

Bemerkungen zur Frage der Wahl einer Standardmethode für den Vergleich verschiedenfarbiger Lichtquellen

Autor(en): **König, H.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Helvetica Physica Acta**

Band (Jahr): **7 (1934)**

Heft IV

PDF erstellt am: **20.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-110376>

Nutzungsbedingungen

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

Haftungsausschluss

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

Bemerkungen zur Frage der Wahl einer Standardmethode für den Vergleich verschiedenfarbiger Lichtquellen

von H. König (Bern).

(Mitteilung aus dem Eidg. Amt für Mass und Gewicht.)

(27. III. 34).

Die einzige Möglichkeit, der bekannten Schwierigkeiten der heterochromen Photometrie endgültig Herr zu werden und Widersprüche mit der international festgelegten Augenkurve sicher zu vermeiden, ist die Wahl einer objektiven physikalischen Messmethode als international anzuerkennende Standardmethode.

Die Diskussion über heterochrome Photometrie auf dem Kongress in Cambridge (1931) veranlasste die Internationale Beleuchtungskommission zu folgender offiziellen Empfehlung¹⁾:

«Les Comités Nationaux sont priés de mettre à l'étude les méthodes spectrophotométriques et de papillotement de la photométrie hétérochrome appliquées aux sources lumineuses très colorées ainsi qu'aux sources lumineuses à spectre discontinu en vue d'obtenir un accord international.»

Flimmerphotometrische und spektralphotometrische Methode, welche letztere ausser der Vereinbarung über den Visibilitätsfaktor nur die Messung einer Energieverteilung erfordert, werden hiernach einzig in Betracht gezogen. Einen weitergehenden Beschluss gestattete die Unabgeklärtheit der Sachlage damals nicht. Seither haben sich die lichtelektrischen Zellen, ihrer einfachen Handhabung wegen besonders die Sperrschichtzellen, mehr und mehr eingeführt. In Verbindung mit Filtern gestatten sie einen Vergleich mässig verschiedenfarbiger Lichtquellen.

Dass dieses Verfahren wie das spektralphotometrische als rein objektives physikalisches Messverfahren den Beobachter ausschaltet, wird mit Recht als besonderer Vorzug erwähnt, indem Fehler infolge Ermüdung oder partieller Farbenblindheit des Auges in Wegfall kommen. Dies ist zweifellos richtig und praktisch sehr wichtig, ist aber *nicht* die Hauptsache. Man gewinnt bei der Durchsicht der Original- und Handbuchliteratur den Eindruck, dass die meisten Autoren, welche die objektiven Methoden befürworten, deren praktische Vorzüge im Auge haben, die Frage der Überlegenheit der subjektiven oder objektiven Methoden also als

eine praktische betrachten. Diese Einstellung ist angesichts des dringenden Bedürfnisses der Industrie nach exakten Methoden für den Vergleich nicht nur mässig, sondern auch extrem verschiedenfarbiger Lichtquellen verständlich, ist aber vom theoretischen Standpunkt aus verfehlt. Gerade im Hinblick auf eine bevorstehende internationale Vereinbarung scheint es uns angebracht, hier kurz auf die durchaus nicht einfachen begrifflichen Grundlagen der Photometrie einzutreten und *vor den Gefahren einer Bevorzugung der subjektiven Methoden eindringlich zu warnen*.

Man ist sich im allgemeinen viel zu wenig darüber klar, dass es heutzutage keine einzige ganz oder teilweise subjektive Methode gibt, von der *mit Sicherheit* gesagt werden könnte, dass sie in einem gewissen Helligkeitsbereich im Rahmen gewisser praktischer Voraussetzungen, von denen unten noch die Rede sein wird, widerspruchsfreie Resultate geben *kann*. Auf diese prinzipielle Schwierigkeit hat besonders SCHRÖDINGER in seiner klassischen Arbeit über die Grundlinien einer Theorie der Farbenmetrik im Tagessehen²⁾ hingewiesen.

Der Vergleich zweier verschiedenfarbiger Lichter besteht zunächst in einer Beurteilung zweier verschiedenfarbig beleuchteter Flächen auf Gleichhelligkeit durch unser Auge, ist also rein subjektiv. Objektive Methoden können erst unter Verwendung der Ergebnisse der subjektiven Messungen entwickelt werden. Was heisst nun „gleichhell“? Bietet man dem Auge zwei grosse, stark verschiedenfarbig beleuchtete Flächen, so vermag es nicht direkt zu urteilen; das Kriterium für „gleichhell“ fehlt. Man kann sich aber ein solches verschaffen, indem man das Auge *betrügt* und ihm die Möglichkeit eines Farburteils nimmt oder zum mindesten erschwert oder dasselbe nebensächlich macht. Jedes neue Kriterium definiert eine neue Helligkeit. So gibt es für die Helligkeit³⁾

Eindrucksgleichheitswerte	Peripheriewerte
Kleinstufenwerte	Minimalfeldwerte
Sehschärfenwerte	Minimalzeitwerte
Flimmerwerte	Schwellenwerte
Stereowerte	Dämmerungswerte.

Diese Werte sind zunächst als prinzipiell voneinander verschieden anzusehen. SCHRÖDINGERS Einwand (l. c. S. 493) gegen die wichtigste subjektive Methode, die Flimmermethode, welche mit Nachbildern arbeitet, ist u. E. zu wenig beachtet worden. Immerhin decken sich die Flimmerwerte gut mit den Sehschärfenwerten, und letztere kann man weitgehend als Masse dessen be-

trachten, was man intuitiv unter Helligkeit versteht. Insofern ist die Anwendung des Flimmerphotometers gerechtfertigt.

Interessant ist nun, dass schon die bescheidene Aussage: „Die Methode X gibt den Wert y “ ohne nähere Angabe, wie im einzelnen der Vergleich vorgenommen wurde, streng genommen keinen Sinn hat, wenn nicht experimentell bewiesen ist, dass die Feststellungen: A gleichhell B , B gleichhell C auch A gleichhell C nach sich ziehen, dass also die Helligkeit und damit die Lichtstärke unabhängig ist vom Weg, der in der Farbenmannigfaltigkeit von einem Licht zum andern führt. Wie man leicht einsieht, ist nun eine praktische (im Sinne von: genügend einfache) Photometrie ohne diese Gesetzmässigkeit nicht denkbar. Man muss also verlangen, dass folgende Voraussetzung erfüllt sei:

(I) Die Helligkeit ist durch den *Zustand* der leuchtenden Fläche bestimmt.

Für spektralreines Licht der Wellenlänge λ und der objektiven Intensität E_λ muss also die Helligkeit (Leuchtdichte) B eine Funktion von λ und E_λ sein:

$$B = B(\lambda, E_\lambda).$$

Zu Unrecht wird gelegentlich als selbstverständlich angenommen, dass die Gleichhelligkeit zweier farbiger Flächen erhalten bleibe, wenn ihre objektiven Intensitäten (Energiestrahlungen, unter Beibehaltung der Energieverteilung) proportional verändert werden. Für *eine* Farbe ist es erlaubt, anzunehmen, die Helligkeit sei der objektiven Intensität proportional, denn diese Wahl hat nur den Charakter einer Normierung. Dass es aber für *alle* Farben gelte, ist damit nicht gesagt. Trotzdem machen alle Methoden der Lichtschwächung der objektiven Intensität (Graufilter, Sektor (Talbot'sches Gesetz), Abstandsänderung, Nicol) die Voraussetzung:

(II) Für ein und dieselbe relative Energieverteilung ist die Helligkeit *proportional* der objektiven Intensität.

Für spektralreines Licht der Intensität E_λ $\Delta\lambda$ gilt demnach

$$\Delta B = K_\lambda E_\lambda \Delta\lambda.$$

Auf Grund einer sorgfältigen Diskussion der bisherigen Ergebnisse, insbesondere der Flimmerwerte, wurde von der Internationalen Beleuchtungskommission im Jahre 1924 in Genf die „Augenkurve“ K_λ , welche die relative Empfindlichkeit der Zapfen gegenüber energiegleichen Reizen ($E_\lambda = \text{konstant}$) misst, international festgelegt⁴).

Auf Grund von Voraussetzung (I) und (II) lässt sich noch nicht gut photometrieren, da der Prozess der Lichtmischung experimentell und rechnerisch vermieden werden muss. Gerade letzterer ist aber für den Gebrauch der Augenkurve, insbesondere in der objektiven Photometrie, unvermeidlich. Glücklicherweise rechtfertigt es nun das Experiment, die durch (I) und (II) angebahnte lineare Struktur des Helligkeitsbegriffs durch die Annahme der Additivität zu ergänzen, erlaubt also die Voraussetzung:

(III) Die Helligkeit ist eine *additive* Eigenschaft der Farben, oder: gleichhelle Lichter gemischt, geben gleichhelle Lichter.

Dieses Prinzip der ungestörten Superposition führt für die Zerlegung nach Spektralfarben zur Darstellung

$$B = \int K_{\lambda} E_{\lambda} d\lambda.$$

Die spektralphotometrische Methode, wie wir sie heute kennen, kommt ohne dieselbe nicht aus. Auch bei anderen Verfahren, wie z. B. der Methode von DZIOBEK und PIRANI⁵⁾, bei welchem die Farbunterschiede zwischen annähernd schwarzen Körpern verschiedener Temperatur durch Zumischen von blauem Licht beseitigt werden, bildet Voraussetzung (III) einen integrierenden Bestandteil des Verfahrens.

Es hat sich nun herausgestellt, dass die drei Voraussetzungen — von denen, wie nochmals ausdrücklich bemerkt sei, keine eine Selbstverständlichkeit darstellt und keine von den andern logisch abhängig ist — nur für einen mittleren Helligkeitsbereich weitgehend erfüllt sind⁶⁾.

Es ist bei diesbezüglichen Untersuchungen nicht immer leicht zu sagen, welche Voraussetzung durch sie auf ihre Gültigkeit hin geprüft wird. Bei sehr geringer Helligkeit ist unser Auge relativ blauempfindlich und (II) ist nicht mehr erfüllt (Purkinje-Phänomen). Beachtet man dieses aber nicht und setzt man (II) voraus, so erscheint (I) durchbrochen. Bei etwas grösserer aber noch mässiger Helligkeit treten im Spektrum die drei Grundfarben besonders hervor (Bezold-Brücke'sches Phänomen). Ihre Leuchtkraft ist relativ grösser als die der Zwischenfarben, weshalb für die Mischung (III) nicht mehr erfüllt ist. Bei sehr grosser Helligkeit erscheinen alle Farben relativ weisslich; dann erscheint wie oben (II) oder (I) ausser Kraft gesetzt.

Wir sind nun der Ansicht, dass die primären subjektiven Methoden, nachdem sie uns im Verein mit der zumindest angenäherten Gültigkeit der drei Voraussetzungen die internationale Augenkurve geliefert haben, für die Zwecke der heterochromen Photometrie ihrer

Stellung als Fundamentalmethoden enthoben und hierin ersetzt werden sollten durch die sekundären objektiven Verfahren. Hierdurch würde die heterochrome Photometrie von den Schwierigkeiten infolge allfälliger Abweichungen von den Voraussetzungen (I), (II), (III) befreit, da die objektive Helligkeitsbewertung auf Grund des Ausdrucks

$$B = \int K_{\lambda} E_{\lambda} d\lambda$$

exakt ex definitione *eindeutig* in Bezug auf den Zustand der Lichtquelle, *multiplikativ* in bezug auf ihre Energiestrahlung und *additiv* in bezug auf die Mischung verschiedener Farben erfolgt.

Die Versuche von TAYLOR⁷⁾ lassen es möglich erscheinen, dass neue sorgfältige, mit einer grossen Zahl farhentüchtiger Beobachter ausgeführte Messungen, z. B. nach der Flimmermethode, die Annahme (I) nicht ganz rechtfertigen. Dieses Resultat wäre zweifellos für unser Verständnis vom Mechanismus des Zustandekommens des Helligkeitseindruckes sehr interessant; es wäre aber ganz verfehlt, die praktische Photometrie mit diesem Mangel an Eindeutigkeit zu belasten. Im technisch wichtigen Helligkeitsbereich wären die Abweichungen sicher für die Helligkeitsbewertung belanglos. Hiermit ist gemeint, dass niemand den Unterschied zwischen gemessener und intuitiver (ohne Messinstrument) geschätzter Helligkeit bemerken würde. Messung und Vereinheitlichung hingegen würden dadurch erschwert. Unseres Erachtens empfiehlt es sich, die Frage nach Berechtigung und Bedeutung des Helligkeitsbegriffes, die durch die Anwendung subjektiver Verfahren immer wieder angeschnitten wird, vollständig aus dem Problemkreis der Präzisions-Photometrie*) auszuschalten. Dies ist eben nur mit Hilfe der objektiven Helligkeitsdefinition möglich.

Die vorstehenden Anregungen fliessen aus rein theoretischen Betrachtungen, und wir sind uns wohl bewusst, dass ihnen nur Folge gegeben werden kann, wenn sich die Methoden der physikalischen Photometrie in eine einigermaßen einfache Form bringen lassen. Wenn man sich nicht der spektralphotometrischen Methode bedienen will, ist man gezwungen, ein strahlungsempfindliches Instrument der Augenkurve anzupassen, sei es nach dem Prinzip der Filterung oder der spektralen Zerlegung und Ausblendung⁸⁾. Soweit uns bekannt ist, ist die genaue Nachbildung der Augen-

*) Diese besteht in erster Linie in der Schaffung und Aufrechterhaltung einer Basis in den einzelnen Instituten und den Vergleichsmessungen zwischen denselben, in zweiter Linie im Anschluss der Sekundär-Normalen an die Primär-Normale.

kurve ohne unzulässig grosse Einbusse an Empfindlichkeit bisher nicht gelungen. Jedoch berechtigen die in der nachfolgenden Arbeit beschriebenen Versuche (siehe dieses Heft) zur Konstruktion eines künstlichen Auges hinreichender Empfindlichkeit zur Hoffnung, dass dem erwähnten Mangel abgeholfen werden kann.

Literatur.

1) Commission Internationale de l'Eclairage, Compte rendu des séances, Cambridge 1932, S. 14.

2) SCHRÖDINGER, Annalen der Physik **63**, 397, 427 und 481, 1920.

3) Handbuch der Physik v. GEIGER und SCHEEL Bd. **19**, S. 517 ff., Handbuch der Experimentalphysik v. WIEN und HARMS, Bd. 20/1, S. 136 ff.

4) Commission Internationale de l'Eclairage, Compte rendu des séances, Cambridge 1926, S. 67.

5) DZIOBEK und PIRANI, Licht und Lampe 1931, S. 102.

6) Literatur s. SCHRÖDINGER l. c. S. 489, 492 und 493, ferner die sub. 3) erwähnten Handbücher.

7) TAYLOR, Journ. Opt. Soc. Am. **13**, 193, 1926.

8) Handbuch der Physik von GEIGER und SCHEEL Bd. **19**, S. 535 ff.
