

Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins
Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke
Band: 27 (1936)
Heft: 14

Rubrik: Ueber das Gasentladungslicht : die charakteristischen Eigenschaften des elektrischen Entladungslichtes in physikalischer, physiologischer und psychologischer Hinsicht und die hieraus resultierenden Folgerungen

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>

dem Kopf gegen einen blanken Kontaktteil stiess und infolge der Einwirkung des Stromes zu Boden fiel. Er wurde einige Zeit nachher, am Boden der Aufzugskabine liegend, leblos aufgefunden. — Unter den weitem Unfällen, die Drittpersonen in Hausinstallationen zustiessen, sind folgende bemerkenswert. Der Sohn eines Gasthausbesitzers erlitt den Tod, als er in einem Keller ein Bierfass anstechen und an die Pression anschliessen wollte. Auf der metallenen Büfettplatte des Restaurants befand sich eine elektrische Kaffeemaschine mit defekter Zuleitungsschnur. Durch eine mangelhaft isolierte Drahtstelle gelangte die ganze Büfettplatte und gleichzeitig die Bierpressionsanlage unter 220 Volt Spannung gegen Erde. Der Wirtsohn erfasste beim Anstechen des Bierfasses, ahnungslos auf dem nassen Kellerboden stehend, die metallene, spannungsführende Pressionsleitung und erlag der Einwirkung des elektrischen Stromes. — Die Statistik verzeichnet ferner einen tödlichen Unfall an einem elektrischen Bügeleisen, von dem eine Haustochter in einer Wohnstube mit Holzboden betroffen wurde. Der Vorfall gelangte erst einige Tage später zur Kenntnis des Starkstrominspektorates und konnte nicht mehr einwandfrei abgeklärt werden. Wahrscheinlich geriet infolge Bruches einer Zuleitungsader in der Anschlußsteckdose des Bügeleisens dessen Mantel mit einem Pol und das metallene Schutzschlauchstück an der Steckdose mit dem andern Pol in Verbindung, wodurch sich die Verunfallte einer Spannung von 220 V aussetzte, als sie zufällig das Bügeleisen und den Metallschlauch zu gleicher Zeit berührte. — Zum Schluss sei noch der tödliche Unfall einer Hausfrau im Bade erwähnt, bei dem nur eine Spannung von 125 V wirk-

sam war und der einer besonderen Verkettung von Umständen zuzuschreiben ist. Die Frau hatte zur Erwärmung des Badzimmers einen elektrischen Strahlerofen mit metallischem Fuss in die Waschkübel gestellt. Aus unabgeklärter Ursache hatte sich das Schutzgitter des Strahlerofens gelöst und lag mit der einen Hälfte so im Innern des Ofens, dass es zwischen der Heizkörperwicklung und dem Reflektor eingeklemmt war. Auf diese Weise übertrug sich beim Einstecken des Steckers die Netzspannung vom Heizkörper auf den Strahler und von diesem auf den Bleirohrablauf der Waschkübel, der mit dem Bleirohrablauf der Badwanne metallisch verbunden war, weil beide Bleirohre sich gegenseitig berührten, ohne aber im weitem Verlauf mit dem gemeinsamen Abfallrohr eine direkte metallische Verbindung zu besitzen. So gelangte die ganze Badwanne, insbesondere auch die Kette des Verschlusspfropfens für den Wasserablauf der Wanne, unter Spannung. Als die Frau in der noch leeren, aber auf die erwähnte Weise unter einer Spannung von ca. 125 V gegen Erde stehenden Badwanne sass und einen Wasserhahn ergriff, um die Duschereinrichtung zu betätigen, wobei sie mit dem Rücken gegen die Kette des Verschlusspfropfens lehnte, stellte sie durch ihren Körper eine leitende Verbindung von der Badwanne zur Wasserleitung und damit zur Erde her. Verschiedene schwere Unfälle, die sich in den letzten Jahren in Badzimmern ereignet haben, lassen erkennen, dass offenbar die besondere Gefahr, die mit der Verwendung von beweglichen elektrischen Apparaten an solchen Orten verbunden ist, noch nicht überall richtig eingeschätzt und beachtet wird.

Ueber das Gasentladungslicht.

Die charakteristischen Eigenschaften des elektrischen Entladungslichtes in physikalischer, physiologischer und psychologischer Hinsicht und die hieraus resultierenden Folgerungen.

Bericht über den 13. akademischen Diskussionsvortrag an der Eidg. Techn. Hochschule, abgehalten am 22. Februar 1936.

621.327

Einleitung.

Unter dem Vorsitz von Herrn Prof. Dr. B. Bauer fand am 22. Februar 1936 eine von der Elektrotechnischen Abteilung der Eidg. Techn. Hochschule in Zürich veranstaltete Diskussionsversammlung statt, an der das aktuelle Thema «Gasentladungslicht» in beleuchtungstechnischer und wirtschaftlicher Hinsicht eingehend behandelt wurde. Wir veröffentlichen in dieser und einer nächsten Nummer die Hauptvorträge, welche von Vertretern der beiden grossen, auf diesem Gebiet führenden Konzerne, der Philips-Gesellschaft und der Osram-Werke, gehalten wurden, und die Diskussion.

Der Vorsitzende, Herr Prof. Dr. B. Bauer, wies einleitend auf die grosse Bedeutung des Problems

für die Elektrizitätswirtschaft hin. Die schweizerische Elektrizitätswirtschaft hat besonders Ursache, die Frage des Gasentladungslichtes eingehend zu verfolgen, steht sie doch in bezug auf den Elektrizitätskonsum der Haushalt- und öffentlichen Beleuchtung mit 47 kWh pro Einwohner und Jahr ziemlich an der Spitze¹⁾. (Das europäische Mittel mag bei etwa 20 kWh pro Einwohner und Jahr liegen.) Nach Statistik des VSE²⁾, welche für 3,5 von den 4,1 Millionen Einwohnern gilt, wird in der Schweiz für die Haushaltbeleuchtung etwa 25 %

¹⁾ Vgl. «Der Lichtverbrauch Europas», von Bruno Seeger, Bull. SEV 1935, Nr. 24, S. 698.

²⁾ Bull. SEV 1935, Nr. 23, S. 633.

($148 \cdot 10^6$ kWh) der gesamten an die Haushaltungen abgegebenen Elektrizität ($597 \cdot 10^6$ kWh) aufgewendet, während die daraus resultierenden Einnahmen 67 % (56,6 Millionen Fr.) der gesamten Einnahmen (84 Millionen Fr.) betragen.

Nach Schätzung des Vorsitzenden beträgt der Verbrauch für die private und öffentliche Beleuchtung in der Schweiz rund $200 \cdot 10^6$ kWh (= rund 8 % des gesamten Energieverkaufs). Davon werden, nach Schätzung von J. Guanter³⁾, $53 \cdot 10^6$ kWh für die öffentliche Beleuchtung aufgewendet. Rechnet man alle Elektrizität, welche den Werken gratis oder fast gratis für die Beleuchtung der Strasse und der öffentlichen Gebäude abgegeben wird, zu normalem Preis, so ergibt sich wohl ein

³⁾ Bull. SEV 1935, Nr. 4, S. 104.

Wert der jährlich in der Schweiz für Beleuchtungszwecke abgegebenen Elektrizität von gegen 80 Millionen Fr. Es ist leicht abzuschätzen, wie sich die Finanzlage der Elektrizitätswerke gestalten würde, wenn es gelänge, die für die elektrische Beleuchtung nötige Energie zufolge Verbesserung des Wirkungsgrades der Lichtquellen auf die Hälfte oder gar auf einen Drittel des heutigen Bedarfes zu senken. Man darf z. Zt. allerdings annehmen, dass in der nächsten Zukunft das Gasentladungslicht vorerst mehr für die Strassenbeleuchtung Interesse bietet; man muss aber klugerweise rechtzeitig voraussetzen, dass vielleicht im Laufe der kommenden Dezennien diese Neuerung auch die Haushalt- und gewerbliche Beleuchtung durchdringen wird, und sich überlegen, wie sich die Verhältnisse dann gestalten werden.

Erstes Hauptreferat

gehalten von Herrn Prof. Ir. G. B. Van de Werfhorst, Universität Utrecht.

Es werden die Eigentümlichkeiten der Gasentladungslampen in physikalischer Hinsicht (grosse Lichtausbeute, Linienspektrum, grosse Leuchtdichte) und in physiologischer Hinsicht (Sehen beim farbigen Licht: Tages- und Nacht-Kurve, Kontrastwirkung) besprochen. Es wird gezeigt, dass sich diese Lampen in hervorragender Weise für die Strassenbeleuchtung eignen, und zwar das Natriumlicht für Automobil-Überlandstrassen, das Quecksilberlicht für die Verbindungsstrassen von Stadtgrenze zum Zentrum und die Mischung von Quecksilber- und Glüh-Licht für die Hauptstrassen in der Stadtmitte. Eine weitere, besonders interessante Anwendung ist das Signalwesen.

Ein Abschnitt ist der Ueberhochdruck-Quecksilberlampe von Elenbaas und Bol gewidmet. Es werden die bisherigen Versuchstypen beschrieben, von denen ein wassergekühlter Typ eine Leuchtdichte von $170\,000$ int. K pro cm^2 erreicht. Das Interessanteste an diesen Lampen ist, dass sie bei genügend hohem Spannungsgradienten der Entladung ein kontinuierliches Spektrum erzeugen, dem das normale Linienspektrum des Quecksilberdampfes überlagert ist.

Schliesslich wird noch die Wirkung des Lichtes auf den Menschen und die Bewertung der Lichtqualität und der aufgewendeten Energie an einem Beispiel dargestellt. Der Referent steht auf dem Standpunkt, dass jede bessere Ausnützung der Energie eine Steigerung des Energieverbrauches zur Folge hat.

Zunächst möchte ich mich mit der Tatsache befassen, dass, sobald man über «Licht» spricht, man gleichzeitig auch schon das physiologische Element nennt. Denn was ist «Licht», was versteht man unter «Licht»? Es ist allgemein bekannt, dass Licht eine elektromagnetische Strahlung ist, und zwar nur der Teil aus dem Gesamtgebiet dieser Strahlung, für den das menschliche Auge visuell empfindlich ist. Es ist die Strahlung, deren Wellenlängen etwa zwischen 3700 \AA und 7300 \AA liegen¹⁾. Unterhalb 3700 \AA liegt die ultraviolette Strahlung, oberhalb 7300 \AA die infrarote; diese Strahlungen sieht man nicht. Die Energie der sichtbaren Strahlung kann man, wie jede andere physikalische Grösse, in CGS-

¹⁾ $\text{\AA} = \text{Angström} = \frac{1}{10} \text{ m}\mu = 10^{-4} \mu = 10^{-8} \text{ cm}$.

L'auteur expose les particularités des lampes à décharge en atmosphère gazeuse, celles d'ordre physique (coefficient d'efficacité et brillance élevés, spectre discontinu) et celles d'ordre physiologique (vision à la lumière colorée: courbe de jour et courbe de nuit, effet de contraste). Il montre que ces lampes se prêtent remarquablement bien à l'éclairage des routes, la lumière du sodium convenant plus particulièrement aux artères interurbaines à trafic automobile, la lumière du mercure aux voies de communication reliant le centre des villes à la banlieue, le mélange enfin de lumière au mercure et de lumière par incandescence étant préférable pour l'éclairage des rues principales, en pleine ville. La signalisation ouvre un autre champ d'application intéressant à ces nouvelles sources de lumière.

Un chapitre est consacré à la lampe à vapeur de mercure à suppression d'Elenbaas et Bol. L'auteur décrit les types de lampes ayant servi jusqu'ici aux expériences, dont l'un, à refroidissement par circulation d'eau, atteint la brillance énorme de $170\,000$ bougies internationales par cm^2 . Ces lampes ont surtout ceci de remarquable que, lors de décharges sous un gradient de potentiel suffisamment élevé, elles émettent un spectre continu, auquel se superpose le spectre discontinu de la vapeur de mercure.

Enfin, l'auteur montre par un exemple l'effet de l'éclairage sur le spectateur et toute la valeur qu'il convient d'attribuer à la qualité de la lumière. Il est d'avis que toute utilisation meilleure de l'énergie aura pour corollaire un accroissement de la consommation d'énergie.

Einheiten messen. Damit ist aber noch kein Licht gemessen. Licht ist nämlich das, was man sieht, dasjenige also, was u. a. durch die Lichtempfindlichkeit des Auges bestimmt wird, also eine physiologische, keine physikalische Grösse.

Wird im gesamten Gebiet von 3700 \AA bis 7300 \AA in allen Wellenlängen eine gleiche Energiemenge als Strahlung ausgesandt, so zeigt sich, dass das Auge diese Strahlung keineswegs als eine in allen Wellenlängen gleiche Lichtmenge empfindet. Das Auge ist für Strahlung der einen Wellenlänge viel empfindlicher als für Strahlung einer andern Wellenlänge, und zwar verläuft die Empfindlichkeit etwa gemäss der Kurve *T* der Fig. 1. Am empfindlichsten ist es für Licht der Wellenlänge von ungefähr 5550 \AA ; dies

ist eine Art gelb-grünes Licht. Für grössere sowohl, als auch für kleinere Wellenlängen nimmt die Empfindlichkeit ab, für ein Rot von beispielsweise 6500 Å oder für ein Blau von etwa 4750 Å ist die Empfindlichkeit bis auf $\frac{1}{10}$ ihres Höchstwertes gesunken. Man muss also bei rotem Licht von 6500 Å oder bei blauem Licht von 4750 Å zehnmal soviel Leistung (zehnmal soviel Watt) aufwenden als mit gelbgrünem Licht von 5550 Å, um den gleich starken Lichteindruck zu erhalten²⁾. Diese physiologische Grundlage alles dessen, was mit dem Licht zusammenhängt, wird recht häufig ausser acht gelassen. Für das Gasentladungslicht wird sie sich als höchst bedeutungsvoll erweisen.

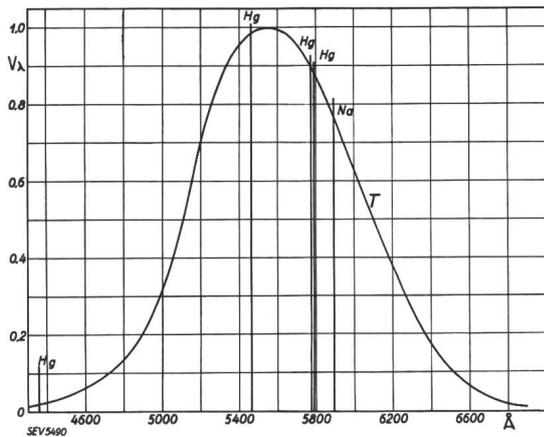


Fig. 1.

Internationale Augenempfindlichkeitskurve für relativ grosse Helligkeit (Tageskurve T).

Eine zweite Vorbemerkung betrifft die Energie-wirtschaft, und zwar die Verteilung der für die Beleuchtung benutzten elektrischen Energie. Denn erst wenn man diese Verteilung kennt, kann man sich ein Urteil über den Einfluss bilden, den die breitere Anwendung der Gasentladungslampen haben kann.

Die Verteilung der für die Beleuchtung benutzten elektrischen Energie auf die verschiedenen Anwendungsgebiete sieht etwa folgendermassen aus:

| | |
|---|------|
| Wohnhäuser | 40 % |
| Schauenster, Läden | 13 % |
| Grossindustrie, Hafengebäude mit eingerechnet | 9 % |
| Kleinindustrie | 4 % |
| Oeffentliche Gebäude, Kirchen, Schulen, Spitäler | 8 % |
| Theater, Kinos, Hotels, Restaurants | 12 % |
| Strassenbeleuchtung | 11 % |
| Verschiedenes (Bahnhöfe, Elektrizitätswerke, Strassenbahnen usw.) | 3 % |

²⁾ Es sei daran erinnert, dass «Lichtstärke», «Lichtstrom», «Beleuchtungsstärke» für sämtliche Lichtquellen alle auf dieser Erwägung beruhen. Die Kurve T in Fig. 1 wurde durch die «Commission Internationale de l'Eclairage» in Genf (1924) international festgelegt.

Vergl. die Broschüre «Die bisherigen Arbeiten der Internationalen Beleuchtungskommission», herausgegeben vom Comité Suisse de l'Eclairage (1932), die vom Generalsekretariat des SEV und VSE, Seefeldstrasse 301, Zürich 8, bezogen werden kann. Preis Fr. 1.—

Diese Einteilung beruht auf genau ausgearbeiteten Unterlagen über die Stadt *Amsterdam* in normalen Zeiten (1927—1931), und zwar gilt sie für normales Glühlampenlicht. Diese Zahlen können als gute durchschnittliche Grundlage gelten, weil Amsterdam selbst in dieser Beziehung ein sehr guter Durchschnitt ist, u. a. aus folgenden Gründen: Amsterdam hat einschliesslich des Hafenbetriebes eine ziemlich grosse Industrie, ohne eine ausgesprochene Industriestadt zu sein; sie ist ebensowenig eine reine Hafenstadt. Amsterdam hat eine gute Strassenbeleuchtung, aber nicht eine besonders gute. Wenn man für diese Aufstellung Oslo oder Zürich angenommen hätte, Städte, die vielleicht die bestbeleuchteten der Welt sind, so hätte sich ein falsches Bild ergeben, ebenso, allerdings in der entgegengesetzten Richtung, wenn man London genommen hätte, weil die dortige Strassenbeleuchtung noch zu 60 % aus Gaslicht besteht. Und schliesslich erlaubt die Art der Energiemessung von Amsterdam die Trennung des Lichtverbrauches vom Kraftverbrauch, auch in den Wohnhäusern.

Die Bedeutung der Anwendung einer neuen, sehr «sparsamen» Lichtquelle richtet sich nach der Bedeutung des jeweiligen Anwendungsgebietes. Dies ist bei den folgenden Betrachtungen gebührend zu berücksichtigen.

A. Physikalische Eigenschaften.

Es sei nun zunächst auf die Eigenschaften der Gasentladungslampen hingewiesen, die in *physikalischer Hinsicht* von Bedeutung sind.

Zunächst besitzen diese Lampen eine bessere Lichtausbeute. Es gibt dafür ungefähr folgenden Vergleich:

| | |
|---------------------|------------------------------------|
| Kohlenfadenlampen | 3 Lumen/Watt |
| Normale Glühlampen | 13 bis 15 Lumen/Watt |
| Gasentladungslampen | 30 bis 80 Lumen/Watt ³⁾ |

Weiter sei darauf aufmerksam gemacht, dass im allgemeinen das Licht der Gasentladungslampe kein kontinuierliches Spektrum aufweist, was beim Sonnenlicht, Gaslicht und Glühlampenlicht wohl der Fall ist. Licht kontinuierlichen Spektrums enthält also in seinem Strahlungsgebiet Strahlungen *aller* Wellenlängen; es ist aus violetterm, blauem, grünem, gelbem, orangefarbigem und rotem Licht (mit allen Zwischenfarben) zusammengesetzt u. wirkt «weiss». Im Gegensatz dazu hat die Gasentladungslampe die Eigenschaft, dass sie nur in einigen bestimmten Wellenlängen Licht aussendet, die Natriumlampe in gelb-orange, die Quecksilberlampe in gelb, grün und blau⁴⁾ (Fig. 1).

Man nennt einen Gegenstand rot oder blau oder grün, wenn dieser Gegenstand von dem auf ihn fallenden Licht nur die roten oder nur die blauen oder nur die grünen Strahlen zurückwirft, alle anderen

³⁾ Eigentlich beruhen schon diese Angaben auf der physiologischen Erwägung, weil der Lichtstrom (Lumen) eine physiologische Grösse ist.

⁴⁾ Die Natriumlampe strahlt in den Wellenlängen 5890 und 5896 Å, die so eng zusammenliegen, dass man sie als *eine* Farbe empfindet (orange). Die (Hochdruck-)Quecksilberlampe strahlt in folgenden Wellenlängen:

| | |
|------------------------|-----------|
| 5770 und 5790 Å (gelb) | etwa 47 % |
| 5461 Å (grün) | „ 52 % |
| 4358 Å (blau) | „ 1 % |

(blau, 1 %, zusammen mit 4047 und 4070 Å).

Strahlen dagegen absorbiert *). Bei der Beleuchtung mit Gasentladungslampen wird die Rückstrahlung (daher auch die Farbe) ganz anders sein als bei der Beleuchtung mit weissem Licht. Ein blauer Gegenstand, mit Natriumlampen beleuchtet, wird beispielsweise schwarz bleiben, weil die Natriumlampe nur orange-gelbe und keine blauen Strahlen enthält; der blaue Gegenstand wird daher alle orange-gelben Strahlen absorbieren und nichts zurückstrahlen.

Eine Anwendung, die ganz innerhalb des physikalischen Gebietes der Gasentladungslampen bleibt, findet man in der Herstellung photographischer Aufnahmen. Der Photograph Ziegler im Haag hat auf diesem Gebiete sehr bemerkenswerte Versuche ausgeführt. Er beleuchtete Menschen, Blumen und Gegenstände mit Natriumlicht und mit einer Mischung von Natrium- und Quecksilberlicht und machte bei diesem Lichte Aufnahmen auf superpanchromatischen Platten. Seine Ergebnisse sind verblüffend; besser als mit jedem anderen Licht (das Tageslicht inbegriffen) werden die Farbschattierungen z. B. zwischen dunkelbraunem, kastanienbraunem und hellbraunem Haar usw. wiedergegeben. Es handelt sich hier um eine rein physikalische Wirkung: Auf welche Weise reflektiert das beleuchtete Objekt das erhaltene Licht, und auf welche Weise wirkt das reflektierte Licht auf die empfindliche Platte ein? Dass eine Personengruppe, die mit diesem Gasentladungslicht bei der Aufnahme beleuchtet wird, für den Zuschauer sehr unschön aussieht, hat hiermit nichts zu tun.

Ein weiterer Punkt von rein physikalischem Interesse ist die ausserordentlich grosse Leuchtdichte, die mit gewissen Gasentladungslampen zu erreichen ist. Diese grosse Leuchtdichte kann nämlich zur Anwendung in Scheinwerfern, bei der Filmprojektion, für Filmaufnahmen usw. sehr wichtig sein.

B. Physiologische Eigenschaften.

Die Eigenschaften der Gasentladungslampen machen sich in physiologischer Hinsicht viel stärker geltend.

Es wurde soeben erwähnt, dass die beleuchteten Objekte, jedes nach seiner Farbe, nur in den Farben Licht zurückstrahlen, die im auffallenden Licht vorhanden sind. Dies bedeutet auch, dass man nur diese Farben sieht. Und daraus ergibt sich wieder, dass man beim Gasentladungslicht, das nur einige Farben enthält, die beleuchtete Umgebung auch nur in diesen wenigen Farben sieht. *Die Farbigkeit der Umgebung ist vollkommen verzerrt.* Auf den ersten Blick sollte man meinen, dass man ein derartiges Licht überhaupt nicht gebrauchen kann. Diese falsche Schlussfolgerung ist darauf zurückzuführen, dass wir uns gewohnt sind, in weissem Licht (also in Licht, das alle Farben enthält) zu leben und zu arbeiten.

Das Gasentladungslicht stellt uns vor einen Komplex ganz neuer Fragen:

*) «Nur» heisst, ganz scharf genommen: «hauptsächlich».

Sieht man immer Farben?

Hat man das Farbsehen immer nötig?

Wo liegt in der Praxis das Stäbchensehen, wo das Zäpfchensehen?

Man wusste wohl, dass unsere Augen zwei Arten lichtempfindlicher Elemente besitzen, die Zäpfchen und die Stäbchen, dass die Zäpfchen farbenempfindlich sind, die Stäbchen nicht, dass die Zäpfchen nur bei höheren Beleuchtungsniveaus in Tätigkeit treten, dass aber unterhalb einer bestimmten Grenze ihre Wirksamkeit aufhört, dass bei niedrigen Beleuchtungsniveaus die Stäbchen das Sehen ermöglichen. Das alles wusste man; diese physiologischen Tatsachen lagen jedoch weit abseits von den Fragen der praktischen Beleuchtung, gleichsam im Laboratoriumsschrank aufbewahrt.

Jetzt aber sind diese Erkenntnisse mitten in das Gebiet der Praxis getreten. Man weiss also, dass man bei niedrigen Beleuchtungsniveaus keine Farben sieht. *In derartigen Fällen spielt also die Farblosigkeit beim Gasentladungslicht keine Rolle.*

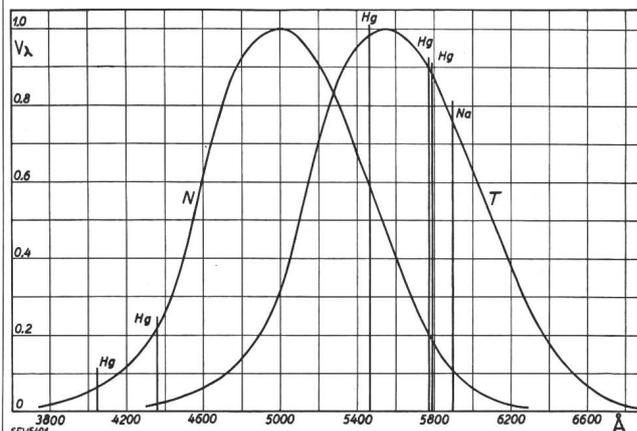


Fig. 2.

Internationale Augenempfindlichkeitskurve für relativ grosse Helligkeit (Tageskurve *T*, wie Fig. 1) und die Kurve für relativ geringe Helligkeit (Nachtkurve *N*).

Noch ein anderer Umstand hat sehr grosse Bedeutung erlangt: Die in Fig. 1 dargestellte Augenempfindlichkeitskurve *T* beruht auf dem fovealen Zapfensehen, das bei Beleuchtungsniveaus, die dem Tageslicht entsprechen, in Frage kommt. Wenn man aber bei niedrigen Beleuchtungsniveaus mit den Stäbchen sieht, bleibt die Gestalt der Augenempfindlichkeitskurve zwar ungefähr gleich, *doch hat sie sich gegenüber der Kurve *T* nach Blau verschoben*, hat ihr Maximum bei ungefähr 5070 Å (Nachtkurve *N*). Beide Kurven sind in Fig. 2 wiedergegeben.

Solange man nur mit weissem Licht beleuchtete, war diese Erscheinung nicht so wichtig. Beim Gebrauch des Gasentladungslichtes ist dies jedoch ganz anders:

Wird eine Fläche durch eine bekannte Lichtquelle bestrahlt, und kennt man alle Reflexions- und Absorptionseigenschaften der Fläche, so kann das Licht, das diese Fläche in einer bestimmten Richtung zurückwirft, berechnet werden. Die pro

Flächeneinheit zurückgeworfene Lichtstärke nennt man die «Leuchtdichte»⁵⁾. Eine andere Frage ist, wie hell der Mensch diese Fläche sieht. Diese gesehene Grösse soll nach Bouma⁶⁾ die «Helligkeit»⁷⁾ genannt werden. Beide werden in Kerzen pro cm² oder in Kerzen/m² ausgedrückt. Nun sind die Werte der Leuchtdichte und der Helligkeit bei höheren Beleuchtungsniveaus praktisch gleich. Bei niedrigeren Beleuchtungsniveaus ist dies aber nicht der Fall. Nimmt man beispielsweise in Fig. 2 eine Lichtquelle, die Licht von der Wellenlänge 5890 Å ausstrahlt, so bewertet man nach Kurve *T* dieses Licht bei gleicher spektraler Energiemenge im Vergleich zum Höchstwert mit 77 %. Dieses *Verhältnis* bleibt dasselbe, auch bei einer Aenderung der Lichtmenge, solange die Wahrnehmung gemäss Kurve *T* erfolgt. Ist die Lichtmenge jedoch sehr gering geworden, so gering, dass die Wahrnehmung gemäss Kurve *N* vor sich geht, so sieht man, dass man diese Lichtmenge jetzt im Vergleich zum Maximum nur mit einem Wert von 11 % empfindet.

Es ist klar, dass ausserdem ein Uebergangsgebiet von der Wahrnehmung nach Kurve *T* zur Wahrnehmung nach Kurve *N* besteht.

Die erste Anwendung der Natriumlampe war die Strassenbeleuchtung. Die grosse Kontrastwirkung und das bequeme Sehen fielen dabei sofort auf. Obige Erwägungen bieten uns nun in grossen Zügen die Erklärung und zeigen gleichzeitig die Richtung, in der man alles noch besser ausnutzen kann. Dies soll gerade an Hand der Strassenbeleuchtung näher erörtert werden. Um aber Missverständnisse zu vermeiden, sei folgendes vorausgeschickt:

Da bei der Natriumbeleuchtung alle Farben fehlen, darf man diese Beleuchtung nur dort anwenden, wo Sicherheit der einzig massgebende Faktor ist, ästhetische Momente und ähnliche Faktoren dagegen nur von ganz untergeordneter Bedeutung sind. Ich möchte dazu folgende Einteilung machen:

| | |
|--|---|
| Autostrassen mit regem Verkehr . | Natriumbeleuchtung. |
| Verbindungsstrassen von der Stadtgrenze zur Stadtmitte | Quecksilberbeleuchtung. |
| Hauptstrassen in der Stadtmitte . | Mischlicht von Quecksilber- und Glühlampen. |

Die Natriumbeleuchtung soll also hier in ihrer Anwendung als Autostrassenbeleuchtung betrachtet werden.

Welchen Zweck hat hier die Beleuchtung? Man muss so gut sehen können, dass man ohne Gefahr mit Geschwindigkeiten von beispielsweise 80 bis 100 km/h fahren kann. Um gut sehen zu können, muss man Kontraste schaffen. Man muss also dafür sorgen, dass sich das Objekt auf dem Wege von

⁵⁾ Französisch «brillance» (die frühere Bezeichnung «éclat» ist laut internationaler Bestimmung der Commission Internationale de l'Eclairage abgeschafft).

⁶⁾ Bouma, Licht und Lampe, Bd. 24 (1935), S. 217—219.

⁷⁾ Das Französische kennt hierfür noch keine besondere Bezeichnung. Man könnte dafür den Ausdruck «éclat» verwenden; dieser hatte jedoch schon eine andere Bedeutung. Ich schlage vor, im Französischen von «brillance apparente» zu sprechen.

seinem Hintergrund abhebt. Den Hintergrund bilden bei Autostrassen hauptsächlich die Strassendecke und die Strassenränder.

Man kann leicht feststellen, dass man am Tage unter fast allen Beleuchtungsverhältnissen die *Objekte* auf der Strasse *dunkel* vor einem *hellen Hintergrund* sieht⁸⁾ und dass man auch am Tage im allgemeinen diese Kontraste hauptsächlich nicht in der Farbe, sondern in Hell-Dunkel sieht. Dies weist darauf hin, dass der Reflexionskoeffizient des durchschnittlichen Hintergrundes höher ist als der Reflexionskoeffizient des durchschnittlichen Objektes. Viele Messungen zeigten eine stärkere Bestätigung dieser Tatsache, als im allgemeinen erwartet wurde:

Der Reflexionskoeffizient von Fussgängern und Radfahrern beträgt nur 2 bis 5 %. Nur in einem Ausnahmefall wurden 5 % überschritten. Dasselbe gilt für Automobile und Lastwagen, natürlich in der Richtung des beobachtenden Wegbenutzers. Der Reflexionskoeffizient «der Strasse», wieder durchschnittlich gerechnet, liegt zwischen 35 und 15 %. Nimmt man als Mittelwert für das Objekt 4 % und für den Hintergrund 20 %, so findet man also, dass bei gleicher Beleuchtung die Leuchtdichte des Hintergrundes fünfmal so gross ist als die Leuchtdichte des Objektes. Daher ist bei einem derartigen Beleuchtungsniveau, wobei man mit dem Tagessinn (*T*-Kurve) sieht, auch die Helligkeit des Hintergrundes fünfmal so gross als die Helligkeit des Objektes. Man sieht also das Objekt in einem Kontrast von 1 : 5 dunkel auf hellem Hintergrund.

Bei der künstlichen Beleuchtung muss man diese Tatsache ausnutzen; man muss also darauf bedacht sein, das Objekt (vertikale Fläche) dunkel zu lassen und den Hintergrund (Strassendecke, horizontale Fläche) zu erhellen, d. h. man muss das Licht, ausschliesslich vertikal nach unten strahlend, über der Strasse anbringen. In der Praxis kann diese Forderung natürlich nicht absolut erfüllt werden, aber, durch zweckmässige Anordnung der Beleuchtungsanlage, doch annähernd.

Angenommen, es stehe eine Natriumbeleuchtung solcher Stärke zur Verfügung, dass man in jedem Fall nach Kurve *T* (Fig. 2) sieht und dass der Kontrast des Objektes gegen den Hintergrund 1 : 5 sei. Der Wert der Beleuchtung sei *A*. Nun soll dieser Wert *A* auf $\frac{1}{10}$ herabgesetzt werden, also auf $\frac{A}{10}$. Objekt und Hintergrund werden dann weniger hell, beider Leuchtdichte wird sinken, aber *im selben Verhältnis*; der Kontrast bleibt nach wie vor 1 : 5. Nun verringert man die Beleuchtung nochmals auf $\frac{1}{10}$, also auf $\frac{A}{100}$. Wiederum ist die

Leuchtdichte, sowohl die des Objektes, als auch die des Hintergrundes, zehnmal kleiner geworden. Ist dies auch mit der Helligkeit der Fall? Man

⁸⁾ Es ist auch bekannt, dass man beim Photographieren naher Gegenstände länger belichten muss (weil diese dunkler sind) als beim Photographieren einer Landschaft.

hat ja mit Natriumlicht beleuchtet, also mit Licht einer Wellenlänge von 5890 \AA (siehe Fig. 2). Nun ist es möglich, dass die Helligkeit des helleren Hintergrundes noch immer so gross ist, dass man diese nach Kurve *T* wahrnimmt, dass dagegen die Helligkeit des fünfmal weniger hellen Objektes schon so niedrig ist, dass man diese nach Kurve *N* sieht. Die Wahrnehmungen gemäss Kurve *T* und Kurve *N* verhalten sich jedoch für Licht von 5890 \AA wie 77 % zu 11 % (siehe Fig. 2), also wie 7 : 1. In dem hier besprochenen Falle werden sich also die Helligkeiten des Objektes und des Hintergrundes bei der zuletzt genannten geringen Beleuchtung nicht mehr wie 1 : 5 verhalten, sondern wie 1 : 35! Man hat durch die Benutzung dieses Gasentladungslichtes bei der gewählten Beleuchtungsstärke die *Kontrastwirkung versiebenfach!*

In der Praxis kann man diese äusserste Wirkung von 1 : 7 zwar nicht erreichen, man muss sich mit dem Uebergangsbereich zwischen der *T*-Kurve und der *N*-Kurve begnügen. Ein Wert von 1 : 4 ist aber tatsächlich zu verwirklichen. Und das bedeutet dann doch, dass man bei richtiger Wahl der Grössen einen durch die Reflexionskoeffizienten gegebenen Kontrast von beispielsweise 1 : 5 auf einen *wahrgenommenen Kontrast von 1 : 20 steigern kann*, indem man für die Beleuchtung diese Gasentladungslampen verwendet, eine *Extrawirkung*, die

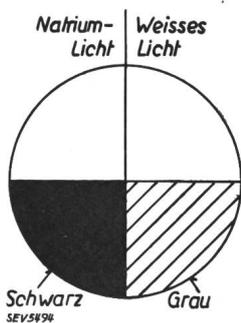


Fig. 3.

Experiment zur Veranschaulichung der Kontrastwirkung beim «Tagessehen» und beim «Nachtsehen».

mit den normalen weissen Lichtquellen nie möglich gewesen ist. Denn von dem weissen Licht werden die gelben, orangefarbenen und roten Strahlen (alles in allem der Teil über 5550 \AA) dieselbe Wirkung wie die beschriebene herbeiführen; doch werden die grünen, blauen und violetten Strahlen (der Teil unter 5550 \AA) genau die entgegengesetzte Wirkung auslösen: sie werden die Helligkeit, nach der *T*-Kurve sehr niedrig, gerade gemäss der *N*-Kurve erhöhen. So werden zum Beispiel (siehe Fig. 2) die blauen Strahlen des Quecksilberlichtes, ungefähr Wellenlänge 4358 \AA , die bei der *T*-Kurve mit 2 % des Maximums in Erscheinung traten, nach der *N*-Kurve sich als 22 % geltend machen; sie werden also das Objekt, das dunkel bleiben soll, erhellen.

Man kann dies sehr einfach an einem Kreis zeigen, der in die vier Quadranten eingeteilt ist; die oberen beiden sind weiss, die unteren beiden grau (Fig. 3). Man beleuchtet nun die rechte Hälfte mit weissem Licht und die linke mit Na-

triumlicht, und zwar so, dass man die beiden oberen, weissen Quadranten genau gleich hell sieht. Ohne die vorerwähnte Wirkung müssten die beiden unteren Quadranten nun auch gleichmässig dunkel sein. Man sieht jedoch das linke Quadrat im Natriumlicht tief schwarz, das rechte im weissen Licht fahlgrau.

Merkwürdig bei alledem ist übrigens, dass man also offenbar imstande ist, sofern das Blickfeld gross genug ist, *gleichzeitig* gemäss der *T*-Kurve und gemäss der *N*-Kurve zu sehen.

Der Referent zeigte eine Reihe Lichtbilder von ausgeführten Anlagen (z. B. Anlage Boschdijk in Eindhoven, Route de Vilvorde, Strassenstück von Brüssel-Antwerpen und von Altstetten—Schlieren, Zürich⁹⁾), die einen Eindruck von der Wirklichkeit gaben. Beim Betrachten solcher Bilder darf man aber nicht vergessen, dass auf der Photographie die genannte Extrakontrastierung der Wahrnehmung nie zum Ausdruck kommt. Die Photographien sind also weniger kontrastreich als die Wirklichkeit.

Anwendung.

Für die Energiewirtschaft ist besonders wichtig, dass alle die vielen mit Natriumlicht ausgeführten *Strassenbeleuchtungen* Objekte betreffen, die früher überhaupt nicht beleuchtet waren. Sie bedeuten also eine vollständig neue Anwendung der Elektrizität. Gerade in diesem Zusammenhang muss die neue Stellungnahme der belgischen und holländischen Regierung zur Frage der Strassenbeleuchtung mit Natriumlicht hervorgehoben werden. Ueberall, in allen Ländern, unterstehen die meisten Strassen den öffentlichen Verwaltungen. Die Regierungen sorgen für Anlage und Unterhalt der Strassen, dazu rechnet man aber nicht die Beleuchtung des Weges. *Diesen Standpunkt hat man nun in Belgien und in Holland verlassen*. Die belgische Regierung hat sich entschlossen, die Beleuchtung der Hauptverkehrsstrassen mit Natriumlampen zu veranlassen. Die zuständige Behörde hat die Beleuchtung für die Strasse Brüssel—Antwerpen (50 Kilometer) bereits projektiert. Die holländische Regierung hat eine ähnliche Entscheidung getroffen; sie ist sogar schon weiter gegangen, denn die Ausführung der Beleuchtung auf der Hauptstrasse Amsterdam-Haarlem (20 km) ist bereits durch die Regierung in Angriff genommen worden^{*)}. Beide Regierungen sind sich der Konsequenzen dieser Stellungnahme bewusst: Man wird gezwungen sein, diese Beleuchtung von Regierungswegen allmählich auf das ganze Netz der Hauptstrassen auszudehnen.

Ich wiederhole: Bei der Strassenbeleuchtung mit Natriumlicht handelt es sich um ein Absatzgebiet für die Elektrizitätsversorgungen, das ganz neu ist, das daher eine Zunahme von 100 % bedeutet.

Ein anderes Gebiet, für das die Gasentladungslampe von grosser Bedeutung sein kann, ist das *Signalwesen*. Ich kann mich hierüber nur kurz fassen. Der internationale Automobil- und Flugzeugverkehr strebt danach, die Signalisierung international festzulegen. Dies bedeutet, dass ein be-

⁹⁾ Siehe Bull. SEV 1935, Nr. 25, S. 705.

^{*)} Die Anlage wird im September 1936 in Betrieb genommen.

stimmtes Lichtsignal in einer bestimmten Farbe von jedermann unzweideutig als solches gesehen werden muss. Man kann hier nicht, wie bei der Eisenbahn, Verabredungen treffen. Man kann sich nicht damit begnügen, beispielsweise einen beliebigen Farbton rot zu wählen und dann zu sagen: «Diese Farbe nennen wir rot», und wenn irgendwo dieses Rot erscheint, hat es die und die Bedeutung. Im öffentlichen Verkehr ist man im Gegenteil gezwungen, ein derartiges Rot zu verwenden, das *von jedermann rot gesehen wird*. Ebenso verhält es sich mit den anderen Farben. Es stellt sich also die Frage, *in welchen Farben wir Menschen das Licht der verschiedenen Wellenlängen sehen*; das ist wieder eine ganz andere Frage als die, welche wir soeben beantwortet haben, nämlich wie *empfindlich wir für jede Wellenlänge sind*.

Ueber diese Frage wurden im Jahre 1934 ausgedehnte Versuche unternommen, von denen Fig. 4 und 5 einige Ergebnisse zeigen, die ich nur flüchtig erwähnen kann¹⁰⁾.

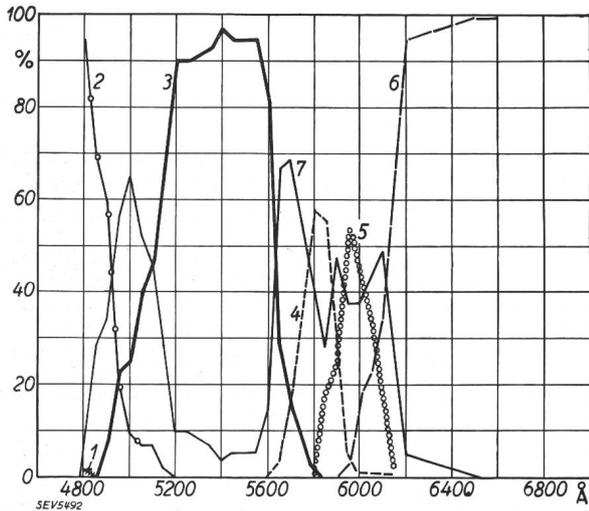


Fig. 4.

Farbenerkennungsprüfung

für die Hauptfarben des Spektrums, ausgeführt an einer grossen Zahl Versuchspersonen.

1 «Violett»; 2 «Blau»; 3 «Grün»; 4 «Gelb»; 5 «Orange»; 6 «Rot»; 7 Zweifel.

Beispiel: Die Farbe 5900 Å sehen 24 % der Versuchspersonen «Orange», 29 % «Gelb» und 47 % der Versuchspersonen können sich weder für Gelb noch für Orange entscheiden.

Aus den Kurven von Fig. 4 ist zum Beispiel zu ersehen, dass 100 % der Beobachter die Wellenlänge 6500 Å «rot» sehen, dass die Wellenlänge 6100 Å jedoch nur von 34 % der Beobachter «rot» gesehen wird, dass 18 % der Beobachter diese Wellenlänge «orange» nennen, und dass die übrigen

¹⁰⁾ In bezug auf diese Untersuchungen sei verwiesen auf:

- Koninklijke Academie van Wetenschappen te Amsterdam, Proceedings, Vol. XXXVII, 1934, Seite 385: Farbenerkennungsprüfung mit Rücksicht auf die Brauchbarkeit von Signallämpfern. L. S. Ornstein, J. G. Eymers und D. Vermeulen.
- Economisch Technisch Tijdschrift, Nr. 3, Juni 1935, Maastricht: Das Farbensehen und seine Bedeutung für den bisherigen Verkehr. Versuche von G. B. van de Werfhorst, H. Zijl und E. L. J. Matthews.

48 % diese Wellenlänge als eine Zwischenfarbe sehen (die Kurve 7 enthält alle Beurteilungen in Zwischenfarben). Aus Fig. 4 geht u. a. auch hervor, dass Orange und Gelb nicht als zwei voneinander zu unterscheidende Farben benützt werden können. Man kann sich höchstens fragen, ob beide Farben vielleicht zusammen als eine Signalfarbe «orange-gelb» dienen können.

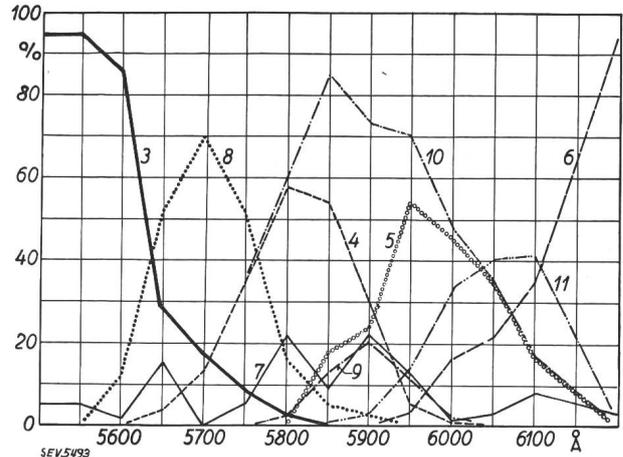


Fig. 5.

Farbenerkennungsprüfung

Hauptfarben:

3 «Grün»; 4 «Gelb»; 5 «Orange»; 6 «Rot»; 7 Zweifel.

Zwischenfarben:

8 «Grün-Gelb»; 9 «Gelb-Orange»; 10 «Gelb-Gelb-Orange — Orange»; 11 «Orange-Rot».

Die Internationale Luftfahrtkonferenz (Genf 1935) fasste schon einen Beschluss in diesem Sinne und nahm ein «Luftfahrtgelb» an. Fig. 5 gibt an, wo eine derartige Kombination von Orange und Gelb liegen muss. In diesem Falle muss man die Beurteilungen in der Zwischenfarbe Orange-Gelb hinzuzählen.

Die strichpunktierte Kurve 10 der Fig. 5 zeigt dieses Ergebnis. Daraus ergibt sich, dass für dieses «Luftfahrtgelb» die Grenzen auf 5850 Å und 5900 Å liegen. Diese Lichtfarbe ist für die Umrandungsbefuerung von Flugplätzen bestimmt. Hierbei muss man sich praktisch auf Einheiten mit 60 Watt Leistungsaufnahme beschränken. Benutzt man normale Glühlampen, so erhält man in dieser bestimmten Ausstrahlung infolge der Absorption der nötigen Filtergläser höchstens 40 Lumen pro Einheit. Werden aber Natriumlampen verwendet (5890 und 5896 Å), so erhält man mit demselben Bruttoaufwand von 60 Watt rund 2400 Lumen, also sechzigmal soviel Licht.

Die Ueberhochdruck-Quecksilberlampe.

Zum Schluss sei noch einiges über die Ueberhochdruck-Quecksilberlampe mitgeteilt. Bei der Besprechung dieser Lampen dürfen zwei Namen nicht unerwähnt bleiben, nämlich die der Herren Elenbaas und Bol vom Physikalischen Laboratorium der Philips-Gesellschaft in Eindhoven, denen das Verdienst der theoretischen und praktischen

Gestaltung dieser neuen Gasentladungslampen ge-
bührt.

Die Bezeichnung «Ueberhochdruck-Quecksilber-
lampe» hängt mit der Tatsache zusammen, dass die
normalen Quecksilberlampen schon als Hochdruck-
lampen bezeichnet werden, im Gegensatz zu den
Quecksilberdampf-Entladungsröhren, die schon seit
Jahren u. a. für Reklamezwecke verwendet werden.
Während der Druck der normalen «Hochdruck»-
Quecksilberlampe 4 kg/cm² meist nicht übersteigt,
liegt der Druck der Ueberhochdruck-Quecksilber-
lampe nicht unter etwa 10 kg/cm².

Die Lampe besteht aus einem Quarzröhrchen mit
einem Aussendurchmesser von 6 mm und einem
Innendurchmesser von 2 mm. In jedes der Enden
ist eine Elektrode eingeschmolzen. In dem Röhr-
chen befindet sich eine kleine Menge Quecksilber.
Die Entladung zwischen den beiden Elektroden
schnürt sich ein wenig zusammen, so dass der
Durchmesser der Entladung etwa 1,5 mm beträgt.
Die Energie, die die Lampe aufnehmen kann, ist
zunächst ungefähr proportional der Länge und
weiter von der Art der zum Schutz des Quarzes
nötigen Wärmeableitung abhängig. Man unter-
scheidet darnach Lampen mit natürlicher Kühlung
und Lampen mit künstlicher Kühlung (Wasser-
kühlung). Im Laboratorium wurden nun u. a. als
Lampen mit natürlicher Kühlung ausgearbeitet:

- a) eine Lampe von rund 75 Watt mit einer Ent-
ladungslänge von etwa 18 mm ¹¹⁾;
- b) eine Lampe von rund 1000 Watt mit einer Ent-
ladungslänge von etwa 200 mm.

Die zweite Lampe ist gleichsam eine «linienför-
mige Lichtquelle». Diese Lampe, mit einer Licht-
ausbeute von etwa 40 lm/W, wurde in zylindrischen
Parabolsiegeln versuchsweise für die Beleuchtung
des Flugplatzes in Eindhoven angebracht; vertikal
ergibt sich also eine *sehr* geringe Streuung, hori-
zontal eine sehr breite Strahlung, gerade das, was
man in einem solchen Falle braucht. Die Piloten
der holländischen Luftfahrtgesellschaft KLM, die
wöchentlich von Amsterdam nach Batavia und zu-
rück fliegen, äussern sich, dass der Flugplatz Ein-
dhoven mit einem Flächeninhalt von 1 km², der für
jede Windrichtung von nur einer solchen Lampe
beleuchtet ist, zu den bestbeleuchteten Plätzen ge-
hört, die sie kennen.

Lampen mit Wasserkühlung wurden für Leis-
tungen von 600, 1000, 2500 und 16 000 Watt ausgear-
beitet. Diese haben eine mittlere Lichtausbeute
von rund 60 lm/W. Die 16 000-W-Lampe erzeugt
einen Lichtstrom von 1 000 000 Lumen ¹²⁾.

Der innere Druck der Lampen mit natürlicher
Kühlung beträgt etwa 16 kg/cm², der der Lampen
mit Wasserkühlung etwa 150 kg/cm².

Weiter wurden Lampen noch kleinerer Abmessun-
gen gebaut, nämlich als Quarzröhrchen mit einem

¹¹⁾ Diese Lampe wurde inzwischen bereits marktfähig
entwickelt und käuflich (s. Bull. SEV 1936, Nr. 13, S. 365).

¹²⁾ Muster von allen diesen Lampen wurden vom Refe-
renten gezeigt. Für alle Angaben gelten internationale Lumen
und internationale Kerzen.

Aussendurchmesser von 3 mm, einem Innendurch-
messer von 1 mm und einem Entladungsdurchmes-
ser von etwa 0,7 mm. Diese Lampen können mit
Wasserkühlung bis zu 170 kg/cm² Innendruck her-
gestellt werden. Es ergibt sich dafür die folgende
Uebersicht:

| Typ Nr. | Länge mm | W | lm/w | Lumen | Leucht- dichte K/cm ² | Druck kg/cm ² | Betr.- Sp. V | Aussen- durch- messer mm | Innen- durchm. mm | Entlad.- durchm. mm |
|------------|-------------|------|------|--------|--|-----------------------------|--------------------|-----------------------------------|-------------------------|---------------------------|
| 1 | 18 | 75 | 40 | 3 000 | 1 100 | 16 | 440 | 6 | 2 | 1,5 |
| 2 | 10 | 600 | 60 | 36 000 | 40 000 | 150 | 550 | 6 | 2 | 1,5 |
| 3 | 10 | 1000 | 80 | 80 000 | 170 000 | 170 | 850 | 3 | 1 | 0,7 |

Die Lampe Nr. 1 hat natürliche Kühlung, die
Nrn. 2 und 3 Wasserkühlung. Die Temperatur der
wassergekühlten Lampen beträgt in der Entladung
mehr als 8000° K.

Zunächst fällt die grosse Leistung bei den äus-
serst kleinen Abmessungen auf. Ausserdem ist die
erreichte Leuchtdichte von grosser Bedeutung. Ge-
genüber der Leuchtdichte von 170 000 K/cm² der
letzten genannten Lampe hat die Sonne eine Leucht-
dichte von 150 000 K/cm², die Kohlenbogenlampe
von 17 000 K/cm², die «high intensity»-Kohlen-
bogenlampe von etwa 70 000 K/cm².

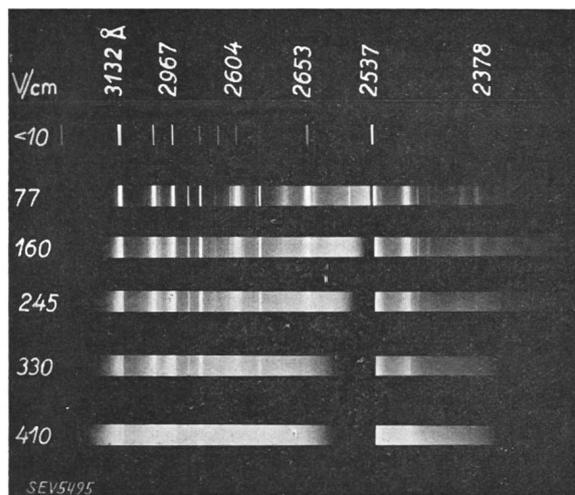


Fig. 6.
Spektrum einer wassergekühlten Lampe, 2 mm Innendurch-
messer, Strom ca. 1,4 A, bei verschiedenen Werten des Span-
nungsgradienten, im Wellenlängenbereich 2300 bis 3100 Å.

Messungen mit der Lampe Nr. 2 hatten folgende
Ergebnisse:

| Angelegt wurden V/cm | Gemessen wurde eine Leuchtdichte von K/cm ² |
|-------------------------|---|
| 100 | 4 700 |
| 300 | 23 700 |
| 600 | 58 000 |
| 900 | 95 000 |
| 1400 | 180 000 |

Es bedarf keiner näheren Erläuterung, was sol-
che Werte für die Filmprojektion, die Filmauf-
nahme, Scheinwerfer usw. bedeuten können.

Das Interessanteste an diesen Lampen ist jedoch
die *spektrale Zusammensetzung* des Lichtes. Es war
schon bekannt, dass sich die normalen Spektral-

linien der Quecksilberentladung, einseitig nach dem Rot, verbreitern, wenn der Spannungsgradient höher wird¹³⁾. Dies ist nun nicht nur mit den bekannten Linien im sichtbaren Gebiet des Spektrums der Fall (siehe oben), sondern in noch höherem Masse mit den Linien im ultravioletten Bereich, insbesondere bei der bekannten Absorptionslinie 2537 Å (Fig. 6). Diese ergibt zusammen mit noch anderen Ultraviolettlinien eine Verbreiterung bei 500 V/cm bis auf 12 000 Å, also bis weit ins Infrarot. Das heisst, dass diese Lampen ein *kontinuierliches* Spektrum geben, das mit dem normalen Linienspektrum kombiniert ist. Es ist hier also ein kontinuierliches Spektrum vorhanden, wenn auch in anderer Zusammensetzung als bei den gewöhnlichen «weissen» Lichtquellen¹⁴⁾.

Die folgenden Zahlen geben an, wie insbesondere das Rot in dem Licht dieser Lampen vorhanden ist:

75-Watt-Lampe (natürliche Kühlung):

| | |
|--|------|
| gelb (5770 und 5790 Å) | 33 % |
| grün (5461 Å) | 56 % |
| blau-violett (4358, 4047 und 4070 Å) | 1 % |
| «rot» über 5900 Å | 5 % |
| grünblau | 5 % |

600-Watt-Lampe (wassergekühlt), gemessen mit Wrattenfilter Nr. 26:

| V/cm | W/cm | Rotes Licht über 5900 Å |
|------|------|-------------------------|
| 570 | 610 | 9,2 % |
| 825 | 830 | 10,8 % |
| 1010 | 925 | 11,8 % |
| 1210 | 1135 | 14,1 % |

Zum Vergleich diene, dass das Sonnenlicht, in derselben Weise gemessen, etwa 13 % rotes Licht enthält.

Die genannten Werte gelten für «Licht» und nicht für «Strahlungsenergien». Dies sei ausdrücklich betont, um kein Missverständnis aufkommen zu lassen.

Obschon diese Betrachtungen über die Ueberhochdruck-Quecksilberdampflampe erst Laboratoriumsuntersuchungen betreffen, dürfte es doch schon klar sein, wie die Entwicklung der Gasentladungslampen bereits eine Richtung eingeschlagen hat, die zur Erzielung des kontinuierlichen Spektrums führt.

C. Psychologisches.

Daraus darf aber nicht gefolgert werden, dass man ausschliesslich das weisse Licht anstrebt. Und

¹³⁾ H. Kuhn, Z. für Physik, Bd. 72 (1931), S. 462.

W. de Groot, De Ingenieur, Nr. 50, E 92—94, Juni 1935.

¹⁴⁾ Die Lampen von 75 W (natürliche Kühlung), 600 W und 2500 W (Wasserkühlung) wurden brennend vorgeführt. Ausserdem wurde das Spektrum der 600-W-Lampe projiziert. In der Speiseleitung dieser Lampe war eine Spannungsregelung angebracht. Der Referent zeigte, durch Einstellung auf verschiedene Spannungen, die drei normalen Linien der Quecksilberentladung, dann, wie bei höherer Spannung diese Linien sich verbreitern, und schliesslich, wie bei noch höherer Spannung das soeben genannte kontinuierliche Spektrum entsteht.

damit bin ich gleichzeitig am dritten Punkt meines Vortrages angelangt, nämlich am psychologischen Element, das man in die Frage zusammenfassen kann: wie wirkt das Licht auf den Menschen? Wir sahen, dass man das weisse Licht nicht mehr als einziges Ideal betrachten darf, dass vielmehr die Frage zu beantworten ist: welche Lichtart ist in diesem Falle, welche in jenem am zweckmässigsten?

Praktische Versuche mit der erwähnten Ueberhochdruck-Quecksilberdampflampe von 75 Watt zeigten interessante Ergebnisse. Auch diese Lampe ist noch verhältnismässig arm an roten Strahlen. Die normale Glühlampe hat einen Ueberschuss an roten Strahlen. Es wurden daher einige Versuche mit Mischlicht angestellt und dafür u. a. als sehr schwieriges Objekt eine Blumenhandlung ausgesucht. Diese hatte, wie viele Blumenläden, ein nach innen offenes Schaufenster. Die vorhandene Glühlampenbeleuchtung war sehr gut; im Schaufenster selbst waren zwei Glühlampen von je 100 Watt angebracht. Diese wurden durch folgende Kombination ersetzt:

| | | | | |
|-----------|------------------|-----------|------------------|-----------|
| Glühlampe | Quecksilberlampe | Glühlampe | Quecksilberlampe | Glühlampe |
| 150 W | 75 W | 150 W | 75 W | 150 W |
| 2000 lm | 3000 lm | 2000 lm | 3000 lm | 2000 lm |

Man erhielt also insgesamt 6000 Lumen Glühlampenlicht und 6000 Lumen Quecksilberlicht, also eine Mischung im Verhältnis von 1 : 1.

Für die meisten Blumen wirkte dieses Verhältnis sehr schön; man konnte aber durchaus nicht behaupten, dass damit der Eindruck von Tageslicht erreicht worden wäre. Blattgrün, weisse, violette, gelbe und karminrote Blumen waren prachtvoll. Es trat ein Farbenspiel auf, das viel lebhafter war, als je am Tage beobachtet werden kann. Unsere Bewertung beruhte jedoch auf dem Umstand, dass wir des Abends auf die Farbe des normalen Kunstlichtes eingestellt waren und dass wir also die der Tageswirkung gleiche Farbenwirkung jetzt ganz anders schätzen. Die schönen lachsfarbigen Nelken, Tulpen und Azaleen jedoch, gerade die Blumen, die mit Vorliebe zur Verzierung der Festtafel benutzt werden, waren bei dieser Beleuchtung viel zu braun geworden. Der Ladeninhaber arbeitete nun mit der «Lichtqualität»: hatte er in seinem Schaufenster die erstgenannten Blumen in Gelb und Grün und Blau, so schaltete er das Mischlicht ein, stellte er vor allem die lachsfarbigen Blumen in sein Schaufenster, so liess er nur die Glühlampen brennen.

Man sieht hier in der Beleuchtung ein neues Element entstehen: die Bewertung der Lichtqualität und damit die Bewertung der aufgewandten Energie. Denn als ich nach einem Monat zu diesem Geschäftsinhaber kam und ihn darauf aufmerksam machte, dass er jetzt vom Elektrizitätswerk eine Rechnung für 600 Watt Leistungsaufwand bekäme statt für 200 Watt wie bisher und ihm sagte, dass die Firma Philips diese Differenz gerne vergüten würde, war seine Antwort: «Aber bitte, was spielen denn 6 oder 8 Gulden mehr für eine Rolle gegen-

über der prachtvollen Wirkung, die ich erreicht habe und die ich nicht mehr missen möchte?»

Nach meiner Ansicht hat *jede bessere Ausnutzung der Energie eine Steigerung des Energieverbrauches zur Folge*.

Die zunehmende Reihe neuer Lichtquellen, jede mit eigener Charakteristik, wird nicht zu einer Abnahme des Energieverbrauches führen (vergleiche alle aufgezählten Anwendungen mit der Verteilung nach den Anwendungsgebieten, wie sie eingangs gegeben wurde); die Reihe neuer Lichtquellen wird uns zu einer immer genaueren Abwägung der Frage veranlassen: welches Licht muss man verwenden? Und das bedeutet wieder, dass durch neue Entladungslampen die bestehenden nicht überholt werden, sondern dass es uns sehr zustatten kommen wird, über verschiedene Lichtquellen zu verfügen, um das Licht den verschiedenen Bedürfnissen anpassen zu können.

Ich konnte in diesem Vortrag nur eine ganz kurze Uebersicht über die verschiedenen Aussichten der Anwendung der Gasentladungslampen geben. Daraus ergab sich die Richtung, in der ge-

(Fortsetzung des Berichtes folgt.)

arbeitet wird, nicht, um das Spektrum wieder weiss zu machen, sondern um das Spektrum nach Bedarf zu ändern. Eine andere Untersuchungsrichtung will ich nicht unerwähnt lassen, die Fluoreszenz und die Lumineszenz¹⁵⁾. Meine Uebersicht wäre unvollständig, wenn ich nicht ausserdem noch eine ganz andere Richtung der Untersuchung nach neuen Lichtquellen aufzählen würde: die Untersuchungen von Prof. Dr. Ornstein vom Physikalischen Laboratorium in Utrecht im Auftrage der Rockefeller Foundation über «leuchtende Bakterien».

Wir stehen im Anfang einer ganz neuen Entwicklung der Beleuchtung, einer Entwicklung in jeder Richtung, die von uns verlangt, nicht nur die physikalischen, sondern ebenso sehr die physiologischen und die psychologischen Probleme zu berücksichtigen, einer Entwicklung, die eine bessere Ausnutzung des Lichtes und eine weitere Steigerung des Energieverbrauches mit sich bringen wird.

Ich hoffe, dass es mir gelungen ist, Ihr Interesse für diese Weiterentwicklung geweckt zu haben.

¹⁵⁾ Siehe den Vortrag des Herrn Schneider, der in einer nächsten Nummer veröffentlicht wird.

Ein neues Photoregistrierinstrument für Erdstrommessungen.

Von W. Beck, Warschau, und A. Bahrdt, Berlin.

621.317.715.087.5: 621.3.014.6.0014

Es wird ein Zeißsches Schleifengalvanometer beschrieben, das eine Einstelldauer von einigen Zehntel-Sekunden besitzt, und photographische Registrierung der Ausschläge gestattet. Als Beispiele für die Anwendung des Instrumentes werden einige in Berlin ausgeführte Erdstrommessungen erläutert, aus denen der Zusammenhang der Erdströme mit dem elektrischen Bahnbetrieb hervorgeht.

L'auteur décrit un galvanomètre à boucle Zeiss, dont l'équipage mobile prend en quelques dixièmes de seconde sa position d'équilibre et qui permet un enregistrement photographique. Il cite comme exemples d'application de cet instrument quelques mesures de courants vagabonds exécutées à Berlin et qui montrent la relation entre ces derniers et la traction électrique dans le voisinage.

In der Technik der Messung vagabundierender Ströme machte sich schon lange der Mangel an geeigneten Registriergeräten bemerkbar. Die oft angewendeten Fallbügelinstrumente erwiesen sich in all den Fällen als unzulänglich, wo schnell schwankende Ströme auftraten, oder wo es darauf ankam, sehr kleine Spannungsdifferenzen zu erfassen. Da im allgemeinen Messgeräte, die nach dem Prinzip eines Fadeninstrumentes mit Spiegelablesung¹⁾ aufgebaut sind, in jeder Hinsicht zu empfindlich scheinen, um für Messungen an Ort und Stelle allgemein verwendet zu werden, versuchte man, geeignetere Geräte ausfindig zu machen. So wurde vom General Post Office in London²⁾ einmal der Vorschlag gemacht, mit Hilfe eines von der Firma Zeiss herausgebrachten Spezialgerätes, dem Schleifengalvanometer³⁾, sehr kleine Spannungsabfälle, gegebenenfalls in Kombination mit Röhrenvoltmeter und Kalomelektrode registrierend zu erfassen. Es schien von besonderem Interesse, Messungen mit dem genannten Instrument auf breiterer Basis

durchzuführen und besonders auch damit die Verhältnisse an unterirdischen Gas- und Wasserrohren genauer zu untersuchen.

Das Zeißsche Schleifengalvanometer (Fig. 1) ist ein Instrument, bei dem eine dünne Metallschleife, ein Band aus leichter Folie oder ein Draht mit jedem Schenkel in einem Magnetfeld hängt und

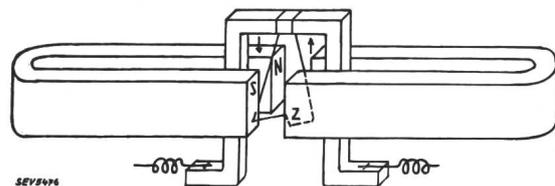


Fig. 1.

Schematische Darstellung des Zeiss-Schleifengalvanometers (Schleife in hängender Lage).

gut gedämpft in ihm schwingen kann. Die magnetischen Felder werden durch starke Permanentmagnete erzeugt, die mit den ungleichnamigen Polen gegenüberstehen. Das Instrument ist fast so bequem im Gebrauch wie ein Zeigergalvanometer, weist indessen eine wesentlich höhere Empfindlichkeit auf. Die Einstelldauer beträgt einige Zehntelsekunden. Wie aus Fig. 1 noch hervorgeht, ist das

¹⁾ C. M. Longfield J. Inst. Electr. Engr. Bd. 76 (1935), S. 107.

²⁾ 3^e réunion plénière der Commission Mixte Internationale 1932, p. 111, 113/114, 139/140.

³⁾ R. Mechau: Phys. Z. Bd. 24 (1923), S. 242.