Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke

Band: 35 (1944)

Heft: 17

Artikel: Vergleichende Untersuchungen physiologisch-optischer Eigenschaften von bekannten und von neuartigen elektrischen Lichtquellen

Autor: Birkhäuser, R.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-1061591

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. 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. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

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. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

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. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 04.12.2025

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

SCHWEIZERISCHER ELEKTROTECHNISCHER VEREIN

BULLETIN

REDAKTION:
Sekretariat des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins
Zürich 8, Seefeldstrasse 301

ADMINISTRATION:
Zürich, Stauffacherquai 36 ◆ Telephon 25 17 42
Postcheck-Konto VIII 8481

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

XXXV. Jahrgang | N° 17 | Mittwoch, 23. August 1944

Vergleichende Untersuchungen physiologisch-optischer Eigenschaften von bekannten und von neuartigen elektrischen Lichtquellen

Von *R. Birkhäuser*, Basel

613.84

Prof. Dr. med. R. Birkhäuser berichtet im folgenden über optische Versuche bei diskontinuierlicher Beleuchtung, die in der Absicht angestellt wurden, die Ursache eigenartiger Sehbeschwerden zu finden, wie sie von vereinzelten Leuten verschiedenster Bildung und Intelligenz empfunden werden, wenn sie bei Mischlicht oder bei Licht von Leuchtstoffröhren arbeiten. Der Lichttechniker und der Lampenbauer finden in diesem Versuchsbericht eines Augenarztes interessante Anregungen.

M. le professeur Birkhäuser, Dr. med., expose les résultats obtenus par toute une série d'essais optiques à la lumière discontinue qu'il a entrepris dans le but de trouver la raison pourquoi un petit nombre de personnes, appartenant à diverses couches de la population éprouvent un sentiment d'inconfort lorsqu'elles travaillent à la lumière mixte et à la lumière de tubes luminescents. Cet exposé d'un médecin oculiste fournit d'intéressantes suggestions aux éclairagistes et aux constructeurs d'appareil d'éclairage.

Personen mit empfindlichem Nervensystem klagen in der augenärztlichen Sprechstunde nicht selten über schwer zu beschreibende Sehbeschwerden, von denen sie befallen werden, wenn sie längere Zeit Arbeit mit hohen optischen Ansprüchen, wie Nähen, Zeichnen, Schreiben, in Räumen verrichten sollen, die ausschliesslich mit neuartigen Lichtquellen ausgeleuchtet sind. Solche Lichtquellen sind das tageslichtähnliche Mischlicht (Glühlicht plus Quecksilberdampflicht) und Leuchtstoffröhren (Gasentladung). Auch der blosse Aufenthalt in solchen Räumen ohne besonders anstrengende Seharbeit kann Beschwerden erzeugen, falls die physische Bereitschaft dazu vorhanden ist. Die von solchen Personen empfundenen Beschwerden lassen sich am besten charakterisieren, indem man sagt, das betreffende Licht bringe die Augen in einen aufreizenden Zustand von Unvermögen, mühelos deutlich zu sehen, trotzdem der gute Wille zur Arbeit nicht fehle, was schliesslich ein quälendes Ermüdungsgefühl in den Augen erzeuge, verbunden mit allgemeinem Unbehagen. Es ist den Leuten nicht immer gegeben, das, was sie an der Beleuchtung auszusetzen haben, so zu beschreiben, dass man ein abgerundetes Bild der empfundenen Beschwerden daraus machen könnte. Immerhin machten mir die Berichte den Eindruck, dass es sich da um etwas Neuartiges handelt, um Einflüsse des Lichts auf das Sehorgan, und nicht allein auf dieses, denn die betroffenen Personen bewiesen durch ihr Verhalten, dass sie von einem allgemeinen Unbehagen befallen waren, solange sie unter der Lichteinwirkung standen. Solche Leute sind nicht häufig anzutreffen, können aber — wie ich das in einem Falle erfuhr — mit ihrer Empfindlichkeit suggestiv ihre Mitarbeiter soweit bringen, dass ein ganzes Atelier sich gegen das neu eingeführte Licht auflehnt und die Wiederherstellung der früheren Beleuchtung durchsetzt. Obschon es sich, wie gesagt, um vereinzelte Personen besonderer Sensibilität handelt, besteht doch die Tatsache einer bisher unbekannten körperlichen Reaktion auf neuartiges Licht. Mit der zunehmenden Verbreitung dieser Beleuchtungsart muss damit gerechnet werden, dass es mit der Zeit doch eine beträchtliche Zahl von Personen geben wird, die sich ablehnend dagegen verhalten, weil sie sich in ihrer Arbeitsfähigkeit behindert fühlen. Rechnet man dazu jene Leute, die duldsamer oder indolenter sind und nur beiläufig bei einer Augenuntersuchung erwähnen, dass ihr Arbeitsraum (meist sind es grosse Verwaltungsbureaux) «leider eine wenig angenehme», neue Beleuchtung in der Farbe des Tageslichts erhalten habe, so wird man zum Studium der Ursachen solcher Beschwerden angeregt, da sie ein neues Feld physiologischer Erkenntnis öffnen.

Die lichttechnischen Eigenschaften der neuen Lampen sind von verschiedenen Forschern eingehend ergründet und beschrieben worden [1]). Neuestens wird einer besonders starken ausgeprägten Wirkung der neuen Lichtarten auf bewegte Objekte (Maschinenteile, Getriebe) Beachtung geschenkt: dem stroboskopischen Effekt; es wird später noch davon die Rede sein.

[1]) Siehe «Handbuch der Lichttechnik» von R. Sewig, mit zahlreichen Literaturangaben.

Die einfachen Versuche, die ich selber durchführen konnte, hatten das Ziel, eine Erklärung für das eigenartige Unbehagen zu finden, das mir von Leuten verschiedenster Bildung und Intelligenz beschrieben wurde, wenn sie bei Mischlicht (sogenanntem «Tageslicht») oder Leuchtstoffröhren arbeiteten.

Um es vorweg zu nehmen, erwähne ich, dass ich den Verdacht hegte, die sichtbare wie die unsichtbare kurzwellige Strahlung der in Frage stehenden Lichter könnte in der Linse des Auges Fluoreszenz erzeugen und damit Blendung verursachen.

Lenkt man das Licht des Quarzlampenbrenners mit Hilfe einer Quarzlinse durch die Pupille auf die (normalerweise unsichtbare) Augenlinse, dann leuchtet diese im Fluoreszenzlicht weiss und erzeugt unerträgliche Blendung. Bei gleicher Versuchsanordnung konnte ich mit den Strahlungen der Philips «Philora» und der Leuchtstoffröhre in der Augenlinse keine wahrnehmbare Fluoreszenz und keine subjektive Blendung erzeugen.

Die Energieverteilung im Spektrum ist bei den hier in Frage stehenden neuen Lichtarten deutlich verschieden von derjenigen der bisher benützten elektrischen Lichtquellen. Betrachte ich die Strahlungen verschiedener Lampen durch ein gradsichtiges Handspektroskop, dann bemerke ich Auffälliges in dem Sinne, wie in Fig. 1 skizziert ist. Während die

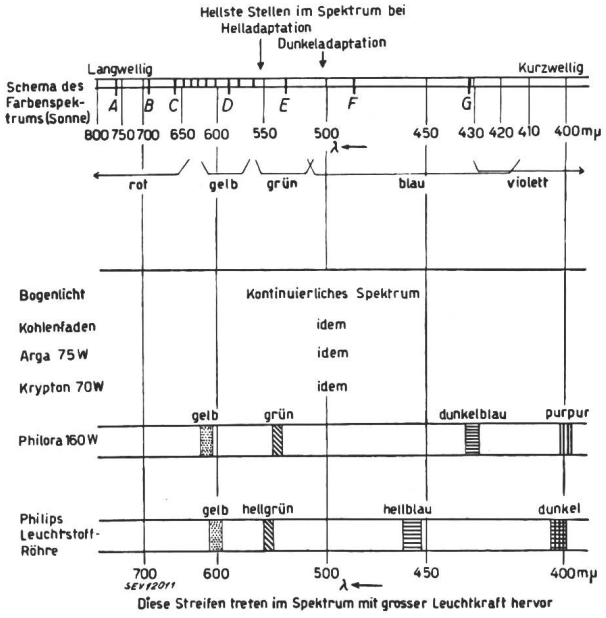

Fig. 1.
Spektren verschiedener Lichtquellen

Strahlungen bisheriger Lampen (Bogenlicht, Kohlenfaden, Arga, Krypton) ein kontinuierliches Spektrum zeigen, treten im Band der Spektralfarben bei der Philora 160 W nach einer Brenndauer von 10 Minuten vier intensiv helle Streifen hervor, unter denen das Gelb und das Tiefblau besonders hervorstechen. Die Leuchtstoffröhre lässt drei gleich helle Streifen im Gelb, Hellgrün und Hellblau hervortreten und zeigt im kurzwelligen Ende ein dunkles Intervall.

Die Tatsache der partiellen Energieanhäufung im Band der elektromagnetischen Schwingungen lenkt die Aufmerksamkeit auf die verschieden starke Brechbarkeit der Spektralfarben, die, wenn sie ins Auge fallen, durch kein achromatisch korrigiertes optisches System auf einen gemeinsamen Brennpunkt gelenkt werden; die Farben haben im Auge ihre spezifische, gesonderte Brennweite. Das Blau bei der G-Linie und das Rotgelb bei der C-Linie haben, um ein Beispiel zu nennen, im Auge eine Brechungsdifferenz von über 1,5 Dioptrien, was einer reellen Strecke von ca. 0,3 mm am Ort der Netzhaut entspricht. Der zweiäugige Sehapparat registriert solche Ortsdifferenz als Tiefendifferenz im Raum, wodurch das Phänomen der «Farbenstereoskopie» zustandekommt (es scheinen z. B. verschiedenfarbige Schriften in projizierten Kinoreklamen in verschiedenen Projektionsebenen vor- und hintereinander zu stehen [2]). Zeigt man einer Gruppe von Beobachtern die Erscheinung der Farbenstereoskopie, so findet sich unter ihnen ein geringer Prozentsatz, denen das Phänomen sofort überraschend entgegentritt, während man die andern erklärend einführen muss, bis sie die räumliche Trennung der verschiedenfarbigen Schriften sehen. Die Sichtbarkeit des Phänomens ist abhängig vom Bau des Auges. Proportional der Grösse des Winkels γ, den die Gesichtslinie mit der optischen Achse bildet, wird die räumliche Farbentrennung stark oder schwach empfunden. Bei Leuten, die sie nicht wahrnehmen, kann man sie sichtbar machen, wenn man ihnen prismatische Brillengläser vor die Augen setzt.

Sollte es sich bei weiteren Untersuchungen herausstellen, dass die im Spektrum der Gasentladungslampen stark hervortretenden Farblinien die Erscheinung der Farbenstereoskopie mehr hervortreten lassen oder irgendwie ungewohnt beeinflussen, was experimentell noch nicht erforscht ist, so würde dies erklären helfen, warum Leute bei dieser Beleuchtung nur mit Ermüdung richtig fixieren können.

Eine wichtige Ursache subjektiver Sehstörung ist das Flimmern, über dessen physikalische und physiologische Natur schon eine reiche Literatur besteht. Bei meinen eigenen Versuchen beschränkte ich mich auf *die objektive Darstellung des Flimmerns eines bewegten Objektes und der Lichtquelle* selbst. Ich machte zwei Versuchsreihen:

1. photographische Aufnahmen eines diffus reflektierenden und eines glänzenden, rotierenden Objektes im Lichte der verschiedenen mir zur Verfügung stehenden Lampen.

Alle Aufnahmen wurden aus 1,5 m Abstand von der Drehscheibe mit der Leica-Kamera gemacht. Als Drehscheibe benützte ich die elektrisch angetriebene Grammophonscheibe,

[2]) Vgl. die treffliche Darstellung «Zur Farbenstereoskopie» von Ernst Ammann in Klin. Monatsbl. f. Augenheilkunde, Bd. 74 (1925), S. 587.

als Aufnahmefilm Kodak-Panatomic-Plus X und Agfa-Isopan-F. Objektiv Elmar 9 cm.

2. photographische Aufnahmen der ruhenden Lichtquellen auf die Platte einer rotierenden Kamera.

Die Aufnahmen wurden teils mit einer 9×12-Kamera, teils mit der Leica gemacht.

Die verschiedenen Lichtquellen waren:

1. Bogenlicht, Gleichstrom, als Vergleichslicht.
2. Bogenlicht, Wechselstrom.
3. Kohlenfadenlampe 32 K.
4. Philips Arga 75 W.
5. Tungsram Krypton 70 W.
6. Philips Philora ML 300, 160 W; a) gleich nach Einschalten.
7. Philips Philora ML 300, 160 W; b) nach 5 min Brenndauer.
8. Philips Leuchtstoffröhre 55a.

Alle Lampen an das städtische Netz angeschlossen bei 220 V Wechselstrom von 50 Per./s.

Auf Seite 474 sind die Aufnahmen eines rotierenden, weissen Papierstreifens im Licht der genannten Lampen in der gleichen Reihenfolge zusammengestellt. Fig. 2 zeigt die Drehscheibe mit dem Papierstreifen in Ruhe. Die Umdrehungsgeschwindigkeit der Scheibe war etwas mehr als 1 pro s, die Dauer der Belichtung des Filmbildes (Leica) ca. $^1/_2$ s.

In Fig. 3 macht das Gleichstromlicht aus dem wandernden Streifen eine homogene, weisse Fläche, im Gegensatz zu Fig. 4, wo der Wechselstrom das periodische An- und Abschwellen der Lichtintensität an der fächerartigen Bildfolge des Streifens erkennen lässt. Das Licht der Kohlenfadenlampe (Fig. 5) bewirkt eine eben wahrnehmbare Fächerung, die Arga (Fig. 6) und die Krypton (Fig. 7) mit ihrer viel höheren Farbtemperatur zeigen schon deutlicher die radiäre Aufeinanderfolge von Hell- und Dunkelstreifen. Das Licht der Philora (Fig. 8) unmittelbar nach Einschalten erzeugt ein Bild ähnlich demjenigen der Arga (Fig. 6). Macht man vom Zeitpunkt des Einschaltens jeweilen nach 30 s eine Aufnahme dieser Art, dann lassen die aufeinanderfolgenden Bilder deutlich erkennen, wie die radiäre Streifung mehr und mehr hervortritt bis zur Wirkung auf Bild Fig. 9 nach 5 min Brenndauer, wo das Quecksilberdampflicht vorherrscht. Fig. 10 gleicht Fig. 9 stark; es wurde vom Licht der Leuchtstoffröhre erzeugt.

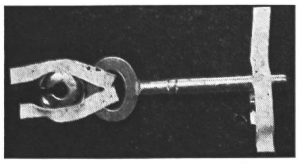

Fig. 11.

Seite 475 zeigt Bilder der gleichen Versuchsart, nur wurde anstelle des diffus reflektierenden Papierstreifens ein glänzender Gegenstand (Schlüssel) auf der Drehscheibe befestigt, wie es die Fig. 11 und 12 zeigen. Von den spiegelnden Kanten des Schlüssels wird das auffallende Licht in scharfbegrenzten Strahlenbündeln reflektiert. Diese zeichnen auf dem photographischen Bild den Flimmereffekt während der Rotation viel deutlicher ab, was ohne weitere Erklärung den Bildern Fig. 13...20 zu entnehmen ist.

Die Fig. 2...10, 10...20 vermitteln dem Betrachter den Eindruck, den das ruhende Auge von einem reflektierenden Objekt erhält, wenn dieses so rasch durch das beleuchtete Blickfeld bewegt wird, dass sein Bild im Innern des Auges gleichvielmal wie die Frequenz des Wechselstromes nebeneinander auf der Netzhaut entsteht. Die Beleuchtung des Objektes ist beim Wechselstromlicht keine kontinuierliche, wie beispielsweise beim Gleichstromlicht Fig. 3 und 13, sondern eine diskontinuierliche. Bewahrt der leuchtende Körper (Kohle, Glühfaden) in der Dunkel-Phase der Periode eine sichtbare Gluht, dann bricht der Lichtstrom nicht ganz ab. Die Diskontinuität zeigt sich dann lediglich in einem An- und Abschwellen der Lichtintensität, was auf den Photographien als ein mehr oder weniger starkes Hervortreten der radiären Streifung zu sehen ist.

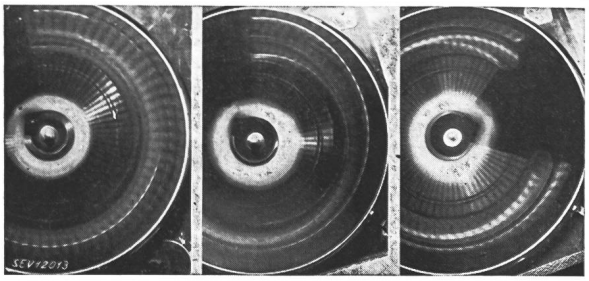

Fig. 21.
Die Diskontinuität verschiedener Lichter

a) Wechselstrom-Bogenlicht b) Philora-Mischlicht c) Leuchtstoff-Röhre 55a

Die stärkste Diskontinuität weist das Licht der Leuchtstoffröhre auf, das ja nicht von einem Glühfaden stammt, sondern von Hochspannungsentladungen in gasgefüllter Röhre. Wie bei Entladungsfunken an Leydnerflaschen entstehen hier kurz dauernde (vom Auge als Momentblitze empfundene) Lichtstösse in der Frequenz des Wechselstromes (100 Hell + 100 Dunkel pro Sek.). Die Eigenstrahlung der erregten Leuchtstoffschicht im Innern der Röhre besitzt nicht ausreichende Leuchtkraft, um die Dunkel-Phase der Perioden mit sichtbarem Licht zu überbrücken. Die Bilder Fig. 21a, b und c veranschaulichen deutlich die Art der Diskontinuität verschiedener Lichter: a) Bogenlicht-Wechselstrom, b) Philora-Mischlicht, und c) Leuchtstoffröhre.

Es ist mir bewusst, dass ich mit meinen Feststellungen von der Beobachtung *Hoeggers* [3]) auf Seite 95 seiner ausgezeichneten Arbeit abweiche, wo er schreibt: «Es hat sich auch gezeigt, dass der Flimmereffekt der Leuchtstoffröhren geringer ist als derjenige der reinen Gasentladungslampen infolge der Trägheit der Fluoreszenzschicht.» Die Abweichung ist jedoch nur eine scheinbare, weil ich bei meinen Versuchen das Licht der Leuchtstoffröhre allein verwendete, während Hoegger für seine Flimmeruntersuchung «Leuchtstoff- und Glüh-

[3]) D. Högger: «Das Flimmern bewegter Teile im Lichte diskontinuierlich betriebener Gasentladungslampen und seine Bedeutung bei der Beleuchtung von Fabrikräumen.» Bull. SEV 1944, Nr. 4, S. 90.

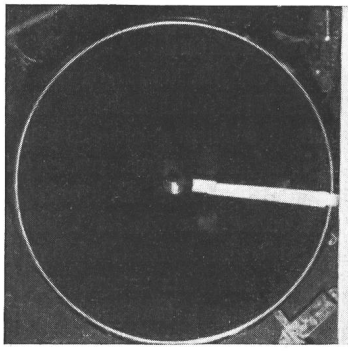

Fig. 2.
Ruhende Drehscheibe
Radiärer, diffus reflektierender Papierstreifen. Umdrehung pro Sekunde ca. 1,5 mal.

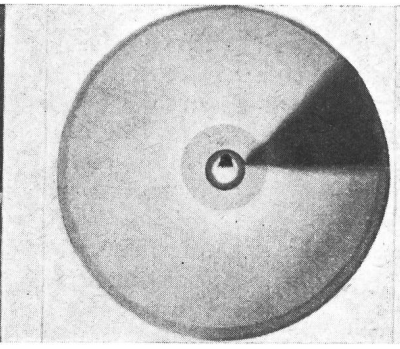

Fig. 3.
Gleichstrom-Bogenlicht
Ergibt gleichförmig weisse Fläche.

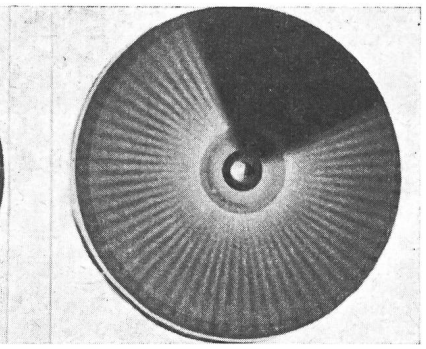

Fig. 4.
Wechselstrom-Bogenlicht
Deutliche Diskontinuität.

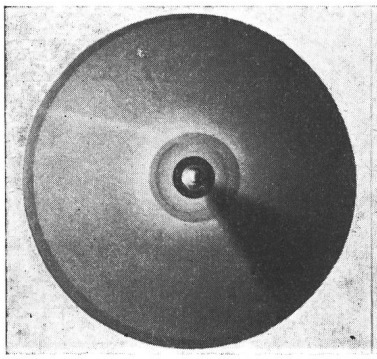

Fig. 5.
Das Licht der Kohlenfadenlampe
erzeugt eine kaum erkennbare radiäre Streifung.

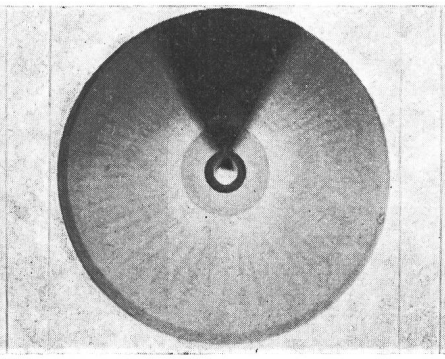

Fig. 6.
Arga-Lampenlicht
zeigt die Wechselstromperioden ohne Diskontinuität.

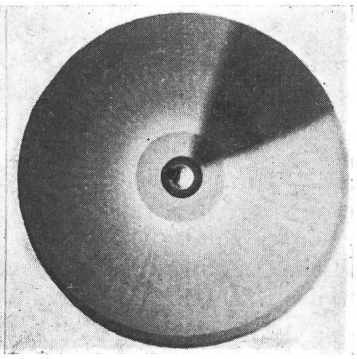

Fig. 7.
Licht der Tungsram-Kryptonlampe
Keine Diskontinuität.

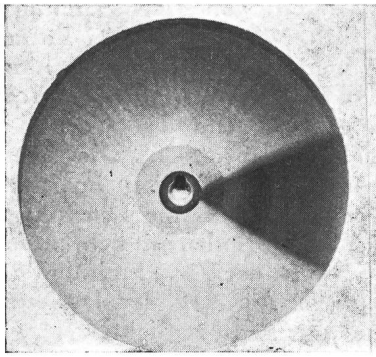

Fig. 8.
Licht der Philora
direkt nach dem Einschalten.

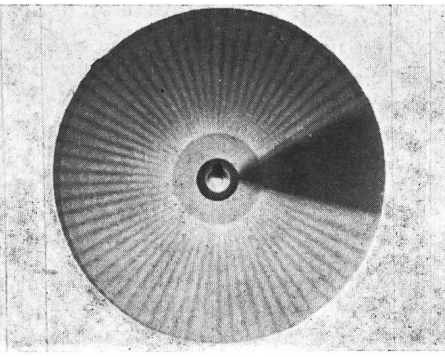

Fig. 9.
Philora
5 min nach dem Einschalten.

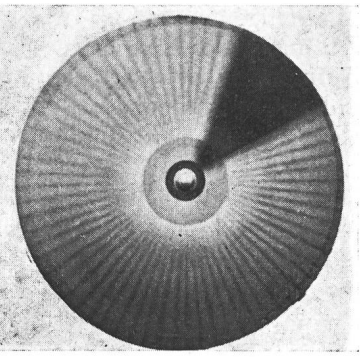

Fig. 10.
Philips Leuchtstoffröhre 55a

lampenlicht gleichzeitig» benützte. Das mitverwendete Glühlampenlicht hat dann das Dunkelintervall des Röhrenlichtes weniger deutlich hervortreten lassen.

Man kann *das Leuchten der Lichtquellen unter der Wirkung des Wechselstromes* noch anschaulicher darstellen, indem man die ruhende Lampe mit einer rotierenden Kamera photographiert, wie ich es in der Versuchsreihe 2 (Fig. 22...Fig. 33) gemacht habe. Die Kamera stand dabei auf einer horizontalen Drehscheibe. Während den Aufnahmen wurde der Arbeitsraum verdunkelt; nur die aufzunehmende Lichtquelle war eingeschaltet. Die Glühlampen (Kohlenfaden, Arga, Krypton, Philora ML und die horizontale Kohle der Bogenlampe) wurden mit ihrer Längsachse horizontal auf die optische Achse der Kamera eingerichtet. Auf der Mattscheibe des Apparates wurde das Bild des Glühfadens oder der Kohlenspitzen scharf eingestellt. Während der Umdrehung der Kamera (ca. 1,5 s) wurde der Verschluss kurz geöffnet, wenn sich das Objektiv der Lampe zuzuwenden begann.

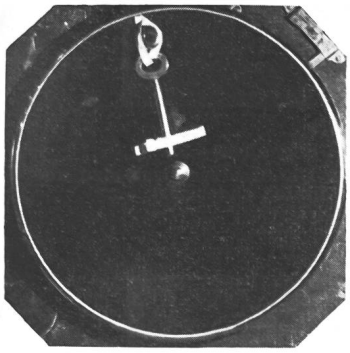

Fig. 12.
Ruhende Drehscheibe
Spiegelnde Reflexion an den Metallkanten des Schlüssels. Umdrehung ca. 1,5/s.

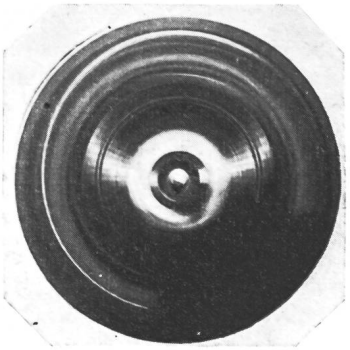

Fig. 13.
Gleichstrom-Bogenlicht
ergibt ein kontinuierliches Reflexbild.

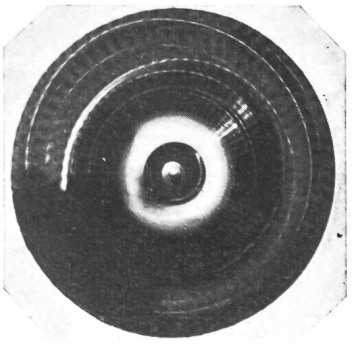

Fig. 14.
Wechselstrom-Bogenlicht
ergibt ein diskontinuierliches Reflexbild.

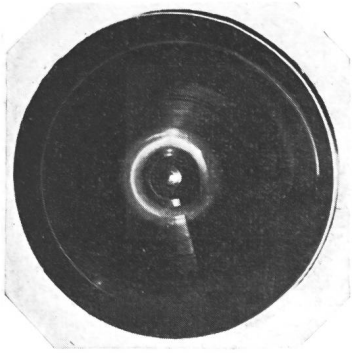

Fig. 15.
Kohlenfadenlampe
Aehnelt am meisten dem Gleichstromlicht.

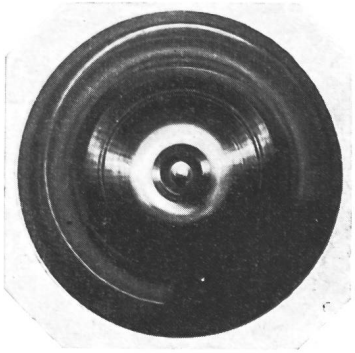

Fig. 16.
Arga-Lampenlicht
zeigt diskontinuierliche Reflexe.

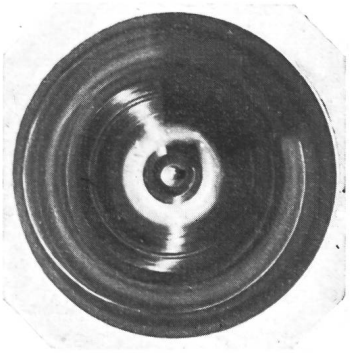

Fig. 17.
Tungsram-Krypton
leicht diskontinuierlich.

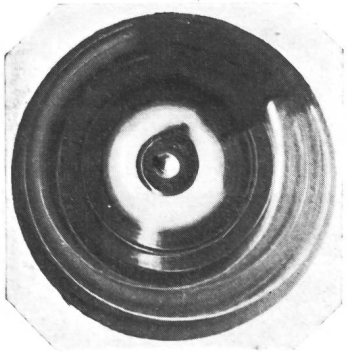

Fig. 18.
Licht der Philora
direkt nach dem Einschalten.

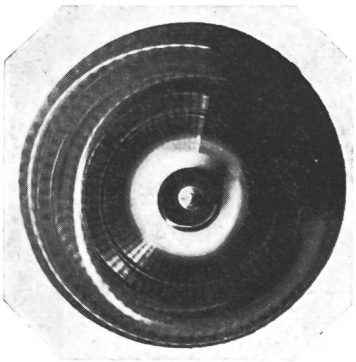

Fig. 19.
Philora
5 min nach dem Einschalten. Diskontinuität.

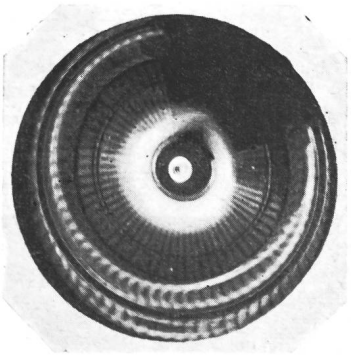

Fig. 20.
Leuchtstoffröhre
ausgeprägte Diskontinuität.

Bei dieser Anordnung wandern die Bilder der Lichtquellen auf der lichtempfindlichen Schicht, wo sie einen streifenförmigen Lichteindruck (Leuchtspur) hinterlassen (Fig. 22...33). Das Aussehen der Leuchtspuren ist für jede Lampe charakteristisch. Das einfachste Bild entsteht natürlich vom Licht der Gleichstrom-Bogenlampe (Fig. 22), es ist eine kontinuierliche Leuchtspur. Das Bogenlicht bei Wechselstrom (Fig. 23) lässt zwei feine, parallele Lichtlinien erkennen (die Leuchtspur der glühenden Kohlenspitzen), zwischen denen periodisch der helle Lichtbogen aufflammt. In Fig. 23 ist dieses Aufflammen viermal abgebildet; jedem Aufflammen folgt ein Erlöschen des Lichtbogens, was die ausgesprochene Diskontinuität der Leuchtspur schafft. Von der Kohlenfaden- und der Argalampe sind die Glühfäden in Fig. 24 und 26 gesondert abgebildet. Die Bilder 25 und 27 zeigen die Leuchtspuren dieser Lampen, wenn deren Bild über die Filmebene gleitet. Analog ist in den Fig. 28 und 29 die Kryptonlampe und deren Leuchtspur wiedergegeben.

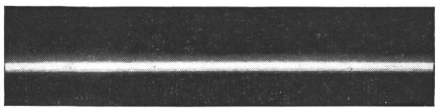

Fig. 22.
Gleichstrom-Bogenlicht
Rein kontinuierliche Leuchtspur.

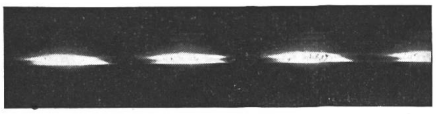

Fig. 23.
Wechselstrom-Bogenlicht
Diskontinuierliche Leuchtspur. Die Kohlenspitzen sind als zwei feine parallele Linien abgebildet.

Fig. 24.
Ansicht des Kohlenfadens
von der Spitze der Birne gesehen

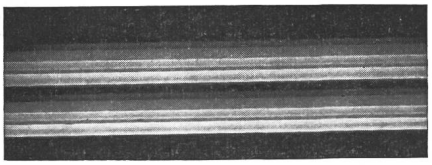

Fig. 25.
Zwei Leuchtspuren der Kohlenfadenlampe
Schwache Andeutung der Wechselstromperioden. Keine Diskontinuität.

Fig. 26.
Ansicht des Glühfadens der Philips-Arga-Lampe

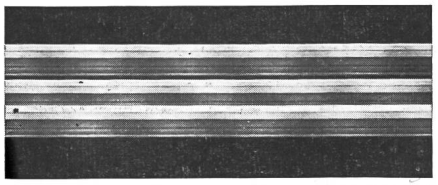

Fig. 27.
Drei Leuchtspuren der Argalampe
Die Dunkel-Phase der Periode ist pro Streifen fünfmal zu erkennen. Keine Diskontinuität.

Fig. 28.
Ansicht des Leuchtfeldes der matten Tungsram-Krypton-Lampe

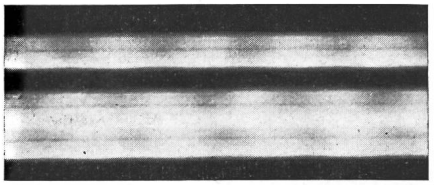

Fig. 29.
Drei Leuchtspuren der Kryptonlampe
Die Dunkel-Phasen sind ebenfalls als Perioden zu erkennen. Keine Diskontinuität.

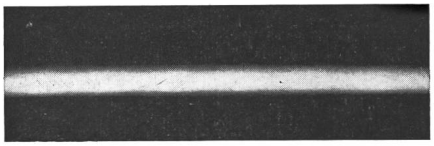

Fig. 30.
Philora-ML
Leuchtspur der Lampe unmittelbar nach Einschalten. Ganz leichte Andeutung der Wechselstromperioden (dunklere Stellen), sonst kontinuierliches Lichtband.

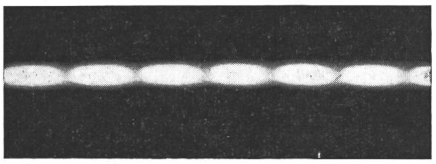

Fig. 31.
Philora-ML
Leuchtspur 1 Minute nach Einschalten. Die Perioden zeichnen sich schon deutlich ab, doch wird die Dunkel-Phase noch überbrückt.

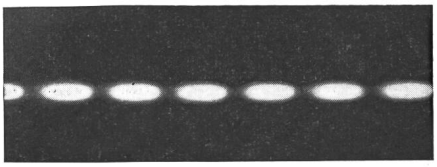

Fig. 32.
Philora-ML
Leuchtspur nach 5 Minuten Brenndauer. Diskontinuierlicher Lichtstrom mit nur andeutungsweiser Ueberbrückung der Dunkel-Phase.

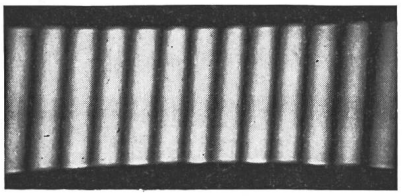

Fig. 33.
Philips-Leuchtstoffröhre 55a
Keine zusammenhängende Leuchtspur. Getrennte Bilder der Röhre während der Umdrehung der Kamera. Reine Diskontinuität. Abstand der Kamera 4 m.

Die Leuchtspur der Kohlenfadenlampe ähnelt von allen andern am meisten dem Gleichstromlicht, da die Trägheit der Kohlenfadenglut die Dunkel-Phasen der Perioden überbrückt. Dagegen erzeugen die Arga- und Kryptonlampe Leuchtspuren mit deutlich ausgeprägten Hell-Dunkel-Perioden. Immerhin ist bei beiden das Dunkel-Intervall durch ein Nachstrahlen des Leuchtkörpers soweit ausgefüllt, dass keine eigentliche Diskontinuität entsteht, sondern nur periodische Intensitätsschwankungen der Helligkeit.

Das Mischlicht der Philips-Philora-Lampe erzeugt die aufschlussreichen Bilder Fig. 30...32. Unmittelbar nach dem Einschalten (Fig. 30) macht das Philora-Licht eine fast kontinuierliche Leuchtspur; nach 1 min Brenndauer (Fig. 31) treten aber schon die periodischen Erhellungen hervor, unter sich jedoch noch durch starke Nachstrahlungen des Leuchtfadens verbunden. Nach 5 min ist das Maximum der spezifischen Lichtmischung erreicht; jetzt stehen die periodischen Lichtstösse (Fig. 32) fast ohne Verbindung nebeneinander.

Am ausgeprägtesten ist periodisches Leuchten und Erlöschen am Licht der Philips-Leuchtstoffröhre wahrzunehmen. Fig. 33 zeigt die nebeneinanderstehenden Bilder der photographierten Leuchtstoffröhre, durch die rasche Drehbewegung etwas verbreitert (Bewegungsunschärfe), aber doch deutlich voneinander getrennt durch ein unüberbrücktes Dunkel-Intervall. Bei dieser Lichtquelle handelt es sich um ein tatsächliches Erlöschen und Wiederaufflammen des Lichtes 100mal in der s.

Als eine Besonderheit der drei mir zur Verfügung gestellten Philips-Leuchtstoffröhren (Katalogbezeichnung 55a, 33a, 22a) erwähne ich, dass *das spektroskopische Bild* bei allen drei Röhren mir gleich erschien, obschon die ausgestrahlten Lichter für das Auge verschiedene Färbung zeigten. Vermutlich sind die spektroskopischen Charakteristika von der Gasfüllung allein abhängig, ohne dass sie von der Strahlung der erregten Leuchtstoffschicht merklich beeinflusst würden.

Auf eine andere Besonderheit am Licht der Leuchtstoffröhre stösst man beim Aufsuchen des stroboskopischen Effektes; auch *Hoegger* weist in seiner Arbeit darauf hin: *das Flimmern* rasch bewegter Objekte lässt sich auch dann noch nachweisen, wenn dem Licht der Entladungsröhre gewöhnliches Glühlampenlicht beigemischt wird. Ich konnte das Flimmern eines Gegenstandes im Leuchtstoffröhrenlicht dadurch auslöschen, dass ich ihn mit einem kondensierten Gleichstrom-Bogenlicht anstrahlte. Der Versuch gelang aber nur dann, wenn der Gegenstand das Licht in mein Auge spiegelte, nicht aber, wenn das Gleichstromlicht diffus darauflag.

Eine recht anschauliche Darstellung des Flimmerns bietet sich dem Beobachter, wenn jemand beim Licht der Leuchtstoffröhre mit glänzenden Nadeln strickt. Die Glanzlichter auf den Nadeln geben während den normalen Strickbewegungen ein deutliches Bild des Flimmerns.

Bei gleichförmiger Bewegung von Körpern, deren Bahn immer wieder in sich zurückmündet, geht das Flimmern in den sog. *stroboskopischen Effekt* (von strobeo, drehe, wirble) über, wenn die einzelnen Lichteindrücke so rasch aufeinanderfolgen, dass ihre Zahl pro s höher ist als die Verschmelzungsfrequenz der Netzhautbilder, die man mit durchschnittlich 20/s annehmen kann. *Während beim Flimmern keinerlei Irrtum möglich ist über die Art und Richtung, in der sich der flimmernde Gegenstand bewegt, führt der stroboskopische Effekt zu Richtungs- und Geschwindigkeitstäuschungen.*

Das besonders klare Hervortreten der stroboskopischen Wirkung im Licht der Leuchtstoffröhre (Entladungsfunken) muss betont werden. Praktische Bedeutung erlangt dieses Phänomen nur dort, wo der sichtbare Ablauf einer raschen, gleichförmigen Bewegung gleichsam verfälscht wird und dadurch Täuschung entsteht. Es gibt verschiedene Möglichkeiten, sich über eine Bewegung durch stroboskopische Wirkung täuschen zu lassen: das bewegte Objekt scheint stillzustehen, seine Bewegung scheint verlangsamt oder sie erscheint beschleunigt; die Verlangsamung und die Beschleunigung laufen gleichsinnig oder gegensinnig der tatsächlichen Bewegung.

Man kann die Entstehung der Bewegungstäuschung wohl kaum besser in Worten beschreiben, als es *H. v. Helmholtz* schon im Jahre 1866 [4]) in so klassischer Form getan, zu einer Zeit also, wo die elektrische Glühlampe noch nicht erfunden war und sich seine Beobachtungen auf die Lichtwirkung von Entladungsfunken von Induktionsapparaten stützten. Was *Helmholtz* erkannt hatte, hat auch heute noch in allen Teilen seiner Lehre Gültigkeit. Wo unsere heutigen Beobachtungen und Versuche angesetzt werden, handelt es sich wie damals um das Licht von Entladungsfunken. Um so unmittelbarer wirkt daher alles, was *Helmholtz* über die Synthese des Lichteindruckes und über die stroboskopische Bewegungstäuschung geschrieben hat. Aus dem klassischen Werke gebe ich die Stellen wieder, die auf unser Thema Bezug haben:

betr. Flimmern:

«Wenn sich eine Reihe von elektrischen Funken in sehr kleinen Zwischenzeiten folgt, so erscheinen ruhende Körper bei dieser Beleuchtung ganz so, wie bei kontinuierlichem Lichte, bewegte Körper aber erscheinen mehrfach. Jeder einzelne Funke zeigt nämlich den bewegten Körper in der Lage, die er in dem betreffenden Augenblick einnimmt, und da alle diese Eindrücke einen Augenblick dauern, so sind sie alle gleichzeitig vorhanden und lassen den bewegten Körper als mehrfach vorhanden erscheinen.»

betr. stroboskopischer Wirkung:

«Wenn ein bewegter Körper, den wir bei intermittierendem Lichte betrachten, eine in sich zurücklaufende Bahn beschreibt, und zur Zeit jedes Aufblitzens genau an derselben Stelle sich befindet, so erscheint er einfach und stillstehend ... wenn z. B. ein Wasserstrahl, der sich in Tropfen auflöst, so beleuchtet wird, dass im Moment der Beleuchtung ein neuer

[4]) Handbuch der physiologischen Optik. 3. Aufl. Bd. 2, S. 178.

Tropfen immer wieder genau an derselben Stelle ist, so sieht der Beobachter den Strahl in stillstehende Tropfen aufgelöst. Dies geschieht, wenn die Periode der Beleuchtung genau gleich ist der Periode der Tropfenbildung oder einem Multiplum derselben. Fällt die Periode der Beleuchtung nicht genau zusammen mit der Periode der Tropfenbildung oder einem Multiplum derselben, sondern ist jene ein Weniges länger, so tritt eine scheinbare langsame Bewegung der Tropfen ein, welche die wirkliche Bewegung nachahmt, aber mit sehr verringerter Geschwindigkeit. Es werden dann von den folgenden Funken nicht genau dieselben Phasen der Tropfenbildung beleuchtet, wie von dem ersten, sondern immer weiter fortgeschrittene Zustände der folgenden Perioden dieser veränderlichen Erscheinung. Ist die Periode der Beleuchtung dagegen etwas kürzer als die Periode der Tropfenbildung oder ein Multiplum derselben, so sieht der Beobachter die Erscheinung rückwärts vorsichgehen. Die Tropfen steigen zum Strahle hinauf und gehen in diesen über.»

Man muss sich darüber im klaren sein, dass die stroboskopische Bewegungstäuschung im Umgang mit Maschinen von grosser Bedeutung ist. Davon kann man sich leicht überzeugen, wenn man einen gewöhnlichen vierflügligen Tischventilator im Licht einer Leuchtstoffröhre laufen lässt und dabei die Umdrehungsgeschwindigkeit langsam steigert und abfallen lässt. Es ändert sich dabei mit jeder Aenderung der Drehzahl die Art der Bewegungstäuschung.

Dass gerade bei der Leuchtstoffröhre das Flimmern und der stroboskopische Effekt stärker als bei andern Lichtquellen auftritt, liegt in der ausserordentlichen Kürze der Entladungszeit der Funken. Zwischen jedem der 100 Lichtblitze in der s liegt ein Dunkelintervall von einer so grossen relativen Breite, dass es sich photographieren lässt. Dieser Umstand gibt dem Entladungsröhrenlicht seinen hervorstechendsten Charakter. Das Dunkelintervall ist nur noch im Wechselstrom-Bogenlicht und bei der Philoralampe ohne weiteres nachweisbar. Im Bogenlicht nimmt aber das Leuchtintervall einen wesentlich breiteren Raum ein, während im Mischlicht der Philora zwischen den Lichtblitzen aus dem Hg-Dampf das Nachleuchten des Glühfadens kein völliges Erlöschen im Dunkelintervall aufkommen lässt.

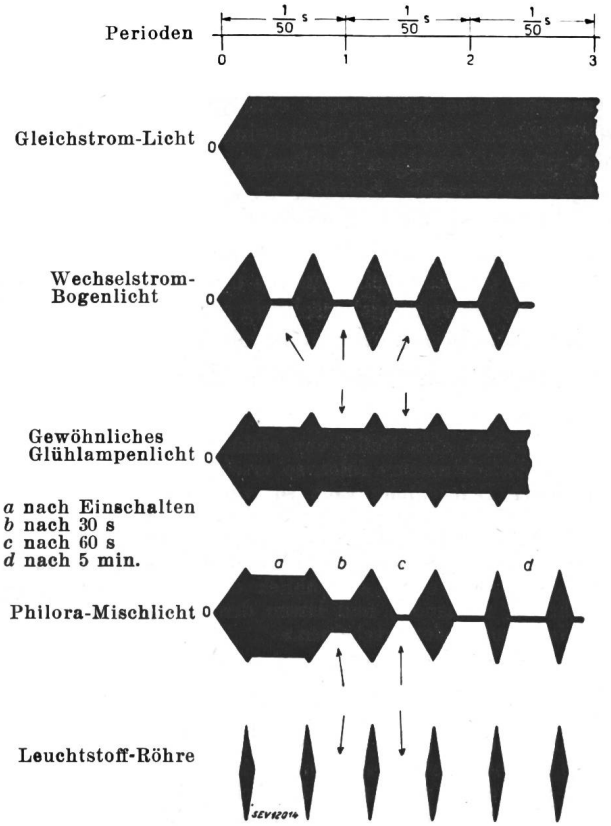

Fig. 34.
Zeitlicher Ablauf der Hell-Dunkel-Intervalle der Versuchslichter
Die Pfeile zeigen auf die Dunkelintervalle.

Ich habe in Fig. 34 das Verhältnis der Hell-Dunkel-Intervalle im zeitlichen Ablauf der Wechselstromperioden meiner Versuchslichter wiederzugeben versucht, was aber keinerlei Anspruch auf mathematische oder physikalische Genauigkeit hat, sondern lediglich eine sensorische Charakterisierung sein will. Vor allem sind darin die relativen Lichtintensitäten nicht wiedergegeben, sondern für alle Lichter gleich hoch angenommen. Wichtiger schien mir, das Charakteristische im Verhältnis der Breiten von Hell- und Dunkel-Intervall darzustellen, als ein Ergebnis der Lichtbilder mit der rotierenden Kamera.

Besprechung des Ergebnisses

Betrachte ich das Ergebnis meiner Versuche, so kann ich sagen, ich habe einige wichtige Eigenschaften der neuen Lichter kennen gelernt, mit denen sie erheblich vom Lichte der bisher gebräuchlichen Lampen abweichen: die absolute Diskontinuität der Strahlung mit den damit verbundenen physiologischen Reaktionen (Flimmern, stroboskopische Täuschung) und die spektroskopische Eigenart der Strahlenmischung. Das starke Hervortreten einiger weitauseinanderliegenden Linien im Spektrum kommt wohl nur bei der Beschäftigung mit farbigen Objekten als mögliche Erschwerung des Sehens in Frage, und hier nur bei solchen Personen, deren Refraktion dank eines grossen Winkels γ dem Zustandekommen der Farbenstereoskopie Vorschub leistet.

Vergleicht man die Lichtwirkung der geprüften Lampen mit einfachen mechanischen Vorgängen, dann darf man sagen, das Gleichstromlicht berührt die Netzhaut mit gleichförmigem Druck, ein Wechselstrom-Glühlampenlicht ebenso, aber verbunden mit kaum merkbarem Vibrieren, das Licht der Entladungsröhre dagegen führt spitze Stiche, die sich als periodische Einzeleindrücke zeitlich aneinanderreihen.

Ich neige zur Ansicht, dass die rasche Folge getrennter, unendlich kurzer, aber intensiver Lichtreizungen der Netzhaut, bei denen das Dunkelintervall ein Mehrfaches der Phase Helligkeit beträgt, als ein sensorischer Reiz angesehen werden muss, dessen Eigenart bei dazu geeigneten Personen jenes Gefühl von Unbehagen auszulösen imstande ist, das die Leute mit den landläufigen Gefühlsbezeichnun-

gen nicht beschreiben können. Das Sehorgan verfügt über keinerlei kompensatorische Einrichtung zur Aufhebung des Flimmergefühls oder zur Reversion einer stroboskopischen Täuschung; es ist diesen Sinneseindrücken wehrlos ausgesetzt. Angesichts der Verschiedenartigkeit der menschlichen Reaktionsweise ist es verständlich, dass es Leute gibt, denen diese Eindrücke Beschwerden machen.

Bei allen statistischen Zusammenfassungen biologischer Reaktionen beim Menschen sieht man eine Häufung und eine Streuung der untersuchten Personenzahlen. Das gleiche gilt für das Sehorgan, wenn es sich darum handelt, die Einwirkung einer neuen Beleuchtung zu registrieren. In der Streuung der Personenzahlen wird man diejenigen unterzubringen haben, die sich durch die Eigenart der diskontinuierlichen Beleuchtung in der Arbeit behindert oder sonstwie belästigt fühlen, während in der zahlenmässigen Häufung die grosse Mehrheit derjenigen enthalten ist, die keinerlei Anstoss am neuen Lichte nimmt.

Sollte es der Technik gelingen, bei der diskontinuierlichen Beleuchtung das absolute Dunkelintervall in ein relatives, wie bei der Glühlampe, zu verwandeln, oder es ganz zu beseitigen, dann wären damit die praktisch wichtigen Mängel behoben.

Calcul du courant de charge dans une ligne triphasée à disposition dissymétrique

Par *P. Lambossy*, Fribourg

621.3.014.1:621.315.1

Lorsque les conducteurs d'une ligne triphasée occupent les sommets d'un triangle quelconque, il circule dans chacun de ces conducteurs, la ligne étant sous tension, des courants de charge différents. L'objet du présent article est de préciser la notion de «capacité par fil de phase», d'établir des formules complètes pour cette capacité et aussi pour le courant de charge dans chaque fil. Des exemples numériques montrent cependant que, si l'on ne cherche pas une grande précision, des formules plus simples permettent de calculer le courant moyen de charge, avec une exactitude satisfaisante.

Haben die Leiter einer unter Spannung stehenden Drehstromfreileitung gegenseitig ungleiche Abstände, so fliessen in ihnen verschieden grosse Ladeströme. Der vorliegende Artikel hat den Zweck, den Begriff der «Kapazität pro Phase» zu präzisieren, und dann für diese Kapazität sowie für den in jedem Leiter fliessenden Ladestrom vollständige Formeln aufzustellen. Numerische Beispiele zeigen jedoch, dass man, wenn nicht grosse Genauigkeit gewünscht wird, den mittleren Ladestrom mit einfacheren Formeln berechnen kann.

1° Introduction

Lorsqu'une ligne triphasée est sous tension, mais ouverte, il circule cependant dans chacun des trois conducteurs un courant alternatif, appelé *courant de charge*, qui se ferme dans l'espace entourant les conducteurs. Le problème est particulièrement simple dans le cas d'une ligne symétrique, c'est-à-dire dont les trois conducteurs occupent les sommets d'un triangle équilatéral, l'influence de la terre étant négligée. Tout revient, en effet, à calculer la capacité par fil, et l'on établit pour cette capacité C la formule suivante:

$$C = \frac{0{,}02413\, l}{\log \frac{a}{r}}\, 10^{-6}\ \mathrm{F} \qquad (1)$$

r est le rayon de chacun des fils, a leur distance mutuelle; l est la longueur de la ligne évaluée en km.

Si maintenant U est la tension composée, U_0 la tension simple, I le courant de charge, on a

$$U_0 = \frac{U}{\sqrt{3}}; \quad I = C\,\omega\, U_0.$$

Le cas d'une ligne triphasée dissymétrique, c'est-à-dire dont les trois conducteurs occupent les sommets d'un triangle quelconque, est plus difficile à traiter. On arrive à ce résultat que les trois fils sont parcourus par des courants de charge différents, à supposer toujours que les trois tensions entre fils soient rigoureusement triphasées.

Il est facile de poser les équations du problème, même en tenant compte de l'influence de la terre — ce sont trois équations, dites équations de Maxwell — mais les calculs subséquents deviennent inextricables, et il semble impossible d'en tirer des formules pratiques maniables. Les auteurs qui se sont occupés de la question ont été, en conséquence, contraints de négliger certains termes très petits, et sont arrivés à des formules approximatives pour la capacité d'un fil d'une ligne triphasée [1]).

Je me propose de reprendre ce problème, sans me permettre les approximations dont j'ai parlé, mais par une voie nouvelle, et l'on constatera que les calculs à aucun moment ne cessent d'être symétriques et que les formules finales n'ont pas la complication attendue.

2° Observations sur la définition de la capacité

Il est utile tout d'abord de rappeler quelques définitions ou formules connues, pour mettre un peu de clarté dans le sujet, mais principalement parce que ce qu'on appelle *capacité d'un fil* dans une ligne triphasée n'est pas une *capacité* dans le sens classique de ce mot.

Le terme *capacité* a une définition nette seulement dans le cas d'un conducteur seul dans l'espace,

[1]) Consulter sur ce sujet: Induktion und Kapazität von Leitungen, von *J. Fischer-Hinnen*; Bull. ASE 1917, No. 12, p. 347—365. — Résumé pratique du calcul électrique des transmissions d'énergie à haute tension par l'emploi d'abaques; par *A. Blondel* et *Ch. Lavanchy*, Rev. gén. Electr. 1923, t. II, p. 792—795.