweissen, warmweissen) Fluoreszenzlampen etwa doppelt so gross wie diejenigen von 220-Volt-Glühlampen von 75 W.

Bei reinen Gasentladungen geht die Intensität kurzzeitig fast auf Null zurück.

Der Welligkeitsgrad

Wenn man sich überlegt, was wohl an der Licht-Zeit-Kurve für die «Stärke» des Bewegungsflimmerns das Wesentliche sei, so verfällt man auf folgende Möglichkeiten:

a) Es kommt nur auf die grössten Züge an, nicht auf die Feinheiten, also vielleicht auf das Verhältnis der *Grundwelle* in der Fourier-Zerlegung zum zeitlichen Mittelwert (Grundwellenkriterium).

b) Es kommt auf den grössten *Kontrast*, d. h. auf das Verhältnis der Differenz zwischen grösster und kleinster Leuchtdichte zur grössten Leuchtdichte im Flimmerbild, an (Kontrastkriterium von Bouma)⁴⁾.

Mathematisch lässt sich beweisen, dass es bis auf einen Faktor $\pi/2$ auf dasselbe herauskommt, ob man das Grundwellenkriterium a) auf das *Flimmerbild* anwendet (wie man es eigentlich tun sollte, da dieses uns ja zu Gesicht kommt), oder ob man mit Andresen⁵⁾ es auf die *Licht-Zeit-Kurve* anwendet. Es konnte gezeigt werden³⁾, dass das *Grundwellenkriterium für die Beurteilung der praktisch vorkommenden Kurvenformen recht brauchbar ist*. Dies bedeutet folgendes: Arbeitet man mit 2 Lichtarten ($E' = E''$), die gleichen zeitlichen Mittelwert der Beleuchtung ($\bar{E}' = \bar{E}''$) ergeben, und weisen die Fourier-Zerlegungen

$$E' = \bar{E}' + E_1' \sin(\omega t + \varphi_1') + E_2' \sin(2\omega t + \varphi_2') + \dots$$

und

$$E'' = \bar{E}'' + E_1'' \sin(\omega t + \varphi_1'') + E_2'' \sin(2\omega t + \varphi_2'') + \dots$$

ausserdem dieselben Grundwellen auf, also $E_1' = E_1''$, so darf man die zwei Lichtarten als «flimmeräquivalent» bezeichnen, denn es braucht gleiche

Mengen zugemischten konstanten Lichtes, um das Bewegungsflimmern für geübte Beobachter zum Verschwinden zu bringen.

Man ist aber nicht in der Lage, in jedem praktischen Fall vorauszusagen, welche Lichtart gewählt werden muss, damit kein Bewegungsflimmern auftritt. Sagen können wir nur: Wenn für bestimmte Arbeitsverhältnisse eine Lichtart als befriedigend erprobt ist, dann muss eine gewisse andere Lichtart (evtl. mit Zumischung von Glühlampenlicht) auch befriedigen.

Es war oben von der kontrastiven Verdunkelung der Zwischenzonen durch benachbarte helle Streifen die Rede, die das Licht zerhackter erscheinen lässt, als es, physikalisch betrachtet, ist. Um Missverständnisse auszuschliessen, sei bemerkt: Diese Kontrastwirkung wurde bei den in diesem Abschnitt erwähnten Experimenten in vollem Umfang berücksichtigt.

Die psychische Natur der Störungen

Es gibt Leute, die namentlich durch das Bewegungsflimmern gestört werden; sie empfinden dieses Phänomen wirklich sehr unangenehm. Im allgemeinen sind es eher die empfindsamen Naturen, welche Beobachtungen machen, die von anderen nicht bemerkt werden. Die grossen Unterschiede in der Reaktion verschiedener Menschen sind wohl *psychisch* bedingt.

Zunächst einmal ist am Zustandekommen der Empfindung das Auge beteiligt, dann aber auch der Sehnerv bis zu den ersten Schaltstationen im Gehirn, und schliesslich das Schlussstück der Sehbahn bis in die Hirnrinde. *Es sei hier daran erinnert, dass echtes Flimmern in den Augen ohne Mithilfe von Licht entstehen kann*. Der diesem Eindruck zugrunde liegende Vorgang kann sich irgendwo in der Sehbahn vom Auge bis zur Hirnrinde abspielen, wird aber als mehr oder weniger helles Flimmern im Gesichtsfeld beobachtet. *Ein solcher Vorgang, der seinen Sitz in der Hirnrinde hat, ist sehr charakteristisch*. Es werden die betrachteten Objekte, z. B. Buchstaben, ausgelöscht, so dass eine flimmernde Lücke in der Druckzeile entsteht, die sich langsam vergrössert, dann zackige, leuchtende Ränder bekommt, bis sie schliesslich nach 20...30 min Dauer verschwindet. Der Vorgang ist meist von Kopfdruck oder Migräne begleitet; man nennt ihn *Flimmerskotom*. Ferner ist nachgewiesen, dass die Anpassung an flimmernde Lichter in der Netzhautperipherie beeinflusst wird durch Aufmerksamkeitsregung, durch Muskelstätigkeit, wie auch durch akustische Reize. An diese Dinge haben wir zu denken, wenn wir den Beleuchtungseinfluss auf empfindsame Menschen beurteilen wollen, die schwer arbeiten, von lärmenden Maschinen umgeben sind oder eine Tätigkeit zu verrichten haben, die ihre volle Aufmerksamkeit in Anspruch nimmt. Soviel nur als Hinweis, dass auch zentrale Teile des Nervensystems ihren Anteil am Zustandekommen der Sensationen haben, die wir hier betrachten.

Von «innen heraus» gesehen ist die gesamte psychische Verfassung für die Art der Reaktion massgebend, und dies vor allem erschwert die Scheidung in *spontane Störungen*, die unter keinen Umständen bagatellisiert werden dürfen, in *suggestiv erzeugte Störungen*, die durch «Ansteking» oder ungeschickte Befragung ausgelöst werden und eine ganz zwecklose Belastung des Betroffenen darstellen, und in *eingebildete Störungen*, unter denen man leidet, weil man davon hat reden hören.

Es scheint nicht unnötig, auf die beiden letzten psychischen Möglichkeiten kurz einzugehen.

Wenn bei einer neuen Beleuchtung bisher unbeobachtete Phänomene auftreten, dann gibt es immer eine Reihe von Leuten, die solche Phänomene zunächst mit Erstaunen, dann mit Beunruhigung und schliesslich mit Faszination verfolgen. Wir kennen genügend solche Beispiele. Jeder von uns hat, mit dem Alter zunehmend, einige feine Fadentrübungen im Glaskörper des Auges, die gewöhnlich nicht wahrgenommen werden, die uns unter günstigen Umständen bei Betrachtung weisser Flächen im Schnee oder gegen den Himmel eines Tages sichtbar werden und von nun an, einmal bemerkt, gewisse Leute gar nicht mehr loslassen, sie wiederholt zum Augenarzt führen, den sie immer wieder missmutig verlassen, weil er ihnen versichert, dass sie kein ernstes Leiden haben.

In dem Augenblick, wo ein Mann vor einer welligen Lichtquelle beobachtet, dass herangeführte Werkzeuge bei rascher Bewegung mehrfach erscheinen können, wird er je nach seinem Charakter den Weg derer nehmen, die nach einiger Zeit das Phänomen nicht mehr beachten, oder derer, die sich immer intensiver damit beschäftigen, bis schliesslich darunter wirklich ihre Arbeit leidet, der sie nicht mehr ihre ungeteilte Aufmerksamkeit zuwenden. Es wird solchen Leuten tatsächlich unmöglich werden, mit der gegebenen Lichtquelle zu arbeiten.

Man muss sich darüber klar sein, dass der Mensch äusserst konservativ in seinen Gewohnheiten ist und, was seine eigenen Körpersensationen anbelangt, äusserst primitiv in der Beurteilung der Zusammenhänge. Er ist immer geneigt, äussere Ursachen für irgendwelche Sensationen geltend zu machen, und wenn Neuerungen in seiner Umgebung auftreten, so wird automatisch alles Unangenehme auf diese Neuerungen bezogen. *Daraus ist zu schliessen, dass Behauptungen über unangenehme Wirkungen von Beleuchtung durchaus richtig sein können, aber ebenso völlig unbegründet, und dass erst eine genaue Analyse des Falls darüber Aufschluss geben kann, ob und welcher Zusammenhang wirklich zwischen den angegebenen Beschwerden und der Art der Beleuchtung existiert.*

In der Beurteilung der eingehenden Klagen über eine neue Beleuchtungsart sind die Angaben von Frauen mit Vorsicht aufzunehmen. Hier spielt die Spektralverteilung der Strahlung eine grosse Rolle, da sie unter Umständen die Farbe des Haares, der Zähne (künstliche!), der Fingernägel und der Haut unvorteilhaft verändert. Bei Befragungen werden Frauen solche Gründe lieber verschweigen und ein allfälliges Unbehagen auf die wellige Beleuchtung schieben.

Die hier besprochenen Erscheinungen haben die Eigenschaften anderer psychischer Phänomene, dass sie nämlich ansteckend sind, und dass ein Mann in einem Betrieb wohl eine ganze Belegschaft beunruhigen kann. Jedenfalls sollte nicht eine in wohlmeinender Absicht vorgenommene Befragung die Quelle solcher ganz zwecklosen Beunruhigungswellen sein.

Bemerkenswert ist, wie wenigen Leuten das Bewegungsflimmern und die stroboskopischen Erscheinungen zum Bewusstsein kommen, auch wenn die Phänomene deutlich sichtbar sind. Es ist anzunehmen, dass der Effekt vom Auge zwar beobachtet, von der Psyche aber beim Zustandekommen des Bildes aus dem Bewusstsein verdrängt wird. Theoretisch wäre es denkbar, dass infolge der Notwendigkeit, fortwährend die verschiedenen Bilder zu einem Gesamteindruck zu kombinieren, die Ermüdung rascher eintritt. Tatsächlich ist dies aber nicht der Fall. Im Gegenteil ermüdet derjenige stärker, der sich bemüht, den Vorgang zu analysieren und die Kombinationstendenz auszuschalten. Es dürfte dies davon abhängen, dass es eine gewisse Aufmerksamkeit erfordert, der natürlichen Tendenz zur Kombination gegenüber den Sehvorgang in seine Einzelkomponenten aufzulösen⁶⁾.

An alle diese Momente möge jeder denken, der in die Lage kommt, Nichtfachleute zu befragen. Darum wurde auch die Fragebogenaktion des Schweiz. Beleuchtungskomitees nur in relativ bescheidenem Umfang durchgeführt. Immerhin scheinen die im nächsten Abschnitt auszugsweise wiedergegebenen Ergebnisse zu einer ersten Beurteilung der Lage auszureichen.

Berichterstattung über die Fragebogen-Aktion

In einer grösseren Zahl von Betrieben, in welchen mit Entladungslicht gearbeitet wird, wurden Erhebungen angestellt auf Grund von drei Fragebogen; einer war vom Ersteller der Anlage zu beantworten, die beiden übrigen hatten den Charakter eines Leitfadens zur Befragung des Besitzers der Anlage und der einzelnen Personen des Betriebes. Im ganzen wurden bis jetzt 28 Betriebe untersucht, die zusammen eine Belegschaft von ungefähr 900 Personen umfassen. Davon wurden 120 Personen direkt befragt. Es sei hier auch auf die früher von Högger⁶⁾ vorgenommene, sich auf 50 Personen beziehende Umfrage hingewiesen.

Die Frage «Sind Sie mit der neuen Anlage zufrieden?» wurde von den Besitzern von Anlagen 27mal mit Ja und 1mal mit Nein beantwortet. Die Anlage, welche nicht befriedigt, betrifft eine indirekte Beleuchtung mit Mischlicht, wobei eine Quecksilberdampf-Lampe von 300 Dlm und 3 Glühlampen von je 100 Dlm (Mischverhältnis 1 : 1) zur Verwendung gelangten. Die Anlage wurde Ende 1944 erstellt.

Bei den Befragungen durch das SBK wurden von den Personen, die bei dieser Beleuchtungsanlage arbeiten, beanstandet:

a) ungenügende Beleuchtungsstärke (obwohl diese im Mittel 190...210 Lux beträgt!);

b) Lichtunruhe; sie wurde bemerkt beim Maschinen-schreiben, jedoch nur von einer Person, und zwar wird über eine Reizung der Augen geklagt. Die anderen 3 Personen, welche im gleichen Büro arbeiten, beanstanden nur die ungenügende Beleuchtungsstärke. Die Person, welche das Flimmern konstatiert hat, ist 55 Jahre alt und im Besitz von normalen Augen. Sie sagt im übrigen aus, dass die neue Beleuchtung besser ist als die alte. Eine Schlussfolgerung aus diesem Untersuchungsbericht dürfte schwer zu ziehen sein.

In den übrigen 27 Anlagen führten die Fragen «Was fiel Ihnen anfänglich auf, was empfanden Sie? Was haben Sie an der neuen Beleuchtung auszusetzen?» zu Antworten, die auf «Lichtunruhe» hinwiesen.

Von den Befragten arbeiten 4 Personen bei (100%) indirektem Licht (Mischlicht), eine davon möchte lieber bei Glühlampenlicht arbeiten (Alter 46 Jahre, kurzsichtig), eine findet trotzdem die neue Anlage besser als die alte und möchte nicht mehr bei Glühlampenlicht arbeiten, zwei sehen das Flimmern (Flackern?) nur an der Decke, auf dem Arbeitsplatz können sie nichts wahrnehmen. (Zwei klagen ferner noch über Augenreizungen bei einer indirekten Bürobeleuchtung mit Mischlicht, welche aber nicht auf das Flimmern, sondern vermutlich auf ungenügende Beleuchtungsstärke zurückzuführen sind.)

7 Personen haben in einer Mischlichtanlage den stroboskopischen Effekt wahrgenommen, der aber ganz und gar nicht als unangenehm empfunden wird.

12 Personen, welche bei einer Beleuchtung mit Fluoreszenzlampen (Tageslicht) arbeiten, kennen den Flimmer-effekt; er wurde ihnen von einem Fabrikinspektor vor-demonstriert! Vorher hatten sie von einem Flimmern nichts bemerkt. Sie stossen sich aber auch heute nicht daran.

1 Arbeiterin (Näharbeit) hat in den ersten Tagen ein leichtes Flimmern festgestellt, welches jedoch nicht störte.

Von einer Aufsichtsperson in einem Fernamt wurde ein Bewegungsflimmern festgestellt, verbunden mit relativer Blendung, da die Lampen-Leuchtdichte sich auffallend gegen den verhältnismässig dunklen Hintergrund abhebt. Es wurde hauptsächlich das hie und da auftretende Flackern an den Röhrenenden bemerkt, vor allem bei nicht direkter Sicht. Die Lampen wurden mit Opalglasscheiben abgedeckt und damit die Ursache zur Beanstandung beseitigt. Die Angestellte ist 45 Jahre alt, Brillenträgerin, stark dem Föhn unterworfen und leidet oft unter Kopfschmerzen.

1 Telephonistin klagte bei Nachtschicht über Uebelkeit, welche vom Flimmern herrühre. Sie hat eine starke Hornhautverkrümmung und sagte, sie könne die Brille bei Röhrenlicht nicht tragen. Die Tageslicht-Röhren wurden gegen solche mit weisser Lichtfarbe ausgewechselt, und die Verhältnisse sollen heute bedeutend besser sein.

1 Angestellte in einer Registratur hat sich ebenfalls über eine unangenehme Empfindung beklagt, welche offenbar vom Flimmern der Röhren-Lampen herrühre. Die Lichtfarbe wurde gewechselt von Tageslicht über warmweiss auf weiss, mit einer zunehmenden Besserung des persönlichen Empfindens. Hier würde wirklich ein Fall vorliegen, bei welchem mit zunehmender Lichtschwankungszahl auch die Arbeitsbedingungen besser wurden.

Auf Grund der Frage «Waren Sie von Anfang an mit der neuen Beleuchtung zufrieden, oder mussten Sie sich zuerst daran gewöhnen?» wurde in verhältnismässig vielen Fällen eine solche Angewöhnung als nötig erklärt. Meistens geht die Ursache aber nicht auf die Lichtunruhe, sondern auf andere Eigenschaften der neuen Beleuchtung zurück, wie Lichtfarbe, anderes Beleuchtungssystem, grössere Beleuchtungsstärke usw. Es ist erfreulich, in den meisten Fällen eine gesunde Einstellung, im Neuen vorab das Gute sehen und prüfen zu wollen, feststellen zu können. Oft ist hierfür eine gewisse Zeit der Anpassung unumgänglich. Es kann deshalb eine neue Beleuchtungsanlage nicht immer schon auf den ersten Eindruck richtig beurteilt werden.

Einige markante Fälle

Die Mitarbeiter der Fachgruppe haben in Ergänzung zur Fragebogen-Aktion in ihrem engeren Wirkungskreis versucht, Fälle von Störungen zu finden und zu analysieren. Die folgende Auswahl möge also nicht nach statistischen Gesichtspunkten, sondern auf die Besonderheiten des Einzelfalls hin betrachtet werden.

a) *Stroboskopischer Effekt.* Ein erster Fall betraf den Platz der Reglage in einer Uhrenfabrik. Dort werden die Uhren der Uhren mit einer normalen Unruhe verglichen, und es ist festzustellen, ob die Frequenz der zu untersuchenden Unruhen von der normalen Frequenz abweicht. Nachdem Fluoreszenzlampen (Leuchtstoffröhren) eingeführt wurden, konnte bei der Bewegung der Unruhen der stroboskopische Effekt deutlich beobachtet werden. Da es jedoch nur darauf ankommt, die Schwingungsdauer festzustellen, wurde die Erscheinung nach kurzer Zeit als nicht mehr störend bezeichnet.

Ein zweiter Fall betraf die Beleuchtung von Spinnmaschinen, wo durch das Ablaufen eines Fadens in axialer Richtung von der Spule ein sogenannter Schleierkonus erscheint, solange der Arbeitsplatz durch gewöhnliche Glühlampen beleuchtet ist. Nach Einbau der Fluoreszenzlampen sah man nicht mehr den ganzen Konus, sondern nur noch einzelne Fadenstellungen deutlich hervortreten. Der Lichttechniker machte auf diesen Umstand aufmerksam, der nach seiner Ansicht eher eine Erleichterung der Sehaufgabe darstellt, weil der schleierartige, verschwommene Faden-Konus schwerer erkennbar ist als die relativ markant sichtbaren Einzelstellungen des rotierenden Fadens.

Ein dritter Fall betraf eine Schleiferei von Edelsteinen, in der auf der waagrecht rotierenden Schleifscheibe der stroboskopische Effekt deutlich sichtbar war. Da der Arbeiter aber nicht die Scheibe als Ganzes, sondern nur diejenige Stelle, auf welche er den Edelstein aufsetzt, zu beobachten hat, war auch hier keine Aenderung der Anlage nötig.

Es ist kein Bericht eingelaufen, welcher eine Aenderung der Beleuchtung mit Fluoreszenzlampen nur wegen des stroboskopischen Effektes nötig gemacht hätte.

b) *Bewegungsflimmern.* Hier liegen 2 Fälle vor, in denen durch Beseitigung der Fluoreszenzbeleuchtung die Störung behoben wurde. Der eine Fall betraf einen Arbeitsplatz, wo Fahrradteile montiert werden. An den polierten Stücken trat ein unangenehmes Flimmern und Blenden auf. Im zweiten Fall handelte es sich um das Schleifen von Klingen an einem ruhenden Schleifstein. Durch die Beleuchtung mit Röhrenlicht löste sich die gleichmässige Bewegung der Klingen in einzelne gut sichtbare Phasen auf. Der Betriebsleiter in dieser Abteilung bezeichnete eine solche Erscheinung als unerwünscht und setzte es durch, dass die Anlage wieder entfernt wurde. Die befragten Arbeiter dagegen empfanden die Störung nicht als wesentlich. Sie erklärten, dass sie die Klingen mehr nach ihrem Gefühl schleifen und den zurückgelegten Weg des Stückes gar nicht besonders beobachten. Die Beurteilung des Schlifses wird in ruhendem Zustand der Klingen vorgenommen, so dass auch hier das Licht grösserer Welligkeit keine Störung erzeugt.

c) *Beleuchtungswechsel* (Wechsel der Beleuchtungsanlage). Auf diesem Gebiet werden die meisten Beobachtungen gemacht. Sie sind aber nicht eindeutig zu erfassen, weil dabei ganz verschiedene Faktoren mitwirken. Sofern von einer Beleuchtung mit gewöhnlichen Glühlampen auf eine solche mit Entladungslampen übergegangen wird, ist damit im allgemeinen eine Erhöhung der Beleuchtungsstärke verbunden. Gleichzeitig wechselt der Farbton des Lichtes, so dass die allenfalls auftretenden Störungen bei den befragten Personen andere Ursachen als diejenige des Flimmerns haben können.

Ein besonderer Fall betraf den Seziersaal in der Anatomie eines Universitätsinstitutes. Der befragte Hochschullehrer erklärte, dass er anfänglich nach längerem Aufenthalt in diesem mit Entladungslampen versehenen Raum in seiner Arbeitsfähigkeit stark gestört war, wenn er anschliessend sein Arbeitszimmer betrat und dort unter gewöhnlichem Licht stand. Er konnte längere Zeit nicht mehr voll arbeiten und empfand ein deutliches Unbehagen. Als Wissenschaftler verzichtete er jedoch darauf, seine Klage sofort geltend zu machen und beschloss, die Anlage einige Zeit in Betrieb zu lassen, um festzustellen, ob seine unangenehmen Eindrücke mit der Zeit verschwinden würden. Tatsächlich empfand der Professor nach etwa zehn Tagen keine Störungen mehr, und es war besonders interessant von ihm zu vernehmen, dass das beobachtete Unbehagen auch dann nicht wieder auftrat, als er den beleuchteten Seziersaal nach einem halben Jahre Unterbruch erstmals wieder betrat.

Ein zweiter Fall betraf ein kaufmännisches Bureau in einer Tuchfabrik. Nachdem Fluoreszenzlampen eingebaut waren, wurden vorerst keine besonderen Beobachtungen gemacht. Erst als durch Veröffentlichungen über die Flimmererscheinungen das Problem überhaupt zur Diskussion gestellt wurde, äusserte sich der Betriebsinhaber dahin, das Flimmern sei in diesem Bureau unangenehm. Auf eine Aenderung der Anlage wurde jedoch verzichtet. Der Inhaber liess inzwischen seine Brille korrigieren!

Von einigen Betriebsinhabern wurde weiterhin geltend gemacht, dass der häufige Wechsel von Arbeitsplätzen mit verschiedener Beleuchtung Unbehagen verursache. So war z. B. in einem Spinnsaal probeweise die eine Reihe der Maschinen mit Fluoreszenzlampen, die andere Reihe mit gewöhnlichen Glühlampen beleuchtet. Eine Arbeiterin musste häufig von einer Reihe zur anderen gehen, um die Maschinen zu überwachen. Sie klagte darüber, dass der Beleuchtungswechsel stark störe. Diese Klage ist sehr begreiflich, und es wurde daher beschlossen, sämtliche Maschinen nur mit der einen oder der anderen Beleuchtung auszustatten.

Ein letzter Fall betraf das kaufmännische Bureau einer Druckerei, wo gleichzeitig Glühlampen und Fluoreszenzlampen angebracht waren. Dieser Versuch erwies sich verständlicherweise als untauglich, wirkte sich aber dann so aus, dass die Schuld den Fluoreszenzlampen gegeben wurde, und im ganzen Betriebe derartige Abneigung gegen sie entstand, dass der Inhaber es nicht mehr wagte, weitere Versuche durchzuführen.

Massnahmen zur Bekämpfung der Lichtschwankungen

Der Umstand, dass bei den relativ wenigen Personen, bei denen das Unbehagen nachhaltig ist, dieses nicht als physiologischer, sondern als psychischer Natur erkannt wurde, will nicht heissen, dass es für die Betroffenen nicht unangenehm sei. Es muss unsere vornehmste Aufgabe sein, Massnahmen zur Beseitigung der Lichtschwankungen zu nennen und für die Anwendung dieser Massnahmen zu werben. Es sind dies für 50-Hz-Netze die folgenden:

a) 50-Hz-Flimmern an den Enden der Fluoreszenzlampen: Schutz gegen direkte Sicht. Im zurückgeworfenen Licht stört das 50-Hz-Flimmern nie.

b) 100-Hz-Flimmern: In Drehstromnetzen können drei gleiche Quellen welligen Lichtes an die drei Phasen angeschlossen werden; in Einphasen-Netzen ist es möglich, mit einer Kunstschaltung zwei Fluoreszenzlampen in der Phase um rund 90° verschoben arbeiten zu lassen⁷⁾.

Bei Fluoreszenzlampen besteht die Möglichkeit der Verwendung von möglichst stark nachleuchtendem Leuchtstoff.

Fluoreszenzlicht und reines Gasentladungslicht können durch Zumischen von Glühlampenlicht ausgeglichen werden.

Bewegte Gegenstände, an denen stroboskopische Effekte auftreten, können oft gegen direkte Sicht abgedeckt werden.

Zusammenfassung

Nachdem eingehend über die Natur und die Häufigkeit der Störungen infolge Welligkeit des Lichtes und über die Möglichkeiten ihrer Behebung berichtet wurde, lassen sich die Erkenntnisse wie folgt zusammenfassen:

Die Faktoren, die bei einer Beleuchtungsanlage zu Unbehagen Anlass geben können, sind komplexer Art und lassen sich nicht immer trennen. Es gibt relativ wenig Menschen, die Bewegungsflimmern als störend empfinden. Um physiologische Schädigungen kann es sich nicht handeln; die Phänomene sind psychischer Natur.

Bei der Klärung der Störerscheinungen sind ungeschickte Suggestiv-Fragen zu unterlassen; denn sie können zu ansteckender, zweckloser Unzufriedenheit führen. Lässt die sorgfältige Ueberprüfung einer Beanstandung auf Lichtunruhe als Ursache schliessen, so ist Abhilfe zu schaffen. Dabei sollten stroboskopische Erscheinungen, im besonderen Bewegungstäuschungen, wegen der allenfalls damit verbundenen Gefahrenmomente ganz vermieden werden. Generell betrachtet heben Bewegungsflimmern und stroboskopische Erscheinungen die Vorteile moderner Beleuchtungsarten nicht auf.

Es gibt verschiedene Massnahmen, um den Welligkeitsgrad der Lichtquellen herab- bzw. die Lichtschwankungszahl heraufzusetzen. Wir verweisen auch auf die Schweizerischen Allgemeinen Leitsätze für elektrische Beleuchtung⁸⁾.

Literatur

1) *Birkhäuser, R.*: Vergleichende Untersuchungen physiologisch-optischer Eigenschaften von bekannten und von neuartigen elektrischen Lichtquellen. Bull. SEV Bd. 35(1944), Nr. 17, S. 471...479.

2) Netzfrequente Schwankungen des Lichtes und Flimmererscheinungen. Bull. SEV Bd. 36(1945), Nr. 9, S. 238.

3) *Goldmann, H., König, H., und Mäder, F.*: Bemerkungen über das Phänomen des Bewegungsflimmerns und die Definition des Welligkeitsgrades. Bull. SEV Bd. 37(1946), Nr. 2, S. 25...30.

4) *Bouma*: Das Flimmern elektrischer Lichtquellen. Philips' techn. Rdsch. Bd. 6(1941), Nr. 10, S. 299...306.

5) *Andresen, E. G.*: Ueber die Welligkeit der Lichtemission bei wechselstrombetriebenen Leuchtstoff-Entladungsröhren. Licht Bd. 7(1937), Nr. 11, S. 235...238.

6) *Högger, D.*: Das Flimmern bewegter Teile im Lichte diskontinuierlich betriebener Gasentladungslampen und seine Bedeutung bei der Beleuchtung von Fabrikräumen. Bull. SEV Bd. 35(1944), Nr. 4, S. 90...95.

7) *Loeb, J.*: Etude d'un montage réduisant le papillotement des lampes à décharge. Bull. SEV Bd. 35(1944), Nr. 5, S. 111...116.

8) Schweiz. Allgemeine Leitsätze für elektrische Beleuchtung, aufgestellt vom Schweizerischen Beleuchtungskomitee, hg. vom Schweizerischen Elektrotechnischen Verein, 1939 (Neuaufgabe in Vorbereitung).

Note récapitulative sur l'état actuel des vibrations de conducteurs et des moyens pour en éliminer les méfaits

Par M. Preiswerk et G. Dassetto, Lausanne

621.315 056.3

Cette note a été établie sur demande du Sous-comité des Vibrations du Comité des Conducteurs Aériens de la CIGRE. Après un court aperçu théorique sur la formation de vibrations dans les conducteurs aériens par l'action du vent et leurs conséquences, on expose les moyens qui permettent de les combattre et de les éliminer, soit: pinces de suspension convenables, appareils antivibratoires (renforceurs et amortisseurs) et conducteurs antivibratoires. Une bibliographie suit.

Im Auftrage des Unterkomitees für Schwingungen des Freileitungskomitees der CIGRE wurde vorliegender Bericht zusammengestellt. Nach einer kurzen theoretischen Abhandlung über die Entstehung der Schwingungen in den Leitern von Freileitungen und deren Folgen, verursacht durch Windwirkung, werden die Mittel besprochen, die erlauben, sie zu bekämpfen und zu beseitigen, nämlich: passende Tragklammern, Dämpfungseinrichtungen (Seilverstärker und Schwingungsdämpfer) und schwingungsfreie Seile. Eine Bibliographie schliesst die Arbeit ab.

Introduction

Le Sous-comité des Vibrations du Comité des Conducteurs Aériens de la Conférence Internationale des Grands Réseaux Electriques à

haute tension (CIGRE) dans sa réunion du 1^{er} juillet 1939, après avoir constaté qu'il semble résulter que les moyens de lutter contre les vibrations sont assez nombreux, mis au point et effi-