

Über die Anzahl der unterscheidbaren Spektralfarben und Helligkeitsstufen.

Von

ARTHUR KÖNIG.

(Mit einer Figur im Text.)

Die Anzahl der im Spektrum unterscheidbaren Nuancen sowohl wie der unterscheidbaren Helligkeitsstufen hat man, soweit mir bekannt ist, noch niemals genau zu bestimmen versucht, obschon doch seit mehreren Jahren das Beobachtungsmaterial vorliegt, aus dem diese Zahlen durch eine leichte Rechnung abzuleiten sind.

I.

Die spektralen Farbentöne.

Bezeichnen λ und $\lambda + \delta\lambda$ die Wellenlängen zweier in dem Farbenton eben merklich voneinander unterschiedener monochromatischer Lichter, so ist $\delta\lambda$ eine mit λ sich ändernde Größe, die wir daher als Funktion von λ auffassen können. Der reziproke Wert von $\delta\lambda$ giebt nun die Anzahl der Nuancen an, welche wir in einem Intervall des Spektrums unterscheiden können, in dem sich λ um die für dasselbe gewählte Einheit ändert, und die gesamte Anzahl der unterscheidbaren spektralen Nuancen ist daher gleich dem über das ganze sichtbare Spektrum ausgedehnten Integral

$$\int \frac{1}{\delta\lambda} \cdot d\lambda.$$

1. Für sein normales trichromatisches Farbensystem hat nun Hr. W. UHTHOFF¹ die Werte von $\delta\lambda$ experimentell

¹ W. UHTHOFF, *Gräfes Arch.* Bd. 34. Abt. 4. S. 1. 1888.

bestimmt. Unter Berücksichtigung der Thatsache, daß bei einem normalen Trichromaten, am langwelligen Ende von $\lambda = 655 \mu\mu$ an und am kurzwelligen von $\lambda = 430 \mu\mu$ an, keine Nuancenänderung mehr auftritt, wir hier also $\frac{1}{\delta\lambda} = 0$ setzen müssen, kann man die Integration graphisch ausführen, indem man die Kurve aufzeichnet und die von ihr und der Abscissenaxe (als welche hier das Interferenz-Spektrum dienen muß) umschlossene Fläche ausmisst.

In dieser Weise ergibt sich, daß Hr. UHTHOFF im Spektrum 165 Nuancen unterscheiden kann. Nach mehreren nur teilweise durchgeführten Reihen anderer Beobachter gilt diese Zahl mit großer Annäherung für alle normalen Trichromaten, welche einigermaßen in optischen Versuchen geschult sind, und man kann daher sagen, daß normale Trichromaten ungefähr 160 Farbentöne im Spektrum unterscheiden können.

2. Bei anomalen trichromatischen Farbensystemen liegen keine derartigen Messungen von $\delta\lambda$ vor, und man muß daher hier auf die Berechnung der unterscheidbaren Nuancen einstweilen noch verzichten.

3. Dieselbe Lücke besteht zwar auch bei dichromatischen Farbensystemen, aber man kann auf einem kleinen Umwege aus dem für sie vorhandenen anderweitigen Beobachtungsmaterial dieselbe Berechnung machen. Vergleicht man nämlich die Versuche von Hrn. UHTHOFF, welche sich auf eben merkliche Unterschiede beziehen, mit den Versuchen, welche ich vor längerer Zeit über den bei Einstellungen auf Gleichheit begangenen mittleren Fehler gemacht habe und die dann später Hr. E. BRODHUN¹ veröffentlicht hat, so ergibt sich, daß mit großer Annäherung für jede beliebige Wellenlänge die zu einem eben merklichen Unterschied der Nuance erforderliche Änderung der Wellenlänge doppelt so groß ist, wie der mittlere Fehler bei Einstellung auf Gleichheit. Für Hrn. E. BRODHUN liegt nun eine das ganze Spektrum umfassende Beobachtungsreihe der letzteren Art vor; man braucht demnach diese mittleren Fehler nur mit 2 zu multiplizieren, um für Hrn. BRODHUNS dichromatisches Farbensystem (grünblind) die Werte von $\delta\lambda$ zu erhalten. Bei der Bildung des oben erwähnten

¹ E. BRODHUN, *Diese Zeitschrift*, Bd. III. S. 97. 1892.

Integrals ist zu beachten, daß für Hrn. BRODHUN die Integrationsgrenzen ungefähr bei $550 \mu\mu$ und $430 \mu\mu$ liegen. Eine in der oben geschilderten Weise ausgeführte Integration ergibt 140 verschiedene Farbennuancen im Spektrum. Daß diese Zahl nur wenig kleiner als die für trichromatische Farbensysteme geltende ist, trotzdem das Integrationsintervall doch viel enger, erklärt sich daraus, daß die Dichromaten in der zwischen den FRAUNHOFERSchen Linien b und F liegenden Spektralregion eine weit größere Empfindlichkeit für Nuancenverschiedenheit besitzen, als die normalen Trichromaten. Genau und vollständig durchgeführte Beobachtungsreihen liegen zwar für die andere Gruppe der Dichromaten, die „Rotblinden“, nicht vor; doch läßt sich aus vorläufigen Versuchen, welche ein „Rotblinder“ auf meine Veranlassung angestellt hat, schließen, daß die von ihnen im Spektrum unterscheidbare Anzahl von Farbennuancen jedenfalls annähernd so groß ist, wie bei den „Grünblinden“.

4. Der von mir neuerdings beschriebene „Pseudomonochromat“¹ kann nur zwei Nuancen unterscheiden.

5. Total-Farbenblinde sehen natürlich im ganzen Spektrum nur eine Nuance.

II.

Die Helligkeitsstufen.

Analog den im vorigen Abschnitt benutzten Bezeichnungen nennen wir jetzt h und $h + \delta h$ die Intensitäten zweier eben merklich voneinander unterscheidbarer Helligkeitsstufen; dann

gibt wieder das Integral $\int_{h_1}^{h_2} \frac{1}{\delta h} \cdot dh$ die Anzahl der zwischen

h_1 und h_2 unterscheidbaren Helligkeitsstufen an. Gewöhnlich wird nun aber nicht δh , sondern $\frac{\delta h}{h}$ experimentell bestimmt. Setzen wir nun

$$\frac{\delta h}{h} = \Delta_h ,$$

¹ A. KÖNIG, *Diese Zeitschrift*. Bd. VII. S. 161. 1894.

so verwandelt sich obiges Integral in

$$\int_{h_1}^{h_2} \frac{1}{\Delta_h} \cdot \frac{dh}{h} = \int_{\log \text{ nat } h_1}^{\log \text{ nat } h_2} \frac{1}{\Delta_h} \cdot d(\log \text{ nat } h),$$

Für die Ausführung einer graphischen Integration ist es aber bequemer, die BRIGGSchen Logarithmen zu benutzen. Dazu müssen wir das Integral weiter umformen in

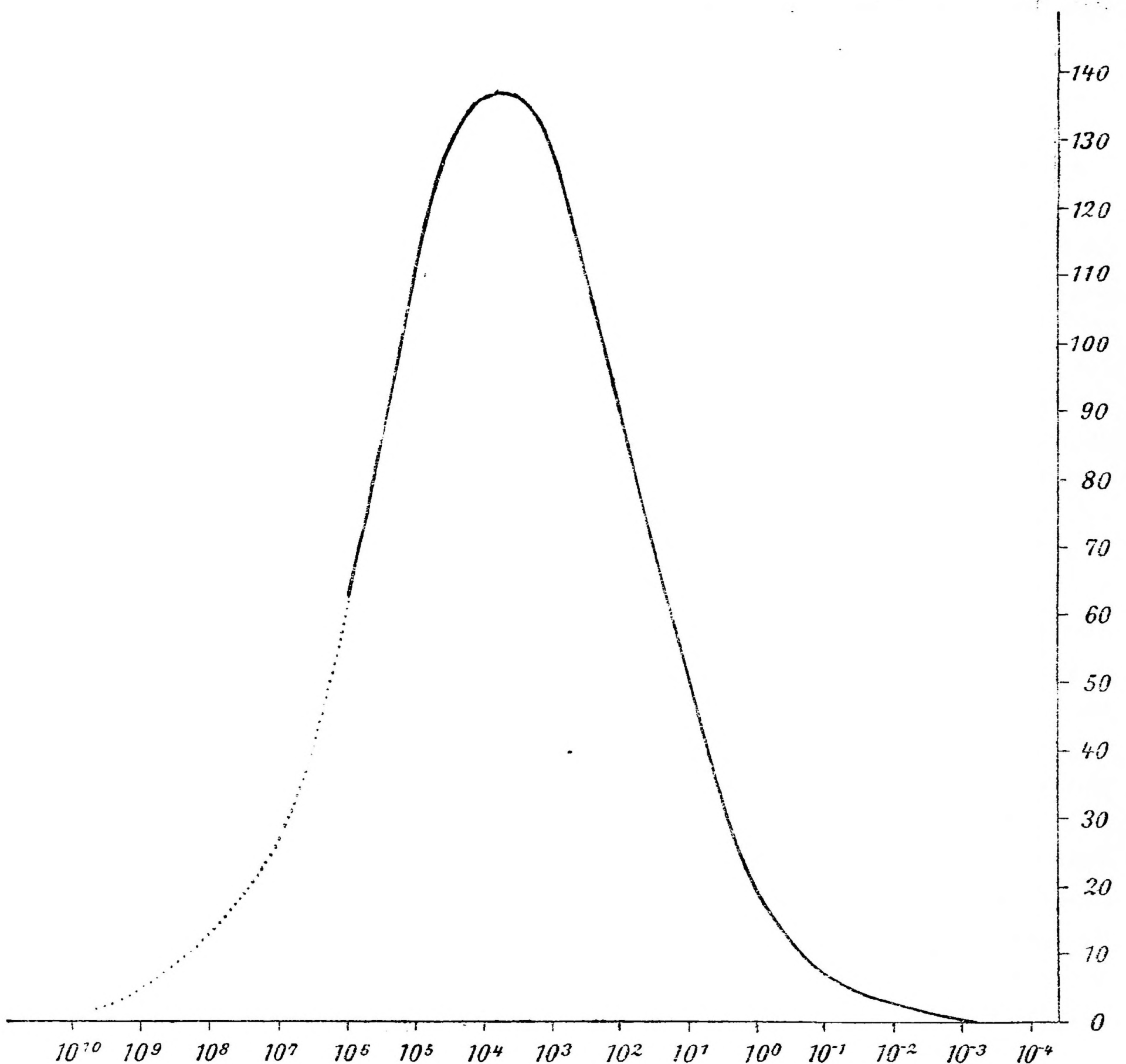
$$\int_{\log h_1}^{\log h_2} \frac{1}{M \cdot \Delta_h} \cdot d(\log h) = \int_{\log h_1}^{\log h_2} \frac{1}{0,434 \cdot \Delta_h} \cdot d(\log h).$$

Die umfangreichsten Beobachtungsreihen, welche zur Zeit über die Werte von Δ_h vorliegen, sind bei einer von Hrn. E. BRODHUN und mir¹ über die psychophysische Fundamentalformel ausgeführten Untersuchung gemacht worden. Es ergab sich damals, daß in Bezug hierauf zwischen uns beiden, obschon der Eine Dichromat, der Andere normaler Trichromat ist, kein prinzipieller Unterschied besteht; alle Abweichungen lagen im Bereiche der Beobachtungsunsicherheit, und auch die verschiedenen Spektralfarben und weißes Licht zeigten untereinander nur Abweichungen, die — wenigstens sehr wahrscheinlich — ebenfalls innerhalb jener Grenzen liegen. Alle diese Beobachtungsreihen fangen an der unteren Reizschwelle an und erstrecken sich nach oben bis zu der jedesmal unter den vorhandenen experimentellen Bedingungen erreichbaren größten Helligkeit. Da diese obere Grenze nun bei Weiß am höchsten liegt, so habe ich der nachfolgenden Berechnung die Mittel der von Hrn. E. BRODHUN und mir für Weiß erhaltenen Werte zu Grunde gelegt.

Um die Integration graphisch auszuführen, haben wir für jede beobachtete Helligkeitsstufe den Wert $\frac{1}{0,434 \cdot \Delta_h}$ zu bilden und dann als Ordinate zur Abscisse $\log h$ einzuzichnen. Die nebenstehende Figur ist in dieser Weise ausgeführt. Die

¹ A. KÖNIG und E. BRODHUN, *Sitzungsberichte der Berliner Akademie*. Sitzung vom 26. Juli 1888. S. 917, und Sitzung vom 27. Juni 1889. S. 641.

Intensitäten der Helligkeitsstufen sind an der Abscissenaxe als Potenzen von 10 eingetragen. Die Kurve beginnt bei der unteren Reizschwelle sich von Null zu erheben, steigt bis zu einem ungefähr bei 6000 liegenden Maximum und fällt dann, soweit die vorliegenden Beobachtungen reichen, wieder ziemlich symmetrisch herab. Bis zu der höchsten erreichten Helligkeit,



d. h. bis zu dem Ende der stark ausgezogenen Kurve, ergibt nun die graphische Integration 572 unterscheidbare Helligkeitsstufen. — Man ist nun wohl einigermaßen berechtigt, da die Unterschiedsempfindlichkeit für noch höhere Intensitäten sicher stetig abnimmt, die Kurve in der Weise fortzuführen, wie es in der Figur durch die punktierte Linie geschehen ist. Die Integration dieses Teiles ergibt 88 unterscheidbare Helligkeitsstufen. Da der ergänzte Teil der Kurve am Anfange sicher-

lich nur sehr wenig von der hier gewählten geradlinigen Führung abweichen wird und das dann folgende letzte Stück für die gesamte Integration kaum ins Gewicht fällt, so werden wir nicht weit von der Wahrheit abweichen, wenn wir die Gesamtzahl der überhaupt unterscheidbaren Helligkeitsstufen von der Reizschwelle bis zu derjenigen Intensität, wo unser Unterscheidungsvermögen wegen Blendung des Auges wieder aufhört, auf 660 annehmen.
