Prof. Dr.-Ing. habil. Dietrich Gall
Technische Universität Ilmenau/ Fachgebiet Lichttechnik
dietrich.gall@tu-ilmenau.de

Die visuelle Photometrie und deren Bedeutung für gegenwärtige Bewertungskriterien

1. Einführung

Im 17. bis 19.Jahrhundert haben sich viele namhafte Wissenschaftler mit der Entwicklung einer geeigneten Photometrie beschäftigt. Daran waren sowohl Mathematiker, Astrophysiker, Physiker, Geodäten, Theologen und Philosophen beteiligt. Das hatte seinen Grund u.U. darin, dass man sich in den Gebieten der Optik, Spektroskopie, Astrophysik, Lichterzeugungstechnik, Farbmetrik, Physiologie, Radiologie und Pyrometrie optischer Verfahren bedienen musste und eine geeignete Messtechnik für Licht und Strahlung aber nicht zur Verfügung stand. Die theoretischen Grundlagen sind vor allem durch den Universalgelehrten Johann H. Lambert in seiner Abhandlung über die Photometrie (1760) im Wesentlichen gelegt worden.
Die praktische Realisierung erwies sich jedoch als besonders schwierig. So standen noch keine geeigneten optischen Sensoren zur Verfügung. Allein das Auge konnte zur Vermessung von lichttechnischen und farbmetrischen Parametern herangezogen werden, optische Sensoren gab es noch nicht. Eine geeignete Lichtquelle, die als Normal fungieren könnte, war nicht vorhanden. Starke Lichtquellen, die spektroskopische Vergleiche möglich gemacht hätten, waren ebenfalls nicht verfügbar, sodass die gewonnen Ergebnisse nur eingeschränkt für geringe Strahldichte verwendbar sind.
Demgegenüber stand eine stürmische Entwicklung der optischen und feinmechanischen Geräteindustrie. Die Physiker, allen voran Otto Lummer, waren dabei, die Grundlagen für eine moderne Lichttheorie zu legen, mit der Licht- und Strahlungsquellen dimensioniert und entwickelt werden konnten. Damit waren die Grundlagen für eine effiziente Beleuchtungstechnik gegeben, die auch mit einer geeigneten Metrik ausgestattet werden musste. So gab es Ende des 19. und Anfang des 20. Jahrhunderts viele Bemühungen zur Entwicklung einer fundierten Photometrie.
Da physikalische Empfänger noch nicht zur Verfügung standen, nutzte man vor allem die hohe Kontrastempfindlichkeit des menschlichen Auges zur Vermessung von Licht- und Strahlungsdaten aus. Diese Art der Photometrie nennt man *visuelle Photometrie*. Durch geeignete Gerätekonzeptionen versuchte man die Reproduzierbarkeit visueller Photometer zu erhöhen. So entstanden eine Reihe von bemerkenswerten Photometern, Farbmessgeräten und Spektrometern, die z.T. heute in Vergessenheit geraten sind.
Im Jahre 2003 kommt die Photometrie durch eine umfangreiche Dokumentation von *Sean F. Johnston* („A History of Light and Colour Measurement –Science in the Shadows“) wieder in die Schlaglichter. Hierin wird eindrucksvoll herausgestellt, wie sich das Gebiet durch das Wechselspiel unterschiedlicher Fachgebiete, durch die Notwendigkeiten der Industrialisierung und militärischer Nutzung zu einem bedeutenden Wissenschaftszweig herausgebildet hat.
In der modernen Photometrie (*Objektive Photometrie oder Physikalische Photometrie*) bedient man sich der mittels visueller Photometrie bestimmten Empfindlichkeitskurven des Auges und prägt diese optischen Sensoren auf. Nun zeigt sich aber bei einigen Bewertungsfunktionen, dass sie nur mit den damals verfügbaren Möglichkeiten und Methoden ermittelt wurden, und die so gewonnen Parameter eingeschränkt anwendbar sind. Dies gilt z. B. für die spektrale Hellempfindlichkeitsfunktion des

menschlichen Auges (v(λ)-Funktion) (s.a. /*Viikari, M. u.a*/.)und die Normspektralwertkurven. Heute weiß man, dass diese Kurven unter anderen Parametervorgaben angepasst werden müssten. Die gegenwärtig praktizierte Empfindungsmetrik für viele lichttechnische Gütefaktoren und Bewertungsalgorithmen ist von dem hohen Niveau der visuellen Photometrie noch weit entfernt. Deshalb ist es zweckmäßig, sich der reichhaltigen Erfahrungen der visuellen Photometrie zu bedienen.
Ein Blick auf die historischen Geräte und Verfahren könnte helfen, diesen Erfahrungsschatz wieder zu heben, und die Arbeiten und Geräte, die von namhaften Wissenschaftlern und Firmen (Fa. Schmidt & Haensch u.a.) stammen, zu würdigen.

2. Die Historie der visuellen Photometrie

Als Väter der Photometrie werden der Geodät und Astronom Pierre Bouguer und der Astronom, Mathematiker und Philosoph Johann Heinrich Lambert angesehen. Viele heute noch benutzte Formeln zur Licht- und Strahlungsberechnung gehen auf die Ausführungen von J.H.Lambert zurück /*Lambert,J. H.*/.

(1698-1758)

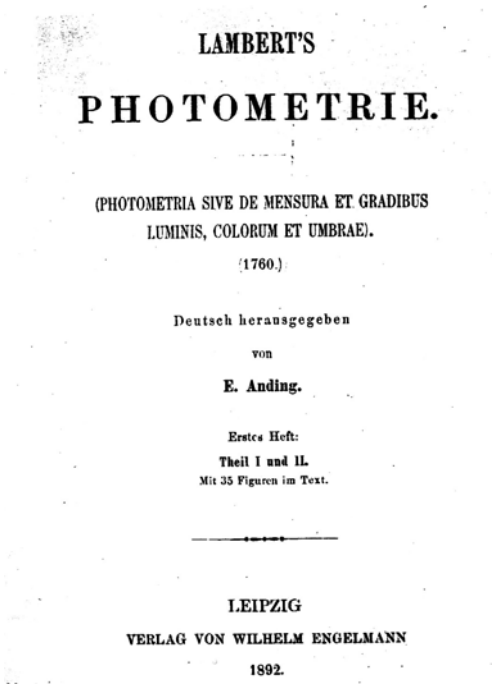
Abbildung 1: Pierre Bouguer

J.H.Lambert weist in seiner Schrift „Photometria“ /*Lambert, J. H.*/ insbesondere auf den fehlenden wissenschaftlichen Hintergrund für die Photometrie und die Geräte hin:

> „Es scheint das allgemeine Schicksal der menschlichen Erkenntnis zu sein, dass gerade dasjenige unserer Einsicht am meisten verschlossen ist, was der sinnlichen Wahrnehmung fortwährend begegnet. für diese Behauptung stellt die Theorie des Lichts ein ausgezeichnetes Beispiel dar. Denn bei Untersuchungen über das Wesen und die Natur des desselben begegnet man so vielen und so gewichtigen kaum überwindbaren Schwierigkeiten, dass wunderbarer Weise unsere Kenntnis gerade im Bezug auf denjenigen Gegenstand, welcher der Quell der Erleuchtung ist, von großer Finsternis umhüllt wird und dass gerade über das Licht so viel Dunkelheit herrscht“

J.H.Lambert kannte die Schriften von Isaak Newton und Euler, in denen Lichttheorien aufgezeigt waren, sie schienen aber nicht geeignet, eine Metrik aufzubauen:

„Es fehlt nämlich, wie es scheint, gänzlich oder wenigstens zumeist an Stützpunkten, welche sonst geeignet sind, die Aufsuchung der Wahrheit zu fördern und die Eigenschaft der Größen zu durchforschen. Es fehlt an einer physikalischen Theorie des Lichts, welche streng bewiesen und auf Schlüsse aufgebaut wäre. Es fehlen Instrumente, um das Licht zu messen. Es fehlen endlich die ersten Prinzipien, aus denen man das übrige ableiten könnte“



LAMBERT'S

PHOTOMETRIE.

(PHOTOMETRIA SIVE DE MENSURA ET GRADIBUS LUMINIS, COLORUM ET UMBRAE).

(1760.)

Deutsch herausgegeben

von

E. Anding.

Erstes Heft:

Theil I und II.

Mit 35 Figuren im Text.

LEIPZIG

VERLAG VON WILHELM ENGELMANN

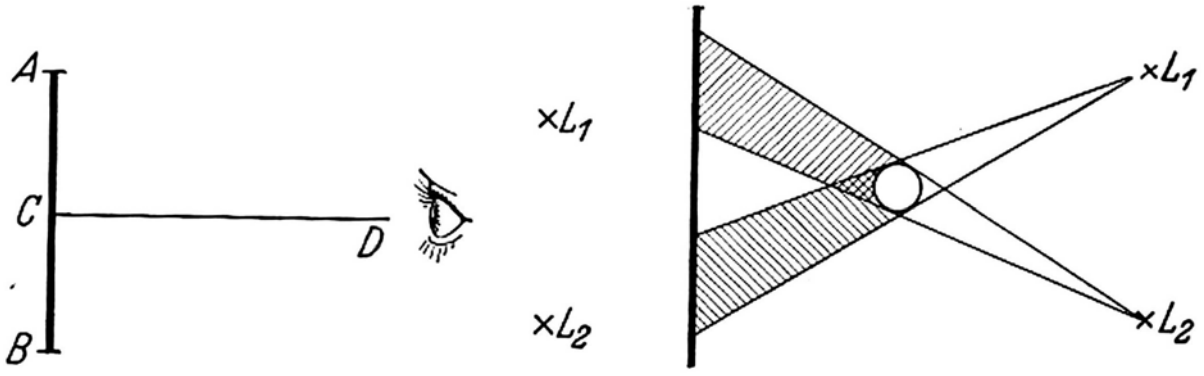
1892.

Abbildung 2: Johann Heinrich Lambert (1728-1777) /http://lexikon.de/

J.H.Lambert beklagt insbesondere das Fehlen geeigneter Lichtsensoren für die Photometrie. Er ist sich bewusst, dass man zunächst wohl mit dem Auge selbst Messungen vornehmen muss /*Lambert, J. H.*/:

„Denn wenn man auch verschiedene photometrische Instrumente wird beschrieben finden, so können sie doch nur insofern Anwendung finden, als man mit ihrer Hilfe die Helligkeit des Lichts und die Farben in einem gegebenen Verhältnis zu vergrößern und zu verkleinern im Stande ist, bis sie einer gegebenen Helligkeit dem Urteil des Auges zufolge merklich gleich ist. Offenbar ist also die Photometrie noch immer mit derselben Schwierigkeit behaftet, welche vor der Erfindung des Thermometers einer genaueren Messung der Wärme entgegenstand. Es wäre zu wünschen, dass ähnlich wie ein Thermometer so auch ein Photometer erfunden würde, welches, dem Licht ausgesetzt, dessen Intensität und Helligkeit anzeigen würde. …. Ich weiß sehr wohl, dass mehrfach zu diesem Zweck Experimente angestellt worden sind, um zu zeigen, dass die Bewegung des Lichts beobachtet werden könne, nämlich wenn Sand oder eine Stahlplatte in den Brennpunkt einer Konvexlinse oder eines Brennspiegels gebracht wird und von der Wucht der Sonnenstrahlung in Bewegung gesetzt wird. Was aber das Sonnenlicht angeht, so kann unter der Voraussetzung, dass die Wärme sich in derselben Weise verringert und vermehrt, wie die Dichtigkeit der Strahlen, jedenfalls das Thermometer die Stelle eines Photometers vertreten“

Als eine Möglichkeit, dass Licht zu messen, schlägt Lambert ein Schattenphotometer vor, bei dem die Leuchtdichte von zwei Schattenbildern auf Gleichheit gestellt werden. Bouguer hatte dagegen schon eine Variante mit benachbarten Photometerfeldern. Später entwickelte Bunsen das berühmte Fettfleckphotomerter (Abb.3b).



Photometer nach Bouguer Photometer nach Lambert

Abbildung 3a: Erste Photometervarianten / *Korte, H*/

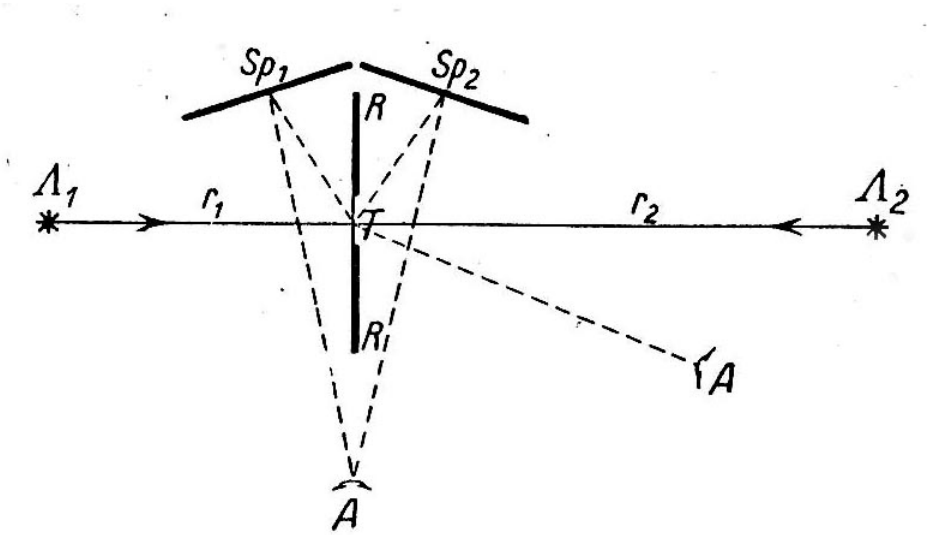


Abbildung 3b: Fettfleckphotometer nach Bunsen /*Kohn, H.*/

Mit umfangreichen Experimenten hat J. H. Lambert auf die Eigenheiten und Schwierigkeiten der Visuellen Photometrie hingewiesen. Dabei zeigt er auch die Probleme auf, die bei der Photometrie unterschiedlicher Farben *(Heterochrome Photometrie)* auftreten können.
Die ersten Photometer für industrielle Belange wurden von Benjamin Thompson alias Count Rumfort (1753-1814) 1794 gebaut, mit denen schon Stoffkennzahlen und die lichttechnischen Parameter von Lampen und Ölbrennern bestimmt werden konnten.
Ab Beginn des 19. Jahrhunderts beschäftigten sich viele namhafte Wissenschaftler mit Fragen des Lichtes, da diese Grundlagen für die *Astrophysik*, der *Spektroskopie* der Physiologischen Optik, der Farbmessung (*Kolorimetrie*), der optischen Temperaturmessung (*Pyrometrie*) und für die Entwicklung von Lampen und Leuchten dringend bebraucht wurden.

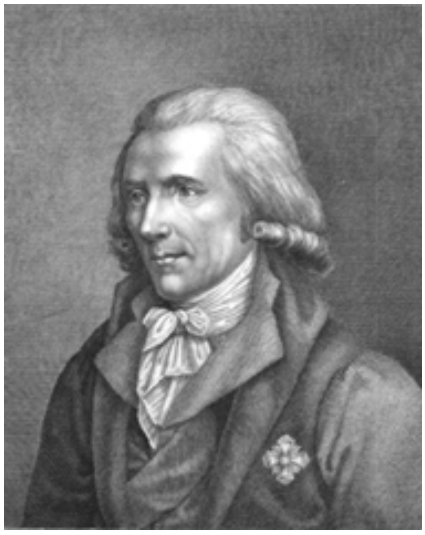


Abbildung 4: Benjamin Thompson
(1753-1814)

Otto Lummer (1860-1925) beschrieb schon vor Max Planck die Gesetze des Schwarzen Körpers und schuf so eine Grundlage für ein mögliches Lichtnormal. Zusammen mit Eugen Brodhun (1860-1938) bestimmte er die Entwicklung der Photometrie über 40 Jahre lang. Das war die Grundlage zur Schaffung serienreifer Industriephotometer, die sich durch eine solide Technik und Präzision auszeichneten. Der Mathematiker, Chemiker und Physiker August Beer (1825-1863) legte die Grundlagen für die Beschreibung der Lichtabsorption und brachte ein Standardwerk zur Lichttheorie heraus („Einleitung in die höhere Optik“).
Da als Empfänger bei der Visuellen Photometrie das Auge fungierte, mussten auch die physiologischen Grundlagen dafür geschaffen werden. Es seien hier nur ein paar Pioniere auf diesem Gebiet genannt: H. v. Helmholtz, .J. v. Kries, E. Schrödinger, E. Hering, E. Weber, G.T. Fechner, A. König, A. Kohlrausch, A. Dressler, W. Bechstein, W. Nagel u.a.
Besondere Verdienste haben sich Arthur König und Conrad Dieterici bei der Ermittlung der Empfindungskurven des menschlichen Auges erworben *(König, A.).* Diese Kurven waren der Ausgangspunkt zur quantitativen Beschreibung von Licht- und Farbgrößen.
A. König war ein Schüler von H. v. Helmholtz, dem er seine Arbeiten in besonderer Weise widmete. Diese Arbeiten wurden die tragenden Säulen für eine geeignete Farbmetrik. Mit einem Farbmischgerät, das schon Helmholtz verwendete, erforschte er die Empfindlichkeiten der Sensoren:

> „Die Einsicht in die Funktion der den Lichtreiz perzipierenden Elemente des Gesichtssinnes muss angebahnt werden durch Reduktion der unendlichen Menge von Farbempfindungen auf eine möglichst kleine Anzahl von Elementarempfindungen.“

Es ist bemerkenswert, dass H. v. Helmholtz, ohne entsprechende Messungen zu machen, schon zu dieser Zeit die Spektralwertfunktionen hypothetisch mit guter Vorhersage beschreiben konnte. Diese geniale Beschreibung der Farbreize hat bis in die Gegenwart hinein nichts an ihrer Bedeutung eingebüßt, wenn man an die elektronische Bildverarbeitung denkt.

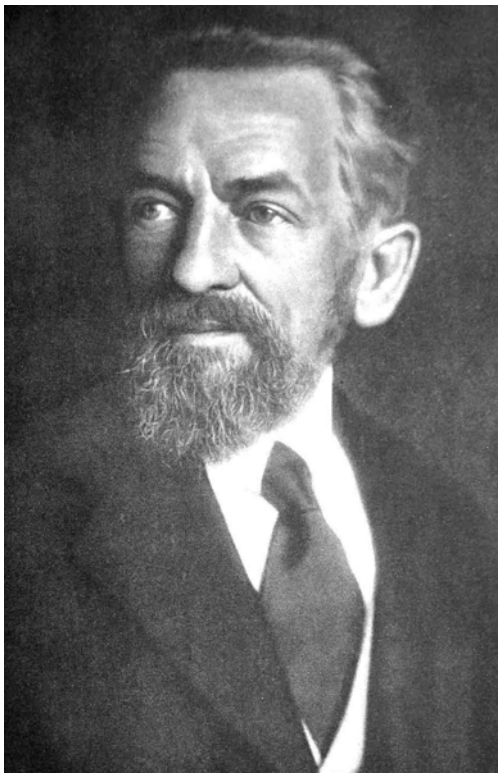


Abbildung 5: Otto Lummer (1860-1925) /*Lummer, O.*/

Abbildung 6: Arthur König (1856-1901) /*König, A.*/

Bei der Betrachtung der Biographien aller Beteiligter fällt auf, dass die bahnbrechenden Erkenntnisse von den o.g. Wissenschaftlern in einem Alter von ca. 30 Jahren gemacht wurden, und dass sich alle Beteiligten durch eine universelle Ausbildung und Arbeitsweise auszeichneten.

Ab 1920 kommen physikalische Empfänger auf den Markt, die eine Physikalische („Objektive“)Photometrie zulassen. Als klassische Sensoren bieten sich zunächst Photozellen an, die sich durch eine geringe zeitliche Trägheit und eine gute Linearität auszeichnen. Die Halbleitersensoren in Form von Selen-Photoelementen und Photowiderständen kommen erst später in den Einsatz, da die Herstellungstechnologien noch keine gut reproduzierbaren Parametereigenschaften lieferten. Mit der Vervollkommnung der Technologien gewinnen die Halbleitersensoren immer mehr an Bedeutung, so dass der oben zitierte Wunsch von J. H. Lambert nach einem Photometer ähnlich dem eines Thermometers für die die Temperaturmessung in Erfüllung gegangen ist. Diese analog oder digital anzeigenden Lichtmessgeräte haben deshalb die Visuellen Geräte abgelöst, obgleich man an Genauigkeit nichts Wesentliches gewinnt, der Messkomfort und die Reproduzierbarkeit aber bedeutend besser sind.
Man sollte sich aber immer bewusst sein, dass hier nur eine Substitution des Auges durch einen physikalischen Sensor erfolgt ist, die eigentlichen Bewertungsfunktionen, die den Empfängern aufgeprägt werden, aber Funktionen sind, die mit der Visuellen Photometrie erhalten wurden. Will man die Objektive Photometrie empfindungsgerechter machen, was in vielen Fällen notwendig erscheint /*Viikari, M. u.a.*/, muss man auf die Verfahren der Visuellen Photometrie zurückgreifen, sie anpassen und unter Umständen neue entwickeln.

3. Grundlagen der Visuellen Photometrie

Da man mit dem Auge keine absoluten Helligkeitseinschätzungen machen kann, das Auge aber in der Lage ist, die Gleichheit von Helligkeiten und Farben festzustellen, muss eine Messung immer mit einem Abgleich erfolgen. Das bedeutet, dass die Helligkeit zweier Vergleichslichter mit geeigneten Schwächungsmitteln definiert verändert werden müssen.

Für eine Messung sind deshalb folgende Vorraussetzungen zu schaffen:

-Schaffung von Lichtnormalen

-Schaffung von definierten und aselektiven Schwächungsmethoden

-Schaffung optimaler Bedingungen für den visuellen Abgleich (Photometerfeld)

In der Anfangszeit der Photometrie waren auch noch andere Definitionen der Helligkeit üblich. So definierte man „gleich hell“ auch als gleiche Sehschärfe. Mit einem speziellen Sehzeichen (Abb. 7) bestimmte man die Helligkeit, die zum Erkennen des Objektes notwendig war. Das ist das gleiche Prinzip, das auch heute noch bei *Visibiltymetern* zur Ermittlung von Schwellenleuchtdichten verwendet wird.

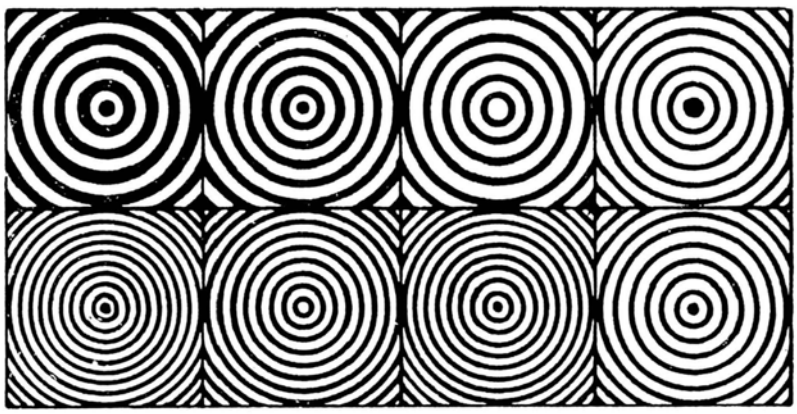


Abbildung 7: Sehzeichen zur Helligkeitsbestimmung /*Kohn, H.*/

Das Sehschärfenprinzip hatte Vorteile für die heterochrome Photometrie, da die Farben nicht verglichen werden mussten.

Schaffung von Lichtnormalen

Die lichttechnischen Größen mussten mit geeigneten Normalen reproduziert werden. Die ursprünglichen deutschen Begriffe für die lichttechnischen Größen waren semantisch besser formuliert als heute. So hieß die Beleuchtungsstärke *Lichtstromdichte* (Einheit „Lux“ oder „Meterkerze“), die Lichtstärke *Raumwinkellichtstromstärke* oder *Lichtstromdichte auf der Einheitskugel* und die Leuchtdichte war die *Flächenhelligkeit.*

Die Schaffung einer Primärlichteinheit war insofern schwierig, da alle Lichtquellen zur damaligen Zeit nicht stabil und reproduzierbar waren. Bevor 1940 von der internationalen Meterkonvention der Schwarze Körper als Leuchtdichtenormal eingeführt wurde, dienten vor allem Verbrennungslampen mit definierten Flammengeometrien und –parametern (z.B. Vereinsparaffinkerze, Carcellampe) als Normale.

In Deutschland wurde die von Hefner konzipierte Amylazetatlampe als sog. *Hefnerkerze* (Abb.8) verwendet. In anderen Ländern dienten Kohlefadenlampen, die an die Viollesche Plantineinheit angeschlossen wurden (Internationale Kerze= 1,11 Hefnerkerzen /*(Liebenthal, E.*/. Für Eichzwecke im UV-Gebiet bot sich die Leuchtdichte des positiven Kraters der Reinkohlebogenlampe an.

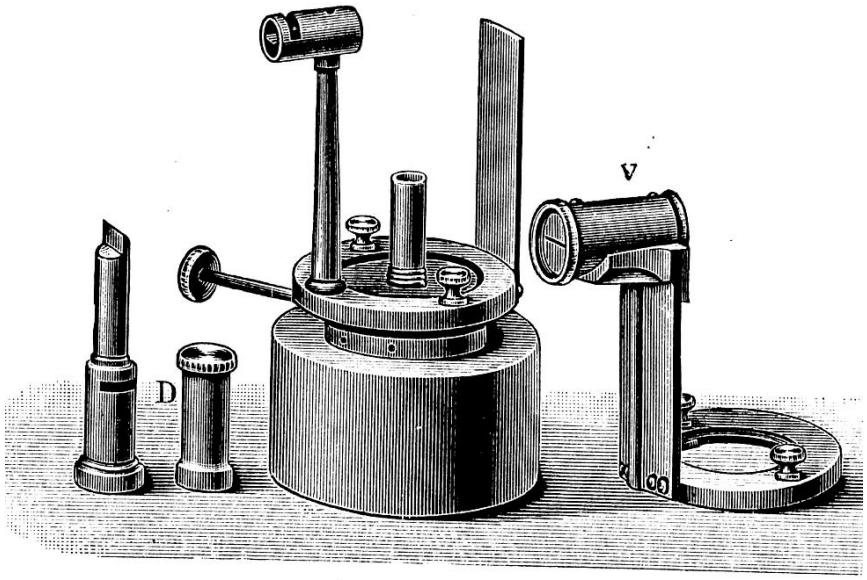


Abbildung 8: Hefnerlampe /*Kohn, H.*/

Schaffung von definierten und aselektiven Schwächungsmethoden
Die Genauigkeit und Reproduzierbarkeit von Visuellen Photometern hängen entscheidend von den verwendeten Schwächungsverfahren ab, mit denen die Gleichheit hergestellt werden muss.
Als Methoden kommen folgende Prinzipien in Frage:

- -Schwächung über das photometrische Entfernungsgesetz
- -Zeitliche Schwächung mit einem rotierenden Sektor
- -Verwendung von Aperturblenden
- -Definierte Absorptionsmittel (z.B. Polarisationsfilter, Graukeile)

Größter Wert musste auf eine aselektive Schwächung gelegt werden. Sehr gute Werte konnten mit rotierenden Sektoren (Abb. 9) erzielt werden, die das Talbotsche Gesetz ausnutzen.

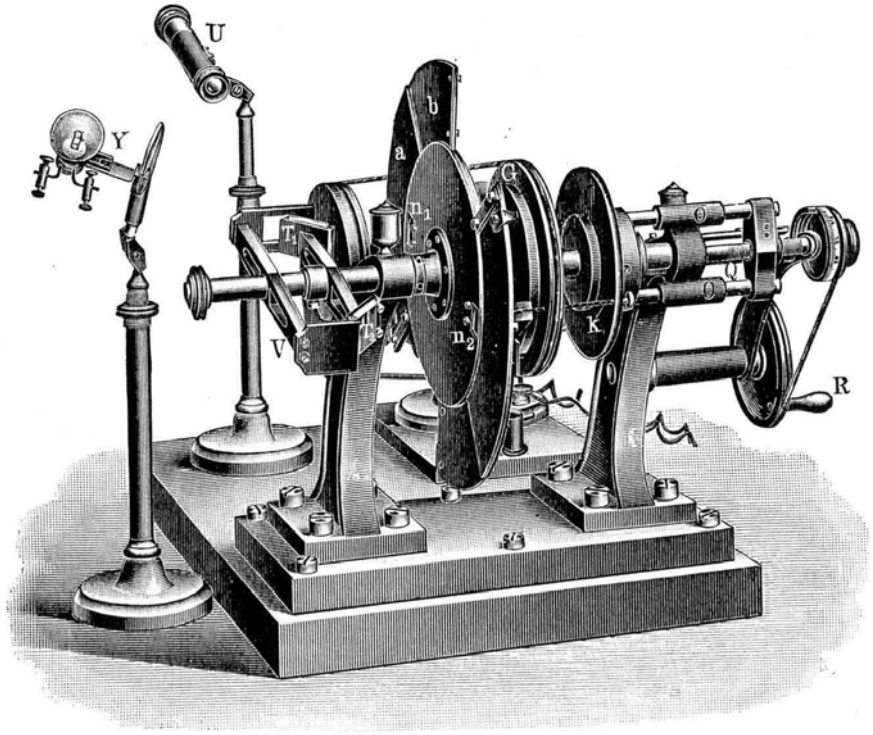


Abbildung 9: Rotierender Sektor /*Kohn, H.*/

Schaffung optimaler Bedingungen für den visuellen Abgleich
Bei der isochromen und heterochromen Photometrie soll ein simultaner Helligkeitsvergleich vorgenommen werden. Die Gestaltung des Gesichtsfeldes spielt dabei eine wichtige Rolle. Für Messzwecke muss das Gesichtsfeld so gestaltet werden, daß das Auge optimal arbeitet (hohe Leuchtdichten, gleichmäßige Ausleuchtung, angepasstes Adaptationsumfeld u.a.m.).
Nach *Lummer-Brodhun* sollte eine ideale Vergleichsvorrichtung folgende Anforderungen erfüllen:

- -Jedes der zu vergleichenden Felder darf nur Licht von der ihm zugeordneten Lichtquelle bekommen.
- -Die Felder sollen unmittelbar und in möglichst scharfer Grenze aneinander stoßen.
- -Bei Gleichheit soll die Grenzlinie völlig verschwinden.
- -Die Vorrichtung soll möglichst stabil sein.
- -Bei Vertauschung der Lichtquellen darf es keine Veränderungen geben.

Die Einstellung kann noch einmal verbessert werden, wenn man statt auf Gleichheit der beiden Fotometerfelder auf Gleichheit einer definierten Kontrastfläche einstellt. Das ist das sog. Kontrastphotometerprinzip von Lummer-Brodhun (Abb. 10).

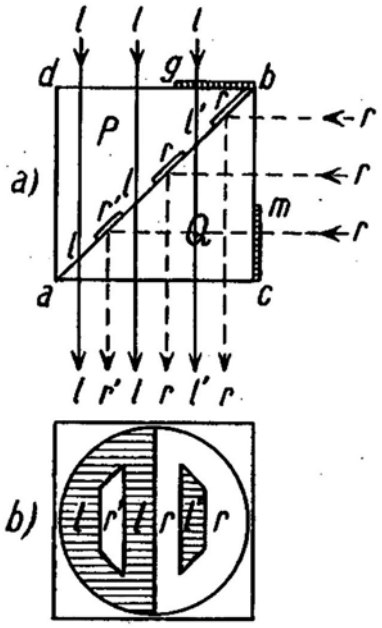


Abbildung 10: Kontrastphotometerwürfel nach Lummer-Brodhun

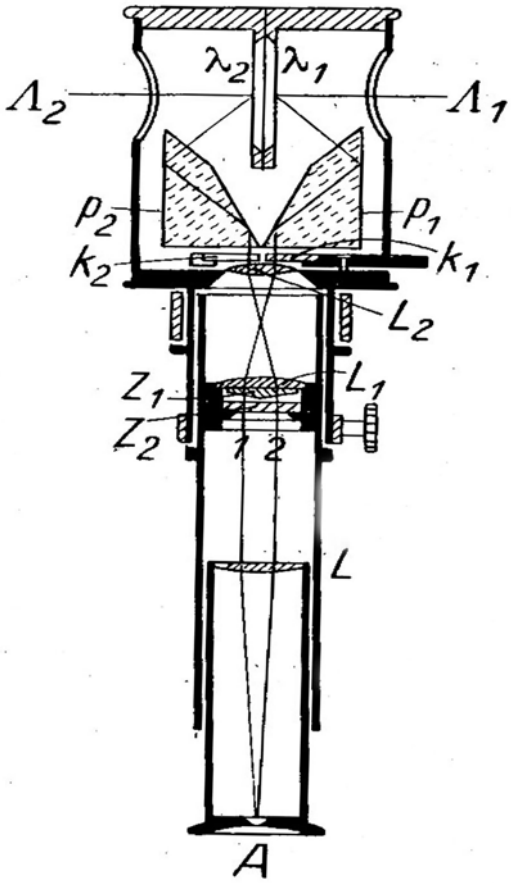


Abbildung 11: Flimmerphotometer

Für heterochrome Helligkeitsvergleiche benutzt man das sog. Flimmerverfahren (Abb. 11), bei dem die Tatsache ausgenutzt wird, dass die Farbverschmelzungsfrequenz unter der der Helligkeitsverschmelzungsfrequenz liegt.
Die Ergebnisse, die man bei der heterochromen Photometrie mit verschiedenen Verfahren gewinnt, können durchaus voneinander abweichen (Abb. 12), vor allem an den Enden des Spektrums. Das macht sich vor allem bei der Ermittlung von Empfindlichkeitskurven bemerkbar. Beim heterochromen Direktvergleich gewinnt man meist höhere Werte /*Arndt, W.*/.

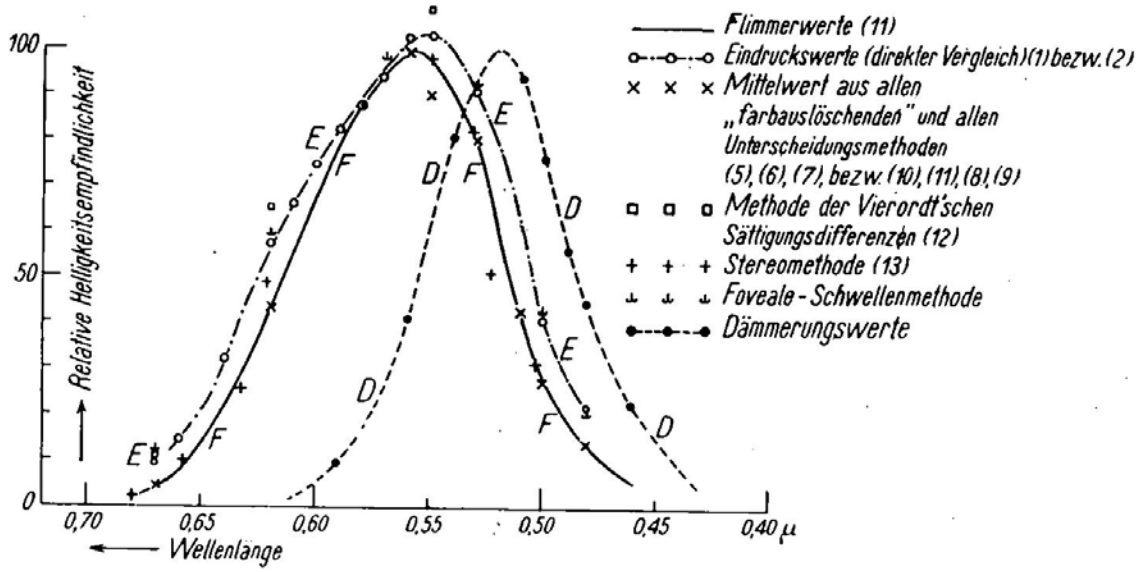


Abbildung 12: Spektrale Hellempfindlichkeit nach verschiedenen Methoden
A. Kohlrausch zit. bei /*Korte, H.*/

Natürlich gibt es bei der Visuellen Photometrie interindividuelle und intraindividuelle Unterschiede. In Abb. 13 wird die Streubreite von 125 Beobachtern gezeigt *(Priest 1923* zit. bei /*Kohn, H.*/.

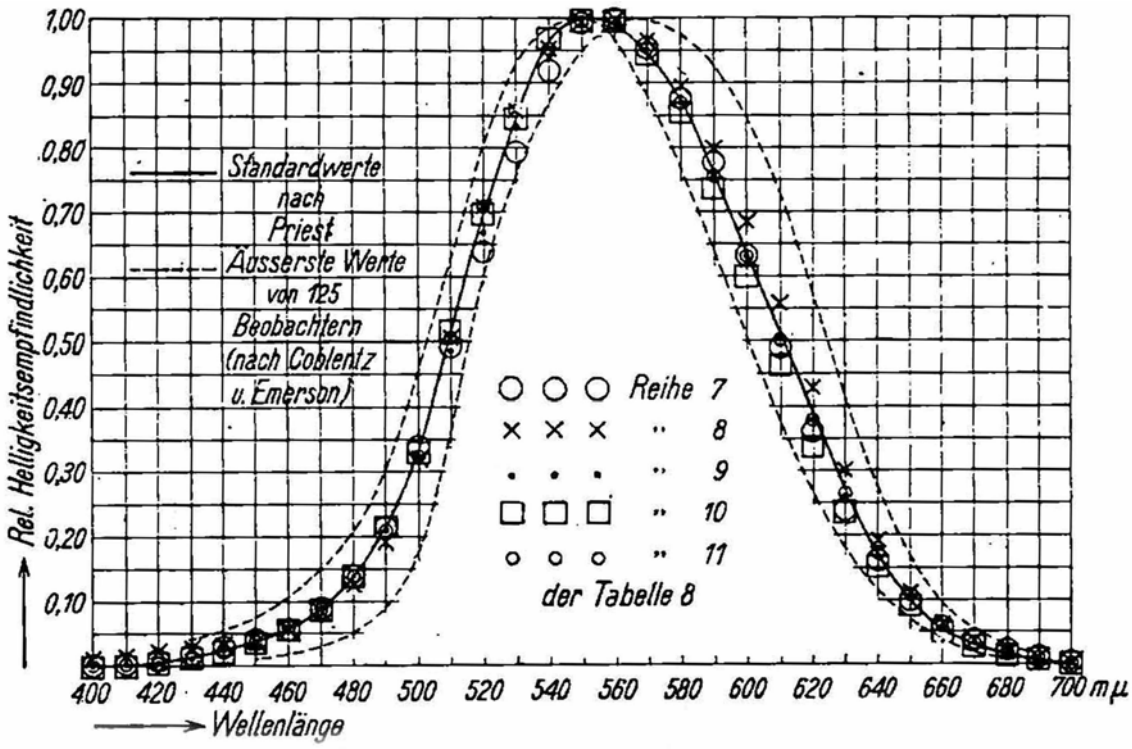


Abbildung 13: Streuungen in der Helligkeitskurve nach *Priest (*zit. bei /*Kohn, H.*/)

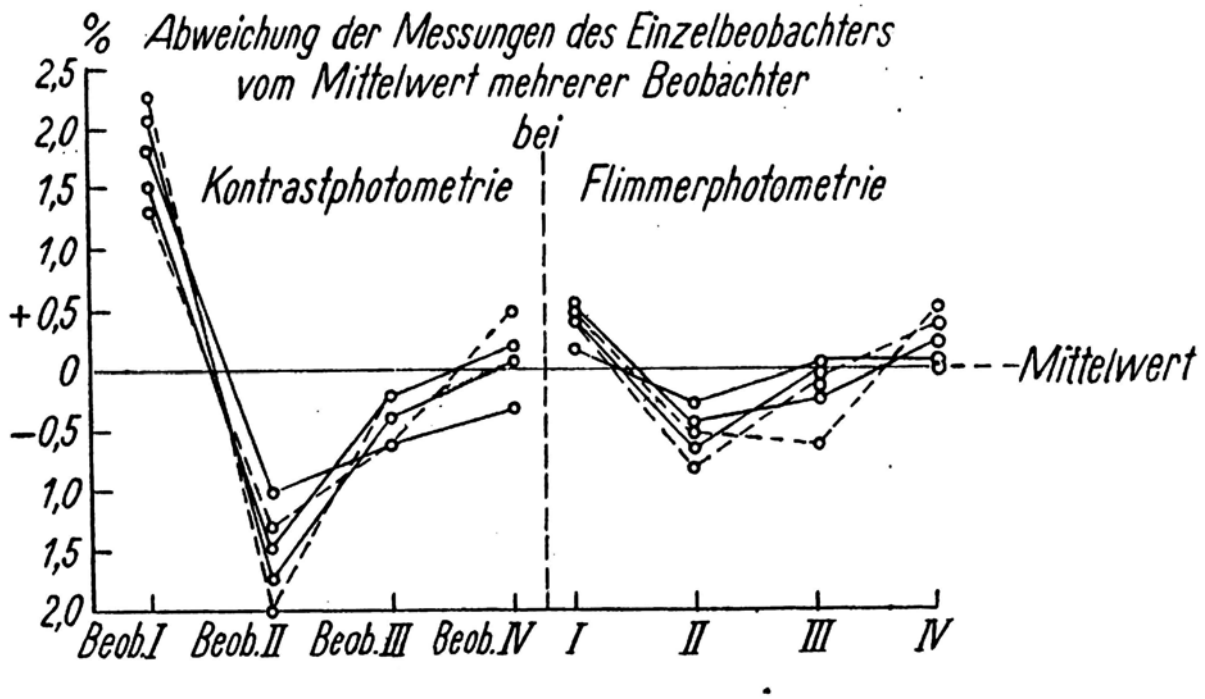


Abbildung 14: Inter- und intraindividuelle Unterschiede
nach *Dziobek* zit. bei /*Kohn, H.*/

Wie Abb. 14 zeigt, können die Abweichungen von Beobachter zu Beobachter unterschiedliche Tendenzen aufweisen. Die Streubreiten für flimmerphotometrisch erhaltene Ergebnisse sind erstaunlich gering (+/- 0,5%).
Schon nach den ersten Versuchreihen wurden von den Verfassern noch folgende Hinweise für den Gebrauch von Visuellen Photometern gegeben *(s.a. /Korte, H./)*:

-Es müssen grundsätzlich Beobachtungsreihen gemacht werden.
-Zeigen die Ergebnisreihen Tendenzen, so sind sie zu verwerfen.
-Es dürfen keine visuellen Störquellen im Raum sein.
-Keine zu hellen oder dunklen Gesichtsfelder verwenden.
-Bei langen Messreihen müssen Pausen eingelegt werden.
- Es muss randomisiert verfahren werden.
-Da jeder Beobachter u.U. ein anderes Einstellkriterium hat, muss eine Anglei chung erfolgen.

4. Beispiele Visueller Photometer

Die ersten tragbaren Geräte zur Vermessung von Gaslaternen machten noch einen recht seltsam anmutenden Eindruck.

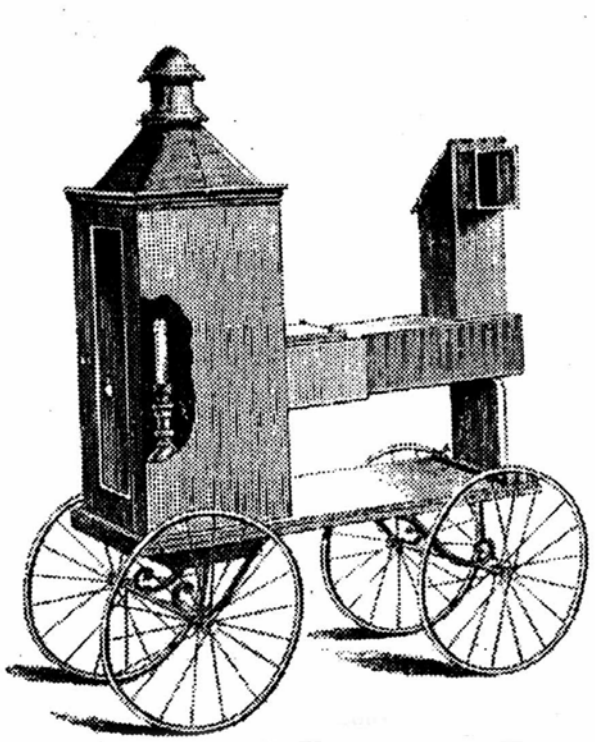


Abbildung 15: SUGG's Travelling Photometer /*Johnston, S.F.*/ (1889)

Ende des 19. und Anfang des 20. Jahrhunderts wurden eine Vielzahl von Photometern entwickelt und industriell gebaut, die zu den Präzisionsgeräten gerechnet werden können. Sie zeichneten sich durch eine solide Konstruktion und ausgeklügelte optische Systeme aus. Die Unterschiede der verschiedenen Varianten liegen in der Auswahl der Schwächungsmethoden und der Gestaltung des Gesichtsfeldes. Durch immer verfeinerte Nuancen versuchte man die Reproduzierbarkeit der Einstellungen zu verbessern.
Im folgenden sollen ein paar Geräte vorgestellt werden.
Die sog. *Universalphotometer* sind nach einem Baukastenprinzip aufgebaut, das es erlaubt, verschiedene lichttechnische Parameter mit einem Grundgerät und entsprechendem Zubehör zu vermessen (s.a. Abb.16-19).

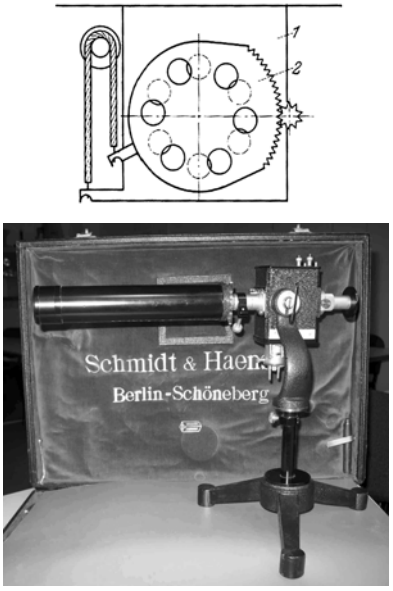


Abbildung 16: Taschenphotometer nach Bechstein (Fa. Schmidt& Haensch)

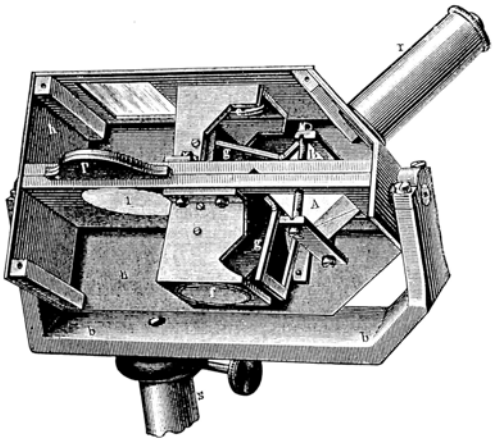


Abbildung 17: Photometer nach Lummer&Brodhun

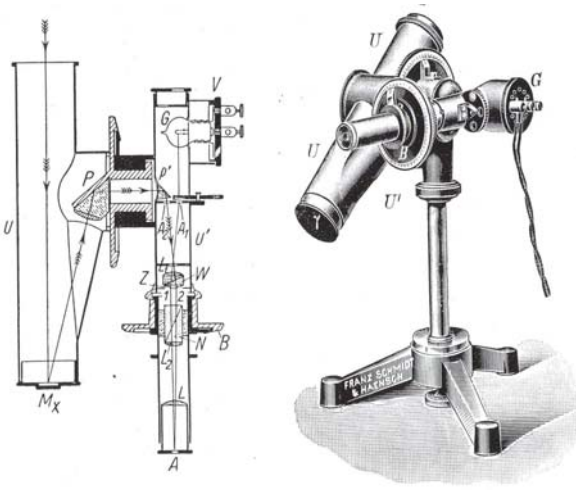


Abbildung 18:Polarisationsphotometer nach Martens

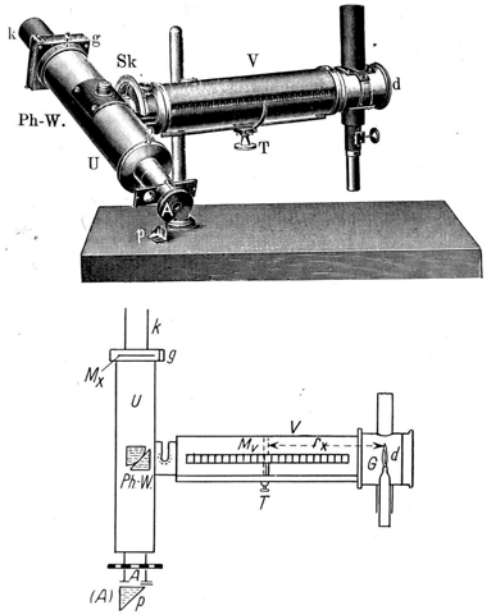


Abbildung 19: Milchglasphotometer nach Weber

Das Taschenphotometer nach Bechstein ist wegen des handlichen Gebrauchs auch außerhalb des Lichtlaboratoriums zu verwenden /*Korte, H.*/Das Vergleichslicht wird mit einer Blendenscheibe aselektiv und definiert geschwächt. Das Photometer nach Lummer&Brodhun ist für die Messung auf der Photometerbank gedacht und hat als Photometerfeld einen Kontrastwürfel (s.a. Abb. 10). Als Schwächungseinheit wird bei dem Polarisationsphotometer nach Martens die Polarisation ausgenutzt (doppelbrechendes Wollastonprisma). Eine definierte Lichtschwächung kann auch über eine mit unterschiedlichen Entfernungen beleuchtete Milchglasscheibe erfolgen (Milchglasphotometer nach Weber)

Die nächsten Abbildungen zeigen einige Geräte der heterochromen Photometrie und der Kolorimetrie.

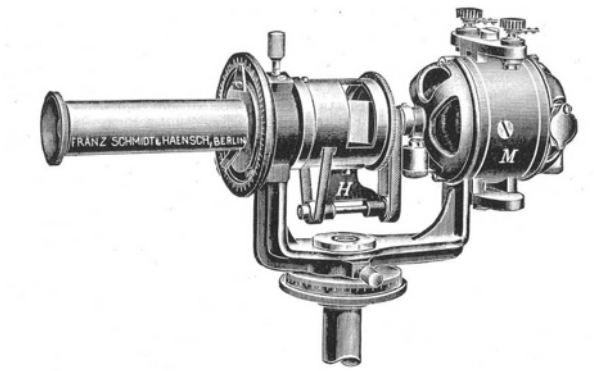


Abbildung 20: Flimmerphotometer nach Bechstein

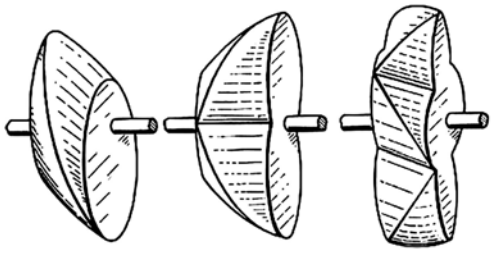


Abbildung 21: Spezielle Spiegelelemente für das Flimmerphotometer

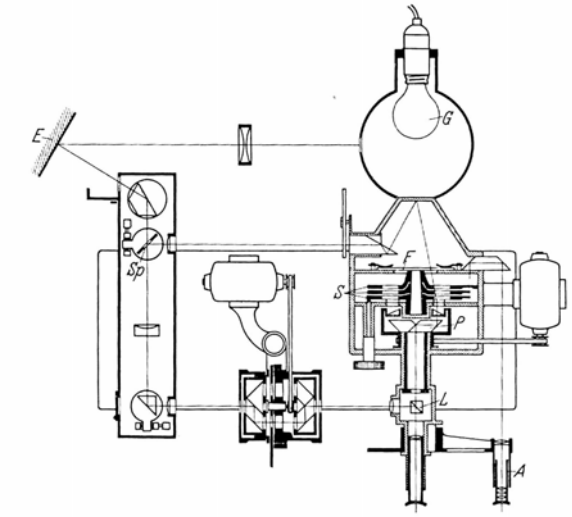


Abbildung 22: Visuelles Farbmessgerät nach Bechstein

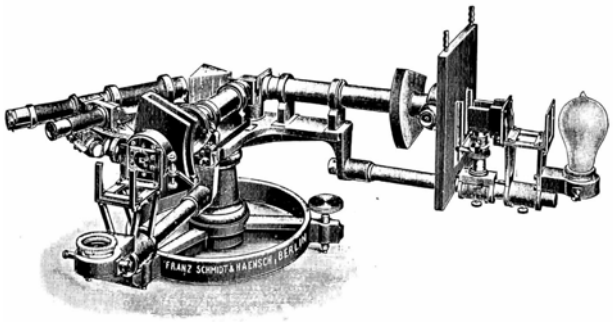


Abbildung 23: Spektralphotometer nach Lummer-Brodhun

Das Flimmerphotometer spielte bei der Bestimmung der spektralen Helligkeitsempfindungskurve des menschlichen Auges eine große Rolle. Die Veränderung der Flimmerfrequenz wurde über einen Regeltransformator oder Schiebewiderstand vorgenommen.
Die ersten Kolorimeter waren Dreibereichsgeräte nach dem Gleichheitsprinzip (Abb. 22). Die Visuelle Spektralphotometrie wurde mit aufwendigen Monochromatoren (Abb. 23) realisiert, bei denen oft zwei übereinandergesetzte Spektren vorhanden waren.

Abbildung 24 zeigt einen Farbkreisel, mit dem definierte Farbvalenzen erzeugt werden konnten.
Die Farbkreisel wurden zunächst mit der Hand angetrieben, bevor man dann Uhrwerke einsetzte. Das Stufenphotometer und Polaphot nach Zeiss (Abb. 25+26) arbeitet mit einstellbaren „Katzen“-Blenden, die mit einer Maxwellschen Abbildung in die Augenpupille eingeblendet werden und so den Lichtstrom, der in das Auge trifft, steuern. Die Visuellen Photometer wurden auch in der Spektroskopie und chemischen Analysetechnik von transparenten Körpern und Flüssigkeiten eingesetzt. Mit dem Nephelometer nach Kleinmann (Abb. 27) konnten die Streustrahlung und damit die Trübung wässriger Lösungen bestimmt werden.

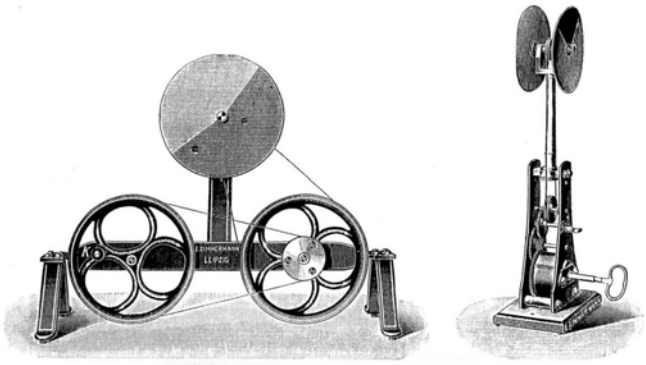


Abbildung 24: Farbkreisel nach Zimmermann

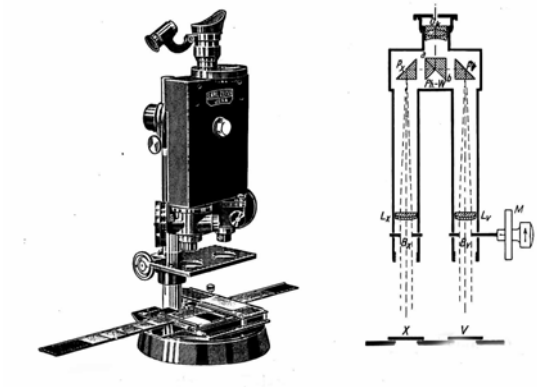


Abbildung 25: Stufenphotometer nach Zeiss

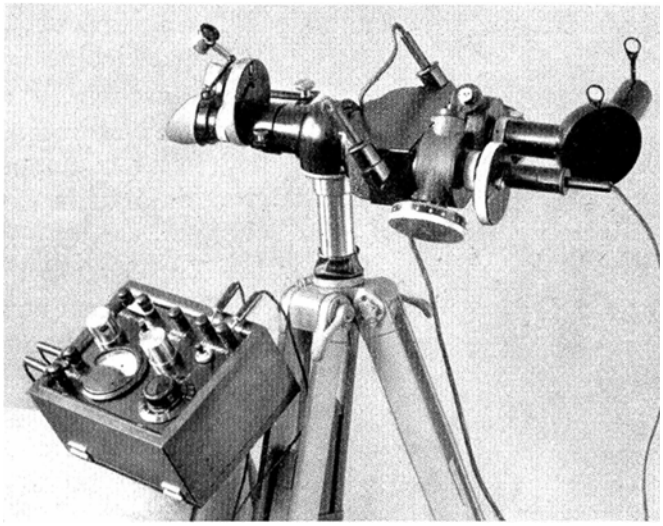


Abbildung 26: Polaphotphotometer nach Zeiss

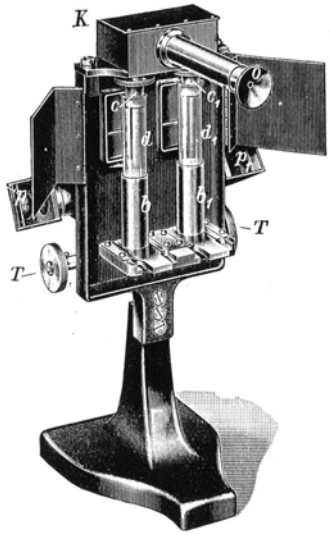


Abbildung 27: Nephelometer nach Kleinmann

Da mit den Visuellen Photometern primär nur Leuchtdichte bzw. Leuchtdichtegleichheit bestimmt werden konnten, mussten die anderen lichttechnischen Größen mit geeigneten Zusatzgeräten bestimmt werden. Das Herzstück derartiger Photometer ist deshalb immer ein Visuelles Photometer.

Abbildung 28: Tragbares Beck-Leuchtdichtemessgerät

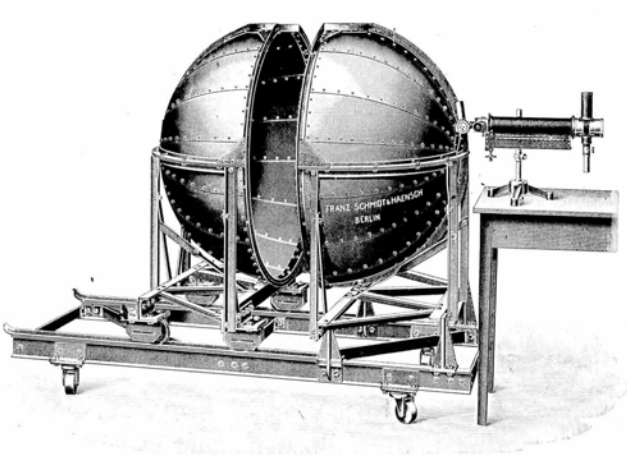
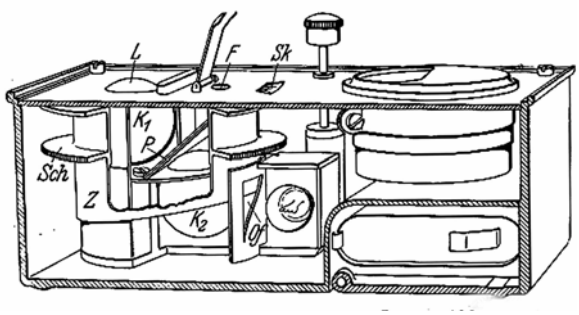


Abbildung 29: Ubricht-Kugel mit Visuellem Photometer



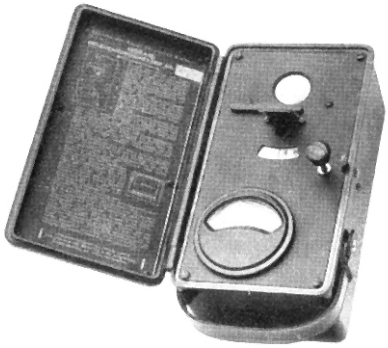
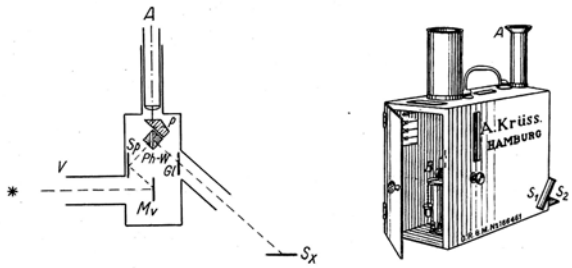


Abbildung 30: Luxmeter nach OSRAM



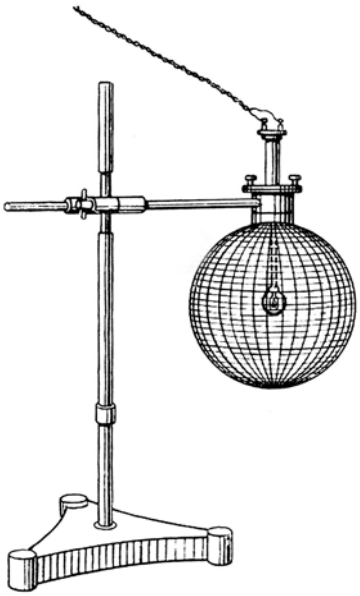


Abbildung 31: Luxmeter nach Krüss

Abbildung 32: Raumwinkelkugel nach Teichmüller

Interessant ist die in Abbildung 32 dargestellte Raumwinkelkugel nach Teichmüller. Der Apparat besteht aus einer Glaskugel, in deren Mittelpunkt sich eine kleine Glühlampe befindet, und auf deren Oberfläche ein Netz aus Längen- und Breitengraden eingezeichnet ist. Auf diese Weise lässt sich ein Raumwinkelbereich experimentell leicht bestimmen.

5. Schlussbemerkungen

Mit dem vorliegenden Beitrag wird kein Anspruch auf Vollständigkeit und historischer Präzision erhoben, das würde den Umfang desselbigen bei weitem sprengen. Vielmehr sollten hier die Bezüge zu den gegenwärtigen Fragen der Lichttechnik und Farbmetrik aufgezeigt werden

Den Stellenwert der Visuellen Photometrie kann man nach allem oben gesagten vielleicht jetzt etwas besser würdigen, wenn man bedenkt, welche großen Geister mitgewirkt haben.

Was die Photometrie letztlich für eine Wertschätzung haben sollte, hat Otto Lummer schon 1903 geahnt:

> „Aber wie viele Arten von Lichtquellen noch kommen mögen, sie werden friedlich nebeneinander bestehen, sich gegenseitig zu immer größerer Leistungsfähigkeit anspornen und zur Verbreitung von „Mehr Licht“ beitragen. Es hat eben jede Beleuchtungsart ihre individuellen Eigenschaften und besonderen Vorzüge, die ihre Existenz und Wertschätzung rechtfertigen. Aus diesem Grunde ist es auch nicht leicht, den Wert der einzelnen Lichtquellen gegeneinander abzuwägen, es sei denn, dass man den auch jetzt noch üblichen einseitigen Weg einschlägt und den Wert einer Lichtquelle nach dem Preis pro Kerze Leuchtkraft taxiert, d.h. die Photometrie als obersten Richter einsetzt.“

6. Literaturverzeichnis

Arndt, W. “Über neue Beobachtungen beim subjektiven Photometrieren”, Licht **6** (1936); 75-77

Johnston, S. F. „A History of Light and Colour Measurement-Science in the Shadows“, Publ. Inst. of Physics Publishing, Bristol and Philadelphia, 2001

Kohn, H. „Photometrie“ in Müller- Pouillets Lehrbuch der Physik , 11. Auflage 2. Band, Verlag F. Vieweg & Sohn, Braunschweig, 1929

König, A. “Gesammelte Abhandlungen zur Physiologischen Optik”, A. Barth Verlag, Leipzig, 1903

König, A.; Dieterici, C. “Die Grundempfindungen in normalen und anormalen Farbensystemen und ihre Intensitätsverteilung im Spektrum“, Verlag Leopold Voss, Hamburg-Leipzig, 1892

Korte, H. „Visuelle Photometrie“ in Sewig, R. „Handbuch der Lichttechnik“, Springer-Verlag, Berlin 1938

Lambert, J. H. „Photometria sive de mensura et gradibus luminis, colorum et umbrae“ (1760), Hrg. E. Andig, Verlag W. Engelmann, Leipzig, 1892

Liebenthal, E. “Praktische Photometrie”, Vieweg-Verlag,Braunschweig, 1907

Lummer, O. „Grundlagen, Ziele und Grenzen der Leuchttechnik“(Auge und Lichterzeugung), R. Oldenbourg - Verlag, München/ Berlin, 1918

Lummer, O. Brodhun, E. Zeitschrift für Instrumentenkunde **9** (1889) 23 und 41; **12**(1882) 41

Nagel, W. „Methoden zur Erforschung des Licht- und Farbensinns“ in HdB der physiologischen Methodik“, Hrg. R. Tigerstedt, Verlag S. Hirzel, Leipzig, 1909

Schrödinger, E. „Die Gesichtsempfindungen“ in Müller- Pouillets Lehrbuch der Physik , 11. Auflage, 2. Band, Verlag F. Vieweg & Sohn, Braunschweig, 1926

Ulbricht, R. „Das Kugelphotometer“, R. Oldenbourg - Verlag, München/ Berlin, 1920

Viikari, M.; Eloholma, M. Halonen,L. „80 Years of v(λ)Use: A Review“ Light& Engineering, **13** (2005) 4, 24-36