

Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke

Band: 37 (1946)

Heft: 17

Artikel: Grundlagen, Mittel und Ziele der Lichttechnik

Autor: Spieser, R.

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1061119>

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: 16.01.2026

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

BULLETIN

REDAKTION:

Sekretariat des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins
Zürich 8, Seefeldstrasse 301

ADMINISTRATION:

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

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

37. Jahrgang

Nr. 17

Samstag, 24. August 1946

Grundlagen, Mittel und Ziele der Lichttechnik

Vortrag, gehalten an der Beleuchtungstagung des SEV vom 22. November 1945 in Bern,
von R. Spieser, Herrliberg

28.98

Die Lichttechnik basiert auf physikalischen Grundlagen, welche die Definition der lichttechnischen Größen und Einheiten ermöglichen. Richtungweisend sind die natürlichen Tageslichtverhältnisse im Freien, die qualitativ und quantitativ bekannt sind.

Unter den lichttechnisch benutzten Mitteln (elektrische Energie, Lampen, Leuchten und Körperfarben) stehen zurzeit namentlich die Lampen (Lichtquellen) wegen ihrer raschen und umwälzenden Entwicklung hinsichtlich Lichtfarbe, Form, Leuchtdichte und Lichtausbeute im Vordergrund. Vergleichende Gegenüberstellungen technischer und kommerzieller Art drängen sich auf, z. B. spektrale Leistungsverteilung, Lichtausbeute, Lampenkosten pro Lichtmengeneinheit. Die zurzeit ersichtlichen Ziele sind die Anpassung der Lichtfarbe an die Sehobjekte, die Erhöhung der Beleuchtungsstärken, die Vermeidung der Blendung, Verbesserung der örtlichen Gleichmässigkeit, Verbindung mit der Tagesbeleuchtung und der Ausbau der Messtechnik. Fragen der Zusammenarbeit mit der Architektenkunst und den Fachleuten für Tagesbeleuchtung drängen sich auf, ausserdem die Ausbildung und Instruktion der Lichtkonsumenten und Installateure. Die Hauptgesichtspunkte für neue Anlagen sind im Eingang zu den Schweizerischen Allgemeinen Leitsätzen für Elektrische Beleuchtung des SBK¹⁾ niedergelegt.

L'éclairagisme repose sur des données physiques, qui permettent de définir les grandeurs et les unités relatives à l'éclairage, en se basant sur les conditions de l'éclairage naturel du jour en plein air, qui sont connues qualitativement et quantitativement.

Parmi les moyens servant à l'éclairage (énergie électrique, lampes, luminaires et couleurs des corps), ce sont actuellement les lampes (sources de lumière) qui sont en premier plan, du fait que la couleur de leur lumière, leur forme, leur brillance et leur coefficient d'efficacité ont subi une évolution rapide et profonde. Les comparaisons techniques et commerciales sont extrêmement nombreuses; elles portent notamment sur la répartition spectrale de la puissance, le coefficient d'efficacité, les frais des lampes par unité de quantité de lumière. On recherche maintenant à adapter la couleur de la lumière aux objets à observer, à augmenter les éclairements, à éviter l'éblouissement, à améliorer l'uniformité dans l'espace, à adapter l'éclairage artificiel à l'éclairage naturel du jour et à perfectionner la métrologie. On s'occupe également de la collaboration entre architectes et éclairagistes pour l'éclairage naturel, ainsi que de l'éducation des consommateurs de lumière et des installateurs. Les points essentiels qui intéressent les nouvelles installations figurent dans la préface des Recommandations générales pour l'éclairage électrique en Suisse établies par les soins du CSE¹⁾.

A. Grundlagen

«Licht» bezeichnet im Sinn des natürlichen Sprachgebrauchs und auch nach physikalischem Begriff jenen Bereich im gesamten Gebiet der elektromagnetischen Strahlungen (Fig. 1), dessen Hauptmerkmal in der Fähigkeit liegt, im normalen menschlichen Auge Helligkeits- und Farbeindrücke hervorzurufen, d. h. «sichtbar» zu werden. Bei der in der Lichttechnik bisher üblichen und immer noch zweckmässigen Betrachtung des Lichtes als Wellenvorgang handelt es sich um den Strahlungsbereich mit den Wellenlängen zwischen ungefähr 400 nm als kurzwelliger und 700 nm²⁾ als langwelliger Grenze.

In Fig. 1 ist das Lichtband mit seinen Nachbarbereichen über der Wellenskala von 0,1 pm³⁾ bis 1 mm Wellenlänge dargestellt. Die 3 Skalen enthalten die üblichen Masseinheiten, links und in der Mitte in Vielfachen oder Teilen der Meter-Einheit, recht nach den in der Physik üblichen Ångström⁻⁴⁾

oder x-Einheiten⁵⁾. Die kurzweligen Nachbarbereiche, die Ultraviolett- und Röntgen-Strahlung, sind lichttechnisch insofern von Bedeutung, als beide in den sogenannten Fluoreszenz- oder Leuchtstoffen als Anregungsstrahlung absorbiert werden können, worauf ihre Energie, als sichtbare Strahlung der Leuchtstoffe, neu in Erscheinung tritt. Der Vorgang entspricht einer Frequenz- oder Wellenlängen-Umwandlung aus dem unsichtbaren in den sichtbaren Bereich. Ultraviolett-Strahlung wird von den technischen Lichtquellen in verschiedener Zusammensetzung und Stärke erzeugt. Ebenso ist langwelligere Infrarot-Strahlung, die vom Menschen als «Wärme» empfunden wird, in der Emission der meisten technischen Lampen enthalten. Das schmale sichtbare Lichtband, das bei der Zerlegung durch ein Prisma oder ein Beugungsgitter als «Spektrum» erscheint, weist alle reinen Spektralfarben vom Dunkelviolet (400 nm) bis Dunkelrot (700 nm) auf, wobei eine eindeutige Zuordnung von Spektral-Farbton und Wellenlänge möglich ist.

Wird ein solches Spektrum, unter der Voraussetzung konstanter Strahlungsleistung P_V im ganzen

¹⁾ Publ. Nr. 144 des SEV.

²⁾ 1 nm (Nanometer) = 10^{-9} m = 1 Millimü (1 mμ)

³⁾ 1 pm (Picometer) = 10^{-12} m = 1 Mikromü (1 μμ)

⁴⁾ 1 Å (Ångström) = 10^{-10} m = 0,1 nm

⁵⁾ 1 x = 10^{-13} m = 0,1 pm

Spektralbereich, vom normalen Auge auf die Helligkeitsverteilung geprüft, so ergibt sich ein Resultat, das in Form der international vereinbarten, spektralen Hellempfindlichkeitskurve festgelegt ist. Die relative Hellempfindlichkeit hat ihren Höchstwert

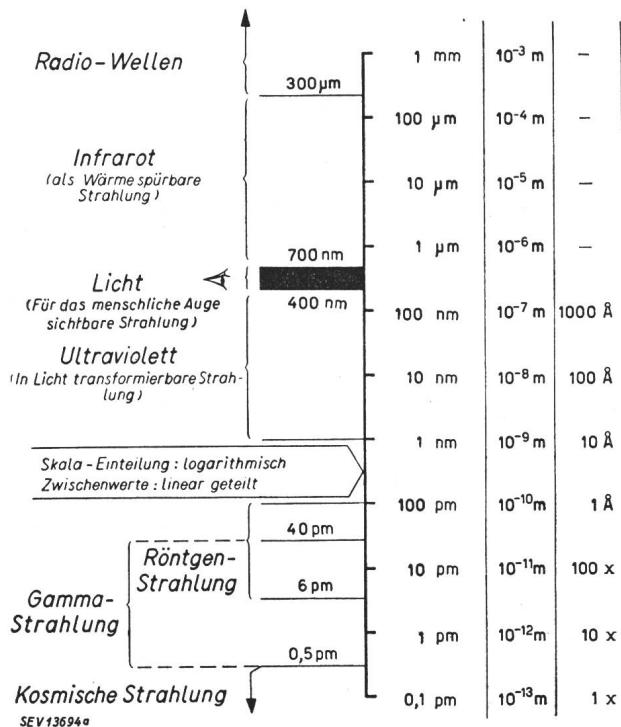
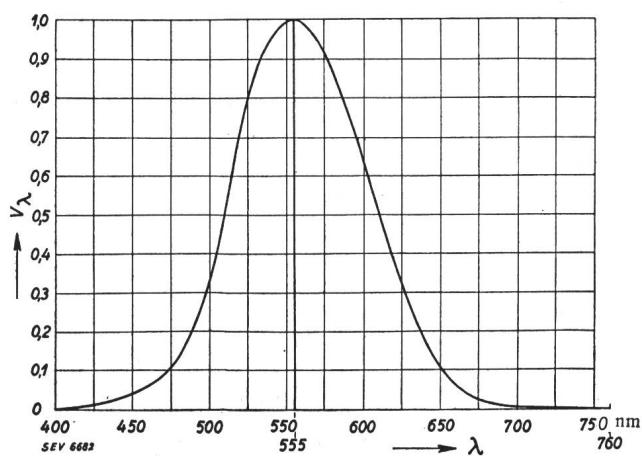


Fig. 1.
Die elektromagnetischen Wellenstrahlen
und ihre Wellenlängen
 $1 \mu\text{m} = 10^{-6} \text{ m} (= 1 \mu)$
 $1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m} (= 1 \text{ m}\mu)$
 $1 \text{ pm} = 10^{-12} \text{ m} (= 1 \mu\mu)$

bei der Gelb-Grün-Strahlung von 555 nm in der Mitte des sichtbaren Strahlungsbereiches und sinkt rasch nach beiden Seiten (Fig. 2).

Die in der Lichttechnik gebräuchlichen und auf Beschlüssen der Internationalen Beleuchtungskommission (IBK) beruhenden Größen und Einheiten sind in Fig. 3 dargestellt. Grundlegend ist die Definition des Lichtstromes als der photometrisch be-



werteten gesamten Strahlungsleistung der Lichtquelle entsprechend dem Ausdruck

$$\Phi = L \int P_\lambda V_\lambda d\lambda,$$

wo

L das photometrische Äquivalent der Strahlungsleistung
= 636 Lumen/Watt,
 P_λ die spektrale Leistungsfunktion des Strahlers,
 V_λ die spektrale Hellempfindungs-Funktion des helladaptierten Auges und
 Φ den Lichtstrom

bedeuten. Hier zeigt sich die integrierende Funktion des Auges insofern, als es von einer spektral verteilten Strahlung nur einen Gesamteindruck erhält und nicht in der Lage ist, die Bestandteile dieser Strahlung zu erkennen. Es kann deshalb ein gleicher Helligkeits- und Farbeindruck durch theoretisch unendlich viele, spektral verschiedene Lichtarten erzeugt werden. Das Auge unterscheidet sich in dieser Hinsicht wesentlich vom Gehörorgan mit seiner fein differenzierenden oder analytischen Empfindungsart.

$$\eta = \frac{\Phi}{P}, \frac{\text{Lumen}}{\text{Watt}}$$

$$\text{Lichtausbeute} = \frac{\text{Lichtstrom}}{\text{Leistungsverbrauch}}$$

Lichtstrom : Optisch
wirksame Strahlungsleistung

$$\Phi = L \int p_\lambda \cdot v_\lambda \cdot d\lambda$$

$$L \approx 600 \text{ Lumen/Watt}$$

$$p_\lambda \text{ Strahlungsleistung}$$

$$V_\lambda \text{ Hellempfindlichkeit}$$

$$1 \text{ Kerze} = \frac{1 \text{ Lumen}}{[1\omega]}$$

$$\text{Mittlere Lichtstärke} = \frac{\text{Lichtstrom}}{\text{Raumwinkel}}$$

$$I_m = \frac{\Phi}{\omega}$$

$$E_m = \frac{\Phi}{A}$$

$$1 \text{ Lux} = \frac{1 \text{ Lumen}}{1 \text{ m}^2}$$

$$\text{Mittlere Beleuchtungsstärke} = \frac{\text{Lichtstrom}}{\text{Fläche}}$$

$$I_m = \frac{\Phi}{\omega}$$

$$1 \text{ Stilb} = \frac{1 \text{ Kerze}}{1 \text{ cm}^2}$$

$$\text{Mittlere Leuchtdichte} = \frac{\text{Lichtstärke}}{\text{Leuchtflächen-Projektion}}$$

$$I_m = \frac{\Phi}{\omega}$$

$$B_m = \frac{I}{a}$$

$$1 \text{ Stilb} = \frac{1 \text{ Kerze}}{1 \text{ cm}^2}$$

$$I_m = \frac{\Phi}{\omega}$$

$$B_m = \frac{I}{a}$$

$$1 \text{ Stilb} = \frac{1 \text{ Kerze}}{1 \text{ cm}^2}$$

$$I_m = \frac{\Phi}{\omega}$$

$$B_m = \frac{I}{a}$$

$$1 \text{ Stilb} = \frac{1 \text{ Kerze}}{1 \text{ cm}^2}$$

$$I_m = \frac{\Phi}{\omega}$$

$$B_m = \frac{I}{a}$$

$$1 \text{ Stilb} = \frac{1 \text{ Kerze}}{1 \text{ cm}^2}$$

$$I_m = \frac{\Phi}{\omega}$$

$$B_m = \frac{I}{a}$$

$$1 \text{ Stilb} = \frac{1 \text{ Kerze}}{1 \text{ cm}^2}$$

$$I_m = \frac{\Phi}{\omega}$$

$$B_m = \frac{I}{a}$$

$$1 \text{ Stilb} = \frac{1 \text{ Kerze}}{1 \text{ cm}^2}$$

$$I_m = \frac{\Phi}{\omega}$$

$$B_m = \frac{I}{a}$$

$$1 \text{ Stilb} = \frac{1 \text{ Kerze}}{1 \text{ cm}^2}$$

$$I_m = \frac{\Phi}{\omega}$$

$$B_m = \frac{I}{a}$$

$$1 \text{ Stilb} = \frac{1 \text{ Kerze}}{1 \text{ cm}^2}$$

$$I_m = \frac{\Phi}{\omega}$$

$$B_m = \frac{I}{a}$$

$$1 \text{ Stilb} = \frac{1 \text{ Kerze}}{1 \text{ cm}^2}$$

$$I_m = \frac{\Phi}{\omega}$$

$$B_m = \frac{I}{a}$$

$$1 \text{ Stilb} = \frac{1 \text{ Kerze}}{1 \text{ cm}^2}$$

$$I_m = \frac{\Phi}{\omega}$$

$$B_m = \frac{I}{a}$$

$$1 \text{ Stilb} = \frac{1 \text{ Kerze}}{1 \text{ cm}^2}$$

$$I_m = \frac{\Phi}{\omega}$$

$$B_m = \frac{I}{a}$$

$$1 \text{ Stilb} = \frac{1 \text{ Kerze}}{1 \text{ cm}^2}$$

$$I_m = \frac{\Phi}{\omega}$$

$$B_m = \frac{I}{a}$$

$$1 \text{ Stilb} = \frac{1 \text{ Kerze}}{1 \text{ cm}^2}$$

$$I_m = \frac{\Phi}{\omega}$$

$$B_m = \frac{I}{a}$$

$$1 \text{ Stilb} = \frac{1 \text{ Kerze}}{1 \text{ cm}^2}$$

$$I_m = \frac{\Phi}{\omega}$$

$$B_m = \frac{I}{a}$$

$$1 \text{ Stilb} = \frac{1 \text{ Kerze}}{1 \text{ cm}^2}$$

$$I_m = \frac{\Phi}{\omega}$$

$$B_m = \frac{I}{a}$$

$$1 \text{ Stilb} = \frac{1 \text{ Kerze}}{1 \text{ cm}^2}$$

$$I_m = \frac{\Phi}{\omega}$$

$$B_m = \frac{I}{a}$$

$$1 \text{ Stilb} = \frac{1 \text{ Kerze}}{1 \text{ cm}^2}$$

$$I_m = \frac{\Phi}{\omega}$$

$$B_m = \frac{I}{a}$$

$$1 \text{ Stilb} = \frac{1 \text{ Kerze}}{1 \text{ cm}^2}$$

$$I_m = \frac{\Phi}{\omega}$$

$$B_m = \frac{I}{a}$$

$$1 \text{ Stilb} = \frac{1 \text{ Kerze}}{1 \text{ cm}^2}$$

$$I_m = \frac{\Phi}{\omega}$$

$$B_m = \frac{I}{a}$$

$$1 \text{ Stilb} = \frac{1 \text{ Kerze}}{1 \text{ cm}^2}$$

$$I_m = \frac{\Phi}{\omega}$$

$$B_m = \frac{I}{a}$$

$$1 \text{ Stilb} = \frac{1 \text{ Kerze}}{1 \text{ cm}^2}$$

$$I_m = \frac{\Phi}{\omega}$$

$$B_m = \frac{I}{a}$$

$$1 \text{ Stilb} = \frac{1 \text{ Kerze}}{1 \text{ cm}^2}$$

$$I_m = \frac{\Phi}{\omega}$$

$$B_m = \frac{I}{a}$$

$$1 \text{ Stilb} = \frac{1 \text{ Kerze}}{1 \text{ cm}^2}$$

$$I_m = \frac{\Phi}{\omega}$$

$$B_m = \frac{I}{a}$$

$$1 \text{ Stilb} = \frac{1 \text{ Kerze}}{1 \text{ cm}^2}$$

$$I_m = \frac{\Phi}{\omega}$$

$$B_m = \frac{I}{a}$$

$$1 \text{ Stilb} = \frac{1 \text{ Kerze}}{1 \text{ cm}^2}$$

$$I_m = \frac{\Phi}{\omega}$$

$$B_m = \frac{I}{a}$$

$$1 \text{ Stilb} = \frac{1 \text{ Kerze}}{1 \text{ cm}^2}$$

$$I_m = \frac{\Phi}{\omega}$$

$$B_m = \frac{I}{a}$$

$$1 \text{ Stilb} = \frac{1 \text{ Kerze}}{1 \text{ cm}^2}$$

$$I_m = \frac{\Phi}{\omega}$$

$$B_m = \frac{I}{a}$$

$$1 \text{ Stilb} = \frac{1 \text{ Kerze}}{1 \text{ cm}^2}$$

$$I_m = \frac{\Phi}{\omega}$$

$$B_m = \frac{I}{a}$$

$$1 \text{ Stilb} = \frac{1 \text{ Kerze}}{1 \text{ cm}^2}$$

$$I_m = \frac{\Phi}{\omega}$$

$$B_m = \frac{I}{a}$$

$$1 \text{ Stilb} = \frac{1 \text{ Kerze}}{1 \text{ cm}^2}$$

$$I_m = \frac{\Phi}{\omega}$$

$$B_m = \frac{I}{a}$$

$$1 \text{ Stilb} = \frac{1 \text{ Kerze}}{1 \text{ cm}^2}$$

$$I_m = \frac{\Phi}{\omega}$$

$$B_m = \frac{I}{a}$$

$$1 \text{ Stilb} = \frac{1 \text{ Kerze}}{1 \text{ cm}^2}$$

$$I_m = \frac{\Phi}{\omega}$$

$$B_m = \frac{I}{a}$$

$$1 \text{ Stilb} = \frac{1 \text{ Kerze}}{1 \text{ cm}^2}$$

$$I_m = \frac{\Phi}{\omega}$$

$$B_m = \frac{I}{a}$$

$$1 \text{ Stilb} = \frac{1 \text{ Kerze}}{1 \text{ cm}^2}$$

$$I_m = \frac{\Phi}{\omega}$$

$$B_m = \frac{I}{a}$$

$$1 \text{ Stilb} = \frac{1 \text{ Kerze}}{1 \text{ cm}^2}$$

$$I_m = \frac{\Phi}{\omega}$$

$$B_m = \frac{I}{a}$$

$$1 \text{ Stilb} = \frac{1 \text{ Kerze}}{1 \text{ cm}^2}$$

$$I_m = \frac{\Phi}{\omega}$$

$$B_m = \frac{I}{a}$$

$$1 \text{ Stilb} = \frac{1 \text{ Kerze}}{1 \text{ cm}^2}$$

$$I_m = \frac{\Phi}{\omega}$$

$$B_m = \frac{I}{a}$$

$$1 \text{ Stilb} = \frac{1 \text{ Kerze}}{1 \text{ cm}^2}$$

$$I_m = \frac{\Phi}{\omega}$$

$$B_m = \frac{I}{a}$$

$$1 \text{ Stilb} = \frac{1 \text{ Kerze}}{1 \text{ cm}^2}$$

$$I_m = \frac{\Phi}{\omega}$$

$$B_m = \frac{I}{a}$$

$$1 \text{ Stilb} = \frac{1 \text{ Kerze}}{1 \text{ cm}^2}$$

$$I_m = \frac{\Phi}{\omega}$$

$$B_m = \frac{I}{a}$$

$$1 \text{ Stilb} = \frac{1 \text{ Kerze}}{1 \text{ cm}^2}$$

$$I_m = \frac{\Phi}{\omega}$$

$$B_m = \frac{I}{a}$$

$$1 \text{ Stilb} = \frac{1 \text{ Kerze}}{1 \text{ cm}^2}$$

$$I_m = \frac{\Phi}{\omega}$$

$$B_m = \frac{I}{a}$$

$$1 \text{ Stilb} = \frac{1 \text{ Kerze}}{1 \text{ cm}^2}$$

$$I_m = \frac{\Phi}{\omega}$$

$$B_m = \frac{I}{a}$$

$$1 \text{ Stilb} = \frac{1 \text{ Kerze}}{1 \text{ cm}^2}$$

$$I_m = \frac{\Phi}{\omega}$$

$$B_m = \frac{I}{a}$$

$$1 \text{ Stilb} = \frac{1 \text{ Kerze}}{1 \text{ cm}^2}$$

$$I_m = \frac$$

menschlichen Auges an das natürliche Tageslicht in allen seinen Eigenschaften zu erkennen. Die durch die organische Entwicklung begründeten Zusammenhänge zwischen dem Tageslicht und dem Sehorgan sind so eng, dass sie auch der künstlichen Beleuchtungstechnik wegweisend sind. Die verflossene, kurze Phase elektrischer Beleuchtung von etwas mehr als 60jähriger Dauer hat auf die natürlichen Empfindungsfähigkeiten des menschlichen Auges, abgesehen von Schäden durch mangelhafte Beleuchtung, keinen weiteren Einfluss ausgeübt. Die Lichttechnik orientiert sich deshalb grundlegend an den Tageslichtverhältnissen, die in Tabelle I in wenigen Kennworten beschrieben sind.

*Eigenschaften des natürlichen Tageslichtes im Freien
in tieferen Lagen auf 45° Breite*

Tabelle I

Merkmale		Werte
Spektrum (Farbe)	Rein kontinuierlich: weiss Veränderlich je nach Ort, Zeit, Einfallrichtung, Bewölkung, Staub, Dunst	$\lambda_{\min} \approx 300 \text{ nm}$ $\lambda_{P_{\max}} \approx 550 \text{ nm}$ $\lambda_{\max} \approx 2500 \text{ nm}$
Beleuchtungsstärke im Freien	Auf- u. Untergangs-Minima Klarer Juni-Mittag Klarer Dez.-Mittag Hellstunden-Mittel Jahresstunden-Mittel	500...1000 Lux 100 000 „ 80 000 „ 23 000 „ 13 000 „
Schattigkeit oder Beleuchtungs-Art	Ganz klarer Himmel, stark gerichtete Beleuchtung Ganz bedeckter Himmel, ganz diffuse Beleuchtung	$E_{\text{Sonne}}: 80 \%$ $E_{\text{Himmel}}: 20 \%$ $E_{\text{total}}: 100 \%$ $E_{\text{Himmel}}: 100 \%$
Helligkeit oder Leuchtdichte (Blendung)	Über d. Horizont: Hellste weisse Wolken Dünne Wolken-schicht Mitteldichte Wolken-schicht Heller blauer Himmel Dichte Wolken-schicht Unter d. Horizont: Hellster besonnter Schnee Erboden Rasen Seespiegel Wald	3 Stilb 2/3 „ 1/3 „ 1/6 „ 1/12 „ 3 Stilb 3/4 „ 1/3 „ 1/3 „ 1/6 „
Ersatzlichtquelle	Glühlampe von 15 Dlm/W	7600 kWh/a m ²

Für den Lichtfachmann sind vor allem die hohen Beleuchtungsstärken des Tageslichtes im Freien auffallend, die von einigen 100 Lux bis zu Maxima von über 100 000 Lux reichen. Der wirkliche Mittelwert während der Jahres-Hellstunden, gerechnet von Sonnenaufgang bis -untergang, beläuft sich auf rund 23 000 Lux, der Mittelwert der gesamten Jahresstunden auf etwa 13 000 Lux. Weitere Hinweise verdienen die in der Natur vorkommenden Leuchtdichten, die den Wert von 3 Stilb auf grossen besonnten Flächen (Wolken, Schnee) nicht

übersteigen. Ein weiteres, wesentliches Merkmal ist die rein kontinuierliche Strahlungsart mit einer spektralen Verteilung der Strahlungsleistung, die aus Fig. 4 ersichtlich ist und deren Maximum, wie die Stelle maximaler Augenempfindlichkeit, bei 555 nm liegt.

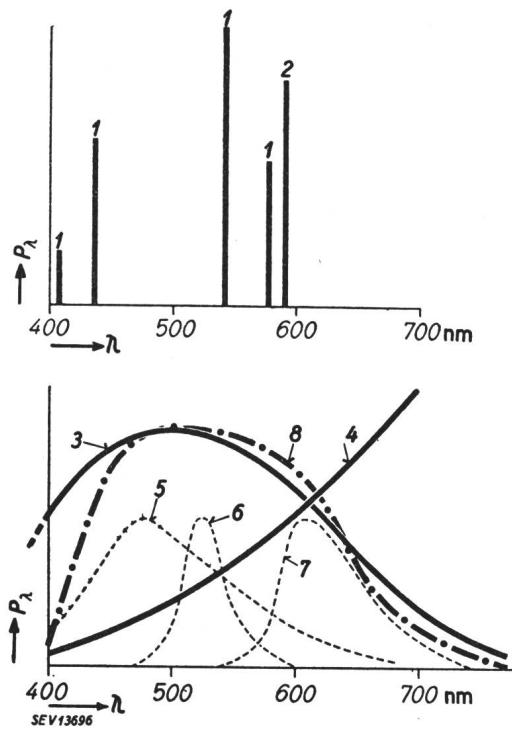


Fig. 4.
Relative spektrale Strahlungsleistung P_{λ}
gebräuchlicher Lichtquellen

1 Hg-Hochdrucklampe; 2 Na-Niederdrucklampe; 3 Sonne in Davos, Sommer-Mittag; 4 Glühlampe ca. 1,5 Dlm/W

Leuchttstoffe:

5 bläulich leuchtend; 6 grünlich leuchtend; 7 rötlich leuchtend; 8 kombiniert zu Tageslichtfarbe

Im Gegensatz zu künstlichen Beleuchtungsanlagen zeigt die natürliche Beleuchtung einen hohen Grad von zeitlicher Veränderlichkeit in jeder Hinsicht, namentlich in der Lichtfarbe, Beleuchtungsstärke und Schattigkeit. Diese Änderungen sind zweifellos von grossem Einfluss auf das Empfindungsleben; sie sind auch für den Benutzer des Tageslichtes, namentlich in Innenräumen, mit Vor- und Nachteilen verbunden. Im allgemeinen aber sind für den Durchschnittsmenschen die Tageslichtverhältnisse im Freien durchaus befriedigend und nur selten von Störungen und Problemen begleitet. Die meisten zeitlichen Veränderungen des Tageslichts verlaufen so langsam, dass sie sich dem Bewusstsein nicht aufdrängen, und die Tagesbeleuchtungsstärken im Freien sind auch an schattigen Stellen meist immer noch hinreichend für ein rasches und deutliches Erkennen der Sehobjekte.

Zur tiefen Kenntnis der Sehvorgänge wäre das Verhalten des Auges bei seinen alltäglichen Funktionen der Akkommodation (Distanzanpassung), der Adaptation (Helligkeitsanpassung), den verschiedenen Blendungseffekten, bei Flimmererscheinungen und stroboskopischen Effekten zu beschreiben. Dies überschreitet jedoch den Zweck des Referates.

B. Mittel

Die zur Zeit von der Lichttechnik, speziell für Beleuchtungszwecke, benützten technischen Mittel sind die elektrische Energie, die Lampen (Lichtquellen), Leuchten (Beleuchtungskörper, Armaturen) sowie die Körperfarben der Raumauskleidung der beleuchteten Objekte und Sehgegenstände. Die Technik der Lichterzeugung hat bereits in ihren Anfängen die Vorteile erkannt, die sich aus ihrem Zusammengehen mit der Elektrotechnik ergeben, nämlich die einfache Energiezufluhr, die konstanten Betriebsbedingungen, die Massenherstellung einfacher und billiger Lampen, die schon im Anfang der elektrischen Beleuchtung befriedigende Lichtqualität und die einwandfreien, hygienischen Betriebsverhältnisse.

1. Lampen

Der von der elektrischen Lichttechnik bis heute eingeschlagene Weg ist gekennzeichnet durch drei Stufen.

a) *Reiner Temperatur-Strahler*, mit kontinuierlichem aber vorwiegend rotgelbem Spektrum, in Form der ganzen Glühlampen-Entwicklungsreihe, mit Lichtausbeuten von anfänglich 0,2 Dlm/W bis etwa 2 Dlm/W bei den heutigen Hochleistungsglühlampen. Alle Entwicklungsetappen des Fadenmaterials (Kohle, Osmium, Tantal, Wolfram), der Fadenform (Langfaden, Einfachwendel, Doppelwendel), der Kolbenfüllung (Vakuum, Stickstoff, Argon, Krypton) dienten dem Zweck, bei gleichbleibender mittlerer Lebensdauer von 1000 Stunden, die Lichtausbeute zu steigern, die Lichtfarbe damit zu verbessern und die Lampenabmessungen zu verkleinern.

Die Verbesserungen beruhen auf einer fortwährenden Steigerung der Betriebstemperatur des Glühdades bei gleichzeitiger Herabsetzung der Verdampfungsgeschwindigkeit. Zurzeit scheinen weitere Entwicklungsmöglichkeiten der Glühlampentechnik mit bemerkenswerten Fortschritten in der genannten Richtung nicht mehr vorzuliegen. Auch die letzten Entwicklungsstufen: Krypton und Kleinspannung, wirkten sich nur in den unteren Leistungsstufen bis zu etwa 200 Dlm aus.

b) Die *reinen Gas-Entladungslampen* beruhen auf der Elektrolumineszenz, worunter die Lichthemission von angeregten Gasmolekülen im elektrischen Gasentladungsraum verstanden ist. Meistens stammt das nutzbare Licht aus der positiven Säule der Entladungsstrecke. Lichtphysikalisch fallen diese Strahlen durch ihr linienförmiges Spektrum auf, das je nach der Gasart sehr reichhaltig (klare Edelgas-, Stickstoff- oder CO₂-Hochspannungsrohren), spärlich bis einfarbig sein kann. Das letzte trifft zu für die bekannten Na-Niederdrucklampen, während die reinen Quecksilberdampf-Lampen noch ein gelb-, grün- und violetthaltes, spärliches Linienspektrum liefern.

Betriebstechnisch ist an diesen Lampentypen, beim üblichen Anschluss an Wechselstromnetze, der Bedarf eines strombegrenzenden Vorschaltgerätes in Form eines Streutransformators oder einer Drosselspule bemerkenswert; beide bedingen eine beträchtliche Herabsetzung des Leistungsfaktors auf etwa 0,3...0,4 bei Natrium-Lampen und 0,55...0,6 bei Quecksilber-Lampen. Ferner sind die Anlaufvorgänge von einigen Minuten Dauer und bei den Quecksilberhochdrucklampen die Wartezeiten bis zur Wiederzündung nach einem Spannungsunterbruch zu berücksichtigen, wozu noch die möglichen Beschränkungen in der zulässigen Gebrauchsstellung kommen. Beleuchtungstechnisch stellen diese Lampen den Fachmann und Lichtbenutzer vor besondere Aufgaben wegen der erwähnten Diskontinuität des Spektrums und der davon abhängigen Veränderung der Körperfarben, wie die Demonstrationen an einem farbigen Plakat zeigen.

Bei der monochromatisch strahlenden Natriumlampe steht der vollständigen Einbusse des Farbsehens die verbesserte Sehschärfe gegenüber.

Ein massgebender Faktor für die Einführung der Gas-Entladungslampen liegt in der ganz beträchtlichen Steigerung

der Lichtausbeute, die bei Quecksilberlampen zwischen 3 und 4 Dlm/W und bei Natriumlampen zwischen 3 und 5 Dlm/W liegt (Fig. 5). Diese und die folgenden Lichtausbeute-Angaben beziehen sich auf den angenähert mittleren Lichtstrom während der garantierten Lebensdauer und sind somit etwas niedriger als die für neue Lampen angegebenen Nennlichtausbeuten. Für Wirtschaftlichkeitsberechnungen kommen diese mittleren Angaben der Wirklichkeit näher.

c) *Fluoreszenz-Lampen* beruhen auf der vorwiegend ultravioletten Strahlung der Quecksilber-Niederdruckentladung und ihrem Zusammentreffen mit fluoreszenzfähigen Leuchstoffen, die ihrerseits kontinuierliche Spektren im sichtbaren Bereich hervorbringen können. Unter den vielen Möglichkei-

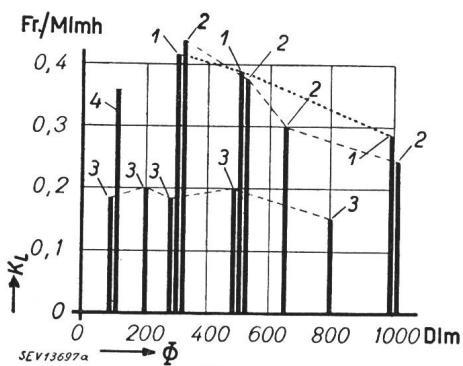
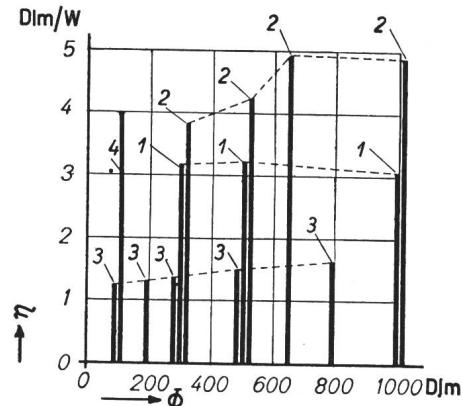


Fig. 5.
Mittlere Lichtausbeute η in Dlm/W und Lampenkosten K_L pro Mlmh verschiedener Lampentypen, abhängig vom Nennlichtstrom ϕ

1 Hg-Entladungs-Lampe; 2 Na-Entladungs-Lampe;
3 Glühlampen Dlm-Reihe, 220 V; 4 Niederspannungs-
Fluoreszenzlampe (Typ «weiss»)

ten zeigt Fig. 4 (Kurven 5...8) die Energieverteilung je eines bläulich, gelblich und röthlich leuchtenden Fluoreszenzstoffes, jedoch ohne die anregenden Quecksilberlinien. Die heute verfügbare Auswahl an Leuchtstoffen ist reichhaltig, und es können beliebige Kombinationen für technische Fluoreszenzröhren zusammengestellt werden. Dabei sind ihre betrieblichen Eigenschaften, nämlich Beständigkeit, Temperaturabhängigkeit und Durchlässigkeit sowie außerdem die Lichtausbeute, die diejenige der Quecksilber-Lampen erreicht (Fig. 5 oben), massgebend.

Von der wirtschaftlichen Seite her betrachtet stehen der sehr willkommenen höheren Lichtausbeute und damit Energieersparnis der Entladungs- und Leuchtstoff-Lampen die Mehrkosten der Lampen selbst, ihrer Zusatzgeräte und Kondensatoren gegenüber. Berechnet man den reinen Lampenpreis auf Grund der heutigen Brutto-Ansätze pro abgegebene Lichtmengeneinheit [Mega-Lumenstunde (Mlmh)], so ergeben sich vergleichbare Werte nach Fig. 5 unten, welche sowohl die mittleren Lichtausbeute während der Lebensdauer, wie auch der mittleren garantierten Lebensdauer Rechnung tragen. Es entsteht auch eine beträchtliche Verschiebung zwischen den eigentlichen Lampenkosten und den Kosten der Energie, welche die Lampen während ihrer Lebensdauer verbrauchen. Nimmt man vergleichsweise einen mittleren Ener-

giepreis von 20 Rp./kWh an, so stehen sich Lampenkosten und Energiekosten in prozentualen Verhältnissen gegenüber, die aus Fig. 6 hervorgehen. Bei Glühlampen beträgt das Verhältnis 10...12 %, bei Quecksilber- und Natrium-Lampen rund 30...45 % und bei den Leuchtstoffröhren für Niederspannung bei den heutigen Preisen (August 1946) rund 40 %.

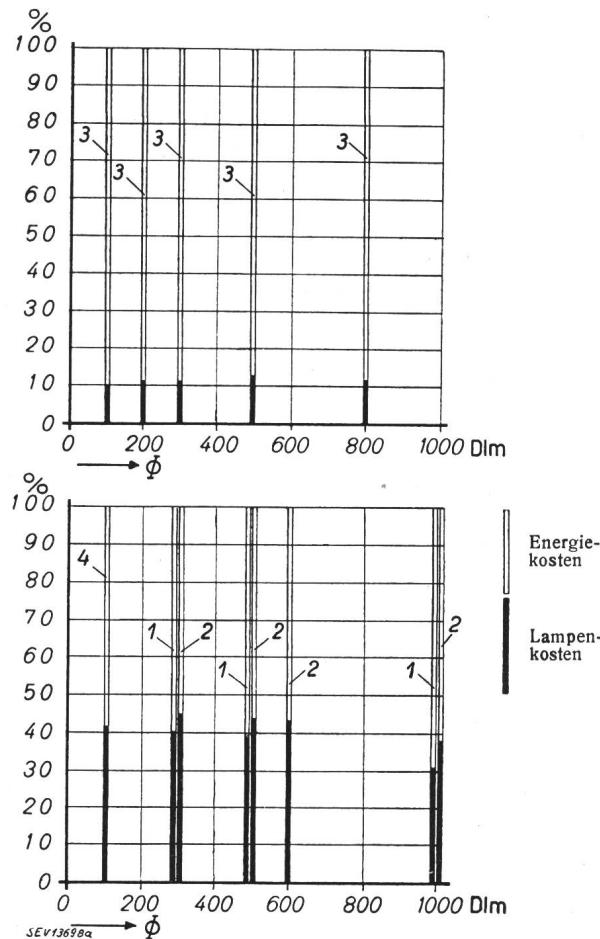


Fig. 6.

Gesamte Lampen-Betriebskosten in %, aufgeteilt in Energiekosten und Ersatzkosten

1 Hg-Entladungs-Lampen; 2 Na-Entladungs-Lampen;
3 Glühlampen Dlm-Reihe, 220 V; 4 Fluoreszenzlampen
Zugrundegelegter Energiepreis: 20 Rp./kWh

Veränderte Energiepreise ändern natürlich diese Relationen in einem leicht zu berechnenden Mass. Diese Vergleiche weisen darauf hin, dass der Lichtkonsument einen Teil der Ersparnis an Energiekosten wieder ausgeben muss, um den Betrag der erhöhten Lampenkosten und der Amortisationskosten der Zusatzgeräte und allfälliger Kondensatoren zu decken. Die höheren spezifischen Preise der Entladungslampen können bei Neuanlagen noch dadurch teilweise aufgewogen werden, dass mit den neuen Lampen (z. B. Röhren) höhere Anlagen-Wirkungsgrade erreichbar sind⁵⁾.

Zusammenfassend ergibt ein Rückblick, dass sich nach einer Epoche ausschliesslicher Glühlampenbeleuchtung (bis etwa 1930) die reinen Entladungslampen einstellten, und während der Dreissigerjahre zahlreiche Anwendungen und Erfahrungen mit dieser Lichtart gemacht werden konnten. Das Bedürfnis nach Mischung des Hg- oder Na-Lichtes mit Glühlampenlicht bestand in den meisten Fällen, ausgenommen für Fernverkehrsstrassen. Kurz vor Kriegsausbruch setzte die Aera der Niederspan-

nungs-Fluoreszenzlampen ein, die durch den Krieg in Europa stark zurückgehalten wurde. Immerhin konnte in der Schweiz während dieser Zeit bereits eine auffallende Umstellung auf die Röhrenbeleuchtung einsetzen, die nun in der Nachkriegszeit beschleunigte Fortschritte machen wird, besonders wenn die Preisentwicklung die zu erwartende Tendenz nach unten einschlägt.⁶⁾.

2. Leuchten

Während die Lampen in der Hauptsache aus rein licht- und fabrikationstechnischen Bedingungen heraus entwickelt werden und in einheitlicher Form als Serienfabrikate am Markt erscheinen, erfüllen die heutigen Leuchten nicht nur die Hauptfunktion des Blendungsschutzes und der Lichtverteilung nach der gewünschten Beleuchtungsart, sondern kommen auch allen individuellen Anforderungen und Wünschen weitgehend entgegen.

Dies geschieht in einem beleuchtungstechnisch bei weitem nicht gerechtfertigten Mass. Vielmehr spielt die Leuchte, namentlich im Wohn- und Unterhaltungsraum, die Rolle des individuell und modisch bedingten Dekorationsobjektes. Diese Tendenz beeinträchtigt oft ihren beleuchtungstechnischen Zweck, was sich bei der Benutzung der Anlage in ungenügender Beleuchtungsstärke oder niedrigen Wirkungsgraden äussert.

Die reichhaltigen stofflichen und konstruktiven Mittel des Leuchtenbaus sind seit Jahren wenig Änderungen unterworfen. Die kriegsbedingte Knappheit an Gläsern hat Ausweichmöglichkeiten bei Geweben und Papieren gesucht.

Neuartig sind die Anwendungen von Kunstharz-Presssteilen als lichtstreuende Stoffe (Schalen, Becher), wobei die geringere Zerbrechlichkeit als Vorteil, hingegen die gegenüber Glas verminderte Durchlässigkeit und die nicht ganz gewährleistete Hitzebeständigkeit als Nachteile auftreten.

Bemerkenswert ist der auch in der Schweiz gelungene Ersatz der hochwertigen Glas-Silberspiegel-Reflektoren durch anodisch oxydierte Aluminium-Reflektoren. Diese konkurrieren erfolgreich mit ihren Vorgängern hinsichtlich Reflexionsziffer und Richtkraft und übertreffen sie in der Hitzebeständigkeit, Unzerbrechlichkeit, Beständigkeit gegen Korrosion und in anderen praktischen Eigenschaften derart, dass ihnen die Verdrängung der ehemaligen Silberspiegel und galvanisch versilberten oder vernickelten Metalle bis zu einem starken Grad glingen dürfte.

Wesentlich neue Aufgaben sind dem Leuchtenbau seit der Einführung der Niederspannungs-Leuchtstoffröhren entstanden. Wenn anfänglich auch die Möglichkeit besteht und aus Ersparnisgründen angestrebt wird, allenfalls ohne besondere Leuchten auszukommen und die Röhrenlampen direkt dem Raum einzuführen, z. B. an Decken und Wänden, so bleiben doch zahlreiche Anwendungsfälle übrig, bei denen ohne Leuchte nicht auszukommen ist, sei es zur Erzielung einer bestimmten Beleuchtungsart, sei es aus dekorativem Bedürfnis heraus.

⁵⁾ Ueber die tarifpolitischen Auswirkungen siehe Bemerkung Abschnitt C, Ziff. 7.

⁶⁾ Für Niederspannungs-Fluoreszenzlampen ist auf Mitte April 1946 ein erheblicher Preisabschlag eingetreten.

3. Körperfarben

Das Beleuchtungsmittel «Körperfarbe» ist in zwei Zusammenhängen von Bedeutung:

a) *Als Farbe der Raumauskleidung* beeinflusst es weitgehend die Reflexionswerte der Decken und Wände und damit den Wirkungsgrad der Beleuchtungsanlage. Die Farbe bestimmt auch die visuelle Gesamtwirkung aller sichtbaren Raumflächen, die mit «Raumhelligkeit» bezeichnet werden kann.

Diese ist für den Aufenthalt im Raum, sofern er nicht ausschliesslich intensiv ausgenützter Arbeitsraum ist, von weit grösserer Bedeutung als die Beleuchtungsstärke-Verteilung in der Messebene (85 cm über Boden). Häufig ist die Messebene gar nicht wirklich vorhanden, z. B. in Sälen mit Bestuhlung, in Kirchen und Kinos. Auch in Arbeitsräumen tritt die «Messebene» nur insofern auf, als dort Arbeitsflächen, z. B. Tische, Pulte, Reissbretter vorliegen, die jedoch oft nur kleine Teile der Grundfläche ausmachen. Hohe Beleuchtungsstärken auf diesen Gebrauchs-Ebenen schaffen wohl für die dort zu verrichtende Arbeit einen günstigen Faktor, vermögen jedoch das Aussehen des Raumes wenig zu beeinflussen.

Es sei deshalb auf die Bedeutung der *Raum-Körperfarben* als Mittel zur «Belichtung» des Raumes aufmerksam gemacht, die messtechnisch erst durch eine Leuchtdichte- oder Flächenhelligkeits-Messung erfasst werden könnte⁷⁾.

Der Zusammenhang zwischen den künstlichen Lichtarten und den Körperfarben der Raumauskleidung sollte in jedem Raum, in dem sich Menschen längere Zeit bei elektrischer Beleuchtung aufhalten, experimentell erprobt werden, z. B. vorgängig der Wahl der Anstrichfarben, Tapeten, Hölzer, Verputze.

b) *Als Farbe der Arbeitsgegenstände* bestimmen die Körperfarben unmittelbar die Helligkeitseindrücke des zentralen Gesichtsfeldes, auf dem die Arbeitsvorgänge gesehen werden. Helle oder dunkle Arbeitsflächen (Unterlagen), Werkzeuge und andere Hilfsmittel bedingen in ihrem Zusammenwirken auf dem Arbeitsstück selbst die wahrzunehmenden Kontraste und Leuchtdichten, von denen die Sehschärfe und Sehleistung abhängen. Diese Faktoren sind oft gänzlich unbekannt und unbeachtet oder werden nur in Fällen krasser Seh-Störungen oder Arbeitsfehlleistungen entdeckt.

C. Ziele

Im folgenden sollen nun die *Ziele der Lichttechnik* ins Auge gefasst werden. Ich verstehe darunter alle *Aufgaben*, die sich ihr innert absehbarer Zeit stellen werden und die *Lösungen*, die mit den zurzeit vorhandenen und von der nächsten Zukunft zu erwartenden technischen Mitteln möglich sein dürften.

Der gegenwärtige und vorkriegszeitliche Stand der Beleuchtungstechnik darf wohl, gemessen an europäischen Verhältnissen, als befriedigend bezeichnet werden. Die Arbeit unserer Fachleute, das Interesse der Lichtbenutzer an guter Beleuchtung und das Verständnis zahlreicher Förderer des Be-

leuchtungswesens verdienen alle Anerkennung. Dieser Zustand kann uns jedoch für die Zukunft noch nicht befriedigen, weil einerseits viele berechtigte Anforderungen an die Beleuchtungs-Anlagen noch nicht erfüllt sind, und weil andererseits neue Beleuchtungsmittel auftauchen, die mit wirtschaftlich tragbaren Mitteln qualitativ und quantitativ bessere Lösungen als die gegenwärtigen zulassen.

Es werden deshalb die Zukunftsaussichten, auch wenn sie gelegentlich etwas verwegener oder utopisch erscheinen mögen, in verschiedener Richtung an Hand der üblichen lichttechnischen Kriterien kurz aufgezeigt. Vorwiegend wird dabei an grössere Anlagen für Arbeitsräume gedacht.

1. Lichtfarbe

Zurzeit beherrscht noch, im Grossen gesehen, die Glühlampe das Feld. Ihre an und für sich erwünschte kontinuierliche Lichtart leidet unter dem Mangel an kurzwelliger Strahlung, namentlich violett, blau und blaugrün. Dieser Mangel wird bei allen Anwendungen empfunden, bei denen auf die naturgetreue Beleuchtung farbiger Objekte Wert gelegt wird. Diese Anlagen sind zahlreich und werden zunehmen. Auch in der Dämmerzeit erzeugt der Farbenunterschied zwischen Tages- und Glühlampenlicht viele und unangenehme Zwielichteffekte.

Die Entladungslampen mit reinen Linienspektren (Quecksilber- und Natrium-Lampen) entfernen sich vorübergehend von der Tageslichtähnlichkeit noch mehr, als es bei Glühlampen der Fall war; hingegen wurden in den meisten Anwendungsfällen bald Korrekturen eingeführt in Form der Mischung mit Glühlampenlicht (Mischlichtleuchten und Mischlichtlampen). Sie führten zu einer mindestens gefühlsmässigen, aber nur scheinbaren Verbesserung der Lichtfarbe in der Richtung zum natürlichen Tageslicht.

Mit den Fluoreszenzlampen sind wieder Lichtquellen gegeben, die sich qualitativ eng an den spektralen Charakter des Tageslichtes anschliessen (Fig. 4) und in einigen Nuancierungen mehr dem bläulichen Himmelslicht oder dem weissen direkten Sonnenlicht nahe verwandt sind. Ihr Spektrum ist lichtstrommässig zu 90 % kontinuierlich, der Rest besteht aus dem Quecksilber-Linien-Spektrum. Damit ist die Glühlampe lichtqualitativ überholt, wenigstens für alle Arbeitsstellen mit farbigen Sehobjekten.

Die grosse Zukunftsaufgabe liegt in der richtigen Zuordnung der Lichtarten (Glühlampen einschliesslich Kleinspannungs-, Quecksilber- und Natrium-Lampen, Leuchstofflampen) an die jeweils konkret vorliegende Beleuchtungsaufgabe; es handelt sich um eine neue Ausscheidung der Anwendungsmöglichkeiten jeder Lampen- und Lichtart. Generell zeichnet sich die Entwicklung in der Richtung ab, dass für beleuchtungsstarke, allgemeine Arbeitsraum-Anlagen die Fluoreszenzlampe am geeignetsten sein wird. Die Glühlampe wird in Räumen zur Erholung und Unterhaltung sowie überall dort vorgezogen werden, wo ihr kleiner Platzbedarf den Einbau er-

⁷⁾ Siehe Abschnitt C, Ziff. 9.

leichtert, z. B. in Kleinleuchten. Für die Strassenbeleuchtung scheinen die reinen Entladungslampen, mit und ohne Glühlampenergänzung, am geeignetsten zu sein, wobei auch die wirtschaftlichen Gesichtspunkte entscheidend ins Gewicht fallen. Das letzte ist natürlich auch bei Innenanlagen der Fall.

2. Beleuchtungsstärke

Das dem Tageslicht angepasste menschliche Auge ist auch für das Sehen bei Tages-Beleuchtungsstärken geschaffen, ohne dass Blendung und Ermüdung auftreten. Der häufige Aufenthalt im Freien z. B. in der Jugend, das Arbeiten bei diesen Beleuchtungsstärken sowohl im Freien wie auch in Innerräumen in Fensternähe gewöhnen das Sehorgan an die natürlichen Beleuchtungsstärken des Tages (siehe Tabelle I). Diese liegen an mässig beleuchteten Innenraum-Plätzen im Bereich einiger 100, an gut beleuchteten bei einigen 1000 Lux. Diesen Werten gegenüber verlangen die gegenwärtig geltenden Leitsätze des SBK bei reiner Allgemein-Beleuchtung Beleuchtungsstärken von 50 bis 300 Lux für grobe bis ganz feine Arbeit. Bei besonderer Arbeitsplatz-Beleuchtung liegen die Anforderungen zwischen 100 und 1000 Lux⁸⁾. So weit gehen die bisherigen Forderungen, die aus wirtschaftlichen oder allgemein menschlichen Gründen nur in einem Teil der bestehenden Anlagen voll berücksichtigt wurden. Die Divergenz zwischen dem betriebskostenlosen Lichtangebot des Tages und dem mit Auslagen verbundenen künstlichen Beleuchten ist demnach jetzt noch sehr gross. Sicher ist in keinem anderen Bereich der Lebensbedürfnisse (Wärme, Belüftung, Befeuchtung) der Unterschied zwischen dem natürlichen Angebot und dem künstlichen Ersatz so stark wie beim Licht. Wohl vermögen die Adaptionsfähigkeit der Netzhaut und die langsamens, natürlichen Lichtwechsel die Empfindung des grossen Abstandes zu mildern. Die Beleuchtungstechnik hat aber hier noch eine ihrer wichtigsten Aufgaben vor sich. Wahrscheinlich liegt das Ziel der Entwicklung in der schliesslichen Annäherung an die Stärken der Tagesbeleuchtung, wenigstens für Arbeitsplätze.

3. Schattigkeit

Die in der Natur vorkommenden Extreme (Tab. I, drittes Feld), d. h. die vorwiegend gerichtete Beleuchtung bei klarem Himmel mit nur *einem* Schlagschatten einerseits und die völlig diffuse Beleuchtung bei ganz bedecktem Himmel ohne Schatten-Effekt anderseits wurden in grösseren, künstlichen Anlagen für Allgemein-Beleuchtung selten vollkommen verwirklicht.

Bei der ganz direkten Beleuchtung mit Glühlampen und anderen Lampen in *Kolbenform* führt die nötige Unterteilung des Lichtstromes auf meh-

rere Leuchten und Lampenstellen zu einer *vielschattigen* Beleuchtung, die oft stört.

Auch die ganz indirekte künstliche Beleuchtungsart schafft meistens nicht vollkommen natürliche Bedingungen und Eindrücke, weil in der Regel nur die hellen Decken als Reflektoren zur Verfügung stehen, während die seitlichen, niedrig gelegenen Raumpartien (Fenster und möblierte Wandpartien) erheblich dunkler sind als im Freien bei gleichmässig bedecktem Himmel. Zweifellos sind beide extremen Beleuchtungsarten für bestimmte Arten von Arbeiten besonders geeignet, d. h. optimal. Praktisch sind aber weniger diese Extrem-Lösungen, als alle Formen von Zwischenlösungen vorwiegend direkter bis vorwiegend indirekter Beleuchtung vertreten, ohne jedoch die natürlichen Beleuchtungsverhältnisse in Menge und Güte zu erreichen.

Sehr oft ist die Wahl der Beleuchtungsart von Anfang an durch die gegebenen baulichen Bedingungen der Räume, z. B. Decken- oder Wand-Konstruktion und -Bekleidung, schon vorgeschrieben oder eingeengt. Die nötige Rücksicht auf die Schattigkeitsverhältnisse am Arbeitsplatz kann dann gar nicht genommen werden. Bei einer immer anzustrebenden besten Lösung der Aufgabe werden sich die Beleuchtungsart und die Raumausführung primär nach den Sehbedingungen am Arbeitsplatz, namentlich nach der Stärke und Richtung der Schatten richten. Dies setzt das eingehende Beobachten der Arbeitsvorgänge und Sehobjekte voraus und verlangt eine rechtzeitige und enge Zusammenarbeit zwischen Lichtfachmann und Bauherrn. Die *richtige Schattigkeit* als Sehfaktor verdient neben der Beleuchtungsstärke und Lichtfarbe eine vermehrte Beachtung.

Eine völlig neue Sachlage entsteht nun beim Uebergang von den wesentlich punktförmigen Kolbenlampen und zugehörigen Leuchten vom Typus «Kugel» auf die wesentlich linienförmigen Lichtquellen in Form der Leuchtstoffröhren. Die Schatten verlaufen dabei in Form, Richtung und Stärke ganz anders und müssen neu beobachtet und studiert werden. In Verbindung mit den neuartigen Einbau-Möglichkeiten der Leuchten in den Raum stellen sich deshalb dem Lichtfachmann weitere Zukunftsaufgaben. Man wird sich dabei immer mehr von schematischen Raumgestaltungs-Lösungen frei machen und die Zusammenhänge zwischen Arbeitsvorgang und Beleuchtungsanlage noch enger als bisher herstellen müssen.

4. Zeitliche Gleichmässigkeit

Am üblichen 50-Hz-Lichtnetz mit ruhiger Betriebsspannung erzeugten bisher Glühlampen in den seltensten Fällen nennenswerte Sehstörungen (z. B. Bewegungslimmern oder stroboskopische Effekte). Beim Auftreten der reinen Entladungslampen ohne Leuchtstoffe (Hg und Na) traten diese Erscheinungen mitunter stark in den Bereich der Beobachtung

⁸⁾ Die zur Zeit in Bearbeitung stehende 2. Auflage der Schweiz. Allgemeinen Leitsätze für elektrische Beleuchtung wird eine mässige Erhöhung der erforderlichen Beleuchtungsstärken bringen.

und Diskussion, weshalb sich auch das SBK damit befasste⁹⁾.

Es ist zu erwarten, dass erstens diesen Erscheinungen seitens der Lichtfachleute von Anfang an die nötige Aufmerksamkeit geschenkt wird, zweitens die allenfalls vorhandenen Störungen durch eine Reihe möglicher Gegenmassnahmen, die den Fachleuten bekannt sind, beseitigt, und drittens die Lichtschwankungen von Entladungs-Lampen durch Mischung mit richtig dosiertem Glühlampenlicht von Anfang an gemildert werden.

5. Oertliche Gleichmässigkeit

Oft sind in bestehenden Anlagen benachbarte Räume, häufiger aber benachbarte Arbeits- und Abstellplätze in Richtung, Stärke und Farbe sehr ungleich beleuchtet; dadurch wird die Sehfähigkeit wegen der erforderlichen Adaptationszeiten vorübergehend beeinträchtigt. Die Ueberbrückung und Vermeidung dieser Gegensätze ist eine wichtige Aufgabe des Fachmannes. Die ungünstigsten Verhältnisse bestehen in dieser Hinsicht bei sehr starker, eng begrenzter Arbeitsplatzbeleuchtung in dunkler Umgebung. Sie werden verbessert durch eine gleichzeitig vorhandene, beträchtliche Allgemeinbeleuchtung. In dieser Hinsicht ist eine reichliche Allgemein-Beleuchtung, welche, wenn möglich, die Einzelplatzbeleuchtung überflüssig macht, die zu bevorzugende Lösung, wenn die Forderungen an die Beleuchtung des Arbeitsplatzes nicht allzu hoch sind.

Eine erhebliche Verbesserung der örtlichen Gleichmässigkeit ist auch zu erwarten beim Uebergang von Kolbenlampen jeder Art zu Röhrenlampen in Reihenanordnung, weil dabei die Kontinuität der Beleuchtung in der Längsrichtung der Röhre sicher gestellt ist. Die zukünftige Röhrenbeleuchtung bringt damit den Uebergang von der punktsymmetrischen und dadurch wesentlich ungleichförmigeren zur längssymmetrischen, wesentlich gleichförmigeren Lichtverteilung.

6. Blendung

Glühlampen jeder Form, namentlich offene Klar glaslampen, dann auch innenmattierte Lampen und solche mit Opalglas-Kolben erzeugen im direkt beobachtenden Auge die Absolut-Blendung. Ihre Leuchtdichte schwankt in der angegebenen Reihenfolge von einem Maximum von einigen hundert bis zu einem Minimum von 3 Stilb. Alle diese Werte liegen über der Blendungsleuchtdichte und über den in der Natur auf kleinen Flächen vorkommenden Höchstwerten.

Der Einbau in lichtstreuende Gläser, z. B. Opal überfanggläser, hat diese Verhältnisse wohl verbessert, jedoch sind namentlich in Fabriken noch viele sogenannte ungeschützte Glühlampen zum

9) Siehe König, H.: Bericht über neuere Arbeiten des Schweizerischen Beleuchtung-Komitees. Bull. SEV Bd. 37 (1946), Nr. 4, S. 96...97; Goldmann, H., König, H., u. Mäder, F.: Bemerkungen über das Phänomen des Bewegungslimmerns und die Definition des Welligkeitsgrades. Bull. SEV Bd. 37 (1946), Nr. 2, S. 25...30, sowie Bericht der Fachgruppe Flimmern an das Schweiz. Beleuchtung-Komitee: Flimmern und stroboskopische Erscheinungen als Folge netzfrequenter Schwankungen des Lichtes. Bull. SEV Bd. 37(1946), Nr. 14, S. 367...375.

Schaden der Arbeiter anzutreffen. Häufig sind auch lichtstreuende Gläser «überlastet», d. h. durch zu hohe Leuchtdichten blendend, weil das Verhältnis des Lichtstromes zu den Streuflächen zu gross ist.

Nur bei vorwiegend und ganz indirekter Beleuchtung wird die Blendung durch die Leuchten vollständig vermieden. Eine beträchtliche Verbesserung der Blendungsverhältnisse ist nach der Einführung der Niederspannungs-Leuchtstoffröhren zu erwarten. Die Leuchtdichte ihrer Oberfläche ist bei den bisher angewandten Röhren auf 0,3 Stilb gehalten; das Auge erträgt sie bei direkter Betrachtung, namentlich auf hellem Hintergrund, ohne Blendung. Damit ist die Verwendung der unverkleideten Lichtquellen wieder möglich und lässt Anwendungen zu, die beleuchtungstechnisch und architektonisch Neues versprechen.

7. Wirtschaftlichkeit

Aus der Uebersicht Tabelle II gehen die wichtigsten, kostenbildenden Faktoren für Erstellung und Betrieb hervor. Hier sind auch Kosten aufgenommen

Kosten- und Gewinnfaktoren bei Erstellung und Betrieb von Beleuchtungsanlagen

Tabelle II

Kostenfaktoren	Anlagekosten	Betriebskosten
Gebäude und Raum	Bauliche Einrichtungen: Hohlkehlen, Nischen, Pfeiler Trag- u. Hängekonstruktionen Anstriche, Vorhänge, Verglasung	Reinigung Neuanstriche
Installation	Haupt-, Verteil- u. Zuleitungen Zähler Sicherungs-Apparate Schalt-Apparate Steuer- u. Regulier-Apparate	Ausbau Verstärkungen Umstellungen
Leuchte	Leuchtenpreis Zusatzeräte, z. B.: Drosselspulen Kondensatoren Transformatoren	Ersatz abnutzbarer Teile: Schirme Spiegelreflektoren Lackierungen Modische Änderungen Bewegliche Teile
Lampe	Lampenpreis Spezialfassungen	Ersatz wegen: Alterung Bruch Diebstahl Auswechselungsarbeit
Energie	Transformatoren Regler Kondensatoren	Konsum für: Lampen Verluste Regulierung Blindverbrauch
Gewinn-Faktoren	Ersparnisse bei Umstellungen, Ausbau, Modernisierung u. Neuentwicklung	Arbeitsleistung Arbeitsqualität Gesundheit Unfallsicherheit Reinlichkeit, Ordnung Arbeitsfreude Soziale Wohlfahrt

men, die bei wirtschaftlichen Projektvergleichen nicht weggelassen und übersehen werden dürfen. Jedenfalls zeigt die Uebersicht, dass mit den oft üblichen Energieverbrauchs- und Lampenersatz-Kostenberechnungen noch keine einwandfreie Vergleichsbasis zwischen konkurrierenden Anlageprojekten hergestellt ist. Es gehören auch die Kosten von Leuchten, Zusatzgeräten, installationstechnischen Mehr- oder Minderaufwendungen und von baulichen Sondereinrichtungen zu den massgebenden Anlage- und Amortisationskosten.

Im Zusammenhang mit den neuen Lampentypen von 2- bis 3facher Lichtausbeute im Vergleich mit den Glühlampen verdient der Faktor «Energiepreis» bei Werken und Konsumenten besondere Beachtung. Wenn das Prinzip der Energiekostenberechnung auf Grund des Nutzungszweckes (Licht, Kraft, Wärme, Sonderzwecke) oder auf Grund der Konkurrenzpreise anderer Energieformen erhalten bleiben soll, so kann weder mit dem bisher üblichen reinen Konsumtarif noch mit zusätzlichen, primitiven Pauschaltarifen eine auf die Dauer befriedigende und gerechte Preisgestaltung für die Lichterzeugung entstehen. Das Interesse der Werke an der Erhaltung des wichtigsten Einnahmefaktors «Licht» und die Forderung der Konsumenten nach gerechter Preisberechnung müssen neue Lösungen ergeben. Sie liegen prinzipiell in der Berechnung nach «Lichtmengen», ähnlich wie dies in der Wärmetechnik mit den am Wärmeverbraucher angebrachten «Wärmezählern» der Fall ist. Da einer solchen Lösung wahrscheinlich viel zu grosse apparate- und installationstechnische Schwierigkeiten im Weg stehen, kommen Grundgebühren- oder Regelverbrauchstarife in Betracht, die auf die benutzten Lampentypen nach Leistung und Lichtausbeute Rücksicht nehmen.

8. Betriebseigenschaften

Die praktisch ausserordentlich einfachen Betriebsverhältnisse der Glühlampen werden für die neuen Lampentypen ein nicht leicht zureichendes Ziel sein. Dazu zählen vor allem

- die einfachen und einheitlichen Sockel und Fassungen;
- die beliebige Brenn- oder Gebrauchslage;
- die sofortige Betriebsbereitschaft mit vollem Lichtstrom gleich nach dem Einschalten;
- die sofortige Betriebsbereitschaft nach Spannungsunterbrüchen;
- die relativ geringe Abhängigkeit von Raum- und Leuchten-Temperatur;
- der relativ geringe Lichtstromrückgang von 10...20 % während der Lebensdauer; die Gleichmässigkeit der Lebensdauer und das rechtzeitige Ausscheiden der Lampe aus dem Betrieb bei Beginn empfindlichen Rückgangs des Lichtstromes;
- die statistische Gleichmässigkeit der mittleren Lebensdauer (1000 h);
- das Fehlen von Zusatzgeräten und der hohe Leistungsfaktor;
- die Radiostörfreiheit.

Wenn auch die erwähnten Vorteile der Glühlampe aus technischen Gründen von einigen neuen Lampentypen überhaupt nicht erreicht werden können (z. B. das Fehlen von Zusatzgeräten), so bleiben doch alle diese Eigenschaften für zukünftige Lampen als ideale Forderungen bestehen.

9. Lichtmessung

Die in der beleuchtungstechnischen Praxis z. Z. übliche Messung der Beleuchtungsstärken mit sogenannten objektiven Luxmetern mit Selen-Elementen unterliegt vielen Fehlermöglichkeiten. Namentlich sind zu erwähnen

- die oft von Anfang an fehlende, zuverlässige Eichung durch ein zuständiges Laboratorium;
- das Fehlen von Nach-Eichungen oder Kontrollen in periodischen Abständen und namentlich nach Überlastungen durch Tageslicht, die Unkenntnis der Eichbedingungen bezüglich der zur Eichung benützten Lichtart;
- die Unkenntnis der Umrechnungsfaktoren für andere Lichtarten als der zur Eichung benützten (z. B. Quecksilber- und Natrium-Licht, Fluoreszenzlicht);
- die Nichtberücksichtigung der Lichtstrom-Abhängigkeit der Lampen von der Netzspannung während der Messung;
- die zusätzliche Beeinflussung der Lichtelemente durch Schatten oder Reflexe, herrührend von der Messperson;
- die Richtungs-Abhängigkeit der Messungen auf Anlagen mit stark gerichtetem Lichteinsfall, z. B. auf Strassen und anderen offenen Anlagen.

Es dürfte bisher kaum einen anderen Bereich gegeben haben, in welchem die Unsicherheit oder Ungenauigkeit einen höheren Grad erreichte als in der Beleuchtungsmessung. Diese Tatsachen blieben auch dem interessierten Laien nicht immer verborgen und schufen bei ihm berechtigtes Misstrauen in die praktisch übliche Beleuchtungs-Messart.

Alle erwähnten Fehler sind bei gewissenhafter Einstellung zur messtechnischen Aufgabe ohne ausserordentliche Arbeit und Kosten zu vermeiden. Die vom SBK erlassenen Anweisungen für die Beleuchtungsmessung¹⁰⁾ verdienen vermehrte Verwirklichung. Es bleibt Aufgabe des SBK, in dieser Hinsicht für wirksame Verbesserungen zu sorgen.

Die ideale Messung zur Beurteilung der Beleuchtungsverhältnisse liegt jedoch nicht allein in der Erfassung der Beleuchtungsstärke, weil diese nur den auf die Sehobjekte auffallenden Lichtstrom bewertet. Tatsächlich macht der reflektierte oder nach dem Auge gerichtete Lichtstrom den Helligkeitswert oder die Leuchtdichte des Sehobjektes aus. Die Messung dieser Grösse mit einem in Richtung des betrachteten Auges nach dem Objekt zu visierenden Leuchtdichte- oder Helligkeits-Messer würde wesentlich wertvollere Kriterien für die Beleuchtungs-Güte liefern, als die Beleuchtungsstärke-Messung allein. Ansätze in dieser Richtung waren in Form eines Leuchtdichte- und Kontrast-Messers für Strassen-Oberflächen vor dem Krieg vorhanden. Eine Weiterentwicklung wäre für Innenanlagen sehr zu begrüssen.

10. Projektierung und Bauanpassung

In heute noch viel zu wenigen Fällen gelingt es dem Lichtfachmann, auf Neu- oder Umbauprojekte von Anfang an jenen Einfluss geltend zu machen, den die Beleuchtungsanlagen dann erfordern, wenn sie vollkommen zweckentsprechend und mit sparsamsten Mitteln ausgeführt werden sollen. Ein solcher Einfluss erstreckt sich auf eine Reihe die Bau-Konstruktion, -installation und Einrichtung

¹⁰⁾ Schweizerische Allgemeine Leitsätze für elektrische Beleuchtung (Publikation Nr. 144 des SEV), Anhang D 2.

beeinflussender Faktoren, z. B. Raumproportionen, Raumhöhen, Lage der Arbeitsplätze, Lage der Fenster, Unterzüge, Pfeiler, Einbauten, Oberlichter, Verputz, Verkleidung der reflektierenden Raumflächen, Farbe dieser Flächen, Reinigungsmöglichkeiten, Lage der Haupt- und Unterverteilieranlagen des Lichtnetzes, Vorbereitungen für die Leitungsführung und Leuchtenbefestigung, bauliche Anpassungen für Hohlkehlen, Nischen, Sockel zur Placierung von Leuchten oder unverkleideten Röhren.

Die Anstrengungen der Lichtfachleute werden erst dann ihr Ziel erreicht haben, wenn jedes bedeutende Bauvorhaben rechtzeitig, auch von beleuchtungstechnischen Gesichtspunkten aus, in Verbindung mit einem an diesen Fragen interessierten Bauherrn und lichtverständigen Architekten sachlich einwandfrei durchgearbeitet werden kann.

11. Verbindung von Tages- und künstlicher Beleuchtung

Während der zurückliegenden Glühlampen-«Epoche» war eine gewollte oder verlangte Verbindung der Tagesbelichtung mit der künstlichen Beleuchtung zum Zweck der Angleichung von Farbe, Stärke, Schattigkeit in den meisten Fällen ein wenig Erfolg versprechendes Unternehmen. Die Gründe lagen in der sehr verschiedenen Lichtfarbe beider Quellen, sodann in der Grossflächigkeit der Tageslichtöffnungen einerseits und in der starken Konzentration der Lichtströme in den kolbenförmigen

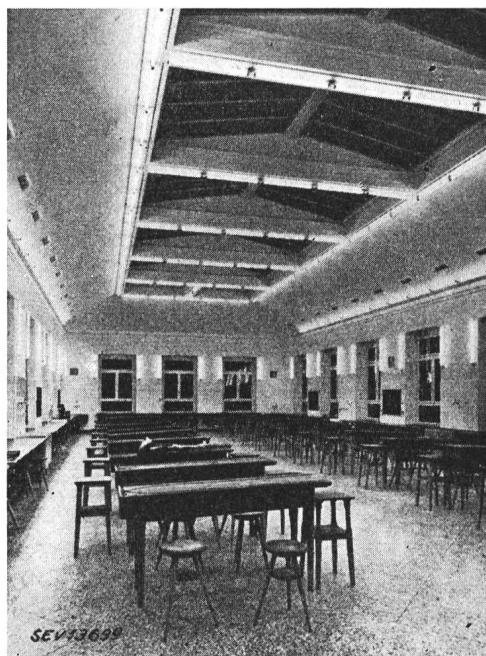


Fig. 7.
Sezierraum eines Anatomischen Institutes

Lampen und relativ kleinen Leuchten anderseits. Gut ausgerüstete Hohlkehlen für Indirekt-Beleuchtung und dicht besetzte Glühlampen- oder Leuchten-Felder für grosse Glastransparente stellten einige Lösungsversuche in dieser Richtung dar. Eine befriedigende Vereinigung der natürlichen und künstlichen Anlage gelang jedoch in ganz wenigen Fällen.

Seit der Einführung der Röhrenlampen hat sich dies ganz überraschend geändert, einmal wegen der Tageslicht-Aehnlichkeit des Fluoreszenzlichtes, dann aber auch wegen der linienförmigen Anordnung der Röhrenlampen. Diese können relativ leicht den Tageslicht spendenden Elementen des Raumes angepasst oder dort angegliedert werden, z. B. an und

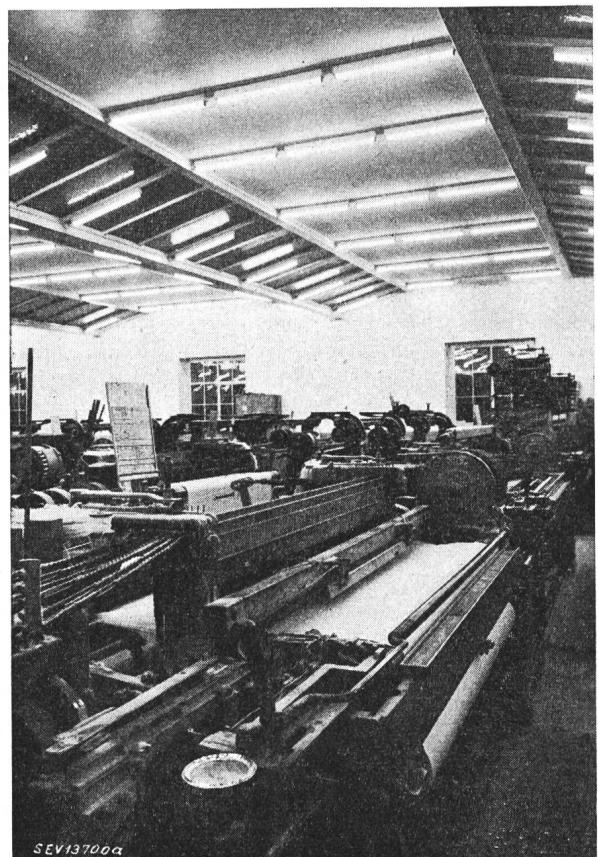


Fig. 8.
Websaal

um die Fenster, Oberlichter, Lichtbänder aller Formen.

Bei zurückgehendem Tageslicht übernehmen die so angepassten Leuchtröhren die zusätzliche Beleuchtung in nahezu gleicher Farbe, Richtung und Schattigkeit, so dass die Uebergänge während der Dämmerung vom natürlichen zum künstlichen Licht kaum beachtet werden (Fig. 7 und 8). Falls solche Anlagen noch mit lichtelektrischer Steuerung bzw. Schaltung ausgerüstet sind, stellen sie einen fast vollwertigen Ersatz der Tagesbeleuchtung dar.

Aus dieser neuen Möglichkeit ergibt sich erst recht die Anregung zur Zusammenarbeit zwischen Architekten und Lichtfachleuten. Diese sollten sich bei ähnlichen Anlagen, die bald nicht mehr vereinzelt sein werden, die nötigen Kenntnisse und Berechnungsarten der natürlichen Tagesbeleuchtung aneignen, weil die Aufgaben beider Beleuchtungen ineinander verwachsen. Die vorgesehene Gründung einer Arbeitsgruppe des SBK für Tagesbeleuchtung findet somit ein aufgeschlossenes Arbeitsfeld vor und hat für die Fachleute der Beleuchtungstechnik wichtige Vorarbeit zu leisten.

Es ist leicht denkbar, dass sich von der elektrischen Beleuchtungstechnik aus auch Anregungen und Berechnungsunterlagen für die Tagesbeleuchtung ergeben, die für die gesetzlichen Bestimmungen für Hochbauten praktische Folgen haben könnten. Die bestehenden Tagesbeleuchtungs - Vorschriften der meisten schweizerischen Bauverordnungen sind so summarisch und zum Teil knapp gehalten, dass sie den Forderungen an eine gute Wohnungs- und Arbeits-Beleuchtung nicht allgemein entsprechen können.

12. Ausbildung und Anleitung

Die richtige Anwendung der gegebenen Beleuchtungsmittel setzt gründliche Sachkenntnis, gute Beobachtungsgabe und Sinn für Hygiene und Aesthetik voraus. Mit einfachen Regeln, erworbener Routine und alten Erfahrungswerten allein kann in der Zukunft nicht erfolgreich gearbeitet werden. Die neuen Mittel verlangen neue Kenntnisse, Studien, Beobachtungen beim Lichttechniker und Lichtkonsumenten. Auf der ganzen Linie sind gründliche Ausbildungskurse, beginnend in den technischen Lehranstalten bis zu kurzen Einführungskursen für Installateure, Werkpersonal, Betriebsleiter nach Massgabe der verfügbaren Grundlagen unerlässlich. Eine Sorge der Lichtfachleute ist der gute Kontakt und die sachliche Aufklärung in Architektenkreisen, die oft von ganz anderen Gesichtspunkten aus an die Beleuchtungsaufgaben herantreten und auch bisweilen schwer verständliche Lösungen schaffen.

Der ausgedehnte Bereich sachlicher Kenntnisse und der Umfang der nötigen persönlichen Beziehungen, die der Lichtfachmann zu unterhalten hat, gehen aus der schematischen Uebersicht von Fig. 9 hervor.

Je freier und unabhängiger die Stellung des Lichtfachmannes in diesem grossen Zusammenhang ist, um so eher wird er in der Lage sein, in jeder Hinsicht einwandfreie Anlagen zu projektieren und zur Ausführung zu bringen. Starke einseitige Gebundenheit bringt auch die Gefahr einseitiger Interessenvertretung mit sich.

Ebenso ist die zu starke Betonung des rein Technischen in Beleuchtungs-Angelegenheiten der gesamten Aufgabe oft nicht förderlich. Der Lichttechniker bereichert seine Tätigkeit und erhöht

seine Erfolge, wenn er die Interessen und Ansichten des Hygienikers und Architekten versteht oder besser selbst zu seinen eigenen machen kann.

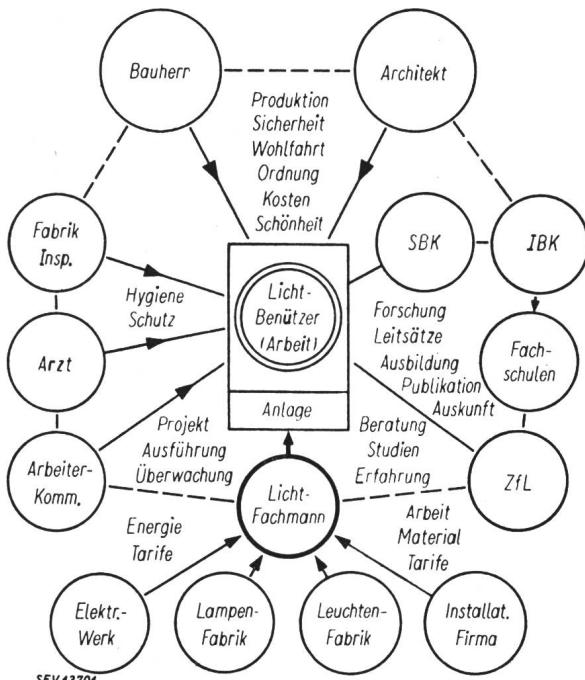


Fig. 9.
**Persönlicher und sachlicher Beziehungskreis
 des Lichtfachmannes**

Zum Schluss sei auf den Einführungsabschnitt zu den Allgemeinen Schweizerischen Leitsätzen für elektrische Beleuchtung¹⁰⁾ hingewiesen. Die beiden ersten Sätze dieses Einführungsabschnittes lauten:

«Die künstliche Beleuchtung hat gute Sehverhältnisse zu schaffen, um die Leistungsfähigkeit des gesunden Auges dauernd zu erhalten, damit das körperliche Wohlbefinden des Menschen, sein Sicherheitsgefühl und seine Arbeitsleistung gefördert, und das Schönheitsempfinden in der Ruhe und Erholung befriedigt werden. Diese Anforderungen sind mit wirtschaftlich tragbaren Mitteln zu erfüllen.»

Adresse des Autors:
Prof. R. Spieser, Seestrasse 432, Herrliberg (Zürich).

Beitrag zur Berechnung von Fernseh-Zwischenfrequenz-Verstärkern

Von J. Sokolov, Biel

621 397 645

Im Gegensatz zu üblichen Zwischenfrequenz-Verstärkern müssen Fernsehverstärker sehr grosse Bandbreiten übertragen. Ausserdem soll der Phasenwinkel der zu verstärkenden Schwingung innerhalb der gegebenen Bandbreite möglichst linear mit der Frequenz variieren. Diese Bedingung verlangt, dass in der Berechnung der Zwischenfrequenzfilter die Phasenverhältnisse besonders berücksichtigt werden.

Der vorliegende Artikel zeigt den Weg zur Berechnung von Fernseh-Zwischenfrequenz-Verstärkern. Alle erforderlichen Formeln werden abgeleitet, und am Schluss des Aufsatzes wird ein Rechnungsbeispiel durchgeführt.

Les amplificateurs de télévision, au contraire des amplificateurs de moyenne fréquence courants, doivent transmettre une très grande largeur de bande. En outre, l'angle de phase du signal à amplifier doit varier le plus linéairement possible en fonction de la fréquence, dans la zone de la bande passante. Cette condition nécessite, dans le calcul des filtres de bande, que l'on considère particulièrement les questions relatives au déphasage.

Le présent article montre la voie à suivre pour le calcul des amplificateurs moyenne fréquence de télévision. Toutes les formules nécessaires sont développées et l'exposé se termine par un exemple numérique.

stärken zu können. Während bei der Berechnung von ZF-Verstärkern im allgemeinen nur die Bandbreite berücksichtigt wird, ist im Fernseh-Verstär-