(LNA 5570

Verlag von **Wilhelm Knapp** in **Halle a. S.**

Das Atelier des Photographen

und

Allgemeine Photographen-Zeitung.

Zeitschrift für Photographie und Reproduktionstechnik.

Herausgegeben von

Geh. Reg.-Rat **Dr. A. Miethe,** Professor an der Kgl. Technischen Hochschule zu Berlin. und **F. Matthies-Masuren,** Halle a. S. als Leiter des künstlerischen Teiles

Erscheint wöchentlich zweimal derart, daß monatlich ein Hauptheft mit je 16 bis 20 Vollbildern zur Ausgabe kommt, dem sich jede Woche zweimal das Beiblatt **„Photographische Chronik“** anreiht, das auch besonders bezogen werden kann. Es enthält regelmäßig ein ausführliches Repertorium, Auslandsberichte, Vereins-, Atelier- und Patentnachrichten, kleine Mitteilungen von allen den Photographen interessierenden Gebieten, einen Fragekasten und Stellen-Nachweis.

Preis vierteljährlich für Deutschland, Österreich und Luxemburg **M 3,—**, fürs Ausland **M 4,—**; „Chronik“ allein **M 1,50**, fürs Ausland **M 2,—** bei postfreier Zusendung.

Probehefte kostenfrei.

Jahrbuch

für

Photographie und Reproduktionstechnik.

Unter Mitwirkung hervorragender Fachmänner

herausgegeben von

Hofrat Dr. **Josef Maria Eder,**

Mitglied der kais. Akademie der Wissenschaften in Wien, Direktor der k. k. Graphischen Lehr- und Versuchsanstalt und o. ö. Professor an der k. k. Technischen Hochschule in Wien

Bisher erschienen 25 Jahrgänge.

Preis des Jahrganges M 8,—, in Ganzleinenband M 9,50.

Jeder Jahrgang umfaßt über 700 Seiten Text mit über 300 Abbildungen und etwa 30 Kunstbeilagen.

Ausführlicher Prospekt mit Inhaltsangabe kostenfrei.

Rezepte und Tabellen

für Photographie und Reproduktionstechnik,

welche an der k. k. Graphischen Lehr- und Versuchsanstalt in Wien angewendet werden.

Herausgegeben von

Hofrat Dr. **Josef Maria Eder,**

Mitglied der kais. Akademie der Wissenschaften in Wien, Direktor der k. k. Graphischen Lehr- und Versuchsanstalt und o. ö. Professor an der k. k. Technischen Hochschule in Wien.

Achte Auflage. — Preis M 3,80.

Buchdruckerei des Waisenhauses in Halle a. d. S.

Ausführliches Handbuch

der

PHOTOGRAPHIE.

Band I, 3. Teil.

Die Photographie bei künstlichem Licht, Spektrumphotographie, Aktinometrie

und die chemischen Wirkungen des farbigen Lichtes

von

Hofrat Dr. **Josef Maria Eder,**

Mitglied der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften in Wien, Direktor der K. K. Graphischen Lehr- und Versuchsanstalt und o. ö. Professor an der K. K. Technischen Hochschule in Wien.

Mit 409 Abbildungen und 10 Tafeln.

Dritte gänzlich umgearbeitete und vermehrte Auflage.

Halle a. d. S.

Verlag von Wilhelm Knapp.

1912.

Monsieur Jean-Pierre SUDRE
Le Mourre du Bès
84710 L A C O S T E
Tél. : (90) 75.82.70

G nc 1342 Pl 6

Verlag von **Wilhelm Knapp** in **Halle a. S.**

Ausführliches Handbuch der Photographie

von Hofrat Dr. **Josef Maria Eder,**

Mitglied der kais. Akademie der Wissenschaften in Wien, Direktor der k. k. Graphischen Lehr- und Versuchsanstalt und o. ö. Professor an der k. k. Technischen Hochschule in Wien.

Band I, 1. Teil.

3. Auflage. Preis M 12,—, in Ganzleinenband M 13,50.

Geschichte der Photographie. Mit 148 Abbildungen und 12 Tafeln in Heliogravüre und Lichtdruck. Dritte gänzlich umgearbeitete und vermehrte Auflage.

Band I, 2. Teil.

3. Auflage. Preis M 15,—, in Ganzleinenband M 16,50.

Photochemie (die chemischen Wirkungen des Lichtes). Mit 51 Abbildungen. Dritte gänzlich umgearbeitete und vermehrte Auflage.

Band I, 3. Teil.

3. Auflage. Preis M 28,—, in Ganzleinenband M 29,50.

Die Photographie bei künstlichem Licht, Spektrumphotographie, Aktinometrie und die chemischen Wirkungen des farbigen Lichtes. Mit 409 Abbildungen und 10 Tafeln. Dritte gänzlich umgearbeitete und vermehrte Auflage.

Band I, 4. Teil.

3. Auflage. Preis M 12,—, in Ganzleinenband M 13,50.

Die photographischen Objektive. Mit 272 Abbildungen. Dritte gänzlich umgearbeitete und vermehrte Auflage.

Band I, Heft 5.

2. Auflage.

Die photographische Kamera und die Momentapparate. Preis M 10,—.

Ergänzungsband.

2. Auflage.

Das Atelier und Laboratorium des Photographen. Preis M 4,—.

Band II, oder Heft 6—8.

2. Auflage. Preis M 12,—.

Heft 6. **Einleitung in die Negativverfahren und die Daguerreotypie, Talbotypie und Niepçotypie.** Preis M 3,—.

(Fortsetzung auf der 3. Umschlagseite.)

Jeder Band und jedes Heft sind einzeln käuflich.

Ausführliches Handbuch

der

PHOTOGRAPHIE

von

Hofrat Dr. **Josef Maria Eder.**

Mit über 2000 Abbildungen und zahlreichen Tafeln.

Erster Band, dritter Teil.

Dritte gänzlich umgearbeitete und vermehrte Auflage.

Halle a. S.
Verlag von Wilhelm Knapp.
1912.

Die Photographie bei künstlichem Licht, Spektrumphotographie, Aktinometrie

und die chemischen Wirkungen des farbigen Lichtes

von

Hofrat Dr. **Josef Maria Eder**
Mitglied der kaiserlichen Akademie der Wissenschaften in Wien,
Direktor der k. k. Graphischen Lehr- und Versuchsanstalt und o. ö. Professor
an der k. k. Technischen Hochschule in Wien.

Mit 409 Figuren und 10 Tafeln.

Dritte gänzlich umgearbeitete und vermehrte Auflage.

Halle a. S.
Verlag von Wilhelm Knapp.
1912.

Vorwort.

Die Photographie bei künstlichem Licht, die Spektrumphotographie, die chemischen Wirkungen des farbigen Lichtes, die Photometrie der chemisch wirksamen Lichtstrahlen, die Sensitometrie und die Methoden der Messung der Belichtungszeit sind in den letzten Jahren durch umfassende Arbeiten sowohl in der Theorie als in der Praxis wesentlich bereichert worden. Diese in früheren Auflagen kurz bearbeiteten Kapitel mußten demzufolge eine wesentliche Erweiterung und Umarbeitung erfahren. Da der Verfasser auf diesem Gebiet selbst vielfach Untersuchungen vornahm, so konnte er im vorliegenden Werke seine Erfahrungen zusammenfassend niederlegen und hofft dadurch willkommene Anregung für weitere selbständige Arbeiten zu bieten. Neu ist die Illustrierung der Leistungsfähigkeit der verschiedenen Typen von Spektrographen durch Proben von Spektrumphotographien. Betreffs der rein spektralanalytischen Seite dieser Untersuchungen sei auf das vom Verfasser in Gemeinschaft mit Professor E. Valenta verfaßte und von der kaiserl. Akademie der Wissenschaften in Wien herausgegebene Werk „Atlas typischer Spektren, mit 53 Tafeln und erläuterndem Text“ (Wien 1911, Kommissions-Verlag von Alfred Hölder, k. und k. Hof- und Universitätsbuchhändler) verwiesen.

Wien, im Frühjahr 1912.

J. M. Eder.

Inhalt.

Seite

Erstes Kapitel. Spektralanalyse und Spektrumphotographie 1
Zweites Kapitel. Prismen-Spektralapparate 17
Drittes Kapitel. Spektrumphotographie. Methoden der spektrographischen Untersuchungen 24
Viertes Kapitel. Photographie des Ultraviolett kürzester Wellenlänge. — Gitterspektrographen 53
Fünftes Kapitel. Die Photometrie der chemischen wirksamen Strahlen und die Prüfung der Empfindlichkeit photographischer Präparate 71
Sechstes Kapitel. Chemische Photometer mit Gasen und Flüssigkeiten . . 98
Siebentes Kapitel. Verwendung optischer Photometer und phosphoreszierender Substanzen in der Photographie 121
Achtes Kapitel. Photometrie mittels photographischer Schichten 129
Neuntes Kapitel. Empfindlichkeitsmessung photographischer Platten. — Sensitometrie 188
Zehntes Kapitel. Expositionsmesser 229
Elftes Kapitel. Chemische Wirkungen des farbigen Lichtes 242
Zwölftes Kapitel. Verhalten von verschiedenen lichtempfindlichen unorganischen Verbindungen gegen farbiges Licht 319
Dreizehntes Kapitel. Wirkung von farbigen und farblosen Medien in bezug auf Photographie 332
Vierzehntes Kapitel. Die Photographie im Zusammenhang mit meteorologischen und klimatischen Verhältnissen 364
Fünfzehntes Kapitel. Die Photographie bei künstlichem Licht 404
Sechzehntes Kapitel. Elektrische Lichtquellen 408
Siebzehntes Kapitel. Verwendung des elektrischen Lichtes in der Photographie 432
Achtzehntes Kapitel. Gaslicht, Kerzenlicht. — Holzfeuer, Feuersbrunst . 481
Neunzehntes Kapitel. Azetylen 493
Zwanzigstes Kapitel. Oxy-Hydrogen-Kalklicht und Verwandtes 497
Einundzwanzigstes Kapitel. Bengalisches Feuerwerk 506
Zweiundzwanzigstes Kapitel. Verbrennender Phosphor und Schwefel. — Schwefelkohlenstoff-Stickoxydlicht. — Chromylchlorid- und Titanchloridlicht 509
Dreiundzwanzigstes Kapitel. Phosphoreszenzlicht 513
Vierundzwanzigstes Kapitel. Magnesiumlicht 514

Seite
Fünfundzwanzigstes Kapitel. Magnesiumblitzlicht- und Zeitlicht-Gemische 539
Sechsundzwanzigstes Kapitel. Aluminiumlicht. — Zink. — Kalzium . . 560
Siebenundzwanzigstes Kapitel. Packung und Zündung von Blitzlichtgemischen 564
Achtundzwanzigstes Kapitel. Apparate, Rauchfänger und Ateliers für Magnesiumblitzlicht. — Verschiedene Anwendungen des Magnesiumblitzlichtes 584
Neunundzwanzigstes Kapitel. Verbrennungsdauer und Flammenform von Blitzlichtgemischen 607
Dreißigstes Kapitel. Aktinometrie der photographischen Lichtintensität künstlicher Lichtquellen 615
Einunddreißigstes Kapitel. Die spektrale Zusammensetzung des von verschiedenen Bogenlampen ausgesendeten Lichtes 632
Nachtrag 641
Autoren-Register 645
Sach-Register 653
Druckfehler-Verzeichnis 676

ERSTES KAPITEL.

SPEKTRALANALYSE UND SPEKTRUMPHOTOGRAPHIE.

Literatur. Es sollen nur einige Werke angeführt werden: Marshall Watts, „On introduction to the study of Spectrum-Analysis“. London 1904. — Formanek, Die qualitative Spektralanalyse anorganischer Körper. Leipzig (2. Aufl.) 1905; Formanek, Spektralanalytischer Nachweis künstlicher organischer Farbstoffe. 2. Aufl. 1908. — L. Grebe, „Spektroskopie“ (aus „Natur- und Geisteswelt“, 1910). — Emil Baur, Kurzer Abriß der Spektroskopie und Kolorimetrie. Leipzig 1907. — Baly, „Spektroskopie“, deutsch von Wachsmuth (Berlin 1908). — Eder u. Valenta, Beiträge zur Photochemie und Spektralanalyse. Wien 1904; Eder u. Valenta, Atlas typischer Spektren. Wien 1911. — K. Schaum, Photochemie und Photographie. Leipzig 1908. — Insbesondere das äußerst umfassende grundlegende Werk: A. Kayser, Handbuch der Spektroskopie. Leipzig 1900 bis 1910 u. ff.

Das zur Erde gelangende „weiße“ Sonnenlicht besteht keineswegs aus einer einzigen Sorte von Lichtstrahlen von bestimmter Wellenlänge und Schwingungszahl (vgl. Bd. I, zweiter Teil, 3. Aufl. dieses Werkes), sondern es ist aus Lichtstrahlen verschiedener Wellenlänge zusammengesetzt, welche teils dem menschlichen Auge sichtbar sind und die Regenbogenfarben von Rot bis Violett aufweisen,[1]) teils unsichtbar sind;

1) Die Grenze des sichtbaren Spektrums nimmt man gewöhnlich an der Grenze des Violett bei der Fraunhoferschen Linie K an, jedoch kann man mit lichtstarken Spektralapparaten noch etwas ultraviolettes Licht als Lichtschimmer mit freiem Auge wahrnehmen. Nach Widmark ist die Ausdehnung des sichtbaren Spektrums für verschiedene Individuen ungleich. Die Grenze liegt aber gewöhnlich innerhalb der Fraunhoferschen Linien L bis M und erstreckt sich selten außerhalb dieser Linien. Die Strahlen werden direkt, und nicht infolge Fluoreszenz wahrgenommen. Sie werden besser exzentrisch als zentral wahrgenommen. — Ältere Leute sind für die Strahlen weniger empfindlich als jüngere; der Unterschied wird im Alter über 55 Jahre recht merkbar. Nach dem 64. Jahr tritt die Grenze ins violette Licht zurück. — Die geringe Empfindlichkeit des Auges für die ultravioletten Strahlen wird hauptsächlich durch die starke Absorption der Strahlen in der Kristallinse erklärt. Für Staroperierte wird der sichtbare Teil des Spektrums bedeutend verlängert. Die Grenze schwankt zwischen λ 340 und λ 370; sie ist durch die Absorption der Hornhaut bestimmt („Beibl. Wiedem. Annal.“ 1898).

jenseits des Rot schließen sich im Spektrum als unsichtbare Lichtstrahlen die infraroten oder ultraroten Strahlen längerer Wellenlänge, jenseits des Violett (als ultraviolettes Licht) die Strahlen kürzerer Wellenlänge an; alle diese Arten der strahlenden Energie vermögen bald größere, bald geringere chemische und photographische Wirkungen auszuüben, wobei es aber nicht nur auf die Wellenlänge und Intensität des einfallenden Lichtes als Agens, sondern auch auf die Beschaffenheit der belichteten Substanz als Reagens ankommt.

Die Wellenlänge des Lichtes wird entweder in Millionstel Millimeter = $\mu\mu$ angegeben oder häufiger der 10. Teil dieser Einheit gewählt, das ist die Ångströmsche Einheit = Å. E. (der zehnmillionste Teil eines Millimeters). Die Natriumlinie *D* hat danach die Wellenlänge 589 $\mu\mu$ oder 5890 Å. E.

Trifft weißes Licht auf die Oberfläche eines Körpers, so wird es teils (entsprechend seinem selektiven Absorptionsvermögen) absorbiert, teils reflektiert, bei durchsichtigen Stoffen auch zum Teil durchgelassen. Die reflektierten Lichtstrahlen erscheinen farbig, wenn gewisse Strahlenarten des weißen Lichtes absorbiert und andere mit der ihnen zukommenden Farbe reflektiert werden; stets ist mehr oder weniger weißes Licht beigemengt.

Für die Photographie ist die Kenntnis der chemischen Wirkung verschiedenfarbigen Lichtes auf die sensible Schicht von Wichtigkeit.

Auf gewöhnliche photographische Platten (Brom-, Jod- und Chlorsilber) wirken nicht sämtliche Bestandteile des weißen Lichtes gleichmäßig ein, sondern in der Regel kommt den stärker brechbaren (blauen, violetten, ultravioletten) Lichtstrahlen eine größere photographische Wirksamkeit zu als den roten und gelben Lichtstrahlen. Dagegen äußern die roten und gelben Strahlen auf gewisse lichtunechte Farbstoffe (z. B. viele grüne und blaue Farbstoffe) eine stärkere, bleichende Wirkung als anders gefärbtes Licht. Es hängt dies mit dem Absorptionsvermögen der lichtempfindlichen Schichten gegen Licht von verschiedener Wellenlänge zusammen (s. Bd. I, zweiter Teil, 3. Aufl., S. 41), indem nur jene Lichtstrahlen photochemische Veränderungen eines Körpers verursachen können, welche von diesem verschluckt werden.

Die photochemische Wirkung des weißen Tageslichtes auf photographische Platten und andere lichtempfindliche Schichten kann nur dann genau verfolgt und sichergestellt werden, wenn man die Wirkung der verschiedenfarbigen Komponenten des gemischten weißen Tageslichtes auf die lichtempfindliche Schicht studiert.

Es ist sehr schwierig, mittels farbiger Gläser oder Flüssigkeiten (in entsprechenden durchsichtigen Trögen) hinlänglich reine Farben aus weißem Lichte auszuscheiden.

Verbindung verschiedener absorbierender Substanzen zur Erzeugung ziemlich homogenen Lichtes.

Schaltet man Tröge gefüllt mit passenden Substanzen in passender Konzentration und passender Schicht dicht hintereinander, so erhält man ziemlich homogenes farbiges Licht (man nennt solche Vorrichtungen mit Landolt Strahlenfilter).

Beispiele nach Landolt:

Farbe	Dicke der Schicht in mm	Wässerige Lösungen von	g Substanz in 100 ccm Lösung	Opt. Schwerpunkt in $\mu\mu$
Rot	20	Kristallviolett, 5 BO	0,005	665,9
	20	Kaliummonochromat	10	
Gelb	20	Nickelsulfat, $NiSO_4 + 7$ aq.	30	591,9
	15	Kaliummonochromat	10	
	15	Kaliumpermanganat	0,025	
Grün	20	Kupferchlorid, $CuCl_2 + 2$ aq.	60	533,0
	20	Kaliummonochromat	10	
Hellblau	20	Doppelgrün, SF	0,02	488,5
	20	Kupfersulfat, $CuSO_4 + 5$ aq.	15	
Dunkelgrün	20	Kristallviolett, 5 BO	0,005	448,2
	20	Kupfersulfat	15	

(Wiedemann und Ebert, Phys. Praktikum, 4. Aufl., 1899, S. 320.)

Das prismatische Spektrum.

Die einfachste Methode, die verschiedenen Farben, aus denen das weiße Licht zusammengesetzt ist, zu isolieren, besteht darin, einen Sonnenstrahl (*s*) auf eine der Flächen eines Prismas (*A*) von Glas fallen zu lassen (Fig. 1).

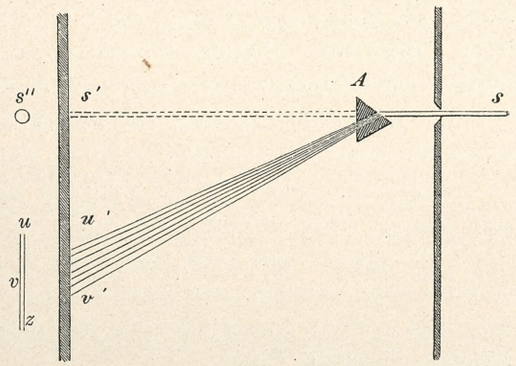


Fig. 1. Entstehung des prismatischen Spektrums.

In dem Prisma werden die Lichtstrahlen verschiedener Wellenlänge verschieden gebrochen, indem die Brechbarkeit des Lichtes mit abnehmender Wellenlänge wächst.

Infolge der Brechung wird der ursprüngliche Strahl zerlegt, d. h. von seiner ursprünglichen Richtung *s s'* abgelenkt und obendrein in eine Reihe von Farben geteilt, welche hinter dem

Prisma ein Farbenband $u'v'$ geben, welches man Spektrum (Sonnenspektrum, wenn es vom Sonnenlicht stammt) nennt. Weil dieses Spektrum durch Brechung (Refraktion) mittels des Prismas erhalten wurde, heißt es prismatisches oder Refraktionsspektrum (s. Tafel I).

Dieses Spektrum besteht, wenn man von oben anfängt, aus folgenden Farben: Rot, Orange, Gelb, Grün, Blau, Indigo, Violett (die bekannten Regenbogenfarben). Das Rot, welches längere Wellenlänge besitzt und weniger abgelenkt wird als das Violett, wird weniger brechbar genannt; die blauen und violetten Strahlen (Strahlen von kürzerer Wellenlänge) bezeichnet man als die stärker brechbaren Lichtstrahlen (vgl. Bd. I, zweiter Teil, S. 4).

Die Zerlegung des weißen oder überhaupt des zusammengesetzten Lichtes nennt man die Farbenzerstreuung oder Dispersion. Der Unterschied der Brechungsverhältnisse für zwei verschiedene Farben wird Dispersionsvermögen genannt. Die Spektralfarben sind nicht mehr weiter durch Brechung zerlegbar und also in diesem Sinne physikalisch „einfache“ oder „homogene“ Farben oder „monochromatisches“ Licht.

Werden sämtliche farbigen Strahlen des Sonnenspektrums durch geeignete Sammellinsen oder Prismen wieder vereinigt und auf einen weißen Schirm geworfen, so mischen sie sich zu einem weißen Lichtfleck (additive Farbenmischung). Überdies aber gibt es zu je einer Spektralfarbe eine zweite, die ebenfalls mit ihr zusammen Weiß gibt; zwei Farben, welche sich zusammen zu Weiß ergänzen, nennt man „Ergänzungsfarben“ oder „Komplementärfarben“. Komplementär untereinander sind Rot und Blaugrün, Orange und Hellblau, Gelb und Dunkelblau, Grünlichgelb und Violett. Nur das spektrale Grün besitzt keine einfache Komplementärfarbe, sondern eine aus Rot und Violett zusammengesetzte, nämlich Purpurrot.

Je nach dem Farbenton der beiden zu mischenden Farben wird dieses Purpurrot dunkler oder heller — bis zu rosenroten Nuancen.

Selbstverständlich übt die Helligkeit der einzelnen Farben, welche man mischt, einen Einfluß aus auf die resultierende Mischfarbe.

Wir können aber nicht nur durch Mischen zweier Farben Weiß hervorbringen, sondern auch durch Mischen von drei Farben. Z. B. gibt das Licht grüner, orangeroter und blauvioletter Gläser beim additiven Mischen gleichfalls Weiß.

Mischt man zu den Spektralfarben weißes Licht, so verblassen sie; die Farben erscheinen umso gesättigter, je weniger Weiß ihnen beigemengt ist. Im reinen Spektrum soll diffuses weißes Licht ganz fehlen.

Über die Veränderungen der Farben des Spektrums durch Vermischen mit weißem Lichte s. Abney (Proceed. Royal Soc. London 1909, Bd. 83, S. 120; The Phot. Journ. Dez. 1909).

Um ein reines Spektrum herzustellen, bedient man sich der Spektralapparate; sind dieselben so eingerichtet, daß man das Spektrum photographieren kann, so nennt man sie „Spektrographen“ oder „Photospektrographen“.

Da derartige Spektralapparate für den Photochemiker und Reproduktionsphotographen von großem praktischen Wert sind, so sollen einige Formen derselben weiter kurz erwähnt werden.

Das Spektrum des von einem leuchtenden Körper ausgesandten Lichtes heißt sein Emissionsspektrum. Wird ein schwarzer Körper stark erhitzt, so kommt er zuerst in Rotglut, dann bei steigender Hitze in Gelb- und Weißglut. Mit steigender Temperatur wächst nicht nur die Helligkeit des ausgesandten Lichtes überhaupt, sondern es wird viel reicher an kurzwelligen (stärker brechbaren) Strahlen je höher die Temperatur ist. So z. B. strahlt der Kohlenfaden einer elektrischen Glühlampe bei schwachem Strom gelbliches Licht aus, bei starkem Strom weißes bis bläulichweißes Licht.

Die Abhängigkeit der Lichtstrahlung von der Temperatur wird durch das Stefansche Gesetz dargestellt, welches besagt, daß die Gesamtemission eines schwarzen Körpers beim Erhitzen mit der 4. Potenz seiner absoluten Temperatur wächst. Unter absoluter Temperatur ist dabei die vom absoluten Nullpunkt —273° C aus in Celsiusgraden gemessene Temperatur zu verstehen, die also immer um 273° C größer ist als die entsprechende Temperatur der gewöhnlichen Celsiusskala. Komplizierter ist die Abhängigkeit der Emission des farbigen Lichtes von der Temperatur, d. i. die Beziehung, die angibt, wie groß bei einer bestimmten Temperatur die emittierte Energie für eine bestimmte Wellenlänge ist (Gesetz von Wien und Plank, s. die kurze Schilderung von L. Grebe, „Spektroskopie“ — Aus Natur und Geisteswelt. Leipzig, Teubner, 1910).

Auf Grund der Strahlungsgesetze ist auch die Bestimmung hoher Temperaturen auf optisch-spektrometrischem Wege möglich (vgl. E. Liebenthal, Praktische Photometrie. Braunschweig 1907).

Untersucht man das Licht weißglühender fester Körper, z. B. einer elektrischen Glühlampe oder von weißglühendem Platin oder anderen festen Metallen (auch geschmolzenem Platin usw.), so erhält man ein zusammenhängendes Farbenband von Rot bis Violett, ein sog. kontinuierliches Spektrum.

Glühende Gase oder Dämpfe geben in der Regel schöne, von mehr oder weniger zahlreichen farbigen Linien gebildete „Linienspektren“, z. B. die Quecksilberdampflampe, das Licht der durch gewisse Metallsalze gefärbten Weingeist- oder Bunsenschen Leuchtgasflamme, das Licht der Effektbogenlampe, deren Kohlenstifte Kalk-, Strontium- oder

Bariumsalze enthalten. Das Spektrum des elektrischen Kohlenbogenlichtes ist, soweit es von der weißglühenden festen reinen Kohle ausgeht, der Hauptsache nach kontinuierlich, während der zwischen den Kohlenelektroden sich bildende Flammenbogen Linien und Bandenspektren zeigt.

Läßt man weißes Licht durch durchsichtige gefärbte Gläser, Gelatinefolien, Farbstofflösungen oder dergl. hindurchgehen, so werden hierbei einzelne Farbenstrahlen geschwächt oder zurückgehalten (absorbiert) und nur der Rest wird durchgelassen. Die Art und Intensität der Lichtstrahlen, welche durchgelassen werden, sind für die Farbe durchsichtiger Körper sowie für die photographische Wirksamkeit des durchgelassenen Lichtes maßgebend. Die Spektren, welche durch Einschalten einer lichtabsorbierenden Schicht (z. B. farbige Gläser usw.) zwischen Lichtquelle und Spektralapparat entstehen, nennt man Absorptionsspektren.

Die Absorptionsspektren zeigen, welche Lichtarten das Medium verschluckt hat.

Sie sind wichtig für die Kenntnis der verschiedenen Gelbscheiben für orthochromatische Aufnahmen, für die Lichtfilter zur Herstellung von Dreifarbenphotographien, für die Wahl der Dunkelkammerfenster usw., sowie für das Studium zahlreicher Lichtreaktionen.

Um ein reines prismatisches Spektrum zu erzeugen, läßt man die Strahlen zuerst durch einen schmalen Spalt in ein Rohr treten, welches am anderen Ende eine Sammellinse trägt; der Brennpunkt der Linse muß in den Spalt fallen, um die vom Spalt ausgehenden Lichtbündel parallel zu machen; das Licht passiert dann ein Prisma oder eine Kombination mehrerer Prismen und wird zu einem Spektrum zerlegt. Das Spektrum wird dann durch ein Fernrohr betrachtet oder mittels eines photographischen Objektives zur photographischen Aufnahme gebracht. Das Fernrohr soll den Spalt deutlich erkennen lassen, muß also auf Parallelstrahlen (d. i. auf „Unendlich“) eingestellt sein. Gewöhnlich gibt man dem Prisma die Stellung, in welcher das Spektrum am wenigsten abgelenkt ist („Minimum der Ablenkung“).

Zur Orientierung im Spektrum und zum Eichen der Skala dient Licht einer mit Wasserstoff gefüllten Geißlerschen Röhre, welche mehrere charakteristische Linien aussendet, z. B. im Rot, Grün und Violett (H_α mit der Wellenlänge 6563 Å. E., $H_\beta = 4861$, $H_\gamma = 4340$); ferner die durch Lithiumsalze rot gefärbte Bunsenflamme ($\lambda = 6104$), die gelbe Natriumflamme (Doppellinie $\lambda = 5896$ und 5890), die grüne Thalliumflamme ($\lambda = 5351$), die blaue Linie im Strontiumflammenspektrum ($Sr = 4608$); ferner das mittels kräftiger Ruhmkorffscher Induktionsapparate unter Einschaltung von Leydenerflaschen erhaltene Funkenspektrum des metallischen Magnesiums, Cadmiums, Zinks, Calciums, Thalliums; ferner das im elektrischen Flammenbogen erhaltene „Bogenspektrum“ der Metalle; dann die Quecksilberdampflampe usw. — Wer über Geißlersche Röhren verfügt, wird derartige Spektralröhren nicht nur mit Wasserstoff, sondern auch mit Helium oder Argon mit Erfolg zur Wellenlängeneichung von Spektralapparaten benutzen können.

Die photographische Wirkung des farbigen Lichtes auf photographischen Platten wird häufig unter Anwendung des Sonnenlichtes studiert und die Farbenempfindlichkeit der Präparate auf das Sonnenspektrum bezogen.

Allerdings darf man nicht übersehen, daß die qualitative Zusammensetzung des Sonnenlichtes bei seinem Durchgang durch die Atmosphäre, insbesondere durch Feuchtigkeit (Wasserdampf), Wolken und Nebel, beeinflußt wird und z. B. die relative Helligkeit der orangeroten, grünen und blauvioletten Strahlen im Sonnenlichte mit dem meteorologischen Verhältnis der Sonnenhöhe und der Dicke der Luftschichten mehr oder weniger schwankt.

Das Spektrum des Sonnenlichtes erscheint in der Hauptsache als Farbenband, das alle Farben in ihren zahlreichen Übergängen aufweist; bei genauerer Betrachtung zeigt sich das Sonnenspektrum jedoch durchzogen von einer Anzahl mehr oder weniger kräftiger dunkler Linien, welche zuerst Fraunhofer (1814) näher untersuchte und ihre Lage im Spektrum genau bestimmte; man nennt sie nach ihm Fraunhofersche Linien.

Fraunhofer hat die stärksten und auffallendsten dieser Linien mit Buchstaben A bis H bezeichnet; sie dienen zur Ortsbestimmung im Spektrum, falls man nicht vorzieht, ziffernmäßige Wellenlängenangaben zu machen.

Die Fraunhoferschen Linien entsprechen zum teil Absorptionslinien von Elementen, die in der Sonnenatmosphäre vorhanden sind, ein anderer Teil (so A und B) rührt von der Absorption in der Erdatmosphäre her.

Die Fraunhoferschen Linien entstehen folgendermaßen: Das Sonnenlicht wird von einem weißglühenden, festen oder flüssigen Kern ausgesendet (emittiert); dieser Kern ist von einer Hülle glühender Gase oder Metalldämpfe (der „Photosphäre“) umgeben, welche alle jene Strahlen absorbiert, welche sie selbst aussenden würden. Hierbei entspricht die Fraunhofersche D-Linie des Sonnenspektrums dem Natrium,

die orangefarbige C-Linie und die F-Linie im Grünblau dem Wasserstoff, die HK-Doppellinie dem Calcium, mehrere tausend feine Linien in allen Teilen des Spektrums kommen dem Eisen zu usw.

Auch im ultravioletten und infraroten Teile des Sonnenspektrums finden sich zahlreiche Linien: Draper, Mascart und Cornu bezeichneten die markantesten Linien im Ultraviolett mit den Buchstaben L bis T und U; während der infrarote Teil des Sonnenspektrums mit X, Y, Z und griechischen Buchstaben bezeichnet wird (s. Bd. I, Abt. 2, S. 7).

Folgende Tabelle enthält die wichtigeren Fraunhoferschen Linien und ihre Zugehörigkeit zu den verschiedenen Elementen nach Rowland.[1])

Fraunhofersche Linien	Farbe	Wellenlänge	Element
A	Rot	7594	Sauerstoff der Luft
a	Rot	7186	„ „ „
B	Rot	6867 (Band)	„ „ „
C	Hellrot	6563	Wasserstoff
α	Orange	6278	Sauerstaff der Luft
D_1	Gelborange	5896	Natrium
D_2	Gelborange	5890	„
E	Grün	5270	Eisen
b_1	„	5184	Magnesium
b_2	„	5173	„
b_3	„	5169	Eisen
b_4	„	5168	Magnesium
F	Hellblau	4861	Wasserstoff
d	Blau	4384	Eisen
f	„	4326	„
G	Indigoblau	4308	Calcium
g	„	4227	„
H	Violett	3969	„
K	Grenze	3934	„
L	Ultraviolett	3821	„
		3816	Eisen
M	„	3728	„
N	„	3581	„
O	„	3441	„
P	„	3361	„
Q	„	3287	Calcium
R	„	3180	Eisen
S	„	3100	„
T	„	3021	„
U	„	2948	„

1) Henry A. Rowland, A preliminary Table of Solar Spectrum Wave-Lengths, Chicago 1898.

Eine andere Tabelle über die Verteilung der Farben im Sonnenspektrum gab J. B. Listing:

	Grenze	819,8 $\mu\mu$		Grenze	491,9 $\mu\mu$
Braun	Mitte	768,6 „	Cyanblau	Mitte	473,0 „
	Grenze	723,4 „		Grenze	455,5 „
Rot	Mitte	683,2 „	Indigo	Mitte	439,2 „
	Grenze	647,2 „		Grenze	424,0 „
Orange	Mitte	614,9 „	Violett	Mitte	409,9 „
	Grenze	585,6 „		Grenze	396,7 „
Gelb	Mitte	559,0 „	Lavendel	Mitte	384,3 „
	Grenze	534,7 „		Grenze	372,6 „
Grün	Mitte	512,4 „			

In sehr bedeutenden Bergeshöhen und bei hohem Sonnenstande reicht das Sonnenspektrum noch weiter ins kurzwellige Ultraviolett, weil die absorbierende Wirkung der dünnen Luftschichten geringer wird.

Mit Glaslinsen reicht das Sonnenspektrum meistens nur bis etwa λ 3400 bis 3370 Å. E., weil das Glas selbst stark absorbierend für Ultraviolett wirkt (s. u.). Aber auch die atmosphärische Luft schwächt das Ultraviolett beträchtlich, wie man mit Bergkristall-(Quarz-)Apparaten nachweisen kann, welche ihrerseits das Ultraviolett nicht schwächen.

Mit der abnehmenden Dicke der Luftschicht vermindert sich deren absorbierende Wirkung, welche sich namentlich im Ultraviolett äußert, und es gelangen kurzwellige ultraviolette Strahlen in reichlicherer Menge zur Erde, als wenn das Sonnenlicht sehr dicke Luftschichten (selbst bei heiterem Himmel) passieren muß. Deshalb ist das Sonnenlicht auf hohen Bergen reicher an Ultraviolett als in der Ebene und zwar rückt das Spektralband im Ultraviolett um eine Länge von ein Millionstel Millimeter Wellenlängen des Lichts pro 660 m Luftschicht vor (Cornu).

Simony photographierte mit einem Quarzspektrographen mit drei Prismen das äußerst ultraviolette Sonnenspektrum auf dem 3700 m hohen Berge Pic de Tyde auf den Kanarischen Inseln. Er erreichte als äußerste Grenze des Sonnenspektrums die Wellenlänge λ 2922 (Kayser, Spektroskopie I, S. 117). Die Untersuchungen Miethes und Lehmanns (mit Kalkspatprisma und Quarzlinsen) in großen Höhen ergaben ähnliche Grenzwerte, indem die kürzeste beobachtete Wellenlänge ungefähr bei λ 2912 lag (Jahrb. f. Phot. 1909, S. 251).

Die Grenzen der einzelnen Farben werden von den Physikern sehr verschieden angegeben. Dies ist teils der individuellen Verschiedenheit der Absorption der blauen Farben durch das Pigment des gelben Flecks der Netzhaut, teils der Verschiedenartigkeit der sogenannten

Grundempfindungen zuzuschreiben. Die nachstehende Tabelle enthält diese Angaben nach Pilgrim.

Wellenlängen der Hauptfarben und der Farbengrenzen.

Farbe	Wellenlänge in $\mu\mu$ nach							
	Newton[1]	Young[2]	Fraunhofer[3]	Helmholtz[4]	v. Bezold[5]	Pillsbury[6]	Erdmann[7]	Pilgrim
Rot	645	676	—	—	—	—	820	—
	—	650	—	—	—	659	—	—
Orange	596	625	633	—	627	—	608	620
	—	610	—	620	—	609	—	—
Gelb	571	597	590	—	582	—	592	590
	—	577	—	575	—	577	—	—
Gelbgrün	—	—	—	—	565	—	585	570
	532	556	556	—	—	—	—	—
Grün	—	—	—	—	547	—	575	550
	—	536	—	522	—	517	—	—
Blaugrün	—	—	—	—	499	—	515	510
	492	516	517	506	—	—	—	—
Cyanblau	—	—	—	486	485	—	495	490
	—	498	—	—	—	—	—	—
Ultramarinblau (Indigo)	459	480	482	467	473	470	—	470
	—	470	—	—	—	—	—	—
Blauviolett	—	—	—	—	442	—	468	450
	439	460	452	431	—	—	—	—
Violett	—	—	—	—	411	—	457	430
	—	442	—	—	—	422	—	—
	406	424	—	390	—	—	390	—

Helligkeit der einzelnen Bezirke des Sonnenspektrums.

Wird die Gesamtlichtstärke des Sonnenspektrums = 1000000 gesetzt, so kommen nach Vierordt auf die einzelnen Hauptbezirke des

1) Newton, Optice Lib. II. 2. 173. Die Wellenlängen sind aus Newtons Beobachtungen der Farben dünner Blättchen abgeleitet.

2) Philos. Trans. L. R. S. 1802, p. 39.

3) Vgl. Mousson, Dr. A., Die Physik auf Grundlage der Erfahrung. Zürich 1872, Bd. II, p. 336, Fig. 433. Das dort abgebildete Spektrum erstreckt sich von $\lambda = 722$ bis $\lambda = 392$. Vgl. Mascart I, Taf. I, Fig. 1.

4) Physiol. Optik, 2. Aufl, S. 278 (1896). Die oben angegebenen Zahlen sind zum teil interpoliert.

5) Pogg. Annal. Bd. 150, S. 241 und Taf. I, Fig. 4 (1873).

6) Science (2), 6, S. 89 bis 91, (1897).

7) Naturwissensch. Rundschau XIII. S. 465 (1898).

prismatischen Spektrums nach Maßgabe ihrer mittleren Lichtstärke und ihrer Breite folgende Anteile:

Spektralbezirk	Lichtstärke	Spektralbezirk	Lichtstärke
$A-a$	72	$D-E$	478544
$a-B$	1592	$E-F$	186143
$B-C$	4114	$F-G$	36190
$C-D$	288957	$G-H$	4383

Nach A. König ist Farben- und optische Helligkeitsverteilung im normalen Spektrum (Interferenzspektrum) des Sonnenlichts folgende[1]):

Nr.	Farbe	Wellenlänge (λ) der Farbe $\mu\mu$	Wellenlänge (λ) der Farbengrenze $\mu\mu$	Helligkeit	Lichtmenge	Helligkeit nach Fraunhofer
1	Rot	663	625*	0,08	0,091*	0,05
2	Orange	610		0,76	0,147*	0,30
3	Gelb und Gelbgrün	575	600*	1	0,396*	0,90
4	Grün und Blaugrün	526	550	0,64	0,303	0,59
5	Cyanblau und Indigo	472	490	0,12	0,038	0,20
6	Blauviolett	440	450	0,07	0,013	0,09
7	Violett	420	430	0,04	0,012	0,04

Ganze Lichtmenge = 1,000.

* Verlegt man die Grenzen Rot-Orange und Orange-Gelb nach $\lambda = 620$ bezw. 590, so sind die Lichtmengen 0,091, 0,147 und 0,396 durch 0,113, 0,200 und 0,321 zu ersetzen.

Relative Helligkeit der Farbenbezirke einiger Lichtquellen.

(Nach Köthgen.)

Wird die Helligkeit der Hefnerschen Amylacetat-Lampe als Einheit gesetzt, so ergeben sich die relativen Helligkeiten (optisch) der farbigen Spektralbezirke anderer Lichtquellen. Ist L die Helligkeit irgend einer Lichtquelle und H dieselbe der Hefner-Lampe und wird das Verhältnis der Helligkeit der gelben Strahlen (bei der Fraun-

1) Vgl. A. König, Über den Helligkeitswert der Spektralfarben bei verschiedener absoluter Intensität. Helmholtz-Festschrift. Hamburg 1891. (Nach Pilgrim, Aufgaben der Wellen- und Farbenlehre des Lichts.)

hoferschen Linie $D = 590\,\mu\mu$), d. i. $\frac{L590}{H590} = 1$, so ergibt sich folgende Tabelle für $\frac{L\lambda}{H\lambda}$, worin λ eine variable Wellenlänge des Lichts bedeutet.

λ	Solaröl-brenner	Gas-Flach-brenner	Siemens Präzisions-brenner	Auersches Gasglühlicht	Blauer Himmel	Weiße Wolken	Sonne
690 $\mu\mu$ (Rot)	1,026	0,9921	0,968	0,4890	0,206	0,365	0,306
590 $\mu\mu$ (Gelb)	1	1	1	1	1	1	1
530 $\mu\mu$ (Grün)	0,997	1,020	1,066	1,956	3,494	2,946	2,537
490 $\mu\mu$ (Blau)	1,008	1,041	1,126	2,694	9,411	6,652	5,559
430 $\mu\mu$ (Violett)	1,046	1,091	1,236	3,565	61,63	30,73	19,180
Absolute Intensität in Hefner-Einheiten	22	8—10	37	60	—	—	—

Nach der Ansicht von Young und Helmholtz ist unser Auge nur für dreierlei Art von Licht empfänglich, und zwar für ein Rot, ein Grün und ein Blau, welchen die Wellenlängen von etwa 665 bezw. 506 und 482 $\mu\mu$ entsprechen. Die Empfindungen, welche diese drei Farben in unserem Auge erregen, nennt Helmholtz die Grundempfindungen, und er denkt sich die Empfindung, welche irgend eine andere Farbe in uns erweckt, aus diesen drei Grundempfindungen gewissermaßen zusammengesetzt.

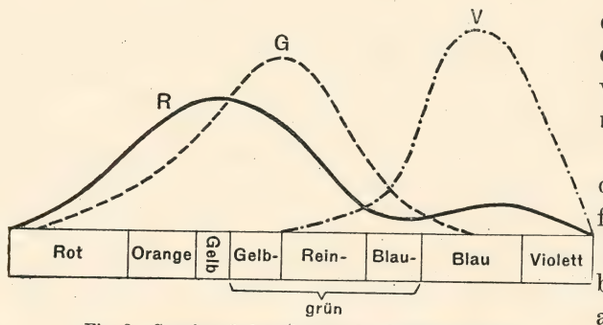


Fig. 2. Grundempfindungskurven des Sonnenspektrums im menschlichen Auge.

In welcher Weise diese Mischung stattfindet, ist aus den von König-Dieterici, bezw. von F. Exner angefertigten Grundempfindungskurven (s. Fig. 2) zu ersehen.

Die Kurven drücken die Intensitäten aus, in welchen die gesättigt angenommenen Grundfarben Rot, Grün und Violett zu mischen sind, damit die Empfindung der Spektralfarben hervorgebracht wird. Die Kurve R entspricht den Intensitätsverhältnissen der roten, die Kurven G und V jenen der grünen und violetten Grundfarbe.[1])

1) Vgl. Grünberg, Gleichung zur Berechnung der Wellenlängen zweier komplementärer Farben (Jahrb. f. Phot. 1905. S. 83).

Schwankungen der spektralen Zusammensetzung des Tageslichtes mit der Sonnenhöhe.

Setzt man die Intensität des Sonnenlichtes, bevor es die Atmosphäre passiert, für jede Farbe = 1000, so erleidet es die in nachstehender Tabelle nach Lord Rayleigh (Philos. Trans.) zusammengestellte Schwächung, welche am stärksten die kurzwelligen Lichtstrahlen trifft.

	1 Atm. oder 90° Sonnenhöhe	2 Atm. oder 30° Sonnenhöhe	3 Atm. oder 19° 30′ Sonnenhöhe	8 Atm. oder 7° 30′ Sonnenhöhe
Rotes Licht (nächst der Fraunhoferschen Linie B)	945	855	795	550
Orange (bei C)	910	835	760	480
Gelborange (bei D) . . .	865	755	655	325
Grün (bei E)	805	645	520	170
Blau (bei F)	735	545	405	85
Violett (bis H)	510	250	120	0

Man entnimmt dieser Tabelle, daß bei hohem Sonnenstande von 1000 Teilen einfallenden roten Lichtes 945 Teile die Atmosphäre passieren; vom Violett 510 Teile. Bei 30° Sonnenhöhe aber wird das Violett auf 250 Teile vermindert, während vom Rot viel mehr (nämlich 855 Teile) durchdringen. Oder mit anderen Worten: Bei der Sonnenhöhe von 90° gehen vom Rot nur 9 %, vom Violett 49 % verloren; bei 30° Sonnenhöhe gehen 15 % Rot und 75 % Violett verloren, und bei noch niedrigerem Sonnenstande kann das Violett ganz ausgelöscht werden und es erscheint das Licht der untergehenden Sonne gelbrot. — Diese Zahlen gelten für normale Absorption des Lichtes in atmosphärischer Luft. Anwesenheit von Wasserdampf, Nebel, Staub usw. ändert die Absorptionsverhältnisse.

Bei Aufnahmen für Zwecke der Dreifarbenphotographie unter Vorschaltung von Orange-, Grün- und Blauviolett-Lichtfiltern ergeben sich Schwankungen in der relativen Belichtungszeit, über welche folgende Tabelle (nach Eder) Aufschluß gibt (s. Eder und Valenta, Beiträge zur Photochemie und Spektralanalyse IV, S. 30). Eine panchromatische Trockenplatte erforderte z. B. folgende Belichtungszeiten:

	Relative Belichtungszeiten hinter		
	Rotfilter	Grünfilter	Violettfilter
Bei sonnigen Landschaften	$2^1/_4$	3	1
Bei nebligem Wetter	$1^1/_2$	3	2

Diese variablen Lichtverhältnisse müssen von praktischen Photographen bei Dreifarbenaufnahmen berücksichtigt werden.

Die ultravioletten Strahlen rufen an fluoreszierenden Stoffen, z. B. Uranglas, Fluoreszenz hervor und machen diese selbstleuchtend. Diese Erscheinung kann man benutzen, um z. B. die kräftigen ultravioletten Linien im Funkenspektrum des Kadmiums oder Zinks (starker Flaschenfunke eines großen Ruhmkorffschen Induktionsapparates) sichtbar zu machen.

Weit sicherer und genauer gelingt die Beobachtung der ultravioletten Strahlen mit Hilfe der Photographie, und zwar werden hierzu die gewöhnlichen Bromsilbergelatineplatten verwendet, obschon auch Jodsilber- und Bromsilberkollodium in Form von nassen Platten oder von Emulsion, sowie Chlorsilbergelatine zu diesem Zwecke dienen können; jedoch übertreffen die Bromsilbergelatineplatten nicht nur im sichtbaren Teil des Spektrums, sondern auch im unsichtbaren Ultraviolett die anderen Plattensorten an Lichtempfindlichkeit.

Die Spektren haben verschiedene Helligkeit in den verschiedenen Farbenregionen, je nachdem sie mittels Prismen oder Gittern erzeugt wurden. Natürlich spielt die Wahl der Lichtquelle eine ebensolche Rolle.[1])

Bei einem durch Prismen erzeugten Spektrum hängt die verhältnismäßige Ausbreitung der Farben von dem Stoffe des Prismas (Kronglas oder Flintglas, Bergkristall, Kalkspat usw.) ab. Dabei erscheinen die langwelligen Strahlen an der roten und gelben Seite des Spektrums mehr zusammengedrängt, die kurzwelligen an der blauvioletten Seite aber mehr auseinandergezogen als den Unterschieden ihrer Wellenlänge entsprechen würde.

Anders und zwar günstiger liegen diese Verhältnisse bei dem durch Beugungserscheinungen an feinen Gittern (System gleichmäßig parallel in Glas oder Metall geritzter gerader, sehr nahe nebeneinanderstehender Linien) zustande kommenden Gitter-, Beugungs- oder Diffraktionsspektrum. Die auf Glas erzeugten Gitter geben Spektren im durchfallenden Lichte, die in spiegelnde Metallflächen geritzten Gitter zeigen die Spektren im reflektierten Lichte; es entstehen rechts und links vom einfallenden Lichtstrahl Spektren, wovon nur das sichtbare Spektrum 1. Ordnung getrennt von den übrigen steht, die höheren Spektren aber greifen ineinander über.

---

1) Eder, System der Sensitometrie, Sitzungsber. d. Kais. Akad. d. Wiss. 1901; Eders Handbuch d. Phot. 1903, 5. Aufl., Bd. III, S. 686. — Chapman Jones (Jahrb. f. Phot. 1909, S. 250).

Beim Gitterspektrum ist die Ablenkung der einzelnen Strahlengattungen genau proportional ihrer Wellenlänge. Man nennt das Gitterspektrum das „normale“ Spektrum.

In Tafel I ist das Sonnenspektrum einerseits im prismatischen, andererseits im Beugungsspektrum abgebildet. Man sieht, daß der rote Spektralbezirk im prismatischen Spektrum enger zusammengedrängt, der blaue Bezirk aber viel weiter auseinandergezogen erscheint als im normalen Gitterspektrum. Die in der Tafel eingezeichneten Buchstaben geben die Fraunhoferschen Linien an.

Da die graphische Darstellung von Spektren mit polychromem Aufdruck der Farbenerscheinung zu umständlich wäre, begnügt man sich in der Regel, bloß die Fraunhoferschen Linien schematisch einzuzeichnen, wie das auch in Fig. 3 geschah.

In Fig. 3 stellt Spektrum *a* das mittels eines kleinen Gitterspektralapparates erhaltene Sonnenspektrum schematisch dar; die Wellenlängen

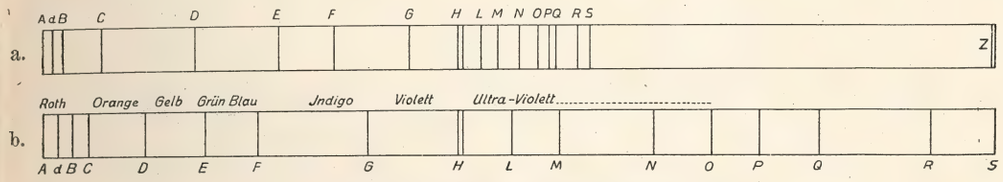


Fig. 3. Schematische Darstellung der Fraunhoferschen Linien.
a) im Gitterspektrum, b) Sonnenspektrum im Prismenspektralapparat.

der verschiedenen Lichtarten sind dem Abstande von dem Bild eines Spaltes *Z* proportional. Man erhält dadurch eine deutliche Vorstellung des Zusammenhanges zwischen der Wellenlänge und den verschiedenen Fraunhoferschen Linien. Das Spektrum *b* in Fig. 3 stellt das mittels eines Quarzspektrographen erhaltene prismatische Sonnenspektrum dar; die Farbenzerstreuung durch das Prisma wächst mit der Abnahme der Wellenlänge sehr rasch, weshalb die Ausdehnung des ultravioletten Spektrums im Vergleich mit dem sichtbaren (von *A* bis *H*) im Quarzspektrographen weitaus länger ist.

Das Sonnenlicht erstreckt sich nicht so weit ins kurzwellige Ultraviolett als manche irdische, künstliche Lichtquelle. Das gewöhnliche Bogenlicht zwischen Kohlen, z. B. das Licht der weißglühenden Kohlenelektroden reicht weit ins Ultraviolett; der elektrische Kohlen-Flammenbogen zeigt helle Bänder im Blau und Violett (Kohlenbänder, Cyanbänder), dann die nie fehlenden Verunreinigungen von Silicium, Bor, Aluminium, Calcium, Natrium usw. Fig. 1 auf Tafel II zeigt die Photographie des Bogenspektrums von gewöhnlichen Kohlenelektroden

auf Bromsilbergelatineplatten, wobei die Photographie nur bis ins Blau reicht (Grün bis Rot fehlt im Bilde). Zusatz von Kalkverbindungen färbt die elektrische Flamme gelb (gelbe Effektkohle) und die Spektrumphotographie liefert das Linienspektrum des Calcium (nebst Verunreinigungen), s. Tafel II, Fig. 2. Strontiumverbindungen färben den Flammenbogen rötlich (s. das Strontiumbogenspektrum in Fig. 3 auf Tafel II); Barium gibt mehr weißes Licht und ein charakteristisches Linienspektrum (Tafel II, Fig. 4). Im Spektrum Fig. 5 auf Tafel II sieht man einige charakteristische Aluminiumlinien und Fig. 6 auf Tafel II zeigt das aus wenigen, aber sehr hellen Quecksilberlinien bestehende Emissionsspektrum einer Quecksilberdampflampe, sämtliche nach Photographien mittels eines Gitterspektrographen.

Erzeugt man ein Funkenspektrum zwischen Metallelektroden mittels eines kräftigen Ruhmkorffschen Induktoriums mit Leydenerflaschen, so erstreckt sich die Lichtemission meistens weit ins kurzwellige Ultraviolett. Fig. 1 auf Tafel III zeigt z. B. das Funkenspektrum des Kadmiums, wie es auf Bromsilbergelatineplatten im Quarzspektrographen des Verfassers (s. u.) erhalten wird; bei unserer Abbildung ist das Spektrum von der Wellenlänge 4799 im Blau bis zu λ 2145 im Ultraviolett abgebildet. Der einfache Bau dieses Spektrums macht es zur Orientierung gut geeignet. Tafel III Fig. 2 zeigt das Funkenspektrum des Zinks; Fig. 3 Tafel III jenes des Bleis.

Ein dichteres Liniennetz von leicht zu ermittelnder Wellenlänge gibt das Funkenspektrum einer Legierung von gleichen Teilen metallischem Kadmium, Zink und Blei (sog. Edersche Legierung). Fig. 4 auf Tafel III zeigt dieses Spektrum, und zwar stellt das Spektrum b den Verlauf der Spektralerscheinung im Quarzapparate dar. Würde man Glasplatten oder Glaslinsen anstatt des Quarzes im Spektralapparat einschalten, so würde das halbe ultraviolette Spektrum verschluckt werden (s. u.); jedoch verhalten sich nicht alle Glassorten bezüglich ihrer absorbierenden Wirkung gleich, sondern manche schneiden mehr Ultraviolett ab (z. B. Schwerflint, schwach grünliches Fensterglas), andere weniger (völlig farbloses Crownglas, weißes Leichtflint). Fig. 5 in Tafel III zeigt das sehr linienreiche Funkenspektrum des Eisens, nach einer photographischen Aufnahme des Verfassers mit dem Quarzspektrographen. Die Spektren fast aller Elemente sind in Eder und Valentas „Atlas typischer Spektren“, Wien 1911, heliographisch abgebildet.

ZWEITES KAPITEL.

PRISMEN-SPEKTRALAPPARATE.

Um ein reines Spektrum zu entwerfen, läßt man die Strahlen durch einen schmalen Spalt eintreten, welche Anordnung Fig. 4 zeigt. In einem Rohr (Kollimatorrohr) ist bei A ein Spalt angebracht, welcher sich genau in dem Brennpunkte der achromatischen Kollimatorlinse C

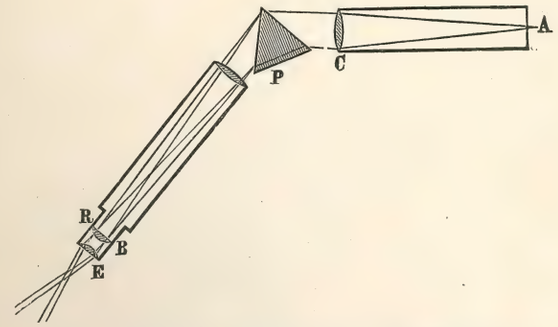


Fig. 4. Schematische Darstellung eines Prismenspektroskops.

befinden muß; P ist das Prisma, welches die von A kommenden Lichtstrahlen bricht, ablenkt und in das Okular E des Fernrohres sendet. Die roten Strahlen, welche vom Spalt kommen, vereinigen sich bei R, die blauen bei B zu einem Punkte und zwischen diesen liegen dann alle anderen Farbenstufen. Um aber mit einem Spektralapparate auch Messungen anstellen zu können, hat man vor allem eine Meßvorrichtung nötig. Die einfachste dieser Meßvorrichtungen nach der Anordnung des Bunsen-Kirchhoffschen Spektralapparates ist die Skala, welche meistens in ein seitliches, mit einer Kollimatorlinse versehenes Rohr an dem Apparate angebracht ist, wie man dies aus der Fig. 5 erkennt. Hier ist S der Spalt, C die Kollimatorlinse, P das 60gradige Prisma, O das Objektiv des Beobachtungsfernrohres, welches im Brennpunkte das Bild VR erzeugt, das endlich durch ein in der Figur weggelassenes

Okular betrachtet wird. Vor der Prismenfläche *DB* ist aber eine andere kleinere achromatische Kollimatorlinse aufgestellt, in deren Brennpunkte sich wieder die Skala *ss* befindet. Durch Reflexion erzeugt jene Prismenfläche von demselben ein im Unendlichen liegendes Bild, dessen Strahlen vom Beobachtungsfernrohre bei *ss* zu einem Bilde vereinigt werden, daß dies mit dem Bilde *VR* des Spektrums in eine Ebene zu liegen kommt und mit dem Okulare gleichzeitig betrachtet werden kann.

Dreht man das Prisma in einem Spektralapparat um seine Achse, so sieht man das Spektrum (oder besser gesagt die Linien des Spektrums) sich dem einfallenden Lichtstrahl (Achse des Kollimators) nähern. Bei weiterem Drehen zeigt sich aber ein Punkt, an welchem es sich wieder davon entfernt, selbst wenn man das Prisma in umgekehrter Richtung bewegt. Es gibt also eine Stelle, die als Minimum der Ablenkung

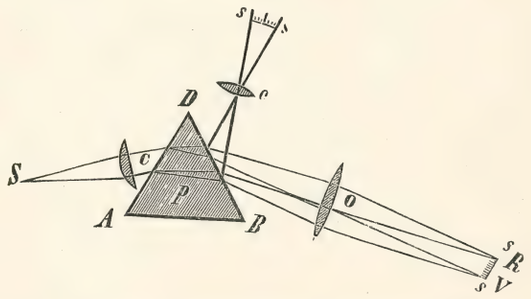


Fig. 5. Schematische Darstellung eines Spektroskops mit Skala.

bezeichnet wird, welche man genau treffen muß, wenn man die beste Leistungsfähigkeit eines Spektralapparates erreichen will.

Bei Apparaten mit einem Prisma und Okularbeobachtung und sichtbarem Spektrum stellt man meistens das Prisma so auf, daß die gelbe *D*-Linie unter dem Minimum der Ablenkung durchgeht. Bei photographischen Versuchen im sichtbaren Teil stellt man meistens auf eine blaue oder violette Linie im Minimum ein, beziehungsweise bei Studien im Ultraviolett am besten auf das Minimum einer der stärkst brechbaren Linien, welche noch in Betracht kommen. Bei Apparaten mit mehreren getrennten Prismen ist die Scharfeinstellung in verschiedene Spektralzonen noch schwieriger. Um alle diese Versuche ausführen zu können, empfiehlt es sich dann, die Prismen um ihre Achse drehbar zu machen oder man benutzt automatische Vorrichtungen.

Einfache Spektralapparate werden in zahlreichen optischen Werkstätten in verschiedenen Ausführungen hergestellt.

Fig. 6 zeigt ein einfaches Prismenspektroskop, welches für Schulzwecke konstruiert und mit einem Flintglasprisma versehen ist, wie es Schmidt & Haensch in Berlin, Krüß in Hamburg u. a. anfertigen. Man sieht das Prisma, rechts das Spaltfernrohr, links das Beobachtungsfernrohr. Das dritte Rohr dient zur Projektion einer Orientierungsskala, welche an der dem Fernrohr zugekehrten Prismenfläche reflektiert und neben dem Spektrum der Beobachtung sichtbar wird.

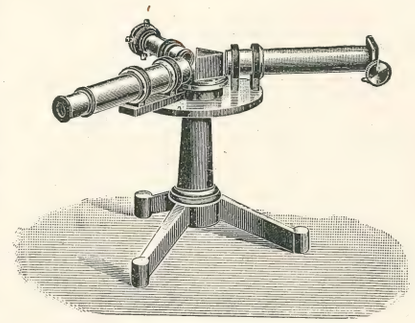


Fig. 6. Einfaches Prismenspektroskop.

Das auf demselben Prinzip beruhende große Spektroskop nach Kirchhoff-Bunsen zeigt Fig. 7 (ausgeführt von Schmidt & Haensch in Berlin). Als Meßvorrichtung dient die Mikrometerschraube *m*, welche nach dem Anziehen der Klemme *k* das Fernrohr bewegt. Zur schnellen Orientierung im Spektrum kann eine an der vordern Prismenfläche gespiegelte Wellenlängenskala dienen.

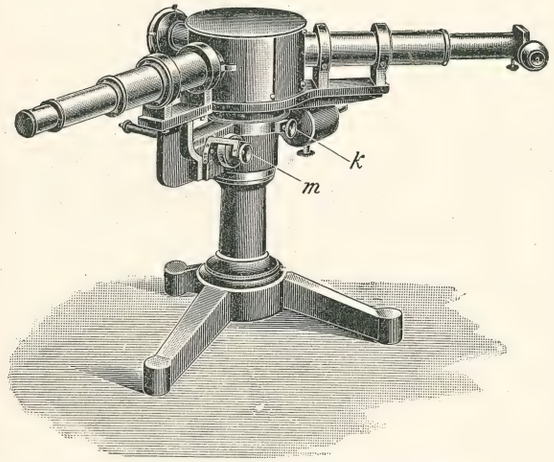


Fig. 7. Großes Spektroskop von Schmidt & Haensch.

Das Spektroskop wird in der Regel mit einem Rutherford-Prisma (s. S. 21) und einem Flintprisma ausgerüstet, welche dann der Beobachter leicht vertauschen kann.

Das Instrument ist zur Messung der Wellenlängen mittels der Dispersionskurve, für chemische Analysen mittels des Emissions- sowie des Absorptionsspektrums und für andere Aufgaben geeignet.

Sehr verbreitet ist der Krüßsche Universal-Spektralapparat, welcher in Fig. 8 abgebildet ist.

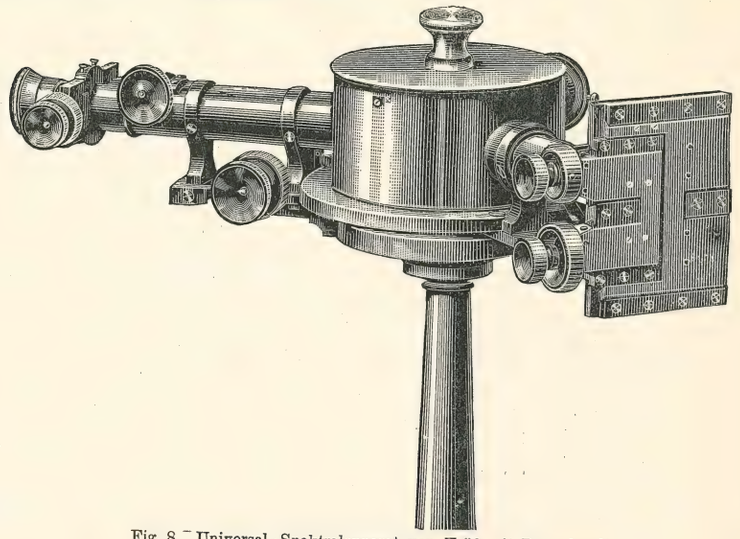


Fig. 8. Universal-Spektralapparat von Krüß mit Doppelspalt.

Die Universal-Spektralapparate von Krüß, welche sehr praktisch für physikalische und chemische Laboratorien sind, besitzen für die

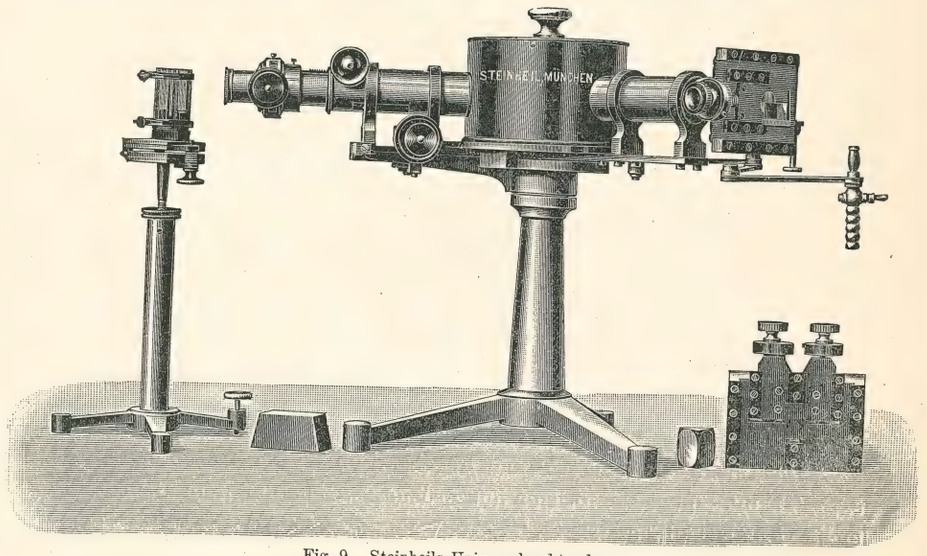


Fig. 9. Steinheils Universalspektroskop.

qualitative Analyse Skalenrohr, sowie einfachen Mikrometerspalt mit geteilter Trommel, Platinschneiden und Vergleichsprisma, Lampe zur

Skalenbeleuchtung; für die quantitative Analyse und zur Photometrie der Absorptionsspektren Mikrometerdoppelspalt mit zwei geteilten Trommeln (eine mit Nonius) und symmetrischem Okularschieber nach v. Vierordt usw. Sie sind mit einem Flintglasprisma von 60°, sowie einem dreifachen Rutherford-Prisma versehen, welche gegeneinander ausgewechselt werden können, so daß man mit geringer oder mit starker Zerstreuung arbeiten kann.

Ähnlich sind die Universal-Spektralapparate von Steinheil in München, welche mit einfachem Prisma sowie dreifachem Rutherford-Prisma ausgerüstet sind. Die Fig. 9 zeigt die Vorschaltung einer Glaswanne für Absorptionsspektren usw.

Die Prismen aus Crownglas und sog. Uviolglas zeigen geringere Dispersion (Farbenzerstreuung) als jene aus Leichtflint; stärkere Dispersion zeigt Schwerflint, insbesondere aber Thalliumglas; leider sind letztere Glassorten, insbesondere Thalliumglas, wenig durchlässig für Violett.

K. Siegl verwendet zwei 60°-Prismen aus Thalliumflint, dem schwersten Jenaer Normalglase; die Kameraobjektive besitzen einen Fokus von 25 bis 50 cm; die Maximaldispersion von *A* bis *H* beträgt 15 cm. Das Violett sowie Ultraviolett wird fast gänzlich absorbiert (Deutsche Mechaniker-Zeitung 1906, Heft 21, S. 201).

Auch Flüssigkeitsprismen wurden versucht, fanden jedoch wenig Verbreitung, weil sie Temperatureinflüssen ziemlich stark unterworfen sind.

Um die Spektren besser aufzulösen, nämlich eine bessere Dispersion zu erzielen, benutzt man 2 oder 3 Prismen hintereinander oder verwendet Kompoundprismen, welche beispielsweise aus Flint- und Crownglas verkittet sind. Solche Prismen stellt man aus einem Flintglas-

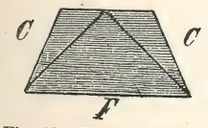


Fig. 10. Kompoundprisma (Rutherford-Prisma).

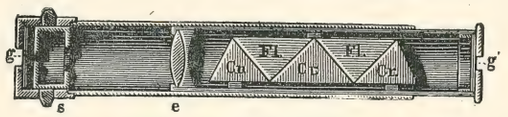


Fig. 11. Taschenspektroskop à vision directe.

und zwei Crownglasprismen her (Rutherford-Prismen, s. Fig. 10) oder man kombiniert 5 Prismen.

Bei den Prismen-Spektralapparaten bilden Spaltrohr (Kollimator) und Beobachtungsfernrohr einen Winkel miteinander, wegen der Ablenkung der Lichtstrahlen durch das Prisma, deshalb ist die Visierlinie des Instrumentes geknickt.

Durch geeignete Kombination von Flint- und Crownglasprismen kann man aber geradsichtige Prismensysteme konstruieren.

Spektroskope mit gerader Durchsicht (Spectroscope à vision directe) enthalten eine Prismenkombination von Crown- und Flintglas. Fig. 11 stellt ein Browningsches Taschenspektroskop vor mit 3 Crown- und 2 Flintglasprismen à vision directe.

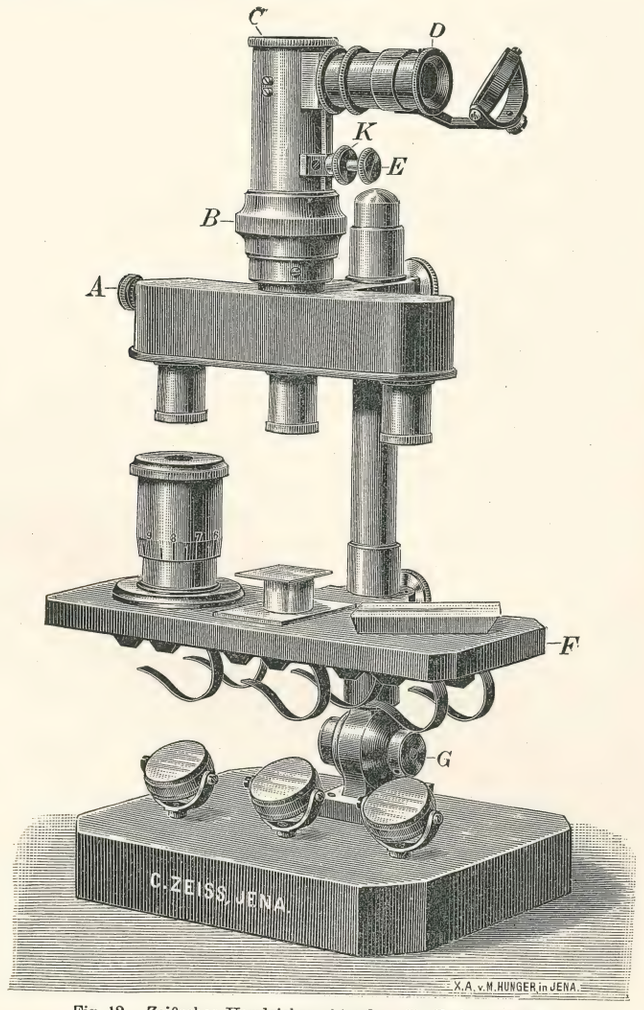


Fig. 12. Zeißsches Vergleichsspektroskop für Farbentechniker für gleichzeitige Beobachtung dreier Absorptionen.

Vom Spalte g (s. Fig. 11) entwirft das achromatische Objektiv e ein virtuelles Bild; von diesem weißen, virtuellen Spaltbilde entwirft das geradsichtige Prisma ein Spektrum, welches der Beobachter bei g' erblickt.

Die Taschenspektroskope werden auch mit Vergleichsprisma, Skala und Beleuchtungsspiegel versehen, z. B. von Schmidt & Haensch in Berlin, von Zeiß in Jena, Hans Heele in Berlin u. a.

Fig. 12a zeigt ein Heelesches Taschenspektroskop mit symmetrisch verstellbarem Spalt, achromatischer Linse und einem Prismensystem à vision directe mit seitlich angebrachter Wellenlängenskala, abklappbarem Vergleichsprisma und verstellbarem Beleuchtungsspiegel. Man bringt wohl auch eine ganz kleine Glühlampe vor der Skala an, um dieselbe zu beleuchten.

Praktisch sind die Zeißschen Vergleichsspektroskope für Farbentechniker, welche von Pulfrich in Jena[1]) auf Anregung von Prof. Quincke konstruiert wurden (Fig. 12). Man kann hierbei leicht und



Fig. 12a. Heeles Taschenspektroskop mit Wellenlängenskala, Beleuchtungsspiegel und Vergleichsprisma.

sicher die Absorptionsspektren von Flüssigkeiten, Strahlenfiltern, Farbgläsern usw. vergleichen, was besonders für die Prüfung der Farbenschirme zu Zwecken der Dreifarben-Photographie, Dreifarben-Projektion und dergleichen bequem ist, weil man die gleichzeitige Beobachtung dreier Absorptionen vornehmen kann. Das Zeißsche Vergleichsspektroskop ist dreiteilig; zwei Reflexionsprismen werfen die Strahlen der äußeren Teile knapp neben jenen des mittleren, geradsichtigen Teils auf den Spektroskopspalt; die drei so erhaltenen Spektren sind durch schmale direkte Streifen voneinander getrennt; über den Spektren liegt das Bild der Wellenlängenskala.

1) Zeitschr. f. Instrumentenkunde, Dez. 1898, 1900, S. 299.

DRITTES KAPITEL.

SPEKTRUMPHOTOGRAPHIE. METHODEN DER SPEKTROGRAPHISCHEN UNTERSUCHUNGEN.

Die genaue Kenntnis der aus zahlreichen Linien oder Bändern zusammengesetzten Spektralerscheinungen in ihrem wundervollen zarten Aufbau kann nur mittels der Photographie vermittelt werden. Die Spektrumphotographie ist ein unentbehrliches Hilfsmittel des Physikers und Chemikers geworden.

Andererseits bietet uns das Spektrum ein Farbenband von vollendeter Reinheit und Pracht der Farben, so daß der Photochemiker hiermit das für die praktische Photographie (orthochromatische Aufnahmen, Dreifarbenphotographie usw.) enorm wichtige Verhalten der Silbersalze gegen das farbige Licht exakt studieren kann. Mit Hilfe des Spektralapparates ist es leicht möglich, zu erfahren, ob das lichtempfindliche Präparat eine mehr oder weniger ausgedehnte Farbenempfindlichkeit besitzt. Deshalb seien hier die Methoden kurz beschrieben, deren man sich bedient, wenn man spektroskopisch-photographische (kurzweg „spektrographische“) Untersuchungen anstellt.

Um die Wirkung des Lichtes auf Silbersalze usw. zu studieren, sind farbige Gläser von geringem Nutzen, weil sie immer mehrere Zonen farbiger Strahlen durchlassen. Man kann sich leicht davon überzeugen, wenn man das zu prüfende Glas durch ein Spektroskop betrachtet.

Eine Anordnung zur Photographie des Spektrums, welche jedoch bloß als Schema gedacht ist, zeigt Fig. 13. Im Fensterladen eines vollständig verdunkelten Zimmers bringt man vertikal eine enge Spalte an, durch welche die Sonnenstrahlen mit Hilfe eines Planspiegels horizontal geworfen werden.

In der Richtung des Lichtstrahls stellt man ein Prisma aus Flintglas auf einem Stativ mit drei Füßen vertikal auf.

Das Prisma muß so gefaßt sein, daß es sich leicht um seine Achse drehen läßt. Wenn man es dreht, sieht man das Spektrum sich dem

Lichtstrahle nähern; bald zeigt sich aber ein Punkt, an welchem es sich wieder davon entfernt, selbst wenn man das Prisma in umgekehrter Richtung bewegt (Minimum der Ablenkung s. S. 18).

Das so erhaltene Spektrum ist undeutlich, wenn man es aber in einem photographischen Apparate durch ein Objektiv auffängt, kann man bei korrekter Einstellung eine scharfe Spektrumphotographie erzielen.

Diese Skizze soll nur den Vorgang beim Photographieren des Spektrums anschaulich machen; ein für praktische oder wissenschaftliche Zwecke bestimmter photographischer Spektralapparat oder „Spektrograph“ muß exakter konstruiert sein.

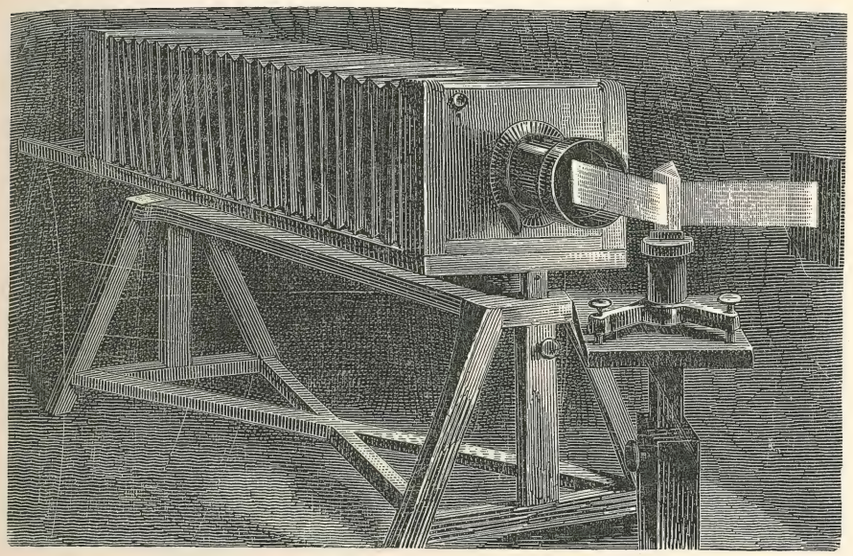


Fig. 13. Photographie des Spektrums.

Kollimatorrohr, Prisma und Kamera müssen gut verbunden sein und werden je nach ihrem Endzwecke mit verschiedenartiger Anordnung zur Herstellung von Spektrumphotographien geeignet gemacht.

Der Spalt des Spektralapparates[1]) soll scharf und gut regulierbar sein; man benutzt am besten hierzu Platin- resp. Platin-Iridium-, eventuell Stahlschneiden, die man aber dann wohl durch vorgeschaltete

1) Meistens benutzt man parallele Spaltschneiden. Mitunter gibt man dem Spalt eine keilförmige Anordnung, um das Spektrum von der Basis bis zur Höhe verschieden hell zu machen, was z. B. bei der Prüfung von farbenempfindlichen Platten vielleicht erwünscht sein kann.

Gläser oder Bergkristallplatten schützen soll. Staubpartikelchen im Spalt geben Längsstreifen im Spektrum, welche zum mindesten Schönheitsfehler sind. — Auch empfiehlt es sich, 3 bis 5 kleine verschiebbare Riegel an dem Spalt anzubringen (Lockyer-Riegel), welche je nach Bedarf den ganzen Spalt frei lassen oder stufenweise 3 bis 5 nebeneinanderliegende schmale Spektralbänder liefern, ohne daß man die photographische Kassette zu verschieben braucht. Diese Einrichtung ist zu Vergleichszwecken wichtig, welche auch stets der Verfasser benutzt, um bei photographisch-spektralanalytischen Plattenprüfungen usw. die Lage der Maximalwirkung rasch ermitteln zu können.

Überdies soll die Kassette verschiebbar sein, damit man auf ein und derselben Platte mehrere der zumeist ziemlich schmalen Spektren photographisch festhalten kann. Dadurch wird nicht nur Plattenmaterial gespart, sondern die Übersichtlichkeit der Resultate gefördert.

Meistens läßt man das Licht axial direkt auf den Spalt des Spektralapparates fallen. Mitunter wird die Lichtquelle nicht direkt vor den Spalt des Spektralapparates gebracht, sondern man setzt eine Sammellinse dazwischen ein, welche man Kondensor nennt und zur Vermehrung der Helligkeit dient oder die Strahlenbüschel, kleine, punktförmige Lichtquellen, auseinanderzerren soll, damit sie den Spalt voll bedecken und seine volle Breite auszunutzen gestatten. Solche Kondensoren sind bei Aufnahme des Sonnenspektrums entbehrlich[1]), ebenso beim Arbeiten mit Prismenspektrographen, dagegen sehr nützlich bei Präzisions- und Messungsarbeiten im Gitterspektrographen. Man benutzt meistens sphärische Linsen, besonders praktisch aber sind die gekreuzten Zylinderlinsen nach Schumann[2]).

Um diffuses Licht oder falsche Lichtreflexe zu hindern, soll der Spektrograph an den Innenwänden mit schwarzem Samt ausgefüttert, eventuell mit schützenden Lichtblenden versehen sein.

Zur technischen Untersuchung photographischer Platten auf Farbenempfindlichkeit können ganz einfache Spektrographen verwendet werden, wozu geradsichtige Spektroskope mit einer photographischen Kamera kombiniert werden, wie dies zuerst H. W. Vogel durchgeführt hat[3]); dieser Apparat ist der einfachste dieser Art.

---

1) Bei Prismenapparaten können sehr schön definierte Spektren erhalten werden, wenn man die Lichtquelle (Bogenlicht, Induktionsfunken) 30 bis 40 cm weit vom Spalt aufstellt. Es ist also ein Kondensor hier entbehrlich.

2) V. Schumann, Sitzungsber. Kais. Akad. Wiss. Wien. Bd. 102. IIa. (1893.)

3) Poggend. Annal. Phys. Bd. 156, S. 319; auch Bericht über die wissenschaftlichen Instrumente auf der Berliner Gewerbeausstellung im Jahre 1879.

Vogels kleiner Spektrograph besteht aus einer photographischen Kamera K (Fig. 14) aus Holz, 17 cm lang, 13 cm breit und 10 cm hoch, ohne Auszug, die bei H eine matte Scheibe v (vgl. Fig. 14) trägt, welche mit einer photographischen Kassette bekannter Einrichtung vertauscht werden kann. Der Vorderteil der Kamera besteht aus einer beweglichen Jalousie R, die innerhalb der Kulisse $n'n''$ läuft und in der Mitte ein Brettchen b trägt, in welches ein Rutherfordsches resp. Schmidt & Haenschsches geradsichtiges Spektroskop S mit horizontalem Spalt r eingeschraubt ist.

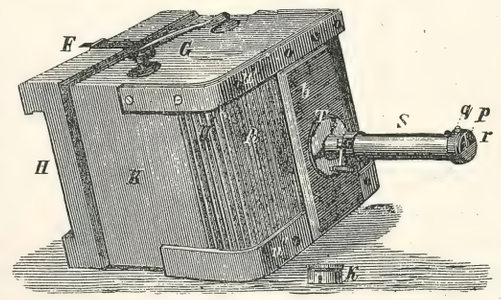
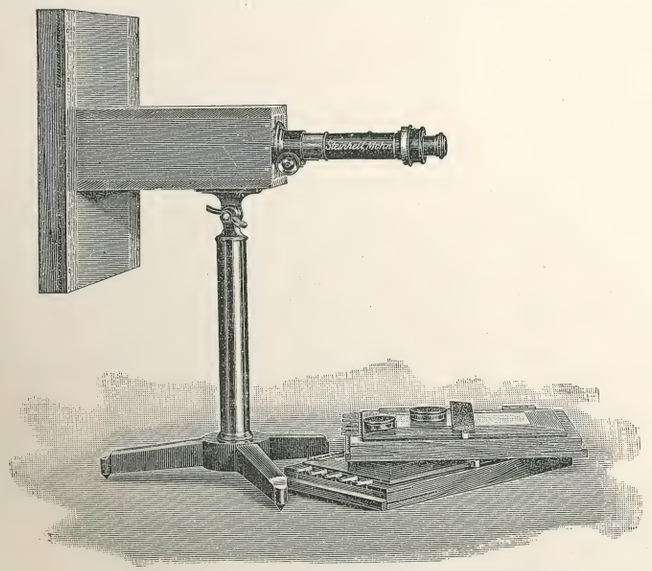


Fig. 14. Vogels Spektrograph.

Die Jalousie erlaubt das Spektroskop seitlich zu verschieben, und man ist dadurch imstande, auf einer kleinen Platte von 11×8 cm fünf senkrecht stehende Spektren nacheinander aufzunehmen, falls man


Fig. 15. Außenansicht von Steinheils kleinem Spektrographen.

den Spalt nicht zu lang nimmt. Dieser ganz einfache Apparat liefert aber nur unscharfe, verschwommene Spektrumbilder, welche für die erwähnten technischen Prüfungszwecke wohl genügen, aber besseren Anforderungen nicht entsprechen.

Bei Steinheils kleinem Spektrographen (Fig. 15) mit 5fachem Prisma à vision directe ist die Kollimatorlinse dreifach verkittet (20 mm Öffnung, 60 mm Fokus); zum Scharfeinstellen dient ein Trieb. Die Kassetten (für Platten 13×18 cm) sind verschiebbar, so daß man fünf Spektrumaufnahmen auf eine Platte machen kann.

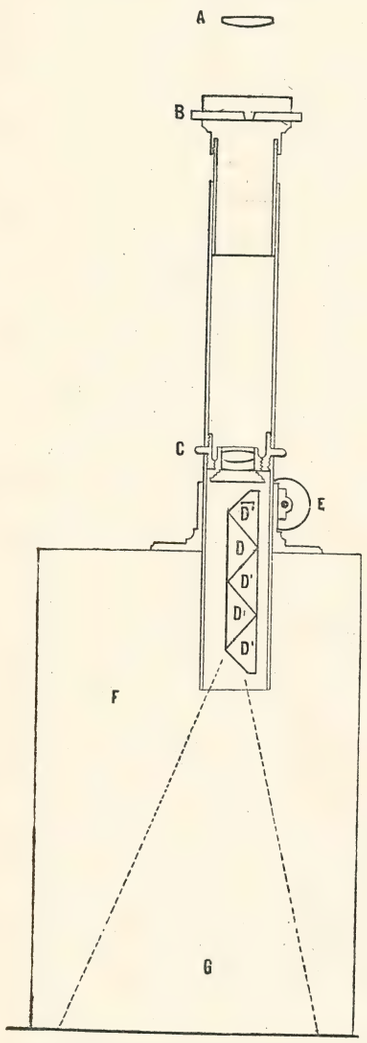


Fig. 16. Steinheils kleiner Spektrograph.

In Fig. 16 ist die Konstruktion von Steinheils kleinem Spektrographen abgebildet. Das Objektiv C des Spaltschlitten-Fernrohres hat ca. 8 cm Brennweite. Der Prismensatz à vision directe besteht aus drei Crownglasprismen D' von 100 Grad 20′ 0″ brechendem Winkel und zwei Flintglasprismen D von 105 Grad 0′ 0″ brechendem Winkel; die Zerstreuung von D bis F ist gleich 4 Grad 6′ 40″, also für das ganze Spektrum A bis H ca. 15 Grad. Das Spektrum wird in der Kamera F photographiert: bei G befindet sich die empfindliche Platte, welche in einer Schieberkassette fünfmal verschoben werden kann. Die Schraube E ermöglicht das Verschieben des Spektroskopes zum Scharfeinstellen der Linien. A ist eine Kondensorlinse.

Solche Instrumente mit dicken Glasmassen aus Flint- und Crownglas geben fast gar kein Spektrum von Ultraviolett, sondern gehen kaum über H hinaus, sind aber billig und leicht zu handhaben; sie liefern keine besonders klaren Spektren.

Besser wird die Leistung derartiger Spektrographen, wenn man hinter dem Prismensystem ein photographisches Objektiv (wenn auch nur eine einfache, nicht achromatische Sammellinse) anbringt. Der Verfasser benützt kleine Spektrographen nur mit solchen Kameralinsen.

Sobald die Kameralinse nicht achromatisch ist, muß die Kassette eine Neigungsmöglichkeit gegen die optische Achse der Kamera besitzen.

Man muß eben dann die Visierscheibe resp. die photographische Kassette schräg stellen, um die stärker brechbaren violetten und weniger brechbaren roten Strahlen auf die photographische Platte mit günstiger Bildschärfe zu bringen. Auf diese Weise ist der in Fig. 17 abgebildete Spektrograph von E. v. Gothard eingerichtet. K ist die Kassette an der Kamera. Diese ist mittels zweier Messingscharniere E mit der Kamera verbunden, damit man ihr die gehörige schiefe Stellung geben kann. F ist eine Schraube zum Fixieren der Kassettenführung, b ist ein kurzer Blasebalg, H ist ein starkes Messingrohr, welches den Verschluß (eventuell Momentverschluß) des Spektroskops trägt, welches im Innern das Spektroskop à vision directe und eine einfache plankonvexe Crownglaslinse D enhält.[1])

Dieser Apparat (oder eine ähnliche Type) eignet sich gut für technische Zwecke der Erprobung der Farbenempfindlichkeit photographi-

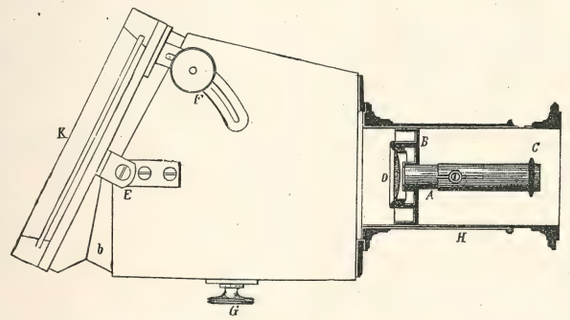


Fig. 17. E. v. Gothards kleiner Spektrograph.

scher Platten oder der Absorption von Lichtfiltern; man beachte, daß die Helligkeit im Violett und Ultraviolett stark gedämpft ist. Für derartige Proben bedient man sich des direkten Sonnenlichtes. Auch das kontinuierliche Spektrum des Gaslichtes, der Glühlampe, der sehr empfehlenswerten Nernstschen Glühlampe usw. kann als Ersatz des Sonnenspektrums gute Dienste leisten. Um die Orientierung im kontinuierlichen Spektralband zu finden, braucht man mindestens eine genau bekannte Leitlinie, z. B. die gelbe Natriumlinie. Man kann sie mitphotographieren, wenn man zwischen dem leuchtenden Gasbrenner (Argandbrenner) und dem Spektralspalt eine nicht leuchtende Bunsen-Gasflamme einschaltet und in den unteren Teil der Bunsenflamme etwas Asbest oder ein Platinnetz oder einen Platinring bringt, der Chlornatrium oder Soda enthält und gelbes Natriumlicht aussendet. Durch Anlage einer Skala, welche auf das Sonnenspektrum geeicht ist, gelingt die für technische Zwecke genügende Orientierung.

1) Aus Konkoly, Himmelsphotographie 1887 (Halle a. S.).

Auf diese Weise ist die in Fig. 18 abgebildete Spektrumphotographie[1]) hergestellt.

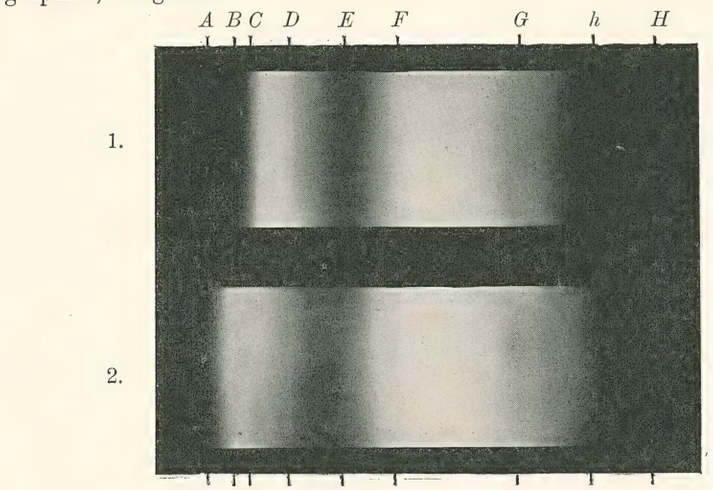


Fig. 18. Aufnahme mit einem kleinen Spektrographen.
1. Bromsilbergelatine sensibilisiert mit Formylviolett. — 2. Dasselbe mit Wollschwarz 4 B.

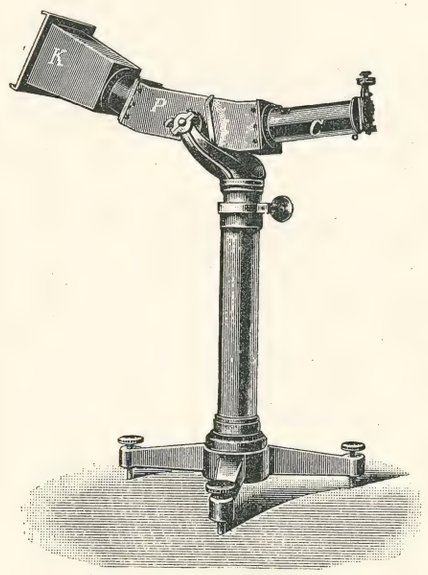


Fig. 19. Steinheils kleiner Spektrograph mit lichtstarkem Unofokalobjektiv.

Eine sehr lichtstarke Form dieses Spektrographen (Fig. 19) stellte Steinheil her[2]), indem er die Kamera K mit einem lichtstarken Unofokalobjektiv ausrüstete und das fünfteilige Prisma (bei P) aus drei Crown- und zwei Flintglasprismen unter Verkittung so zusammensetzte, daß bei senkrechtem Eintritt für eine mittlere Wellenlänge des Spektrums auch senkrechter Austritt erfolgt; dadurch wird der Lichtverlust möglichst verringert. Das Spektrum ist zwischen den Fraunhoferschen Linien A bis H ungefähr 5 cm lang und gleichmäßig scharf.

Der Apparat ruht mittels Zapfen und Gabel auf einem starken Stativ mit drei Fuß-

1) Eder und Valenta, Beiträge zur Photochemie und Spektralanalyse II, S. 136.
2) H. Lehmann, Zeitschr. f. Instrumentenkunde, Dez. 1904.

schrauben und kann in jeder Lage der horizontalen und vertikalen Richtung festgeklemmt werden. Der Hauptschnitt des Prismas liegt in der vertikalen Richtung, die Spaltrichtung ist also horizontal.

Der Apparat ergibt zwar keine große Länge des Spektrums; er zeichnet sich aber durch ganz besondere Lichtstärke aus; er ist für die spektrographische Aufnahme von Polarlichterscheinungen sowie der sogenannten Himmelsphosphoreszenz und der sehr lichtschwachen Kathodo-Lumineszenz bestimmt.

Einen ähnlichen Apparat mit einem Prisma großer Helligkeit, aber geringer Dispersion konstruierte O. Toepfer in Potsdam nach den Angaben von Scheiner für die Spektrographie des Nordlichtes.

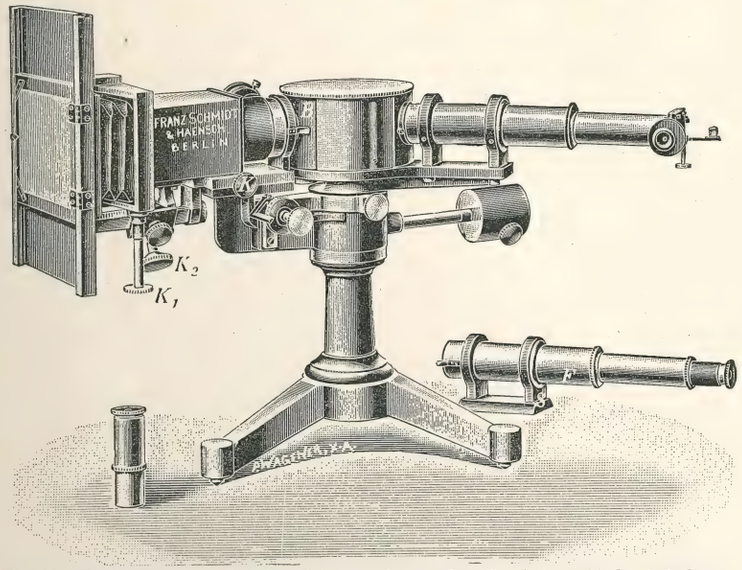


Fig. 20. Einrichtung eines einfachen Prismenspektrographen für photographische Aufnahmen.

Der Kirchhoff-Bunsensche Prismen-Spektralapparat kann zur photographischen Aufnahme des Spektrums nutzbar gemacht werden, wenn man an Stelle des leicht zu entfernenden Beobachtungsfernrohres F (Fig. 20) eine photographische Kamera anbringt. Fig. 20 zeigt eine solche Einrichtung von Schmidt & Haensch in Berlin.

Bessere Auflösung der Spektren, sowie weiteres Vordringen in das beginnende Ultraviolett gestatten Spektrographen mit zwei oder drei einfachen Glasprismen aus bestem durchlässigen Glas.

Will man das Sonnenspektrum zum Zwecke der Prüfung der Farbenempfindlichkeit photographischer Platten für Zwecke der Spektrum-

photographie benutzen, so kann man den Spektralapparat derartig montieren, daß man ihn bequem nach der Sonne drehen kann. Einen solchen Apparat ließ der Verfasser bei Steinheil in München ausführen[1]) und Fig. 21 zeigt die Anordnung.

Das Licht, welches zunächst den bei O verstellbaren Spaltschlitten A im Brennpunkte des Objektives B passiert, fällt auf die drei Prismen C, D und E, welche alle aus einem leichten Flintglase bestehen und einen brechenden Winkel von 50 Grad besitzen. Das dadurch entstehende

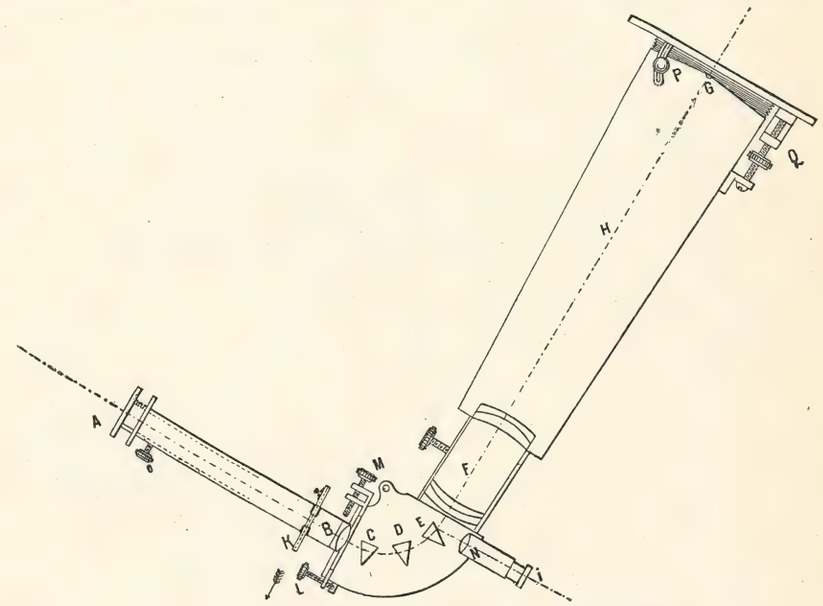


Fig. 21. Großer Steinheilscher Spektrograph mit 3 Flintprismen.

Spektrum wird von einem photographischen Objektive F auf die Ebene G am Ende der Kamera H geworfen, wo dasselbe photographiert werden kann.

Das Objektiv des Spaltschlittenfernrohres hat 34 mm Öffnung und 325 mm Brennweite, während das photographische aplanatische Objektiv F 54 mm Öffnung und 600 mm Brennweite besitzt. Die Linsen sind aus solchen Glassorten zusammengesetzt, die möglichst wenig blaue bis ultraviolette Strahlen absorbieren, weshalb eine große Helligkeit im blauen und violetten Teil erlangt wird.

1) Dieser nach des Verfassers Angaben speziell für seine Untersuchungen von Dr. Steinheil ausgeführte Spektrograph wurde auch in getreuer Kopie für Herrn Dr. Mallmann in Wien angefertigt. Der in David und Scoliks „Orthoskiagraphische Photographie“ (1890, S. 274) abgebildete Steinheil-Spektrograph ist das Bild dieses kopierten Apparates.

Das Brechungsvermögen der Prismen ist für die

Fraunhoferlinie D . . . . . $n = 1{,}57852$

„ F . . . . . $n = 1{,}58829$.

Ihre Öffnung beträgt 47 mm.

Mit dem Spektrum kann zugleich eine Skala J photographiert werden, welche durch das photographische Objektiv N vergrößert und an der letzten Prismenfläche reflektiert, ebenfalls auf die Ebene der lichtempfindlichen Platte geworfen wird. Bei K befindet sich ein sogenannter Objektivverschluß. Die beiden Schrauben L und M dienen zur Verstellung des Spaltschlitten-Fernrohres, um bei der Photographie spezieller Teile im Spektrum dieselben in die Mitte der Platte und auf das Minimum der Prismenablenkung zu bringen. Bei P und Q kann die Ebene der lichtempfindlichen Platte geneigt werden. Die Schneiden des Spaltes sind von Platin.

Fig. 22 zeigt die Außenansicht des Spektrographen. Bei A ist der Spalt, welcher der Linse B mittels des Triebes O genähert oder von ihr entfernt werden kann. Innerhalb des Messingkörpers befinden sich drei Prismen. N enthält die Vergleichskala, F ist das photographische Objektiv, H die Holzkamera. Bei R wird die Kassette mit der photographischen Platte eingeführt; auf der in einer solchen Kassette befindlichen Platte von 12 und 16 cm Seitenlänge können durch Verschiebung drei Spektren hintereinander aufgenommen werden. SS sind Blenden (Schieber aus geschwärztem Messing), welche bestimmt sind, das blaue oder rote Ende des Spektrums nach Bedarf abzuschneiden.

Die Länge des Spektrums, welches dieser Apparat gibt, beträgt von der Fraunhoferschen Linie A bis N ca. 11 cm; über N hinaus kann das Ultraviolett nicht mehr gut photographiert werden, weil die Absorption der Strahlen, deren Wellenlänge unter 350 Millionstel-Millimeter liegt, zu groß ist.

Richtet man den Spektralapparat auf den blauen Himmel oder Wolken, so erhält man niemals so scharfe Linien als im Sonnenlicht; sehr gute optische Sensibilisatoren äußern zwar dann auch noch ganz deutlich ihre Wirkung (z. B. Eosin), schwache (z. B. die meisten grünen Farbstoffe) aber zeigen häufig so geringe Wirkung, daß man dieselbe leicht übersehen kann.

Mit diesem Glasprismen-Spektrographen führte der Verfasser seine „Untersuchungen über das Verhalten der Haloidverbindungen des Silbers gegen das Sonnenspektrum und die Steigerung ihrer Empfindlichkeit durch Farbstoffe“ (1884—1910), von welchen in diesem Werke wiederholt die Rede ist, durch.[1]) Fig. 1 auf Tafel IV zeigt die Länge der damit

1) Sitzungsber. d. kaiserl. Akad. d. Wissensch. in Wien, 1884, 1885, 1886.

erhaltenen Sonnenspektren an, und zwar I die Wirkung des Spektrums auf Bromsilbergelatine; II die auf Erythrosin-Bromsilbergelatine (orthochromatische Platte) und III die Dämpfung der Wirkung des Sonnenspektrums im violetten und blauen Bezirke durch vorgeschaltete Gelb-

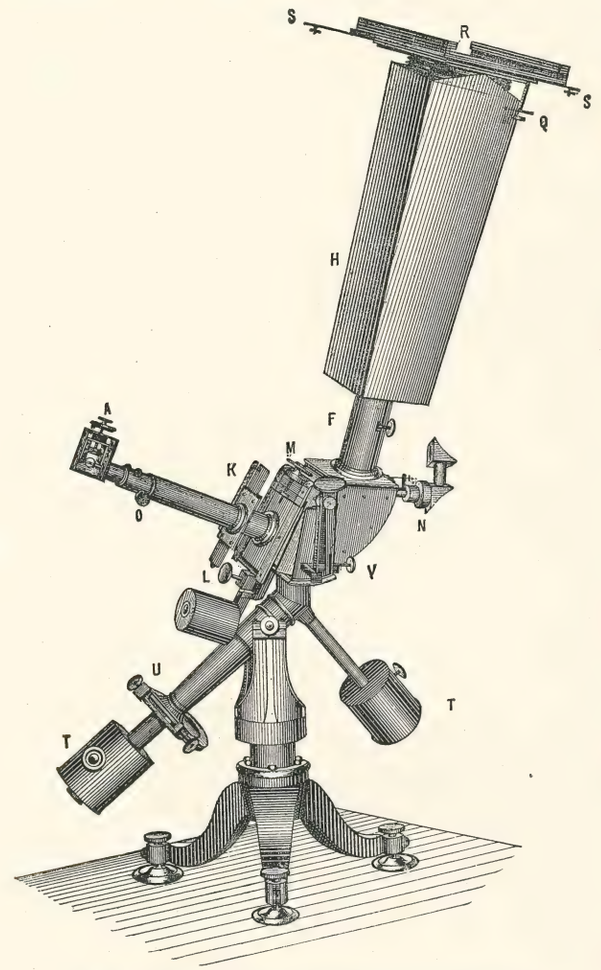


Fig. 22. Steinheils großer Spektrograph mit 3 Flintprismen.

scheiben bei orthochromatischen Platten. Die Figur 2 auf Tafel IV zeigt das äußere rote und orangefarbige Sonnenspektrum, wie man es im Prismenspektrographen hinter roten Glasscheiben erhält; man sieht die Fraunhoferschen Linien *A a B C* bis *D*, während von *D* ab das übrige Spektrum ausgeschaltet ist.

H. Heele in Berlin gibt seinem Spektrographen mit zwei Prismen (von 64°) die in Fig. 23 abgebildete Form, welche in ähnlicher Weise nach H. W. Vogels Angaben Schmidt & Haensch (Berlin) u. a. ausgeführt hatten; man kann den Apparat leicht gegen die Sonne oder andere

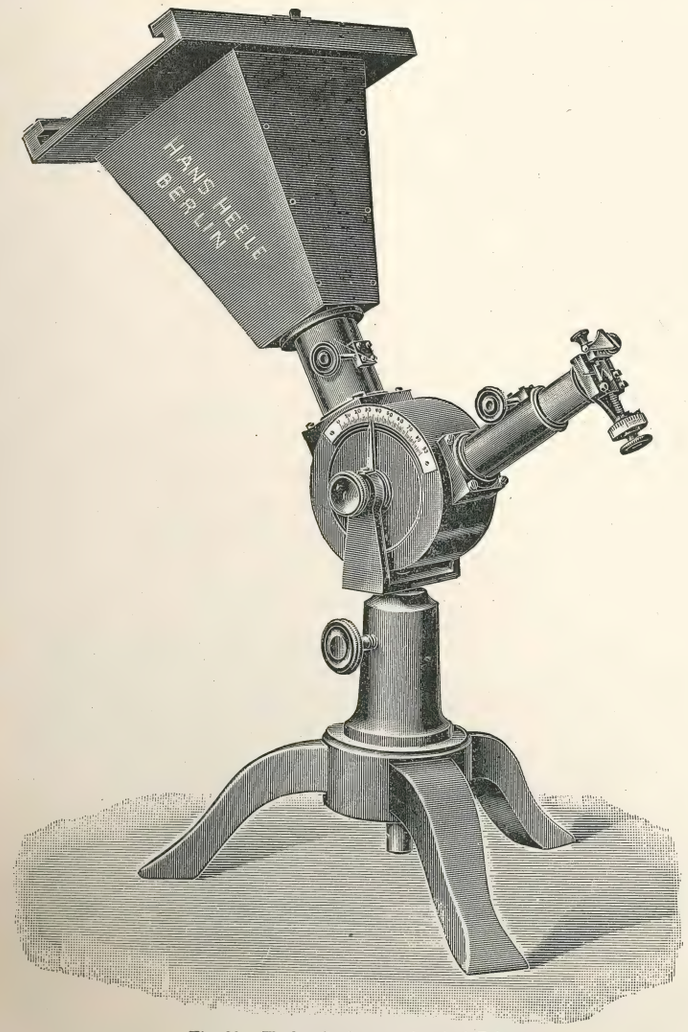


Fig. 23. Heeles Spektrograph mit 2 Prismen.

Lichtquellen richten. Das Objektiv hat nur 23 cm Fokus und das Spektrum bedeckt nur Platten von 9×12 cm.

Adam Hilger in London verwendet zwei Glasprismen und Linsen mit 20 cm Brennweite aus Uviolglas, wobei man ein Spektrum von

Rot bis zu $\lambda = 300\,\mu\mu$ im Ultraviolett bei einer Länge von 4 cm erhält. Eine größere Konstruktion ähnlicher Art mit 61 cm-Linsenfokus liefert ein derartiges Spektrum von etwa 12 cm Länge. Die äußere Form des letzteren gleicht dem weiter unten in Fig. 34 abgebildeten Quarzspektrographen.

In der Regel werden mehr stabile, auf massivem Gußeisenfundamente angebrachte Spektralkameras benutzt, bei welcher mittels eines Spiegels (Heliostaten) das Sonnenlicht horizontal in den Spektrographen geworfen wird. Hierzu braucht man wohl keinen mit Uhrwerk betriebenen Heliostaten, obschon sie bequem sind; da aber bei allen diesen Versuchen es sich um relativ kurze Belichtungszeiten (gewöhnlich nur einige Sekunden) handelt, so genügen einfache, mit der Hand zu drehende Heliostaten vollkommen. In dieser Art sind die Prismenspektrographen des Verfassers für Laboratoriumsarbeiten montiert.

Die Wahl der Spiegel für diese Zwecke ist nicht gleichgültig, namentlich wenn man das brechbarere Ultraviolett tunlichst ungeschwächt in den Apparat bringen will. Quecksilber-(Amalgam-)Spiegel genügen zur Not für Glasspektrographen (nicht für Quarzspektrographen).

Silberspiegel reflektieren nur die weniger brechbaren Strahlen, löschen aber die ultravioletten aus; Platin gibt dagegen in Schichten, welche noch vollkommen durchsichtig sind, einen ausgezeichneten Spiegel für Ultraviolett (De Chardonnet, Cornu).

Versilberter Quarz, welcher für optische Strahlen undurchlässig ist und sie reflektiert, ist noch durchlässig für Licht von λ 310 bis $340\,\mu\mu$ (Nutting, Jahrb. f. Phot. 1902, S. 459). — Silberspiegel besitzen für λ $322\,\mu\mu$ ein Minimum des Reflexionsvermögens; Spiegelmetall und Stahl reflektieren Ultraviolett gut (Glatzel, Jahrb. f. Phot. 1901, S. 593). Am besten sind Magnaliumspiegel (zu beziehen von C. A. F. Kahlbaum in Berlin), welche bei mäßigem Preise vorzüglich wirken und vom Verfasser benutzt werden. Auch polierte Stahl-, Messing- oder Nickelplatten sind verwendbar, obschon die selektive Reflexion für all diese Metalle etwas untereinander abweicht.

Wird für die Glasspektrographen dann noch ein gutes Compound-Prisma (Rutherford-Prisma) verwendet, so erzielt man lichtstarke Spektralapparate, welche jenen mit 3 einzelnen Flintprismen überlegen sind. Die Verwendung achromatischer Kollimator- und Kamera-Objektive ist überflüssig; ja es bieten sogar dünne, nicht achromatisierte einfache Linsen den großen Vorteil der guten Lichtdurchlässigkeit und sind überdies noch sehr wohlfeil; aber es muß die entsprechende schräge Stellung

der Kassetten sehr exakt ermittelt werden. Deshalb ist die Anordnung des großen Glasspektrographen, welchen Eugen von Gothard nach Angaben des Verfassers ausführte, von besonders guter Wirkung; der Apparat hat ein Steinheilsches Kompoundprisma von der in Fig. 24 abgebildeten Form. Dasselbe besteht aus einem Flintglasprisma mit einem brechenden Winkel von 94° 32′ 20″, welches zwischen zwei konträr

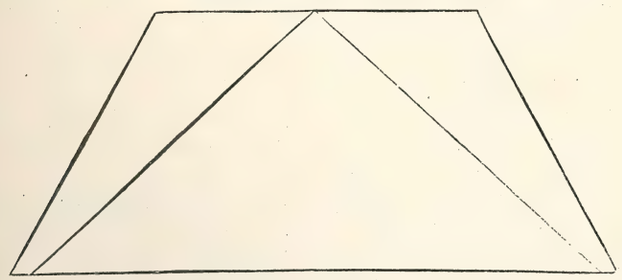


Fig. 24. Steinheils Kompoundprisma für Spektrographie.

stehenden Crownglasprismen (Winkel 18° 30′) eingeschlossen ist. Der Brechungsindex des Flintglases ist $n_D = 1{,}65082$, der des Crownglases $n_D = 1{,}51159$. Die Linsen besitzen den Fokus von 1 m und sind nicht achromatisch; sie sind wegen der Dünnheit ihrer Gläser gut lichtdurchlässig, jedoch muß die photographische Kassette gegen die Objektivachse geneigt werden[1]), um die stärkeren und weniger brechbaren Spektralbezirke gleichmäßig scharf auf einer Platte zu erhalten. Die

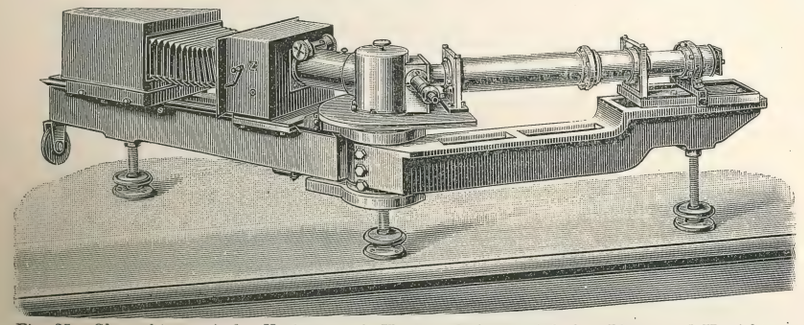


Fig. 25. Glasspektrograph des Verfassers mit Kompoundprisma, einfachen Linsen und Vorrichtung zum Schrägstellen der Kassette.

äußere Form dieses Glasspektrographen ist jener des Quarzspektrographen (Fig. 34) ähnlich. Behufs Photographie des Sonnenspektrums wird das Licht mittels eines Handheliostaten mit Magnaliumspiegel horizontal in die Achse des Kollimatorrohres geworfen.

1) Bei Verwendung von achromatischen Objektiven steht die Kassette senkrecht zur Achse der Kamera.

Fig. 25 zeigt die äußere Ansicht des vom Verfasser benutzten, durch E. von Gothard ausgeführten Glasspektrographen, mit Vorrichtung zum Schrägstellen des Kassette, zur Drehung des Prismas und Trieb zum Scharfeinstellen der Objektive. Der Apparat steht auf einem schweren Eisenfundament.

Dieser Apparat ist leistungsfähiger als der auf S. 32 beschriebene Drei-Prismenapparat mit aplanatischem Doppelobjektiv von 60 cm Fokus. Auch ist die Einstellung mit dem Kompoundprisma wesentlich einfacher; stellt man nämlich eine der stärker brechbaren blauen oder violetten Linien (z. B. im Bleifunken-Spektrum) auf das Minimum der Ablenkung ein, so erhält man (bei sonst guter Adjustierung) das ganze sichtbare Spektrum scharf.

Die Tafel V, Fig. 1 bis 3, zeigt die Leistungsfähigkeit des Glas-Spektrographen mit Kompoundprisma. Fig. 1 zeigt die Spektrumphotographie des Sonnenspektrums auf gewöhnlichen Bromsilbergelatineplatten mit der Maximalwirkung zwischen F und G im Blau und dem raschen Abfall gegen Ultraviolett, welcher durch die dicken, ziemlich stark absorbierenden Glasmassen verursacht wird. Fig. 2 zeigt die Photographie des Sonnenspektrums auf einer orthochromatischen Erythrosinplatte mit dem Sensibilisierungsband von Gelb bis Grün; Fig. 3 dasselbe auf einer Orthochromplatte, welche bis gegen C (im Orangerot) sensibilisiert. Ferner zeigt die Figur 4 auf Tafel V das Spektrum des gewöhnlichen elektrischen Kohlen-Bogenlichtes, während Fig. 5 auf derselben Tafel das Bogenspektrum des Bariums (Kohlenelektroden, imprägniert mit Bariumsalzen) zeigt und Fig. 6 vergleichsweise das Spektrum des Quecksilbers (Cooper-Hewittsche Quecksilberdampflampe), wie es im Glasspektrographen erhalten wird, zeigt. Man vergleiche hiermit die Tafel II, worin einige derselben Spektren mit dem Gitterspektrographen hergestellt und reproduziert sind.

Dieser Apparat eignet sich gut nicht nur für Prüfung der Farbenempfindlichkeit von Platten, sondern Eder und Valenta bedienten sich desselben zu spektralanalytischen Untersuchungen und veröffentlichten in ihrem „Atlas typischer Spektren“ (Wien 1911) zahlreiche damit aufgenommene Flammen-, Bogen- und Funkenspektren.

Im nachstehenden sollen noch einige Spektrographen anderer Konstruktion besprochen werden.

A. Krüß in Hamburg gibt seinem 3-Prismenspektrographen die in Fig. 26 abgebildete Form. Kollimator mit Objektiv von 34 mm Öffnung und 325 mm Brennweite, 3 Prismen von 50° und 47 mm

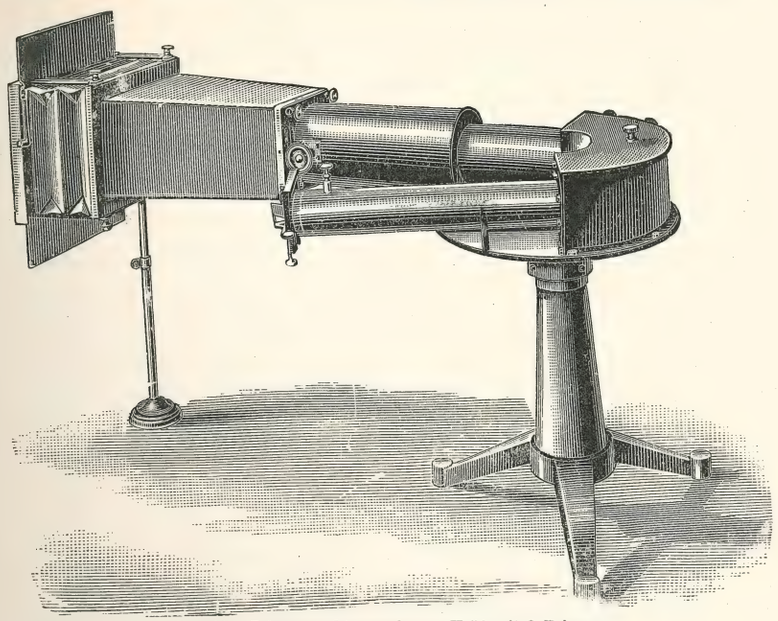


Fig. 26. Prismenspektrograph von Krüß mit 3 Prismen.

Öffnung; aplanatisches photographisches Objektiv von 54 mm Öffnung und 610 mm Brennweite; Spektrum 20 mm hoch und ca. 150 mm lang.

Einen Spektrographen mit 3 bis 5 Prismen konstruierte Hans Heele in Berlin (Fig. 27). So viele Prismen geben jedoch lichtschwache Spektren, welche nur in kleinen Zonen scharf sind und schwierig ins Minimum

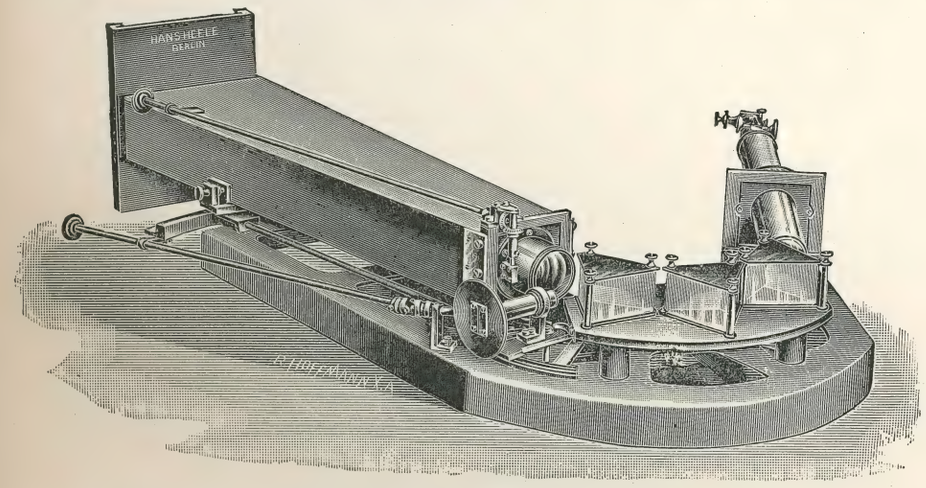


Fig. 27. Prismenspektrograph von Hans Heele.

der Ablenkung einzustellen sind. Deshalb ist Heele später (1910) auch zur Anwendung eines einzigen Kompoundprismas (analog der von Eder empfohlenen Anordnung mit Kompoundprisma, s. S. 38) übergegangen. Der Heelesche Spektrograph mit Uviolglas besitzt ein Kompoundprisma von 10×10 cm freier Öffnung; die Kameralinse hat eine Brennweite von $2^1/_2$ m, die Kollimatorlinse eine solche von $1^1/_2$ m; das sichtbare Spektrum dieses Spektrographen besitzt eine Ausdehnung von ca. 1 m.

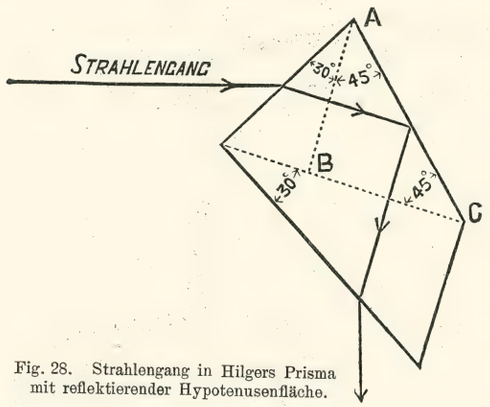


Fig. 28. Strahlengang in Hilgers Prisma mit reflektierender Hypotenusenfläche.

Um den Lichtverlust durch Anwendung mehrerer getrennter Glasprismen tunlichst herabzumindern, gibt Adam Hilger in London (75a Camden Road, London NW.) dem Prisma die eigenartige Form von Fig. 28, wo auch der Strahlengang angegeben ist. Das Prisma besteht aus einem Stück mit total reflektierender Hypotenusenfläche.

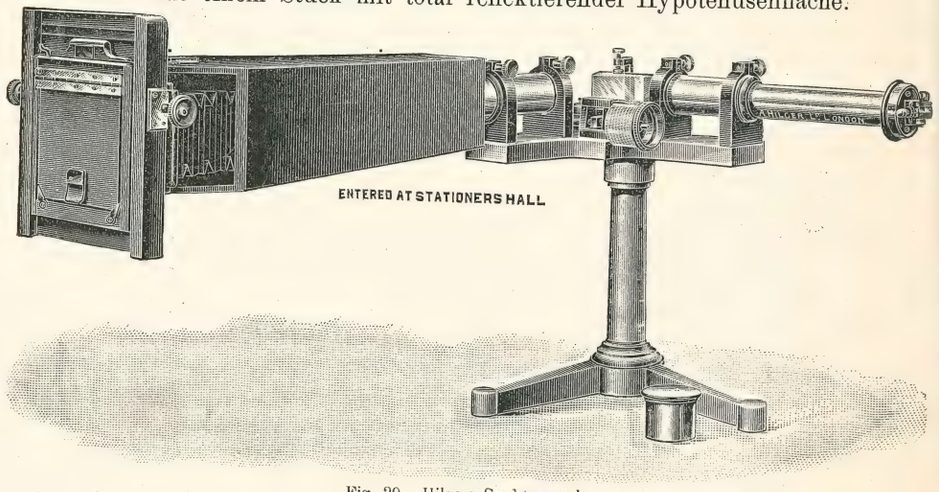


Fig. 29. Hilgers Spektrograph.

Mittels eines solchen Hilgerschen Apparates (Fig. 29) hat Gissing seinen Atlas der Funkenspektren[1]) auf photographischem Wege im sichtbaren Teile bis λ 3850 hergestellt.

1) Charles Gissing, Spark Spectra of the metals. London 1910.

Hierher gehört auch das von Pulfrich erfundene Autokollimations-Spektroskop[1]). Dieses Instrument ist sozusagen die Hälfte eines der üblichen aus Kollimator, Prisma und Fernrohr bestehenden Spektroskope; es hat nämlich nur ein Rohr und nur ein halbes Rutherfordsches Prisma. Die Fläche BC in Fig. 30 ist plan poliert, versilbert und lackiert; die auf diese Fläche senkrecht auftreffenden Strahlen werden in sich selbst zurückgeworfen und durchlaufen das Prisma ein zweites Mal in umgekehrter Richtung, wodurch die Dispersion verdoppelt wird. Das Fernrohr Ok-O vereinigt Kollimator und Beobachtungsrohr in sich. Das Licht wird von dem Prisma P_2 auf den Spalt Sp reflektiert, tritt aus dem Objektive O als paralleles Büschel aus und in das Prisma ein, kehrt an der versilberten Rückfläche BC um und wird in der Brennebene des Objektivs zu einem reellen Spektrum vereinigt, das man mit dem Okulare Ok betrachtet. Mit WT ist die Wellenlängenteilung, mit TK der Teilkreis und mit N der Nonius bezeichnet.

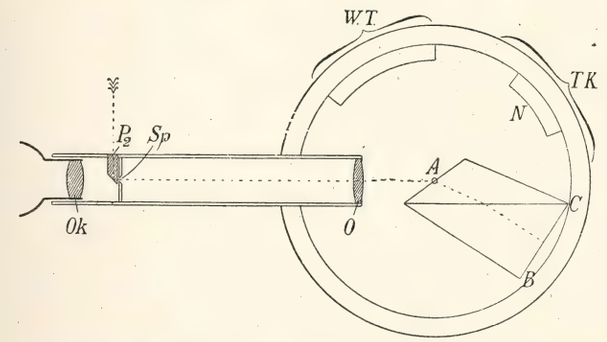


Fig. 30. Pulfrichs Autokollimations-Spektralapparat.

Pulfrichs Autokollimations-Spektroskop wurde für spektrographische Zwecke eingerichtet (F. Löwe, Zeitschr. f. Instrumentenkunde, Nov. 1906).

Über einen Spektrographen zur Photographie des Infrarot s. Hans Lehmann, Zeitschr. f. Instrmentenkunde, Dez. 1906.

Verwendung von Teleobjektiven.

Um die viel Raum erfordernde Aufstellung von Spektrographen mit Objektiven von 1 m Fokus zu vermeiden und dennoch eine gute Auflösung der photographierten Spektren zu erzielen, verwenden H. Lehmann, W. Wien (Zeitschr. f. wissensch. Phot. 1903, I, S. 41) und J. Zenneck sogen. photographische Teleobjektive

1) C. Pulfrich, Über eine neue Spektroskopkonstruktion, Zeitschrift für Instrumentenkunde XIV (1894), S. 354.

(Busch-Objektiv Omnar, 25 cm Fokus und Telelinse). Bei mäßiger Kameralänge wird das Spektrumbild fünf- bis achtmal vergrößert und das Auflösungsvermögen des Apparates hierdurch gesteigert (Physik. Zeitschr. 1907, S. 29 und 384).

II. Einfluß der Glassorte auf den photographischen Effekt der Spektrographen.

Verschiedene zusammengesetzte Glassorten sind namentlich für die ultravioletten und violetten Strahlen verschieden durchlässig. Stark bleihaltiges Schwerflint (ebenso Thalliumglas, s. S. 21) absorbiert fast das ganze Ultraviolett; viel durchlässiger ist Leichtflint (bis etwa zur Fraunhoferschen Linie *O*) und Crownglas.[1]) Besonders gut lassen manche Sorten von Barytglas, Phosphat- oder Boratgläsern Ultraviolett durch (sog. „Uviolglas“) und man konstruiert auch Spektrographen mit den neuen „Ultraviolett durchlässigen“ Jenaer Gläsern. Diese neueren Glasarten lassen Ultraviolett bis ungefähr zur Wellenlänge λ 300 $\mu\mu$ durch, haben jedoch keine große Dispersion.[2]) Sie erreichen aber an Durchlässigkeit für das noch stärker brechbare (sehr kurzwellige) Ultraviolett niemals die Quarzspektrographen (s. d.).

Hartley bemerkte mit Recht am Internationalen Kongreß für angewandte Chemie in Rom 1906, daß das Jenaer „Ultraviolett durchlässige Glas“ keineswegs den Quarz bei Studien im Ultraviolett ersetzen könne, indem es nur Licht bis etwa λ 3285 A. E. durchläßt, während Quarz mit Leichtigkeit bis unter 200 $\mu\mu$ zu photographieren gestattet (Jahrbuch f. Phot. 1906, S. 371).

Dicke, aus fünf Prismen verkittete Glasmassen gewöhnlicher Spektroskope à vision directe (s. o.) verschlucken viel mehr Ultraviolett als gewöhnliches weißes Leichtflint (drei Prismen) oder gute Kompoundprismen.

Die im Spektroskop à vision directe kombinierten Crown-Flintglasprismen mit grünlichem Schwerflint schwächen schon das sichtbare Violett sehr, wie aus Fig. 18 hervorgeht, dadurch sinkt die Wirkung

1) Die Durchlässigkeit von älteren optischen Gläsern für Ultraviolett hatten Miethe (Eders Jahrb. f. Phot. 1891, S. 168); Chardonnet (Compt. rend. 1882, Bd. 94, S. 1468), Schjerning (Dissertation, 1885) studiert. Die neuen Jenaer Glastypen wurden von Eder und Valenta im Ultraviolett untersucht (Denkschriften der kais. Akad. d. Wissensch. Wien, Mai 1894; Eder und Valenta, Beiträge zur Photochemie und Spektralanalyse 1904, I., S. 99). — H. A. Krüß untersuchte 1903 eine Anzahl optischer Gläser auf ihre Durchlässigkeit für ultraviolette Strahlen (Dissertation, Berlin 1903) Er fand Barytleichtflint und Borosilikat-Crownglas verhältnismäßig am besten durchlässig. — H. C. Vogel (Sitzungsber. d. Berl. Akad. d. Wiss. 1896, S. 1219) fand die Beobachtungen von Eder und Valenta bestätigt, wonach die Absorption nicht kontinuierlich wächst mit abnehmender Wellenlänge, sondern über längerem Spektralbereich nahezu konstant bleibt, um dann sprungweise zuzunehmen.

2) S. Riecke, Physikal. Zeitschr., 4. Jahrg., S. 751.

des damit erhaltenen Sonnenspektrums auf Bromsilber- und Chlorsilber-Gelatineemulsion im Violett auffallend. Am stärksten tritt dies bei Chlorsilbergelatine (mit Eisencitrat-Entwickler) hervor, welche im Spektrographen mit Leichtflintglasprismen das Maximum der Wirkung bei *H* am Beginne des Ultraviolett zeigt (Fig. 31, Kurve 1: die punktierte Linie deutet das Resultat bei kürzerer Belichtung an), während im kleinen Spektrographen (à vision directe) das Maximum zwischen *G* und *F* liegt (Fig. 31, Kurve 2). Die Verschiedenheit der beiden Kurven, wie sie Fig. 31 zeigt, ist so groß, daß man kaum glaubt, dasselbe Silbersalz vor sich zu haben.

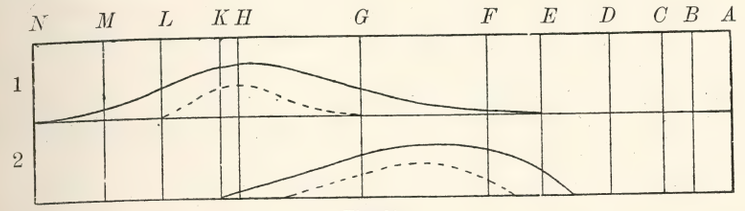


Fig. 31.

Kurve 1. Spektrumbild auf Chlorsilbergelatine mit dem großen Glasspektrographen.
Kurve 2. Dasselbe mit dem kleinen Spektrographen à vision directe.

III. Quarz-, Kalkspat- und Flußspat-Spektrographen.

Man mag Glassorten irgendwelcher Art verwenden, stets absorbieren sie mehr oder weniger das stärker brechbare Ultraviolett, so daß Glasprismen oder Linsen zum Studium dieses kurzwelligen Spektralbezirkes unbrauchbar sind.

Zur Aufnahme des ultravioletten Spektralgebietes kommen Bergkristall (Quarz) und Flußspat in Betracht; Kalkspat ist wegen geringerer Lichtdurchlässigkeit und der Möglichkeit der Verdoppelung der Linien zufolge Doppelbrechung weniger hierfür geeignet.[1]) Da farbloser reiner Flußspat derzeit kaum in größeren Stücken erhältlich, so haben wir uns nur mit Quarzspektrographen zu befassen, wenn es sich um große Lichtdurchlässigkeit im Ultraviolett kürzerer Wellenlänge handelt. Während das durchlässigste Glas („Uviolglas“ von Jena) ultraviolettes Licht nur bis etwa zur Wellenlänge $\lambda = 328$ oder höchstens 300 $\mu\mu$ durchläßt, gelingt es mittels Quarzprisma und Linsen mit Leichtigkeit Licht bis zur Wellen-

1) Das Spektrum mit einem Kalkspatprisma (senkrecht zur Achse geschnitten) zeigte bei V. Schumanns photographischen Aufnahmen die Fraunhoferschen Linien völlig scharf; mit zwei oder mehreren konnte er trotz aller Sorgfalt keine klaren Spektra erhalten. Die schönen Liniengruppen im Ultraviolett sahen dann teilweise wie gewundene Säulenschäfte aus.

länge $\lambda = 200\,\mu\mu$ zu photographieren und bei langen Belichtungen bis zur lichtstarken Aluminiumlinie $185\,\mu\mu$ vorzudringen, vielleicht noch bis $\lambda\,182\,\mu\mu$. Auch mit Flußspat kann man, sobald man atmosphärische Luft im Apparat hat, nicht weiter vordringen.

Nach Pflüger ist die Durchlässigkeit des Quarzes, Kalkspats, Steinsalzes, Flußspats, Glyzerins und Alkohols bis ungefähr λ 2800 und λ 2450 A.E. verhältnismäßig gut; von λ 2450 nimmt die Durchlässigkeit bei Kalkspat, Alkohol und Quarz rasch, bei Steinsalz langsam ab. Während Glyzerin, Alkohol und Kalkspat unterhalb λ 2100 A. E. fast völlig undurchsichtig sind, beträgt die Absorption von Steinsalz und Quarz für λ 1860 nur 30% der eindringenden Lichtstrahlen; für Glyzerin zeigt die Absorptionskurve bei λ 2750 einen Buckel (Physik. Zeitschrift 1904, Bd. 5, S. 215).

Steinsalzprismen übertreffen an Durchlässigkeit im äußeren Ultraviolett diejenigen aus Bergkristall um das Dreifache. Pflüger versieht Steinsalzprismen mit dünnen Schutzplatten aus Bergkristall zum Studium des Ultraviolett bis λ $210\,\mu\mu$ (Physik. Zeitschr. 1909, S. 406; Jahrb. f. Phot. 1910, S. 366).

Glyzerin läßt Ultraviolett in einer 0,1 mm dicken Schicht bis zu λ $227\,\mu\mu$ durch (Schumann, Jahrb. f. Phot. 1901, S. 592).

Störend für die Photographie der brechbarsten Strahlen ist die starke Absorption dickerer Luftschichten für Ultraviolett kürzester Wellenlänge. Diesen Umstand erkannte und studierte V. Schumann; er führte den sog. Vakuumspektrographen ein, bei welchem die Luft im Inneren ausgepumpt ist (s. u.). Auch kommt Füllung des Apparates mit Wasserstoff (anstatt mit Luft) in Betracht; ferner werden Spezial-Bromsilberplatten benutzt (s. S. 54).

Die eigentümlichen optischen Eigenschaften des Quarzes (die Linear- und Zirkularpolarisation) machen ganz besondere Vorkehrungen bei der Anfertigung brauchbarer Quarzprismen notwendig. Das Prisma muß so aus dem Quarz geschnitten werden, daß seine brechende Kante senkrecht zur optischen Achse steht und seine brechenden Flächen gleiche Winkel mit dieser einschließen; ferner muß (nach Cornu) das Quarzprisma zweiteilig sein, indem es aus je einer rechts- und einer linksdrehenden Prismenhälfte zusammengesetzt ist, jedes mit gleich großem brechenden Winkel von 30°.

Linsen aus senkrecht zur Achse geschnittenen Quarzplatten liefern Fr. Schmidt & Haensch in Berlin, Steinheil in München, Krüß in Hamburg, B. Halle in Berlin-Steglitz, Fueß in Berlin u. a.

Fig. 32 zeigt ein sog. Cornusches Quarzprisma (Bergkristallprisma). Bei seiner Verwendung müssen sowohl das Kollimatorobjektiv als die photographische Kamera mit Quarzlinsen versehen sein. Der Verfasser arbeitet mit einer Quarzlinse von 75 cm Fokus (für die gelbe Natriumlinie) und für größere Bildausdehnung mit einer Linse von 100 cm Fokus. Die Linsen sind plankonvex und senkrecht zur optischen Achse geschnitten.

Infolge der Verwendung nicht achromatisierter Quarzlinsen[1]) muß die empfindliche Platte stark gegen die Achse der Kameralinse geneigt werden; die Vereinigungsweite der ultravioletten Strahlen ist nämlich bei den obigen Bedingungen bedeutend kürzer als jene der roten und gelben.

Die Lage der empfindlichen Platte muß der Lage und Krümmung der Brennfläche der Quarzlinsen angepaßt werden.

Bei dem vom Verfasser verwendeten Apparat beträgt die Schiefstellung der Platte ungefähr 25 Grad, d. i. der Winkel, den die Platte mit der Linsenachse einschließt. Durch diese Schiefstellung der Platte wird das Spektrumbild um das Zweieinhalbfache verlängert.

Es wächst somit scheinbar die Dispersion [wie bereits Schumann[2]) aufmerksam macht], aber freilich auch das Verhältnis der Breite der Spektrumlinien. Es ist diese Längenzunahme des Spektrums, in Anbetracht der schwachen Dispersion des Quarzes, ein namhafter Vorteil,

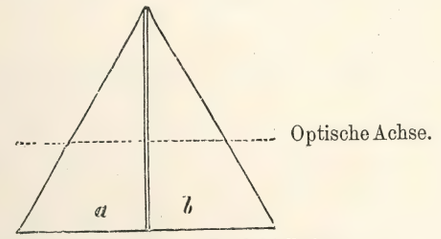


Fig. 32. Cornusches zweiteiliges Bergkristallprisma.
a rechtsdrehender Quarz. — *b* linksdrehender Quarz.

und da sie lediglich aus der Chromasie der Kameralinse resultiert, so ist die einfach chromatische Quarzlinse einem achromatischen Quarz-Flußspatobjektiv in diesem Fall entschieden vorzuziehen.

Das Plattenformat für die Spektrumphotographien im Quarzspektrographen des Verfassers ist 30 cm Länge und 8 cm Breite.

Durch Anwendung des Lockyerschen Spaltes mit Riegeln lassen sich bei ungeänderter Lage der photographischen Platte fünf Spektrumaufnahmen übereinander machen. Die Kassette kann 4—5mal verschoben werden, so daß auf eine Platte 4—5 Aufnahmen mit voller

1) Cornu empfahl Achromate aus Quarz und reinem Flußspat (Cornu, Darstellung des photographischen Spektrums von Violett bis zur Linie Nr. 32 des Aluminium auf derselben Platte. Eders Jahrbuch für Photographie für 1889, S. 267). Jedoch sind solche Achromate kaum mehr erhältlich und auch überflüssig. — Die Kombination von Quarz- und Kalkspatlinsen zur Herstellung von Achromaten für Ultraviolett bietet keine Vorteile (V. Schumann).

2) Eders Jahrbuch für Photographie für 1889, S. 233.

Spaltbreite, oder 20—25 Aufnahmen mit partiell geöffneter Spalte sich machen lassen.

Selbstverständlich ist die Dispersion des Quarzspektrographen in optisch hellem (sichtbarem) Spektrum gering.

Die Ausdehnung des Spektrums von der gelben Na-Linie (D) bis zum Ende des Violett (Linie H des Sonnenspektrums) beträgt $3^1/_2$ cm, dagegen ist die Länge des ultravioletten Spektrums H ($\lambda = 3968$) bis zur Kadmiumlinie (λ 2147) = 20 cm.

Schon Crookes verwendete 1854 und 1856 bei seinen photographischen Untersuchungen über das Sonnenspektrum eine Quarzlinse und zwei Quarzprismen (Poggend. Ann. Bd. 97, S. 616). Auch Müller (Pogg. Ann. Bd. 97, S. 616) arbeitete mit Quarzprismen. Hughins beschäftigte sich seit 1876 mit der Photographie der Sternspektra und erzeugte selbe mittels eines Prismas aus isländischem Kalkspat und zwei Quarzlinsen (Compt. rend. Bd. 91, S. 70. Naturforscher 1880, Bd. 13, S. 89). Cornu nahm 1878 das ultraviolette Sonnenspektrum mit einem Quarzspektroskop auf (Beibl. Annal. Phys. Chem. 1878, S. 339). Gegenwärtig sind die Quarzspektrographen sehr verbreitet.

Ein einfaches senkrecht zur Achse geschnittenes Quarzprisma gibt die Linien des Spektrums doppelt, trotzdem die Strahlen den theoretisch richtigen Gang haben (Schumann). Das Übel, welches eine Folge der Doppelbrechung ist, kann nach Cornus Methode durch Kombinieren eines rechts- und eines linksdrehenden Prismas beseitigt werden (s. o.). Schumann fand keinen Unterschied zwischen bikonvexen und plankonvexen Linsen im Spektrographen, während Cornu plankonvexe vorschreibt. Die Linsen aus Quarz verlangen eine ganz bedeutende Schiefstellung der Platte zur Rohrachse der Kamera, nämlich 22 bis 25 Grad. Über die Konstruktion von Quarzspektrographen s. Eder, Denkschriften d. Kais. Akad. d. Wissensch. Wien, 1890; auch Eder und Valenta, Beiträge zur Photochemie und Spektralanalyse 1904, Teil I, S. 5. Insbesondere s. Schumann, Sitzungsber. d. Kais. Akad. d. Wissensch. Wien, Mathem.-naturwissensch. Kl, 1893, Bd. 102; Eders Jahrb. f. Phot. 1890, S. 158; 1891, S. 217; C. Leiß, Zeitschr. f. Instrumentenkunde, Nov. 1897.

Der Einfluß der Substanz des Prismas auf die Ausdehnung des Spektrums, sowie die Lage des Maximums der Wirkung auf Bromsilbergelatineplatten geht aus Fig. 33 deutlich hervor. Dieselbe zeichnete der Verfasser nach den von Schumann in Leipzig mit großer Sorgfalt hergestellten und vergleichenden Aufnahmen mittels eines Spektrographen mit Quarz-Kalkspatlinsen und verschiedenen Prismen von 60 Grad.

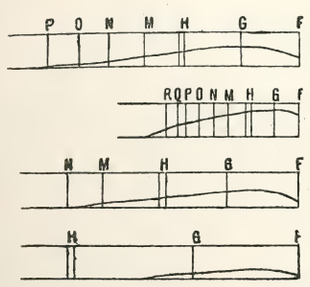
Die Länge der Spektren und der Abstand der Fraunhoferschen Linien in Fig. 33 zeigt die Verschiedenheit der Dispersion von Prismen aus Quarz, Kalkspat, Schwerflint- und Leichtflintglas. Die Erhebung der Kurve repräsentiert die Intensität des photographischen Bildes und die Lage der Maximalwirkung auf Bromsilbergelatine.

Mittels des Quarzprismas erhält man ein Sonnenspektrum bis über R im Ultraviolett (nach Cornus Benennung); mit Kalkspat erstreckt sich bei gleicher Belichtung die Wirkung nicht so weit ins Ultraviolett, nämlich bis über P; mit Schwerflintglas reicht die Wirkung

nicht einmal bis zur Grenze des sichtbaren Violett, nämlich bis zur Hälfte der Distanz von H bis G; mit Leichtflintglas dagegen bis gegen N im Ultraviolett. Das Maximum der Wirkung lag bei Quarz und Kalkspat weiter gegen G, bei Glas mehr gegen F zu.

Für die photochemischen Laboratoriumsarbeiten erscheint am besten die Verwendung eines Quarzspektrographen mit einem sogen. Cornuschen Doppelprisma; die Einstellung des Apparates wird in der Regel so vorgenommen, daß das gesamte sichtbare Spektrum vom sichtbaren Teile bis zum brechbarsten Ultraviolett auf einer Platte mit befriedigender Schärfe photographiert wird.

Mit derartigen Quarzspektrographen erhält man Spektrumbilder von $\lambda = 7600$ (Rot) bis $\lambda = 1988$ (Aluminium Nr. 30) mit vollkommen scharfer Definition, welche das Ausmessen mit größter Genauigkeit



Prisma aus Kalkspat
„ „ Quarz.
„ „ leichtem Flintglas.
„ „ schwerem Flintglas.

Fig. 33.

Wirkung des mittels verschiedener Prismen erzeugten Sonnenspektrums auf Bromsilbergelatine.

gestatteten; bei längerer Belichtung kann man bis zur Aluminiumfunkenlinie λ 1854 vordringen.

Fig. 2 auf Tafel III zeigt die Aufnahme des Sonnenspektrums auf einer panchromatischen Bromsilbergelatineplatte mit dem Quarzspektrographen des Verfassers. Man kann den Verlauf des Spektrums von Rot bis ins Ultraviolett (Fraunhofersche Linie A bis R) verfolgen.

Der Verfasser photographierte mit einem solchen Apparat wiederholt ultraviolette Spektren mit vorzüglicher Definition und publizierte sie in den Schriften der Wiener kaiserlichen Akademie der Wissenschaften; ferner enthält der „Atlas typischer Spektren“ von Eder und Valenta (1911) viele Flammen-, Funken- und Bogenspektren der meisten Elemente in heliographischer Abbildung.

Einer dieser Apparate ist von Schumann konstruiert (mit Bergkristallinsen von 75 cm Fokus), ein anderer von Gothard nach den

Angaben des Verfassers mit Bergkristallinsen von 1 m Fokus; seine äußere Form entspricht ungefähr der in Fig. 34 abgebildeten.

Fig. 34 zeigt den vom Verfasser benutzten[1]) Schumannschen Quarzspektrographen mit einem Cornuschen Doppelprisma (bei *e*), Quarzlinsen (bei *d*, *f*), Holzkamera (*g*) und schräg gestellter Kassette (*h*) und Quarzkondensor (vor der Spalte bei *a*). Der große Quarzspektrograph des Verfassers mit Linsen von 1 m Fokus besitzt eine ähnliche Konstruktion und ein ähnliches Aussehen wie der in Fig. 25 abgebildete Glasspektrograph des Verfassers. Auch der Quarzspektrograph enthält Vorrichtungen zum Drehen des Prismas, zum Einstellen von Kollimator- und Kameraobjektiven, eine Balgkamera und eine verstellbare und verschieden stark schräg zu stellende Kassette.

Die Tafel VI zeigt die Aufnahmen des Sonnenspektrums mit dem großen Quarzspektrographen des Verfassers. In Fig. 1 kann man den

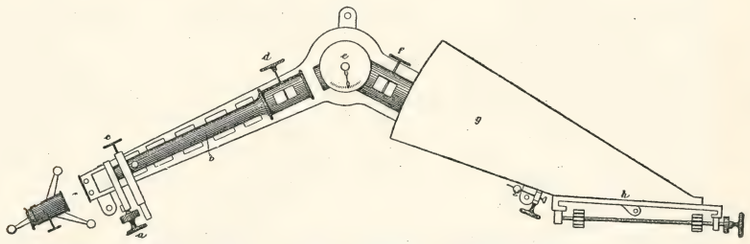


Fig. 34. Quarzspektrograph mit einem Cornuprisma, schräger Kassette und Holzkamera.

Verlauf des Sonnenspektrums von Rot bis zur ultravioletten Fraunhoferschen Linie *S* verfolgen; und zwar beträgt die Länge dieser Spektralzone zirka 11 cm. Während Fig. 1 auf einer panchromatischen, mit einem Gemisch von Pinacyanol und Orthochrom sensibilisierten Trockenplatte photographiert wurde, zeigt die Fig. 2 die Photographie des Sonnenspektrums auf einer gewöhnlichen Bromsilbergelatine-Trockenplatte, wobei sich die Wirkung von Blaugrün bis ins Ultraviolett erstreckt. Fig. 3 zeigt dasselbe Spektrum nach Vorschalten einer gewöhnlichen Glasplatte vor den Spalt des Spektrographen, wobei die Absorption des äußeren Ultraviolett durch das Glas ersichtlich ist.

Steinheil verwendet bei seinem (in Fig. 35 abgebildeten) Quarzspektrographen Linsen von nur 40 cm Brennweite und ein Cornuprisma. Die Möglichkeit, sowohl das Prisma als die Brennweite zu bewegen und die Kassette zu neigen, gestatten ein scharfes Einstellen.

1) S. Eders Jahrbuch f. Phot. 1895, S. 421. Eder und Valenta, Beiträge zur Photochemie und Spektralanalyse 1904, S. 5.

Der in Fig. 36 abgebildete Quarzspektrograph von Adam Hilger in London ist einfacherer Konstruktion. Er besitzt ein Cornuprisma und Quarzlinsen von ungefähr 60 cm Fokus und liefert eine Spektrumphotographie von Rot bis Ultraviolett $\lambda = 210\ \mu\mu$ bei einer Länge von etwa 19 cm.

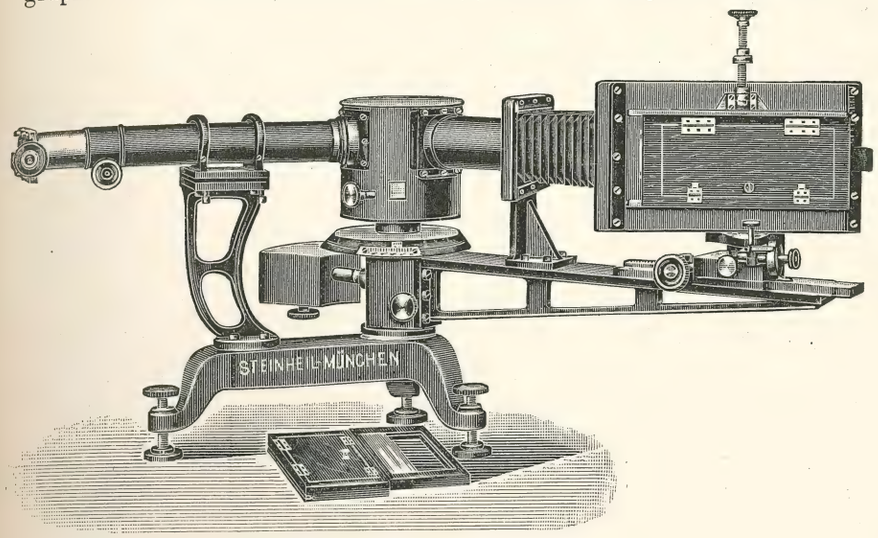


Fig. 35. Steinheils Quarzspektrograph.

R. Fueß in Steglitz bei Berlin erzeugt Quarzspektrographen nach Schumann in mehreren Modellen.[1]) Das kleine Modell besitzt Quarzlinsen von 15 cm Fokus (für Na-Licht). Das Spektrum findet

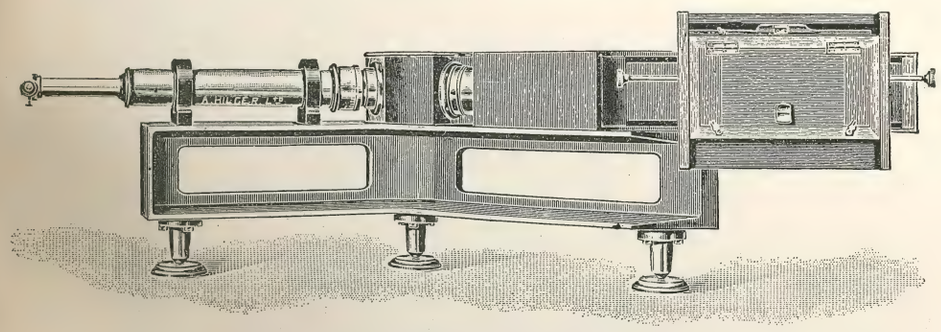


Fig. 36. Quarzspektrograph von Adam Hilger in London.

im Gebiete von $480\ \mu\mu$ bis $185\ \mu\mu$ auf einer 9 cm breiten Platte Platz. Fig. 37 zeigt die Außenansicht. Die sehr geringe Dispersion gestattet

1) S. C. Leiß, Zeitschr. f. Instrumentenkunde, Nov. 1897.

nur die Verwendung zu Spezialzwecken, bei welchen große Lichtstärke, aber geringe Definition verlangt wird. Tafel VI zeigt die Reproduktion dieser sehr kurzen Spektren, welche man mit der wohldefinierten

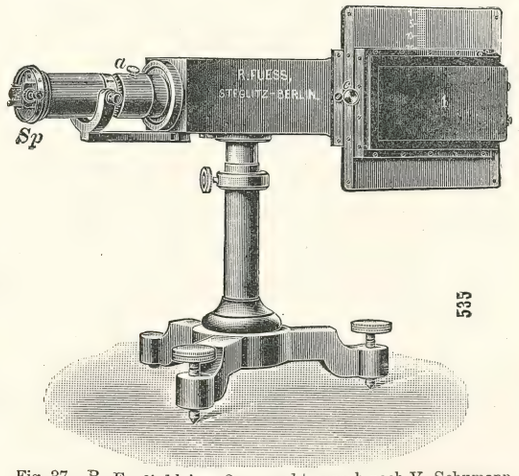


Fig. 37. R. Fueß' kleiner Quarzspektrograph nach V. Schumann.

Spektrumphotographie derselben Metallspektren größerer Dispersion in Tafel III vergleichen möge. Der Verfasser empfiehlt für bessere Definition Quarzspektrographen, deren Linsen mindestens 60 cm und nicht über 100 cm besitzen.

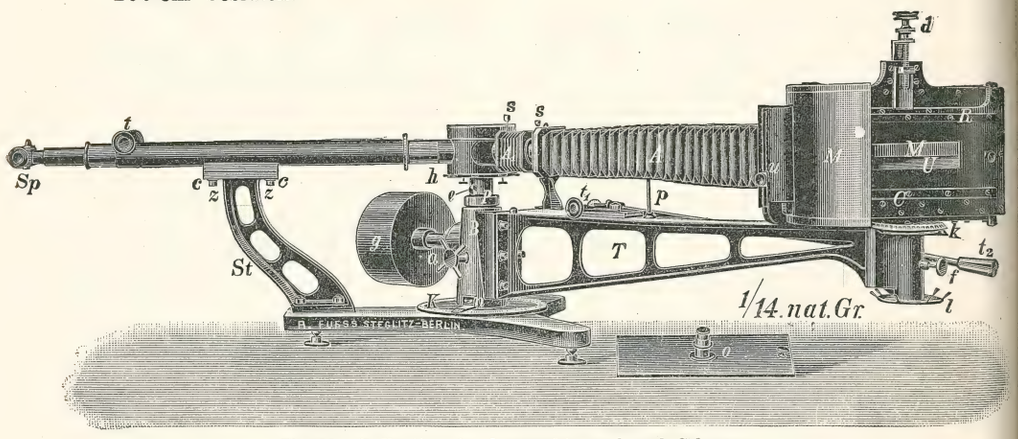


Fig. 38. R. Fueß' großer Quarzspektrograph nach Schumann.

Größere Spektralphotographien, welche namentlich im brechbareren Ultraviolett große Ausdehnung besitzen, liefert der Fueßsche große Quarzspektrograph nach Schumann (Fig. 38).

Die Brennweite der Objektivlinsen beträgt bei diesem Modell 800 mm für gelbes Natriumlicht. — Der Kollimator trägt bei *Sp* einen Spalt mit Stahlschneiden, am anderen Ende die Quarzlinse. Die Trommel bei *h* enthält das Cornusche Prisma. Die Visierscheibe der Kassette *R* ist zur Hälfte aus Mattglas und Uranglas zusammengesetzt, um sowohl den roten als auch den ultravioletten Teil einstellen zu können. Der aus Aluminium gefertigte Träger *T* der Kamera ist um eine lange konische Achse drehbar und fixierbar; das gesamte Gewicht des Trägers usw. ist in geeigneter Weise durch das Gewicht *g* entlastet, so daß die Drehung spielend leicht erfolgt. Die Stellung der Kamera- und der Kollimatorachse sind direkt an dem Teilkreis *K* und dem Nonius *n* bis auf 5′ abzulesen. — Der von einer abnehmbaren Ver-

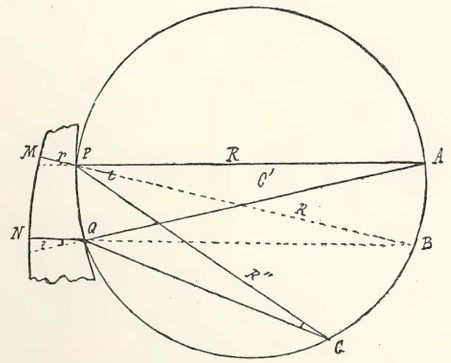


Fig. 39. Férys Spektrograph mit versilberter, gekrümmter, reflektierender Prismenfläche.

dunklungskammer umgebene justierbare Prismatisch kann selbständig um eine Achse gedreht und fixiert werden. — Der Spaltschlitten besitzt zu seiner Fokusierung eine lange, durch Zahn und Trieb zu bewegende und mit Teilung versehene Auszugsröhre. Die Backen des Spaltes sind aus hartem Stahl gefertigt. An der Trommel der Mikrometerschraube ist das $^1/_{1000}$-mm ablesbar. Die größte verfügbare Spaltlänge beträgt 15 mm. — Das Kameraobjektiv ist durch seine sehr ausgiebige exakte Schlittenführung beweglich. Die Bewegung erfolgt entweder direkt mittels des Knopfes t^1 oder mit Hilfe des Griffes t^2. Zwei Anschlußbälge stellen die lichtdichte Verbindung zwischen Prismagehäuse und Objektiv einerseits und zwischen Objektiv und Kassettenteil andrerseits her. Der Balg A^1 ist leicht ausschaltbar behufs Justierung des Apparates usw. — Die Regelung der Belichtungszeiten erfolgt mit den Knöpfen *u*, mittels derer man eine Lichtklappe schließt und öffnet.

P. Lewis beschreibt einen Quarzspektrographen mit zwei Cornu-Prismen und Linsen von 1 m Brennweite (Astrophysik. Journ. 1906, Bd. 23, S. 390; Beibl. Annal. Phys. 1906, S. 1137).

Einen neuen Spektrographen mit gekrümmter, versilberter Reflexionsfläche aus Quarz (Fig. 39) konstruierte C. Féry (Compt. rend., 24. Februar 1910; Eders Jahrb. f. Phot. 1910, S. 360). In Fig. 39 ist A das Zentrum der Krümmung der Prismenfläche PQ; wird bei C ein Spalt angebracht, so fallen die Strahlen nach P und Q und haben den gleichen Brechungswinkel bei r. Die Strahlen PM und QN schneiden sich in ihrer Verlängerung bei B; dieser Punkt ist der Krümmungsmittelpunkt der zweiten Prismenfläche. Nach der Reflexion des durch den Spalt einfallenden Strahles an der versilberten Fläche MN werden die Strahlen neuerdings bei P und Q gebrochen, und man erhält ein Spektrum nächst C, welches sehr scharf und lichtstark ist. Féry übersandte dem Verfasser einige vortrefflich scharfe Spektrumphotographien, welche mit diesem Apparate gewonnen worden waren.

Stanley verwendet ein einfaches Bergkristallprisma, läßt die durch das Prisma gegangenen Strahlen senkrecht auf einen polierten Metallspiegel fallen und dann in sich selbst reflektieren (nach Art der Autokollimationsmethode, S. 40). Dadurch wird derjenige Strahl, der auf dem Hinwege der ordentliche polarisierte Strahl war, auf dem Rückwege zum außerordentlichen und umgekehrt. Dadurch wird die Verdopplung der Spektrallinien ganz ebenso vermieden, wie bei der Verwendung der Cornuschen Halbprismen aus rechts- und linksdrehendem Quarz und die Dispersion auf das Doppelte gesteigert. Die optische Achse muß parallel zur Basis des Prismas gehen (Astrophysic. Journal, 1910).

VIERTES KAPITEL.

PHOTOGRAPHIE DES ULTRAVIOLETT KÜRZESTER WELLENLÄNGE. — GITTERSPEKTROGRAPHEN.

Um im Ultraviolett in das Gebiet kürzester Wellenlänge einzudringen, muß man die Luft und die Gelatine oder Kollodium oder Eiweiß ausschalten, welche alle das brechbarste Ultraviolett stark absorbieren. Durch Anwendung eines luftleeren Spektrographen (Vakuumspektrographen) und bindemittelfreier photographischer Platten erforschte V. Schumann das bis dahin unbekannte Spektralgebiet kürzester ultravioletter Lichtstrahlen bis ca. λ 1000 Å.E. Man nennt dieses Gebiet dasjenige der „Schumannschen Strahlen“.

Gewöhnliche Quarzspektrographen und gewöhnliche photographische Platten, sowie das übliche Arbeiten an atmosphärischer Luft gestatten nicht das Vordringen in dieses Strahlengebiet und zwar aus folgenden Gründen:

Die atmosphärische Luft absorbiert die Strahlen des brechbarsten Ultraviolett in weit höherem Maße als früher angenommen wurde. Eine Luftschicht von 1 mm Dicke und 760 mm Druck scheint alles Licht jenseits der Wellenlänge 170 $\mu\mu$ zurückzuhalten. Unter den Luftbestandteilen wirkt am kräftigsten absorbierend der Sauerstoff[1]), dann die Kohlensäure. Dagegen ist Stickstoff viel durchlässiger; der in der Luft enthaltene Wasserdampf absorbiert sehr wenig brechbarstes Ultraviolett.

Der Wasserstoff ist für das brechbarste Ultraviolett leicht durchlässig.

Quarz ist zur Beobachtung der kleinsten Wellenlängen nicht geeignet. Ihm fehlt die nötige Durchlässigkeit. Besser ist farbloser Fluorit, eventuell Steinsalz (s. S. 44). Mittels des Vakuumspektrographen stellt V. Schumann fest, daß eine Quarzplatte von 0,5 mm Dicke schon alles Licht jenseits 150 $\mu\mu$ absorbiert, während weißer Flußspat bis 100 $\mu\mu$ viel durchlässiger als Quarz ist.

1) Nach Wartenberg absorbiert Sauerstoff das äußerste Ultraviolett bei 0° C von ca. 186 $\mu\mu$; beim Erhitzen bis auf 1800° C breitet sich die Absorption nach den längeren Wellen bis über 300 $\mu\mu$ aus (Physikal. Zeitschr. 1910, S. 1172).

Ein Gelatinehäutchen von 0,02 mm Dicke ist für ultraviolette Strahlen von kleinerer Wellenlänge als etwa $\lambda = 2300$ undurchlässig und selbst äußerst dünne Gelatinehäutchen von 0,00004 mm lassen die Strahlen bei λ 1854 nur wenig durch. Die Undurchlässigkeit der Gelatine ist ein Haupthindernis der Photographie etwa vorhandener, jenseits der Wellenlänge 1820 liegender Spektrumlinien mittels Bromsilbergelatine (Schumann).[1])

Der Vakuumspektrograph kommt nur dann zur vollen Wirksamkeit, wenn man bindemittelfreie Bromsilberplatten nach Schumann verwendet; unter Beibehaltung von Quarzprisma und der die brechbarsten Strahlen stark absorbierenden Gelatine der gewöhnlichen Gelatineplatten führen die Spektrumphotographien selbst in einem evakuierten Apparate nur bis zur Wellenlänge 1820. Benutzt man hingegen die Schumannschen bindemittelfreien Platten und wendet man nur Prisma und Linsen (Fokus 12 cm) aus weißem Flußspat an, so kann man das Spektrum bis zur kürzesten Wellenlänge von $\lambda = 1000$ verfolgen.

V. Schumann stellt seine ultraviolettempfindlichen „bindemittelfreien“ Bromsilberplatten durch Mischung von Silbernitrat mit Bromkalium und etwas Jodkalium in stark verdünnter Lösung mit nur 1 % Gelatinegehalt (bei Lichtabschluß) her. Diese Emulsion scheidet langsam einen äußerst feinen Niederschlag von Bromsilber (resp. Bromjodsilber) aus, welchen man auf horizontale Glasplatten (welche zuvor mit einer Gelatineschicht überzogen wurden) absetzen läßt, wobei sich ein gut deckender lichtempfindlicher Überzug auf der Platte ablagert und auf der gelatinierten Glasplatte haftet.[2]) Diese Platte ist besonders für Ultraviolett von Wellen unter λ 2200 zu empfehlen.

A. Miethe fand, daß wirklich bindemittelfreie Bromsilberschichten sich für das Ultraviolett als nahezu unempfindlich erwiesen; läßt man aber solche Schichten auf einer Platte absetzen, die mit einem organischen Kolloid (Gelatine) überzogen ist, so steigt die Empfindlichkeit sehr bedeutend an. Es sei denkbar, daß die Aufnahme der kurzwelligen Strahlen durch eine Fluoreszenz des Kolloids ermöglicht werde (Phot. Korresp. 1909, S. 447; Eders Jahrb. f. Phot. 1910, S. 486).

Über die Photographie des Ultraviolett kleinster Wellenlänge mittels bindemittelfreien Bromsilbers durch Schumann s. Eders Photochemie, Bd. I, 2. Teil 3. Aufl., 1906, S. 6 und 250 von Eders Ausführl. Handb. d. Phot., ferner Bd. III, 5. Aufl., S. 22. — Ferner Kayser, Handb. d. Spektroskopie.

1) Jahrb. f. Photogr. 1891, S. 222.

2) Nähere Details s. V. Schumann, Sitzungsber. d. Kais. Akad. d. Wissensch. Wien 1893, Bd. 102, IIa, S. 994. — Kayser, Spektroskopie I, S. 621.

Der Vakuumspektrograph von V. Schumann wird von R. Fueß in Steglitz bei Berlin auf Grund der Schumannschen Angaben[1]) ausgeführt und die genauen Konstruktionsdetails sind von C. Leiß gegeben (Zeitschr. f. Instrumentenkunde, Dez. 1897).

Fig. 40 zeigt diesen Vakuumspektrographen. Der optische Teil des Apparates besteht aus zwei Fluoritlinsen von 120 mm Brennweite und einem Fluoritprisma von 70° brechendem Winkel. Das Plattenformat ist $12{,}5 \times 37$ mm.

Die Büchse B enthält das Prisma, D ist das Kamerarohr, C das Spaltrohr, ihre Achsen sind in verschiedene Winkel verstellbar und der

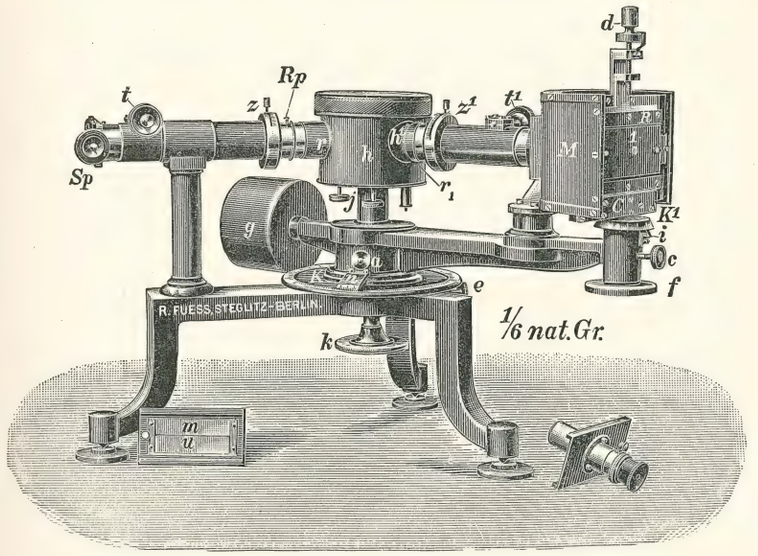


Fig. 40. Schumanns Vakuumspektrograph.

Index a gestattet die Ablesung des Winkels an der Kreisteilung b. Der Spalt bei G ist mittels der Schraube n verstellbar. Alle Teile schließen hermetisch, so daß mittels einer Luftpumpe die Luft ganz aus dem Apparate ausgepumpt werden kann. (Nähere Details s. C. Leiß, Zeitschr. f. Instrumentenkunde 1897, 17. Jahrg., S. 357.)

V. Schumann bestimmte die Wellenlänge der brechbarsten ultravioletten Linien des Spektrums des Wasserstoffs und anderer Elemente mit seinem Vakuumspektrographen, der ein Meisterwerk genialer Konstruktion und präziser Forschungsresultate ist.

1) Vgl. Schumann, Sitzungsber. d. Kais. Akad. d. Wissensch. Wien 1893 (mit genauen Zeichnungen).

Später konstruierte H. Kayser einen Vakuumspektrographen mit Gitter und Verschlußplatten von Fluorit (Kayser, Handb. d. Spektroskopie 1900, I, S. 635).

C. Runge[1]) bestimmte 1895 in einem solchen Vakuumspektrographen mit Rowlandschem Konkavgitter die Wellenlänge der brechbarsten Aluminiumlinien, welche allerdings später Eder u. Valenta[2]) auch mittels des Quarzspektrographen maßen.

Lyman maß die Wellenlängen des Wasserstoffspektrums im Gebiete der Schumannschen Strahlen bis λ 1200, und auch über Metallspektren kürzester Wellenlänge liegen mehrfach Untersuchungen vor.

Diese Spezialapparate kommen für gewöhnliche photographische oder spektralanalytische Untersuchungen nicht in Betracht und sind sehr schwierig zu handhaben. Sie beanspruchen kein praktisches, aber um so höheres theoretisches Interesse.

Das Diffraktionsspektrum und der Gitterspektrograph.

Das sogen. Beugungsspektrum (Fig. 41) (Gitterspektrum, Diffraktionsspektrum) erlangte in neuerer Zeit große Wichtigkeit. Es entsteht, indem das Licht durch ein Gitter fällt, welches aus zahlreichen auf Glas oder Metall geritzten Linien besteht. Das Beugungsspektrum hat vor dem

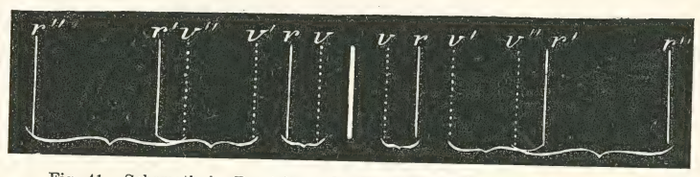


Fig. 41. Schematische Darstellung der Erscheinungen im Beugungsspektrum.

Brechungsspektrum (mittels des Prismas) den Vorzug, daß die Ablenkung der Strahlen der Wellenlänge proportional ist; das ist ein wesentlicher Unterschied von dem Brechungsspektrum, in dem die stärker brechbaren Strahlen eine verhältnismäßig viel stärkere Ablenkung erfahren, als die schwächer brechbaren, so daß das blaue Ende des Spektrums gegenüber dem roten ungewöhnlich in die Breite gezogen erscheint. Wenn auf ein Gitter paralleles weißes Licht aus einer Spalte fällt, welches mit Hilfe einer achromatischen Linse wieder vereinigt ist, so sieht man senkrecht im Gitter ein unabgelenktes weißes Bild der Spalte; rechts und links liegen eine Reihe von Spektren, deren Helligkeit in der

1) Astrophysic. Journal 1895, I, S. 433.

2) Eder u. Valenta, Normalspektren einiger Elemente im äußersten Ultraviolett. Denkschriften der Kais. Akad. Wissensch. Wien, Juli 1899.

Regel mit ihrer zunehmenden Länge abnimmt und zwar um so mehr, je größer die Ablenkung ist. Diese Spektra werden als erster, zweiter, dritter usw. Ordnung bezeichnet. Das Violett (v) dieser Spektren liegt dem unabgelenkten weißen Spaltbilde näher als das Rot (r) (s. Fig. 41). Zunächst erscheinen rechts und links von der Mitte des Gesichtsfeldes die beiden Spektren erster Ordnung, dann die Spektren höherer Ordnung, bei welchen dann die Farben der weiter abstehenden Spektren in das Nachbarspektrum übergreifen, so daß sich die Farben vermischen, wie in Fig. 41 ($r'v''$) angedeutet ist.

Die Helligkeit der Spektren verschiedener Ordnung ist aber praktisch bei den einzelnen Gittern sehr individuell variabel. Verfasser arbeitet mit einem kleinen Konkavgitter, bei welchem das Spektrum zweiter Ordnung im blauen Bezirke viel heller als das erster Ordnung ist; auch das Spektrum dritter und vierter Ordnung ist hell.

In Fig. 41a ist das Spektrum 1. Ordnung in seiner relativen Länge gegenüber den Spektren 2., 3. Ordnung usw. gezeichnet und überdies sind die Fraunhoferschen Linien des Sonnenspektrums eingetragen. Wie man sieht, kann man das Spektrum 1. Ordnung von Ultraviolett bis zur Fraunhoferschen Linie H photographieren, ohne die Beimischung der Linien 2. Ordnung fürchten zu müssen. Im Violett (λ 400 $\mu\mu$) mischt sich das Ultraviolett 2. Ordnung (λ 200 $\mu\mu$); im Rot das Ultraviolett 2. Ordnung von λ 300 $\mu\mu$ usw., kurz Licht halber

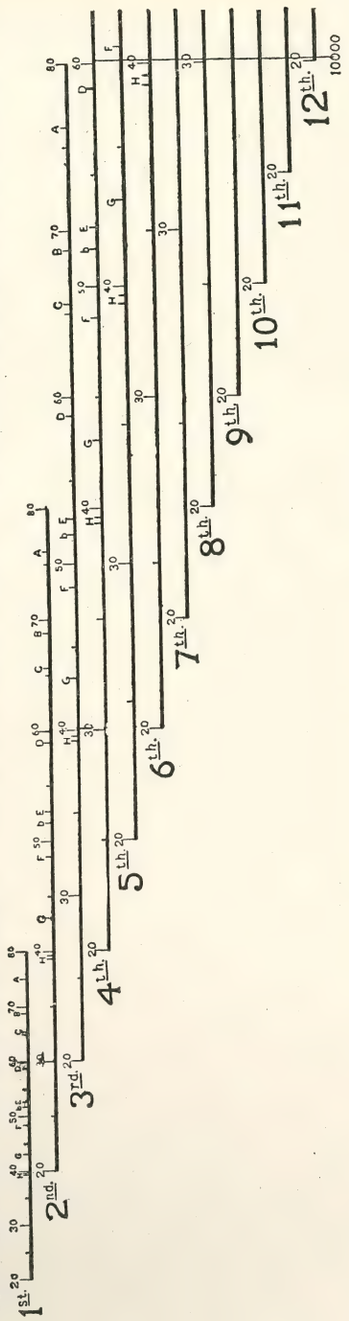


Fig. 41a. Übereinanderlagerung der Beugungsspektren verschiedener Ordnung.

Wellenlänge der 2. Ordnung fällt in das Spektrum 1. Ordnung. Es genügt Vorschalten weißen Fensterglases, um Licht bis etwa λ 300 $\mu\mu$ zu absorbieren, wodurch die Spektren 2. Ordnung vom Gelb 1. Ordnung ferngehalten werden; grünliches Fensterglas in 1 mm Dicke absorbiert bis etwa λ 320; Aeskulinlösung absorbiert bis zu Beginn des Violett. Um das grüne bis rote Spektrum 1. Ordnung frei von Ultraviolett 2. Ordnung zu erhalten, muß man gelbe Gläser (am besten Glaswannen mit gesättigter Kaliumbichromatlösung in einer Schichtdicke von 1 cm) benutzen.

Es war Fraunhofer, der zuerst zu Anfang dieses Jahrhunderts darauf aufmerksam machte, daß Licht, wenn es durch eine Anzahl sehr enger, dicht nebeneinander befindlicher Spalte gegangen, ebenso zu einem Spektrum ausgebreitet wird, wie wenn es durch Prismen gegangen. Eine Reihe solcher Spalten nennt man nun ein optisches oder ein Diffraktionsgitter. Fraunhofer stellte sich die ersten Gitter her, indem er feine Drähte parallel nebeneinander ausspannte, die Zwischenräume bildeten die Spalte. Später benutzte er berußte Glasplatten und zog mit der Teilmaschine Linien in den Ruß, wodurch dieser weggewischt und so spaltförmige durchsichtige Öffnungen geschaffen wurden.

Nun zeigt die Theorie, daß die Spektren desto länger und desto besser werden, je enger die Spalten nebeneinander liegen, d. h. je mehr Linien pro Millimeter gezogen sind, und je genauer gleich die Abstände zwischen je zwei Spalten sind; beides erfordert außerordentlich vorzügliche Teilmaschinen. Eine solche stellte sich zunächst der Mechaniker Nobert in Barth in Pommern her; er überzog Glasplatten mit Silber und zog in dieses die Ritzen hinein. Es gelang ihm so bis zu 300 Linien pro Millimeter zu ziehen, und die Nobertschen Gitter waren in der ganzen Welt berühmt. Weiter ergab dann Theorie und Versuch, daß dieselbe Wirkung, ein Spektrum hervorzubringen, auch durch eine unbelegte Glasplatte hervorgebracht werde, in welche mit feinster Diamantspitze parallele Linien eingeritzt sind; auch in dieser Weise stellte Nobert Gitter her.

Ein weiterer Fortschritt ließ sich durch noch vollkommenere Teilmaschinen erreichen. Das Vollkommenste hat der Amerikaner Prof. Rowland erreicht, welcher auf Spiegelmetall 600 bis 800 Linien pro Millimeter ritzte und eine große Fläche teilte, so daß diese Gitter eine große auflösende Kraft zeigen. Diese neueren Gitter werden meist nicht auf Glas hergestellt, bei welchem das zerlegende Licht durch sie hindurchgeht, sondern auf Spiegelmetall; dann wird das reflektierte Licht zu einem Spektrum ausgebreitet.

Noch eine andere sehr wichtige Förderung der Spektralphotographie verdankt man Rowland. Während früher die Gitterteilung auf ebenen Platten hergestellt wurde — wobei dann hinter dem Gitter eine Linse aufzustellen ist, die das Bild des Spektrums entwirft, und eine Linse (von 1 m bis etwa 6 m Krümmungsradius) vor dem Gitter — hat Rowland die Teilung auf metallischen Hohlspiegeln im Kollimatorrohr angebracht. Diese Konkavgitter entwerfen selbst ein Bild, ähnlich wie jeder Hohlspiegel, so daß die Dazwischenkunft aller Linsen überflüssig wird, ein nicht zu unterschätzender Vorteil, da Glaslinsen viel Licht, vom äußersten Ultraviolett sogar alles, verschlucken.

Um eine Vorstellung von der gewaltigen auflösenden Kraft des Rowlandschen Gitters zu geben, sei erwähnt, daß die Dispersion eines entsprechend großen Gitters im Blau bei einem Spektrum dritter Ordnung = 10 Glasprismen von 60 Grad und im Rot sogar = 40 Glasprismen ist.

Genaueres über die Art der Aufstellung s. Kaysers Handbuch der Spektroskopie I. — Waterhouse, Eders Jahrb. f. Photogr. 1889. S. 284. — Eberhard, Zeitschr. f. Instrumentenkunde. Dez. 1905.

Solche Konkavgitter sind die wichtigsten Präzisions-Spektralapparate moderner wissenschaftlicher spektralanalytischer Forschung. Für technisch photographische Zwecke sind sie zu kostspielig und schwer erhältlich, weshalb sie wohl nur an größeren Laboratorien verwendet werden; an der k. k. Graphischen Lehr- und Versuchsanstalt in Wien benutzen Eder und Valenta für ihre spektralanalytisch-photographischen Untersuchungen ein kleines Rowlandsches Konkavgitter, sowie ein großes Instrument dieser Art (s. S. 67 und 69).

Nach dem Tode Rowlands sind solche Originalgitter selten geworden, die Fabrikation wurde eingestellt und erst 1906 wieder aufgenommen,[1]) und man hilft sich mit Abklatschgittern („Abdruck-Replika“[2]) nach planen metallischen Originalgittern. Solche Gitter werden z. B. auf Zelluloid nach der Thorpschen Methode abgeklatscht; auch Ives, Wallace u. a. stellen derartige Abklatsch-Beugungsgitter her (z. B. mit 600 Linien auf dem Millimeter). Diese durchsichtigen Abklatschgitter geben ein schönes Spektrum sowohl im reflektierten, noch besser aber im durchfallenden Lichte und sind viel wohlfeiler als Originalgitter. Man muß aber Linsen mit verwenden, weil sowohl das Spaltfernrohr (der Kollimator) als die photographische Kamera Sammellinsen besitzen müssen; man benutzt für photographisch-technische Zwecke (Prüfung von Platten, Lichtfiltern, Dunkelkammerscheiben)

1) Ames, Astrophysical Journal 1906, S. 348.
2) Vgl. Eders Jahrb. f. Photogr. 1906, S. 403.

hierzu in der Regel Glaslinsen und muß aufs äußere Ultraviolett verzichten. Überhaupt liefern diese Spektralapparate nicht die Präzision der Konkavgitter, sind aber als deren Ersatz sehr brauchbar. Die Oberfläche der Abklatschgitter ist sehr verletzlich.

Die Abklatschgitter, welche z. B. 14000 Linien auf den englischen Zoll haben, werden auf planparallele Spiegelplatten oder auch auf Prismen montiert, wie z. B. bei Hilgers Spektrometer mit Beugungsgitter, wo das Gitter auf einem rechtwinkligen Glasprisma, dessen Hypotenuse das Licht total reflektiert, montiert ist.

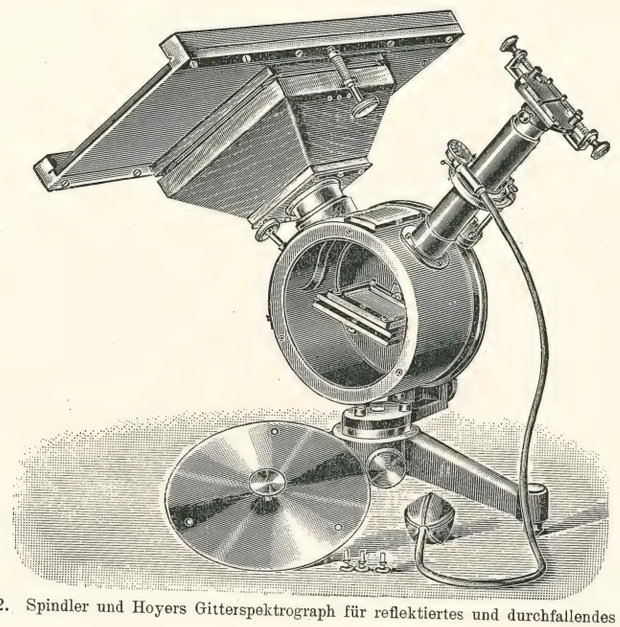


Fig. 42. Spindler und Hoyers Gitterspektrograph für reflektiertes und durchfallendes Licht.

Die Anordnung eines Gitterspektrographen mit Plangitter zeigt der Apparat von Spindler u. Hoyer in Göttingen, welche ihn nach Angaben von Gaylord in Buffalo ausführten. Ein Spaltfernrohr mit Sammellinse sendet das Licht auf ein Thorpsches Gitter (Zelluloidabguß eines Rowlandgitters auf Glas gekittet). Der Apparat ist ursprünglich für durchfallendes Licht gebaut und wird auch in der Regel so verwendet; das Gitter steht dann senkrecht zur Kollimatorachse, wobei die Glasseite dem Kollimator zugekehrt ist. Man kann ihn auch für reflektiertes Licht (als Spiegelgitter) verwenden, wobei er wohl lichtschwächer ist, aber die Glasabsorption des „Thorp-Transmissions-Diffraktionsgitters“ wegfällt. Dann wird der Apparat in der in Fig. 42

angegebenen Art aufgestellt. Man sieht im Innern das reflektierende Gitter; seitlich die photographische Kamera, welche ebenso wie der Kollimator mit Quarzlinsen ausgerüstet wird, wenn man den Einfluß der Absorption durch Glas vermeiden will.

Fig. 1 und 2 auf Tafel VII zeigen die Leistung des Spindler und Hoyerschen Spektrographen mit Abklatschgitter an einer Photographie des Sonnenspektrums; Fig. 1 ist die Spektrumphotographie auf einer orthochromatischen Platte (Erythrosinplatte) mit dem Sensibilisierungsmaximum im Gelbgrün; Fig. 2 zeigt die analoge Aufnahme auf gewöhnlichen Bromsilbergelatineplatten, welchen die Gelbgrünempfindlichkeit fehlt.

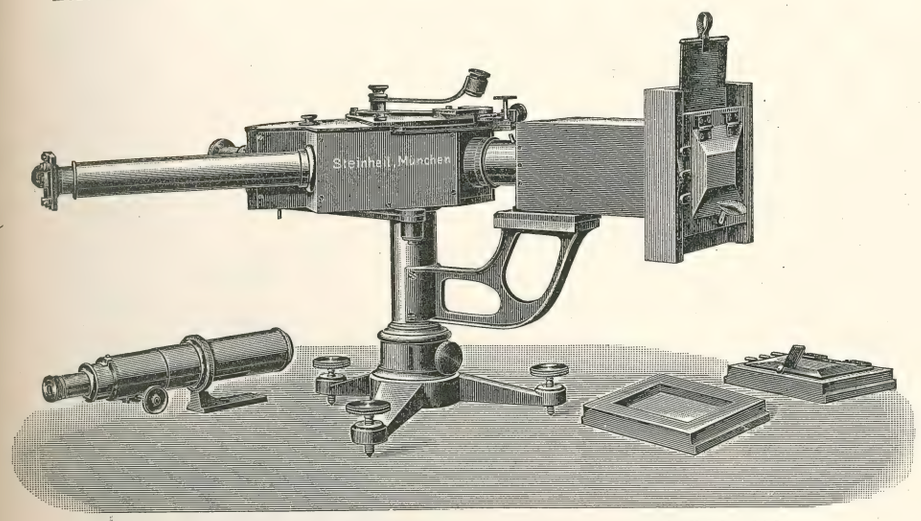


Fig. 43. Steinheils Gitterspektrograph mit Abklatschgitter für durchfallendes Licht.

Fig. 43 zeigt den universell verwendbaren Steinheilschen Gitter-Spektralapparat, bei welchem photographische Kamera und Beobachtungsfernrohr gegeneinander auswechselbar sind; Brennweite des Objektivs 24 cm, Plattenformat 9×12 cm. Die damit erhaltenen Spektrumphotographien sehen ähnlich aus wie die in den Fig. 1 und 2 auf Tafel VII abgebildeten Spektren.

Auch Krüß in Hamburg fertigt Gitterspektroskope und Gitterspektrographen an.

Einen Universalspektrographen für ein Glasprisma, ein bis drei Cornusche Quarzprismen und ein Plangitter konstruiert O. Töpfer in Potsdam nach Angaben A. Hagenbachs.[1])

1) Zeitschr. f. Instrumentenkunde, Dez. 1908.

Obwohl die Prismenspektrographen (mit Glasprismen, eventuell solchen à vision directe) ganz gut zur Prüfung der Farbenempfindlichkeit photographischer Platten, von Lichtfiltern usw. verwendet werden können, bevorzugt man jedoch häufig Abklatschgitter mit Glaslinsen, wobei die Leistungsfähigkeit im Ultraviolett partiell herabgesetzt oder ganz aufgehoben wird. Aber für praktische photographische Zwecke, bei welchen naturgemäß mit Glaslinsen gearbeitet wird, kommt dies nicht in Betracht.

Die einfachste Form eines kleinen Gitterspektrographen zur Prüfung der Farbenempfindlichkeit photographischer Platten usw. zeigt Fig. 44 (nach Chapman Jones)[1]. Vorne der Spalt, dann die Kollimatorsammellinse, das Abklatschgitter, worauf die photographische Linse (achromatische „Landschaftslinse“) folgt, welche das Spektrum 1. Ordnung auf die Platte wirft; der Apparat entspricht nur minderen Anforderungen der photographischen Technik.

Eine sehr einfache, für Reproduktionsanstalten genügende Form solcher „spektroskopischer Kameras“ (Spektrographen) stellte Tallent

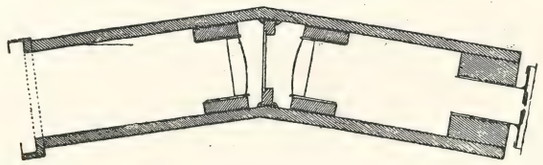


Fig. 44. Einfache Form eines Gitterspektrographen.

zusammen. Die Firma A. W. Penrose (London, 109 Farrington Road) bringt sie für den Preis von 75 bis 105 Mk. (bis zum Plattenformat (9 × 12) in den Handel. Fig. 44a zeigt „Tallents Spectroscopic Camera“. Das Abklatschgitter ist auf die Hypotenuse eines rechtwinkligen Glasprismas gekittet; es ist sehr verletzlich, nicht geschützt und darf höchstens mit einem Kamelhaarpinsel zart abgestaubt werden. Die Kondensorlinse A wirft die Strahlen der Lichtquelle, bei B können Lichtfilter eingeschaltet und festgeklemmt werden, D ist der Spalt des Spektrographen, E ist eine achromatische Sammellinse, in deren Fokus sich der Spalt befindet. Dann folgt das Gitter und wieder Linse G von längerem Fokus, welche die Strahlen auf die sensible Platte bei J entwirft, woselbst das Beugungsspektrum photographiert wird, eventuell mit einer Skala (Eders Jahrb. f. Phot. 1910, S. 359). Dieser Apparat entspricht mäßigen Anforderungen. Die Photographie des Sonnenspektrums damit zeigt Tafel VII.

1) Photogr. Journal 1909, S. 110.

Man darf nicht vergessen, daß bei Gittern dieser Art im gelben bis roten Spektralbezirke der 1. Ordnung sich Ultraviolett 2. Ordnung darüber lagert; somit muß bei Arbeiten im roten Ende des Spektrums (Plattenprüfungen, Untersuchungen von Sensibilisatoren usw.) ein gelbes Lichtfilter (Gelbscheibe, Flüssigkeitsfilter mit starker Kaliumbichromatlösung oder dergl.) vor den Spektralapparat eingeschaltet werden, um das Ultraviolett und Violett auszuschalten; ein Teil des Ultraviolett wird übrigens durch die Glaskörper derartiger Spektrographen absorbiert.

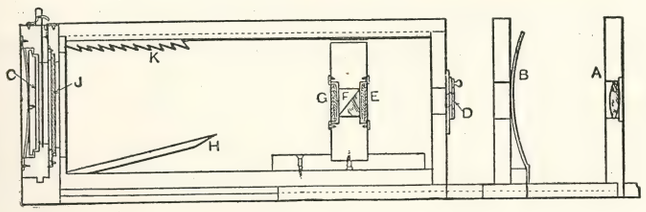


Fig. 44a.
Tallents Gitterspektrograph zur Prüfung der Farbenempfindlichkeit photographischer Platten.

Konkav-Gitterspektrographen.

Für Präzisionsarbeiten sind die größeren und viel kostspieligeren Rowlandschen Hohlspiegelgitter (Konkavgitter) besonders geeignet und repräsentieren die leistungsfähigsten Spektralapparate.

Nach der von Prof. Rowland aufgestellten Theorie des konkaven Gitters treten die Linien des durch das Bild eines schmalen Spaltes gebildeten Spektrums in einen Fokus, welcher von dem Gitter um die Länge des Krümmungsradius desselben entfernt ist; wenn daher der Spalt S (Fig. 45), die gegitterte Oberfläche G und das Okular oder die photographische Platte P auf der Peripherie eines Kreises $SPP'G$ bleiben, dessen Radien CG, CP, CP' und CS gleich dem halben Krümmungsradius PG des Gitters sind, so wird das Spektrum stets in P oder irgend einem anderen Punkte der Peripherie des Kreises, z. B. in P' im Fokus sein. Außerdem wird, wenn CP und CG eine gerade Linie bilden, die Fokuslinie senkrecht zu der Richtung des Lichtes sein und das Spektrum ist dann bei P normal, ohne Rücksicht auf die Stellung des Spaltes, vorausgesetzt nur, daß dieser sich auf dem Kreise befindet.

Bei Prof. Rowlands Anordnung, wie dieselbe in L. D. & E. Phil. Mag. 5. Serie, Vol. XVI, 1883, p. 203 beschrieben ist, ist der Spalt fest, und das Gitter und das Okular oder die photographische Platte sind an einer Stange PG befestigt, deren Enden und Lafetten liegen, welche

sich entlang den Schienen SGR' und SPR, die rechtwinklig zueinander liegen, bewegen (Fig. 45). Diese Anordnung ist äußerst einfach. Der Spalt bleibt an seiner Stelle und auch die Richtung des Lichtes bleibt unverändert, weil das Gitter und der Spalt sich immer auf derselben Linie SGR' befinden; außerdem kann das Objektiv oder die photographische Platte, wenn ein Maßstab mit gleichen Teilabschnitten, welche Wellenlinien darstellen, entlang der Linie SPG angebracht wird, sofort zur Beobachtung jedes beliebigen Teiles des Spektrums eingestellt werden. Weiter kann man, indem man Maßstäbe für jedes der übereinander gelegten Spektren längs derselben Linie anbringt, sofort sehen, welche Linien übereinander liegen, und die relative Wellenlänge der-

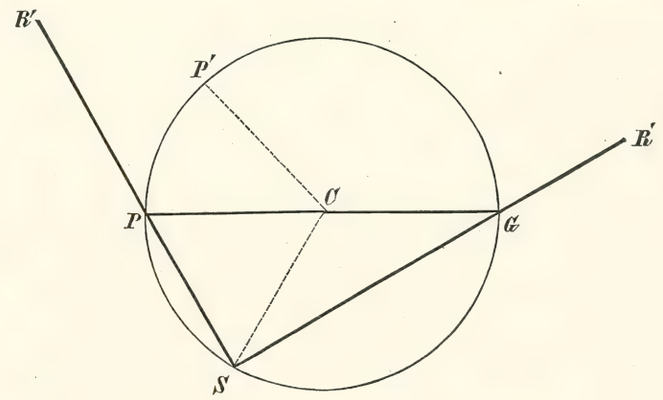


Fig. 45. Gitterspektrograph nach Rowlands Anordnung.

selben bestimmen, da die Gesamtheit der übereinanderliegenden Spektren sich im Fokus befindet.

Es ist außerdem klar, daß diese Anordnung sich auch sehr gut für Gitter mit verschiedener Fokallänge benutzen läßt, wenn nur die Schienen lang genug sind und die Kamera oder die Stange PG sich in der nötigen Weise ausziehen läßt. Dennoch erscheint diese Anordnung empfehlenswerter in einem dauernden spektroskopischen Observatorium oder Laboratorium, wo man den Apparat so ein für allemal in einem dunklen Zimmer fest aufstellen kann, als bei nur zeitweise ausgeführten Untersuchungen, wo der Raum beschränkt ist; ebenso ist sie zu schwerfällig, wenn es darauf ankommt, einen solchen Apparat in möglichst bequemer Weise auf der Reise mitzuführen.

Durch diese Umstände veranlaßt, hat Capt. Abney die von Professor Rowland angegebene Anordnung abgeändert.

Bei diesem Systeme befindet sich das Gitter G (Fig. 46) auf einer Laufschiene A, und zwar so, daß die Achse des Gitters längs der Mittellinie der Laufschiene liegt, welche in P auch die photographische Platte trägt, so daß die Entfernung PG gleich dem Krümmungsradius des Gitters ist, genau wie in Prof. Rowlands Anordnung. Um den Mittelpunkt C, welcher diesen Radius halbiert, ist eine zweite Laufschiene B drehbar und auf derselben ist im Punkte S, der von C dieselbe Entfernung wie P und G hat, abermals ein Zapfen angebracht, um welchen eine dritte Laufschiene D drehbar ist, welche den Spalt und sein Rohr T trägt. Der Spalt wird genau über den Punkt S gebracht und das Rohr T läßt sich auf diese Weise stets auf das in G befindliche Gitter richten, welchen Winkel auch die Schiene B gegen die Schiene A bildet; dabei sind, weil S sich auf dem Kreise bewegt, auf welchem auch das Gitter und die photographische Platte sich befinden, die Diffraktionsspektren stets im Fokus und der Maßstab des Spektrums ist unveränderlich. Zu bemerken ist, daß mit der Annäherung von S an G das Rohr T verkürzt werden muß.

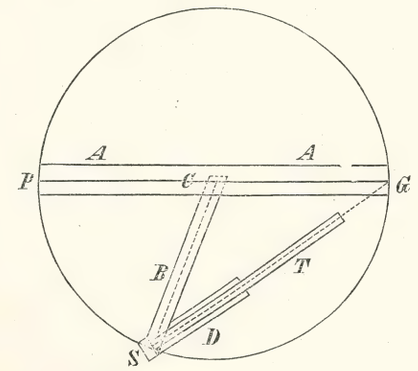


Fig. 46. Gitterspektrograph nach Abneys Anordnung.

Zwei vortreffliche Gitterspektrographen mit Konkavgitter benutzten Eder und Valenta für ihre spektralanalytischen Untersuchungen an der k. k. Graphischen Lehr- und Versuchsanstalt in Wien. Beide sind nach der Rowlandschen Aufstellung montiert und zwar lichtdicht, damit man im Bedarfsfalle im erleuchteten Zimmer arbeiten kann.

Der bei den Arbeiten Eders und Valentas an der k. k. Versuchsanstalt für Photographie und Reproduktionsverfahren in Verwendung stehende kleine Konkavgitterapparat ist in Fig. 47 schematisch abgebildet. Fig. 48 zeigt eine Ansicht des ganzen Apparates. Derselbe ist auf einem dreieckigen Tisch T, dessen Füße mit Stellschrauben versehen sind, montiert. Am rechten Winkel des dreieckigen Tisches ist ein kleines Tischchen angebracht, welches mit dem eigentlichen Tischgestelle fest durch massive Träger verbunden ist. Dasselbe hat die Bestimmung, die Quarzkondensorlinse C und den Funkengeber f aufzunehmen, und es sind die beiden Metallplatten P, P', auf denen diese Hilfsvorrichtungen aufgestellt werden, so eingerichtet, daß man mittels Zahnstange und Trieb, sowie eines Hookschen Schlüssels

vom Beobachtungsfernrohre aus imstande ist, den Funkengeber seitlich zu verschieben, während zwei Metallschienen, auf denen die beiden Platten sich in der Richtung der Achse des Kollimatorrohres r verschieben lassen, die Bewegung von Funkengeber und Kondensor bezüglich scharfer Einstellung der Lichtlinie auf den Spalt ermöglichen. Der Spalt am Kollimatorrohre ist ein hochpolierter Stahlspalt, welcher durch eine plangeschliffene Quarzplatte vor Staub geschützt wird. Das Kollimatorrohr ist fix an der einen Kathete des Tischgestelles montiert

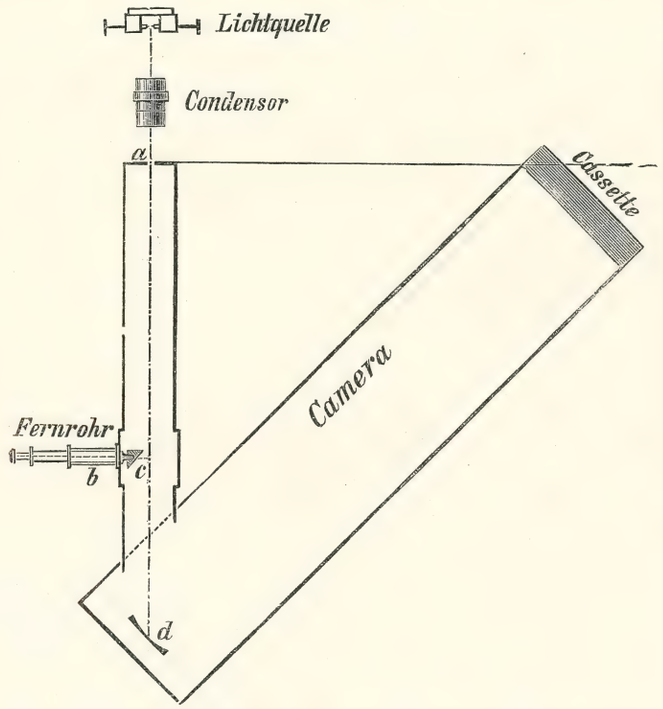


Fig. 47. Schematische Darstellung eines Gitterspektrographen mit Konkavspiegel.

und mit einem seitlich angebrachten Einstellfernrohr d (Fig. 48) versehen, welche Vorrichtung in der bereits früher bei Beschreibung des Quarzapparates[1]) geschilderten Weise eine bequeme Kontrolle der Einstellung gestattet, so daß man sofort erkennen kann, ob das einfallende Lichtbüschel den Spiegel voll trifft. Das Kollimatorrohr greift in eine schlitzförmige Öffnung der verstellbaren Kamera so ein, daß die Achse desselben bei jeder Verstellung der Kamera stets die Mitte des Gitters trifft.

1) J. M. Eder, Denkschriften der kais. Akad. d. Wiss. Bd. LVII, 1890.

Das in der Kamera (Fig. 48) bei d befindliche Konkavgitter ist ein Rowlandsches Gitter von 730 mm Brennweite. Es ist auf einem Tischchen derartig montiert, daß es mittels feiner Schrauben sich nach verschiedenen Richtungen verstellen läßt, ohne daß es hierbei eine Pressung erleiden würde. Man kann es ferner von außen mittels einer Mikrometerschraube (Fig. 48, S) in der Richtung der Kameraachse verschieben, was den Zweck hat, bei Verstellungen der Kamera die Lage des Gitters richtig zu stellen. Die Kamera K ist aus Mahagoniholz gefertigt und ruht auf beiden Katheten des Gestelles auf. Sie ist beiderseits auf Metallschienen beweglich und kann in jeder möglichen Stellung

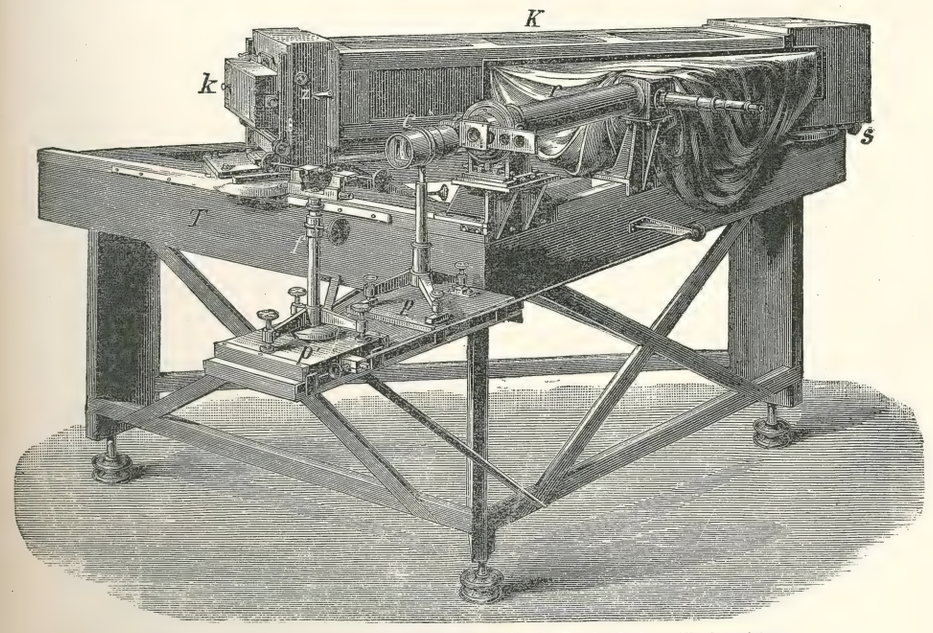


Fig. 48. Eder und Valentas Gitterspektrograph mit Rowlandschem Konkavgitter.

leicht fixiert werden. Die Kassette B befindet sich am anderen Ende der Kamera. Der Abschluß dieses Endes der Kamera gegen die Kassette besitzt einen Schlitz, hinter welchem sich eine mit einem schmäleren Schlitze versehene Metallplatte auf- und abwärts verschieben läßt. Die Gesamtbreite des fixen Spaltes beträgt 10 mm, jene des verschiebbaren Schlitzes 3 mm. Der verschiebbare Schlitz ist mittels Zahnstange und Trieb verstellbar, und ist die Einrichtung so getroffen, daß derselbe in drei Stellungen fixiert werden kann, welche zusammen der Breite des fixen Spaltes entsprechen. Da es wegen des großen Astigmatismus des Konkavgitters von kurzer Brennweite nicht günstig war, mit der

Lockyerschen Riegelvorrichtung am Spalte zu arbeiten, wurde diese Vorrichtung angebracht, mit deren Hilfe es leicht gelingt, drei verschiedene Spektren koïnzidierend übereinander zu photographieren, oder, was unter Umständen erwünscht sein dürfte, zwei Spektren so ineinander zu photographieren, daß nur ein Teil des Gesamtbildes die Linien beider Spektren enthält.

Die Bildfläche des Spektrums, welches mit Konkavgittern von so kurzem Fokus, wie das hier beschriebene Gitter ihn zeigt, erhalten wird, ist sehr stark gekrümmt; bei Verwendung der sonst gebräuchlichen photographischen Kassetten mit planen Platten würden daher nur kleine Spektralbezirke scharfe Linien geben. Da Eder und Valenta für ihre Versuche Bromsilbergelatineplatten von 30 cm Länge verwendeten, um größere Spektralbezirke in einem photographieren und messen zu können, so ergab sich die Unmöglichkeit, mit ebenen Platten zu arbeiten; diese mußten krumm gebogen werden. Auf die Vorteile der Verwendung gekrümmter Platten hat bereits Rowland hingewiesen.

Bei Konkavgittern von kurzer Brennweite macht das Biegen der photographischen Platten die größten Schwierigkeiten, da man selbst den dünnsten Plattensorten des Handels nicht einmal annähernd die richtige Krümmung erteilen kann. Diese Platten dürfen höchstens 1 mm Glasstärke besitzen, sie lassen sich wohl nicht ganz bis zur theoretisch richtigen Krümmung biegen, aber anstandslos bis zu einem Krümmungsradius von 1240 mm, was sich bezüglich der allgemeinen Schärfe der Linien als praktisch vollkommen genügend erwies. Solche Platten aus sehr dünnem, vorzüglich gekühltem Solinglase lieferte Schleußner aus seiner Trockenplattenfabrik in Frankfurt a. M. in bester Qualität.

Die von Eder und Valenta verwendete Kassette stellt ein Kästchen vor, welches im Inneren zwei der Krümmung der Platten entsprechend geformte Metallschienen enthält. Die empfindliche Platte wird auf diese Schienen von zwei an den Seiten angebrachten Metallstücken, welche mittels Schrauben von außen zu fixieren sind, niedergedrückt. Beim Biegen der Platten ist Vorsicht und langsames Niederdrücken der Platten auf die gekrümmten Schienen sehr am Platze, indem sonst ein nicht unbeträchtlicher Prozentsatz derselben bricht. Selbstverständlich nehmen die photographischen Platten wieder ihre ebene Lage ein, wenn die gewaltsame Krümmung aufgehoben ist. — Auch Zelluloidfilms können in solchen Fällen verwendet werden.[1])

Die Figuren 3 bis 5 auf Tafel VII zeigen ungefähr die Leistung dieses Apparates. Fig. 3 zeigt die Photographie des Sonnenspektrums

1) Eberhard, Zeitschr. f. Instrumentenkunde, Dez 1905.

1. Ordnung auf gewöhnlichen Bromsilberplatten ohne Zwischenschaltung irgend einer Glasschicht. Man erkennt das Maximum der photographischen Wirkung auf Bromsilber zwischen F und G im Blau und den Abfall der Helligkeit des Sonnenlichtes gegen Ultraviolett. Bei kürzerer Belichtung (Fig. 4 auf Tafel VII) tritt die Lage der Maximalwirkung deutlich hervor; dies zeigt, wie man durch verschieden lange Belichtungszeiten die Lage des Maximums der Wirkung, andererseits die Ausdehnung derselben ermitteln kann. Die dritte Figur (Fig. 5 auf Tafel VII) zeigt die Photographie des roten bis grünen Teiles des Sonnenspektrums im Gitterspektrographen, wobei panchromatische Platten benutzt wurden. Die Aufnahme geschah hinter Gelbfiltern, z. B. hinter Flüssigkeitsfiltern von Kaliumbichromatlösung oder dergleichen, um das Ultraviolett 2. Ordnung auszuschalten. Man erkennt die Natriumlinie (Fraunhoferlinie D) als Doppellinie, ferner die grüne b-Linie in ihre Komponenten aufgelöst. Die namhafte Leistungsfähigkeit desselben kleinen Konkavgitters im Ultraviolett zeigt Tafel II an mehreren Photographien von Spektren des elektrischen Flammenbogens (Kohle, Calcium, Strontium, Barium, Aluminium, Silicium, ferner des Quecksilberlichtes).

Eine Fehlerquelle beim Arbeiten mit dem Gitterspektrographen soll hier noch erwähnt werden; es sind dies die sogenannten „Geister“ oder „Gespenster“, welche bald als ziemlich scharfe Linien in fast gleichmäßigen Abständen, bald (je nach dem Gitter) als einseitige Verbreiterung usw. von sehr intensiven Linien auftauchen und verschiedene Ursachen haben. Bei kurzen Belichtungen bleiben sie aus; ihre stets gleichbleibende Form als Nachbarn starker Linien macht sie kenntlich; trotzdem können durch das Auftreten derselben Irrtümer entstehen, obwohl sie nicht bei allen Gittern gleich stark auftreten. Das große Rowlandsche Konkavgitter, mit welchem Eder und Valenta arbeiten, ist fast frei von diesem Fehler.

Der große Gitterspektrograph Eder und Valentas ist in ähnlicher Weise konstruiert; dieses Gitter besitzt einen Krümmungsradius von 4 m 59 cm und enthält 13000 Linien auf den englischen Zoll. Mittels dieses höchst leistungsfähigen Apparates haben Eder und Valenta Wellenlängenmessungen vorgenommen im Spektrum des Schwefels, Chlors, Broms, des Magnesiums, von Aluminium, Antimon, Barium, Beryllium, Blei, Cäsium, Cassiopeium, Cerium, Chrom, Gallium, Iridium, Kalium, Kohle, Kupfer, Lanthan, Mangan, Molybdän, Neodym, Niob, Praseodym, Scandium, Tantal, Thorium, Yttrium, Zirkon, die seltenen Gadoliniumerden usw.[1])

1) Eder und Valenta, Sitzungsber. d. kais. Akad. d. Wissensch. Wien, Mathem.-naturw. Kl. IIa, 1909 und 1910.

Die Wellenlängenmessungen der Spektrallinien von Kayser (Bonn), Exner und Haschek (Wien) usw. usw. sind mit großen Konkavgittern gemacht (vgl. Kayser, Handbuch der Spektroskopie 1900—1911).

Eine Einrichtung eines großen Gitterspektrographen, welche Eberhard nach Abneys Prinzipien bei Töpfer in Potsdam für das Astrophysikalische Observatorium daselbst ausführen ließ, zeigt Fig. 49.

Das Gitter befindet sich bei G, der Spalt auf einer Schiene bei S; vor demselben ist eine Sammellinse aus Quarz. Die Kassette K ist für Films von 80×5 cm eingerichtet, vor ihr befindet sich ein Deckel O und ein beweglicher Rahmen B, welcher als Schirm wirkt und so gestellt werden kann, daß mehrere Spektren in knapper Nebeneinander-

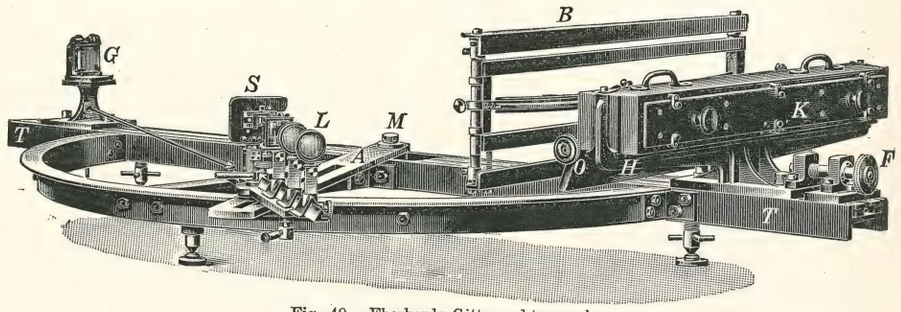


Fig. 49. Eberhards Gitterspektrograph.

stellung oder schwach übergreifend auf ein- und derselben Platte photographiert werden können (Vergleichsspektren).

Zur Analyse feinster Spektrallinien wendet man die Interferenzerscheinungen an planparallelen Platten an (Michelsons Stufenspektroskop; Stufengitter („Echelon diffraction gratings") fertigt Adam Hilger in London (NW. 75a Camden Road) an.

Lummer und Gehrcke geben ein Interferenzspektroskop mit planparalleler Glasplatte von sehr großem Auflösungsvermögen an (Annal. d. Phys. 1903 (4), Bd. 10, S. 457). In vereinfachter Form erzeugen Schmidt & Haensch in Berlin solche Spektroskope für Unterrichtszwecke; man kann damit den sog. Zeeman-Effekt demonstrieren, die Trabanten der Quecksilberlinien usw. sehen (Physik. Zeitschrift 1907, S. 781).

FÜNFTES KAPITEL.

DIE PHOTOMETRIE DER CHEMISCHEN WIRKSAMEN STRAHLEN UND DIE PRÜFUNG DER EMPFINDLICHKEIT PHOTOGRAPHISCHER PRÄPARATE.

Literatur:

Becquerel, La lumière 1868. — Bunsen und Roscoë, Chlorknallgas-Photometer: Poggendorffs Annalen der Physik, Bd. 96, S. 96 und 373; Bd. 100, S. 43 und 481; Bd. 101, S. 255; Bd. 108, S. 193. Chlorsilberpapier-Photometer: Poggendorffs Annalen, Bd. 117, S. 529; Bd. 124, S. 353; Bd. 132, S. 404. Ergänzungsband zu Poggendorffs Annalen, Bd. 5, S. 177. — Marchand, Etude sur la force chimique contenue dans la lumière du soleil, 1875. — Radau, Aktinometrie, 1877. — Warnerke Photographic News, 1880, S. 2; auch Bulletin de l'Association Belge de Phot. Bd. 6, S. 403. — Pizzighelli, Photographische Korrespondenz, 1880, S. 179 u. ff. (Separatabdruck unter dem Titel: Aktinometrie). — Vogel, Lehrbuch der Photographie, 1878. — Vogel und Sawyer, Das photographische Pigmentverfahren, 1875. — Stein, Das Licht, 1877. — Schilling, Handbuch für Steinkohlengasbeleuchtung, 3. Aufl. — E. Liebenthal, Praktische Photometrie, Braunschweig, 1907. — G. Müller, Die Photometrie der Gestirne, 1897. — Brodhun, Photometrie in Winkelmanns Handbuch der Physik. — K. Schaum, Photochemie und Photographie, 1908. — O. Lummer, Ziele der Leuchttechnik, München-Berlin, 1808. — W. M. Stine, Photometrical measurements and manual, New York, 1900. — P. v. Schrott, Artikel „Photometrie" in Luegers Lexikon der gesamten Technik, 2. Aufl., Bd. VII.

Die Photometrie wird in der Regel in zwei Hauptgruppen geteilt: die optische und die chemische Photometrie.

Die optische Photometrie hat die Messung der Helligkeit der Lichtstrahlen, welche auf unser Auge wirken, zum Gegenstande; die chemische Photometrie mißt den chemischen Umsatz, welchen Lichtstrahlen in einer gewissen Zeiteinheit in lichtempfindlichen Schichten hervorbringen können.

Man könnte auch von einer Photometrie mittels des Bolometers, des Radiometers, der Lichtelektrizität usw. sprechen, da auch auf diesem Wege die strahlende Energie gemessen werden kann; jedoch hat dies für photographische Zwecke untergeordnete Bedeutung.

Die Spektrophotometrie befaßt sich mit der Bestimmung der Lichtstärke in einzelnen Spektralbezirken, teils im sichtbaren, teils im ultravioletten Teile.[1]) Dieser Gegenstand liegt nicht im Bereiche dieses Handbuchs.

I. Photometrische Grundsätze.

Stets geht man bei der Photometrie vom Grundsatze aus: Die Stärke der Beleuchtung einer Fläche steht im umgekehrten Verhältnis des Quadrates ihrer Entfernung von der Lichtquelle (dem leuchtenden Punkt).

In Deutschland und Österreich sind folgende photometrische Größen und Einheiten im Gebrauch[2]):

1. Die photometrischen Größen haben als Basis die Lichtstärke einer punktförmigen Lichtquelle.

2. Die Lichtstärke (französisch: intensité lumineuse, englisch: intensity of light) wird mit J bezeichnet. Die Einheit der Lichtstärke ist die Hefnerkerze; das Abkürzungszeichen ist HK.

So sagt man beispielsweise: eine Lichtquelle hat die Lichtstärke $J = 10$ HK.

3. Der Lichtstrom (französisch: flux lumineux, englisch: flux of light) wird mit Φ bezeichnet und definiert durch

$$\Phi = J\omega = \frac{Js \cos i}{r^2} \quad \ldots\ldots\ldots \quad 1)$$

dabei bedeutet ω einen räumlichen Winkel, s eine Fläche in Quadratmetern, senkrecht zur Strahlenrichtung; r eine Entfernung in Metern. Gleichung 1 gilt zunächst nur für ein unendlich kleines s; sie ist auch noch für eine kleine ebene Fläche s gültig, deren Dimensionen gegen r hinreichend klein sind.

Es wird $\Phi = 1$ für $J = 1$ HK; $\omega = 1$.

Die Einheit des Lichtstromes ist also der von der punktförmigen Lichtquelle 1 HK in die Einheit des räumlichen Winkels gesandte Lichtstrom. Sie wird Lumen genannt; das Abkürzungszeichen ist Lm.

Denkt man sich um die punktförmige Lichtquelle, welche nach allen Richtungen die Lichtstärke 1 HK besitzt, eine Kugel mit dem Radius 1 m beschrieben und diese Kugel in Flächenstücke von je 1 qm Inhalt geteilt, so empfängt jedes Flächenstück den Lichtstrom

1) Über ein photographisches Photometrierverfahren und seine Anwendung auf die Photometrie des ultravioletten Spektralgebietes siehe Hermann Th. Simon, Eders Jahrb. f. Photogr. 1897, S. 38.

2) Nach Liebenthal, Praktische Photometrie 1907.

1 Lm. Der auf die ganze Kugel (in den Raumwinkel 4π) übergehende Lichtstrom ist 4π Lm. Ist die Lichtstärke der Lichtquelle nach allen Richtungen gleich J, so ist der Gesamtlichtstrom gleich $4\pi J$ Lm.

4. Die Beleuchtung[1]) (französisch: éclairement, englisch: illumination) wird mit E bezeichnet und definiert durch

$$E = \frac{\Phi}{s} = \frac{J \cos i}{r^2} \quad \ldots\ldots\ldots \quad 2)$$

wo s in Quadratmetern und r in Metern gemessen wird.

Die Einheit der Beleuchtung wird erhalten, wenn $J = 1$ HK; $i = 0$ und $r = 1$ m ist. Sie ist also vorhanden, wenn eine punktförmige Lichtquelle 1 HK ein ebenes, 1 m entferntes kleines Flächenstück s senkrecht beleuchtet. Sie wird 1 Lux oder auch wohl, wenn auch nicht ganz zutreffend, 1 Meterkerze genannt; das Abkürzungszeichen ist Lx.

5. Die Flächenhelle (französisch: éclat intrinsèque, englisch: intrinsec brightness) wird mit e bezeichnet und definiert durch

$$e = \frac{J}{\sigma \cos \varepsilon} \quad \ldots\ldots\ldots \quad 3)$$

wo σ eine Fläche in Quadratzentimetern ist. Die Gleichung ist zunächst nur für ein unendlich kleines σ gültig; sie ist auch noch für eine kleine ebene Fläche σ gültig, deren Dimensionen gegen r hinreichend klein sind.

Die Einheit der Flächenhelle ist vorhanden, wenn $J = 1$ HK, $\sigma \cos \varepsilon = 1$ qcm ist, also wenn die Lichtstärke pro Quadratzentimeter der scheinbaren Oberfläche 1 HK beträgt.

ε wird auch gleich 1, wenn $J = 1$ HK und speziell $\varepsilon = 0$, $\sigma = 1$ qcm ist. Die Einheit der Flächenhelle ist also auch vorhanden, wenn die Lichtstärke von 1 qcm ebener Oberfläche in zu ihr senkrechter Richtung 1 HK beträgt. Sie wird deshalb auch als Kerze auf 1 qcm bezeichnet. Fallen die Strahlen schief ein, so ist die Beleuchtungsstärke dem Kosinus des Einfallwinkels proportional.

6. Die Lichtabgabe (französisch: éclairage, englisch: lighting) wird mit Q bezeichnet. Sie ist der Lichtstrom, welcher in der Zeit $\mathfrak{T}$ ausgestrahlt wird. Einheit der Lichtabgabe ist das während einer Stunde ausgestrahlte Lumen, sie wird mit Lumenstunde bezeichnet. Strahlt eine Lichtquelle $\mathfrak{T}$ Stunden lang den Lichtstrom Φ Lumen aus, so ist die Lichtabgabe

$$Q = \Phi\mathfrak{T} \text{ Lumenstunden} \quad \ldots\ldots\ldots \quad 4)$$

1) Die „indizierte Helligkeit“ nach früherer Weberscher Bezeichnung.

Eine übersichtliche Zusammenstellung der Namen und Zeichen der photometrischen Größen und Einheiten findet sich in nachstehender Tabelle:

Größe		Einheit	
Name	Zeichen	Name	Zeichen
Lichtstärke	J	Kerze (Hefnerkerze)	HK
Lichtstrom	$\Phi = J\omega = \frac{J}{r^2}s$	Lumen	Lm
Beleuchtung	$E = \frac{\Phi}{s} = \frac{J}{r^2}$	Lux (Meterkerze)	Lx
Flächenhelle	$e = \frac{J}{\sigma}$	Kerze auf 1 qcm	—
Lichtabgabe	$Q = \Phi\mathfrak{T}$	Lumenstunde	—

Dabei bedeutet
ω einen räumlichen Winkel,
s eine Fläche in Quadratmetern; σ eine Fläche in Quadratzentimetern, beide senkrecht zur Strahlenrichtung,
r eine Entfernung in Metern,
$\mathfrak{T}$ eine Zeit in Stunden.

Albedo.

Albedo (lat. die „Weiße") ist das Vermögen eines Körpers, einen bestimmten Teil des auf ihn fallenden Lichtes wieder zurückzustrahlen.

Nach der von Lambert eingeführten Definition wird die Albedo ausgedrückt durch das Verhältnis der von einem beleuchteten Flächenelement nach allen Richtungen hin diffus ausgestrahlten Lichtquantität zu der auffallenden Lichtmenge. Bei einem absolut ideal weißen Körper wäre die optische Albedo = 1; bei anderen Flächen z. B. folgende:

Schnee	0,78
weißes Papier	0,70
weißer Sandstein	0,24
Tonmergel	0,16
Quarz	0,11
feuchte Ackererde	0,08.

In der Photographie kommt es nicht auf die optische, sondern auf die photographische Helligkeit des reflektierten Lichtes an und man könnte in diesem Falle von einer „photographischen Albedo" sprechen.

Setzt man den in der photographischen Praxis besonders hell reflektierenden Schnee mit der photographischen Albedo = 1, so wäre für gewöhnliche photographische Platten die durchschnittliche Albedo einer

offenen Landschaft 2 bis 5, welche Werte man bei photographischen Aufnahmen berücksichtigen muß.

Hierher gehört auch die Messung der von verschiedenen Kopien reflektierten Lichtmengen, welche für die Reproduktionsphotographie nach photographischen Vorlagen in Betracht kommen; so z. B. sind Platinotypien und Heliogravuren wegen der mangelhaften Lichtreflexion in den Schatten weniger für Reproduktionszwecke (Autotypie oder dergl.) geeignet, als Celloidin- oder Aristobilder.

Die photographische Albedo reflektierender Flächen ist variabel mit der Art der sensiblen Schicht und wird in hohem Grade von ihrer Farbenempfindlichkeit und der Anwendung eventueller Lichtfilter beeinflußt.

Gelegentlich einer Untersuchung über die Bestimmung der Expositionszeiten von Autochromaufnahmen stellte Houdaille[1]) die Reflexionsfähigkeit farbiger Papiere in bezug auf weißes Licht fest. Reflektiert ein weißes Papier

die Lichtmenge 1200

so reflektiert

blaßgrünes Papier	300
gelbes Papier	150
dunkelgrünes Papier	100
rotes Papier	24
schwarzes Papier	15.

II. Normalien für die Helligkeit von Wohnräumen.

In einem Wohn- oder Schulzimmer soll die durchschnittliche Beleuchtungsstärke 50 Lux betragen; das hygienische Minimum für Arbeiten mit den Augen ist 10 Lux.

In Österreich gilt als Beleuchtungsminimum für Schulzimmer 30 Lux, für Zeichensäle 80 Lux (Eders Jahrb. f. Phot. 1906, S. 445).

III. Bestimmung der Lichtmenge für photographische Prozesse in Sekundenmeterkerzen.

Die photographische Reziprozitätsregel.

Zwei Lichtquellen gelten als photographisch gleich hell, wenn sie auf ein und derselben Art photographischer Platten in gleicher Zeit und unter sonst gleichen Umständen gleiche photographische Schwärzung erzeugen.

1) Bull. de la Soc. Franç. 1909, S. 293; Eders Jahrb. f. Phot. 1910, S. 453.

Bei genauen photometrischen Versuchen sollen die Strahlen der Lichtquelle direkt und senkrecht auf die photographische Schicht wirken, ohne daß absorbierende oder reflektierende Zwischenschichten eingeschaltet werden. Für praktische Zwecke schaltet man jedoch häufig solche Zwischenschichten zwischen Lichtquelle und sensibler Schicht ein, z. B. beim Papierskalenphotometer.

Für die photochemische Photometrie muß man außer der Lichtstärke auch die Belichtungszeit in die Rechnung einführen, indem der photochemische Effekt $= i \cdot t$ ist, d. h. der Effekt wird durch das Produkt von Intensität (i) und Belichtungszeit (t) bestimmt oder mit mit anderen Worten: gleichen Produkten aus Lichtstärke und Belichtungszeit entsprechen dieselben photographischen Wirkungen (Bunsen und Roscoës Gesetz[1]), auch photographische Reziprozitätsregel genannt, weil man um so kürzer belichten muß, je größer die Lichtstärke ist.

Beim photographischen Negativprozeß (Bromsilbergelatine mit chemischer Entwicklung) ergibt sich bei genauer Prüfung eine Abweichung von der strengen Regel, indem die Bromsilbergelatine die Eigenschaft hat, von der einstrahlenden Lichtenergie um so weniger für den photographischen Prozeß zu verwenden, je langsamer die Energie zuströmt [Schwarzschild[2]), Eder[3])].

Der photographische Effekt des Lichtes auf Bromsilbergelatine mit Entwicklung wird durch das Produkt $E = i \cdot t^p$ ausgedrückt, wobei p eine für jede Trockenplattensorte bestimmte Konstante ist und ca. 0,8 beträgt.

Auch für intermittierende Beleuchtung machen sich bei photographischen Prozessen Abweichungen geltend (Schwarzschild, Eder a. a. O.).

Die Normallichtquelle soll in einer gewissen Zeit und einem bestimmten Abstand wirken. Als Einheit wird am besten die Wirkung der Hefnerlampe im Abstande von 1 m während einer Sekunde (Sekundenmeterkerzen oder Kerzenmetersekunden) gewählt[4]).

Auch zahlreiche andere Vorschläge liegen vor.

Am Internationalen photographischen Kongreß in Brüssel (1891) wurde beschlossen: Die praktische Lichteinheit, d. i. die Energie des Lichtes gemessen durch empfindliche Oberflächen, bekommt die Bezeichnung „Phot“; die Quantität des Normallichtes wird erhalten durch eine Dezimalkerze (Bougie decimal), deren Licht aus der Distanz von 1 m während einer Sekunde auf 1 qcm fällt (Eders Jahrb. f. Phot. 1892, S. 289).

1) Poggend. Annal. d. Phys. 1862, Bd. 117, S. 529.

2) Phot. Korresp. 1899; Eders Jahrb. f. Phot. 1900.

3) Eder, System der Sensitometrie photographischer Platten (Sitzungsber. der k. Akad. d. Wissensch. Wien, Nov. 1899, math.-naturw. Klasse, Bd. 108, IIa).

4) Am photographischen Kongreß 1905 zu Lüttich wurde vorgeschlagen, die wirkende Lichtquelle als „Kerzen-photograph-Meter-Sekunden“ (KPMS) oder französisch „bougie-photographique-mètre-seconde“ zu bezeichnen (Eders Jahrb. f. Phot. 1907, S. 420).

Nach dem internationalen Elektrikerkongreß in Genf (1896) wird als Einheit der Lichtmenge das Produkt aus Einheit des Lichtstromes und die Einheit der Zeit bestimmt; in der Praxis der Beleuchtungstechnik soll dies die „Lumenstunde“ sein, analog der Amperestunde (Eders Jahrb. f. Phot. 1897, S. 347).

Herschel nannte das Einheitsmaß der wirkenden Lichtmenge eine Aktine.[1])

Abney schlägt vor, das Produkt von Lichtintensität und Zeit ($i.t$) als „ein Talbot“ zu bezeichnen, analog einem Ampere usw. der Elektriker (Eders Jahrb. f. Phot. 1897, S. 348).

IV. Synonyme Bezeichnungen für photometrische Methoden.

Die Messung der Intensität der chemisch wirksamen Lichtstrahlen pflegt man meistens Aktinometrie zu nennen, zum Unterschiede von der Photometrie, unter welcher, seit Lambert 1760 diesen Namen zuerst gebrauchte, die Messung der optischen Helligkeit verstanden wird. Jedoch wird diese Unterscheidung durchaus nicht scharf genommen und man spricht sehr häufig von der Photometrie der chemischen Strahlen; andererseits ist als Aktinometer oft ein Instrument bezeichnet, welches die im Sonnenlicht enthaltenen Wärmestrahlen mißt. Marchand suchte die Bezeichnung „Photantitypimeter“ statt Aktinometer und „Antitypie“ statt chemischer Kraft des Sonnenlichtes einzuführen, Garneri nannte seinen Lichtwirkungsmesser „Photergimeter“, Draper gebrauchte den Ausdruck „Tithonometer“, De Limency „Lucimeter“, Claudet „Dynaktinometer“ und Herschel und Hunt nannten ihr selbstregistrierendes chemisches Photometer „Aktinograph“, während Jordan für ein ähnliches Instrument den Ausdruck „Heliograph“ gebrauchte.

V. Prinzip der Aktinometrie oder chemischen Photometrie.

Um in der Photometrie zu sicheren, mit sich selbst in keinem Widerspruch stehenden Daten zu gelangen, muß man sich vor allem an die mehrfache Wirksamkeit der Lichtstrahlen erinnern. Am frühesten beachtet und selbst bis heute geradezu mit ihrem Begriffe identifiziert finden wir die optisch-physiologische Wirkung der Lichtstrahlen auf die Netzhaut des Auges; gleichfalls frühe wurde bemerkt, daß die Lichtstrahlen nicht bloß leuchten, sondern auch wärmen und chemische Wirkungen verursachen. Die optischen Helligkeiten zweier Lichtquellen gestatten keinen Schluß auf ihre chemischen Wirkungen. Es ist also durch den Fortschritt der Wissenschaft eine mehrfache Photometrie oder Lichtmeßkunst gefordert und jede verlangt ihre eigenen Instrumente und ihre gesonderte wissenschaftliche Erforschung.

1) Kreutzers Zeitschr. f. Phot. 1860, Bd. I, S. 188.

Die chemische Wirkung des Lichtes hängt von der Farbenempfindlichkeit der Substanz ab und ist daher z. B. für Silbersalze eine andere als für Chromsalze. Deshalb gibt es streng genommen ebenso viele Photometrien chemisch wirksamer Strahlen, als es lichtempfindliche Substanzen gibt. Glücklicherweise hat sich aber gezeigt, daß wenigstens in weiteren Grenzen verschiedene Fälle hier parallel gehen. Während es ganz und gar unmöglich ist, aus den optischen Wirkungen zweier Lichtquellen Schlüsse auf ihre chemischen Wirkungen zu machen, so ist es erlaubt, aus den Anzeigen des Chlorknallgas-Photometers auf diejenigen des Chlorsilber-Photometers (in weiteren für die Praxis zumeist ausreichenden Grenzen) zu schließen. Reines Chlorsilber und Chlorzitratpapier (Celloidinpapier) haben eine etwas andere Farbenempfindlichkeit und doch sind in gewissen Grenzen beiderlei Anzeigen für Tageslicht vergleichbar, wenn auch bei spektral stark differierenden Lichtquellen eine merkliche Abweichung bei der Photometeranzeige nachweislich ist.

VI. Verschiedene spektrale Zusammensetzungen des Lichtes verschiedener Lichtquellen.

Die relative Helligkeit der Spektralfarben in verschiedenen Lichtquellen ist sehr verschieden. Bald dominiert das Rot und Gelb und die Helligkeit des Violett tritt zurück (Kerzenlicht, Gaslicht), bald ist das Licht relativ reich an Violett und arm an Rot (Magnesiumlicht); hiermit ändert sich nicht nur die Farbennuance, sondern auch die optische Helligkeit und photographische Wirksamkeit.

Betrachtet man das elektrische Bogenlicht und das Gaslicht nebeneinander, so erscheint das erste bläulich, das letzte rötlich; elektrisches Bogenlicht nähert sich mehr der Farbe des Sonnenlichtes; Magnesiumlicht ist mehr bläulich: für die optische Helligkeit verschiedener Lichtquellen ist ihr Gehalt an gelben, roten und grünen Strahlen (das sind die optisch wirksamsten) ausschlaggebend, während die blauvioletten bis ultravioletten Strahlen für die gewöhnlichen photographischen Prozesse die wirksamsten sind. Über die Helligkeitsverteilung im normalen Sonnenspektrum s. König, S. 11 dieses Bandes.

Die Helligkeit verschiedener Teile des Spektrums für verschiedene Lichtquellen wurde von Nichols, Crova[1]), Pickering[2]) quantitativ bestimmt. Der letztere gab eine genaue Tabelle für diese Helligkeiten an, setzte dabei die Helligkeit im Gelb

1) Beiblätter zu d. Annal. d. Physik, Bd. 2, S. 655; Bd. 3, S. 275, 276, 859.

2) Beiblätter zu d. Annal. d. Physik 1880, Bd. 4, S. 728 aus Proc. Ann. Ac. of Arts and Sc. 1880, S. 236.

(bei der Linie D) = 100 und erhielt folgende Zahlen für die mittels des Auges bestimmte optische Helligkeit:

	Helligkeit an den einzelnen Teilen des Spektrums				Gesamthelligkeit in Kerzen
	C	D	b'	$F^1/_2\,G$	
Normalkerze	73	100	104	134	1
Gaslampe	74	100	103	125	16
Kalklicht	59	100	113	285	90
Elektrisches Licht . .	61	100	121	735	362
Magnesiumlicht . . .	50	100	223	1129	215
Mondlicht	87	100	155	363	204
Sonnenlicht	55	100	250	2971	70000

Aus diesen Zahlen geht hervor, daß im Kerzen- und Gaslicht die Intensität der blauen Strahlen ziemlich analog verteilt ist, daß aber im Kalklicht und noch mehr im elektrischen Licht und Magnesiumlicht die blauen Strahlen im Verhältnis zu den roten und gelben in viel reichlicherer Menge vorkommen.

Je stärker feste Körper erhitzt werden, desto größer ist die Intensität des Lichtes und desto mehr blaue und violette Strahlen mengen sich dem ausgestrahlten Lichte bei. Dies gilt für das Drummondsche Kalklicht, für glühenden Platindraht usw.

Interessante Angaben über die relative Helligkeit der Farbenbezirke einiger Lichtquellen macht Köthgen[1]), welche bereits auf Seite 12 erwähnt wurden. (Vgl. auch Rudolf, Chem. Zentralbl. 1905, S. 119).

Schumann[2]) vergleicht elektrische Glühlampen mit der Benzinkerze für die Wellenlängen 676 $\mu\mu$ (Rot), 615 $\mu\mu$ (Gelb), 557 $\mu\mu$ (Grün), 487 $\mu\mu$ (Blau), 464 $\mu\mu$ (Indigo) und 429 $\mu\mu$ (Violett). Außerdem photometriert er eine elektrische Lampe bei verschiedenen Graden der Beanspruchung, also bei verschiedenen Temperaturen; hierbei findet er:

Arbeit in Watt	Rot / Grün	Indigo / Grün	Arbeit in Watt	Rot / Grün	Indigo / Grün
82	0,73	1,70	97	0,62	2,63
86	0,69	1,78	111	0,60	2,91
92	0,66	2,12	118	0,59	2,94
94	0,63	2,43	120	0,58	3.38

Rogers[3]) stellt Vergleiche zwischen der Lichtstärke des Magnesiumlichtes und derjenigen der Argandlampe an; von $\lambda = 670$ bis 450 $\mu\mu$ steigt das Verhältnis von 0,53 bis 8,77. Das Magnesiumlicht ist also sehr reich an stark brechbaren Strahlen.

VII. Das Purkinjesche Phänomen.

Während die Vergleichung der Helligkeit zweier Lichtquellen derselben Färbung leicht ist, gestaltet sich diese Vergleichung bei Lichtquellen verschiedener Farben schwierig. Das Experiment zeigt uns,

1) Wiedem. Annal. d. Phys., Bd. 53, S. 793. Jahrb. f. Phot. 1896, S. 423.

2) E. T. Z., 5. Bd., 1884, S. 220.

3) Sill. J., 3. Folge, Bd. 43, 1892, S. 301.

daß zwei verschiedenfarbige Lichtquellen, welche unser Auge für gleich hell hält, uns nicht mehr gleich hell erscheinen, wenn man die Intensitäten beider durch Nähern oder Entfernen in demselben Verhältnis vermehrt oder vermindert (Purkinjesches Phänomen).

Auch bei der photometrischen Vergleichung der photographischen Wirkung verschiedenfarbiger Lichtquellen auf photographische Platten mit Hervorrufung läßt sich eine dem Purkinje-Phänomen analoge Erscheinung beobachten, welche freilich nur bei genauerer wissenschaftlicher Behandlung klar nachweisbar ist.

Wenn verschiedene Lichtquellen starke Farbenunterschiede aufweisen, d. h. bedeutende spektrale Verschiedenheit besitzen, so wird die relative photometrische Intensitätsbestimmung merklich beeinflußt. Miethe fand zuerst (Aktinometrie astronomisch-photographischer Fixsternaufnahmen, Rostock 1890, S. 53 und 55), daß die photographische Wirkung einer gewissen Menge Lichtes von der Wellenlänge λ und einer Menge Lichtes von der Wellenlänge λ_1 für verschiedene Vielfache dieser Lichtmenge sich nicht gleichen und daß demzufolge rote Sterne je nach der Expositionszeit, welche man bei den photographischen Vergleichsaufnahmen einhält, im Verhältnisse zu den blauen und weißen Sternen einen stets wechselnden aktinometrischen Wert besitzen. Dabei wird jedoch vorausgesetzt, daß die ersteren so überwiegend viel rotes Licht ausstrahlen, daß wirklich dieses und nicht das noch beigemengte blaue Licht die photographische Arbeit verrichtet. Eder erweiterte zuerst 1899 diese Untersuchungen durch Experimente mit reinen Spektralfarben, und seine Versuche (Sitzungsbericht der kais. Akad. d. Wissensch. 1899; Phot. Korresp. 1900) über den Verlauf der charakteristischen Kurve einer photographischen Platte unter der Einwirkung des Spektrums (Gitterspektrum) stimmen mit Miethes Angaben überein.

Auch Precht machte ähnliche Angaben, ohne die Priorität Miethes zu berücksichtigen (siehe Eders Kritik, Phot. Korresp. 1900, Dezemberheft).

Während der Satz Miethes sicherlich für die von diesem untersuchten Lichtquellen von stark verschiedener spektraler Zusammensetzung gilt, kommt er gerade für jene speziellen zwei Lichtquellen (Amylacetat- und das an Farbe sehr ähnliche Benzinlicht), bei welchen Herr Precht die Nachentdeckung des Mietheschen Satzes gemacht haben will, nicht zur Geltung.

Precht behauptet, daß die relative chemische Helligkeit der Benzin- und Amylacetatlampe mit der Intensität und der Expositionszeit so beträchtlich schwankt, das schon bei einer Entfernung der Lampe von $^1/_2$ auf 1 m die Benzinlampe beträchtlich dunkler erscheint, und zwar um 20% und mehr.

Eder zeigte (vorläufige Mitt., Phot. Korresp. 1900, S. 740; später Sitzungsber. d. kais. Akad. d. Wissensch. in Wien, Dezember 1900), daß die beiden erwähnten Normallampen einander spektral so ähnlich sind, daß sie sich ganz gut im konstanten Verhältnis reduzieren lassen, und alles, was Precht über die Unmöglichkeit der Reduktion der Helligkeit einer Lampe auf die andere sagt, ist unrichtig, ist das Resultat schlecht angestellter Versuche. (Vgl. die kritische Besprechung der Prechtschen Angaben über Sensitometrie durch Eder: „Über sensitometrische Untersuchungen", Phot. Korresp. 1900, S. 238; „Herr Precht und die Sensitometrie", Phot. Korr., S. 626; „Kritische Rückblicke auf Prechts mangelhafte sensitometrische Versuche", Phot. Korr. 1900, S. 738; „Das Purkinjesche Analogon, Herr Precht und ein falsch angewendeter Satz", Phot. Korresp. 1900, S. 740).

VIII. Relative Aktinität.

Stellt man zwei verschieden gefärbte Lichtquellen, z. B. eine Kerze und ein Auersches Gasglühlicht, verschieden weit vom Beobachter auf, so können sie in solche Entfernungen gebracht werden, daß sie ein weißes Blatt Papier optisch ganz gleich hell beleuchten. Die optische Helligkeit ist somit in beiden Fällen gleich groß. Bringt man eine photographische Platte an Stelle des weißen Papieres, so empfängt diese somit in beiden Fällen optisch gleich starke Beleuchtung, aber dennoch wird der photographische Effekt der Auerlampe 2,36 mal größer sein als jener des Kerzenlichts. Das Verhältnis der photographischen Helligkeit, dividiert durch das Verhältnis ihrer optischen Helligkeit, nennt man „relative Aktinität".

Während Schwarzschild[1]) diese relative Aktinität für astronomische Helligkeitsmessungen verschiedenfarbiger Sterne benützte, untersuchte Eder zuerst von diesem Gesichtspunkt aus verschiedene künstliche Lichtquellen[2]).

So fand Eder die relative Aktinität folgender Lichtquellen, bezogen auf die Hefnersche Amylacetatlampe und auf gewöhnliche Bromsilbergelatineplatten mit Entwicklung.

Lichtquelle	Relative Aktinität
Englische Wallratkerze	0,82
Auersches Gasglühlicht	2,36
Magnesiumlicht	23,8

d. h. Auersches Gasglühlicht, welches optisch durch entsprechende Entfernung auf die gleiche Helligkeit gebracht wird wie die Hefnerkerze, wirkt photographisch auf Bromsilbergelatineplatten mehr als doppelt so kräftig, Magnesiumlicht sogar ca. 24 mal stärker.

Natürlich hängt die relative Aktinität nicht nur von der Natur der Lichtquelle ab, sondern auch von der Qualität (Farbenempfindlichkeit) der belichteten photographischen Platte. Z. B. ist die relative Aktinität von Magnesiumlicht gegenüber einer orthochromatischen Erythrosinplatte wesentlich geringer als bei einer gewöhnlichen Bromsilber-

1) Schwarzschild, „Über die photographische Vergleichung der Helligkeit verschiedenfarbiger Sterne" (Sitzungsber. kais. Akad. Wissensch. Wien 1900, Math.-naturw. Kl, Abt. IIa, Bd. 119.

2) Eder, „System der Sensitometrie" (Sitzungsber. der kais. Akad. d. Wissensch., Juli 1901). — Ferner: Eder, „Photometrische Untersuchungen der chemischen Helligkeit usw." (Sitzungsber. d. kais. Akad. Wissensch., Math.-naturw. Kl., Abt. IIa. Bd. 112, April 1903).

platte, weil auf die gelbgrünempfindliche orthochromatische Platte das Magnesiumlicht bei weitem nicht um so viel kräftiger wirkt als Amyllicht.

Im anderen Sinne ändert sich die relative Aktinität des Magnesiumlichtes bei Benutzung von Chlorsilbergelatineplatten mit Entwicklung. Während die relative Aktinität des Magnesiumlichtes (an der Luft brennendes Magnesium) bei Bromsilbergelatineplatten = 23,8 ist, wächst sie für Chlorsilbergelatine auf 47,8, weil eben das Chlorsilber besonders empfindlich für Violett und Ultraviolett ist, an welchen Strahlen Magnesiumlicht besonders reich ist.

IX. Normal-Lichtquellen (Lichteinheiten) für photometrische Zwecke und zur Bestimmung der Lichtempfindlichkeit photographischer Präparate.

Sowohl zu den Zwecken der Helligkeitsmessung (Photometrie) verschiedener Lichtquellen, als auch andererseits zur Bestimmung der Lichtempfindlichkeit photographischer Präparate benötigt man sogenannter „Normal-Lichtquellen“ oder „Lichteinheiten“, welche als Maßeinheit der Lichtstärke dienen. Man verlangt von einer Normal-Lichtquelle, daß sie

1. zu jeder Zeit und an jedem Orte der Erdoberfläche von vollkommen gleicher Intensität zu beschaffen sei;
2. daß nicht nur die optische Helligkeit, sondern auch die chemische Intensität des Lichtes jederzeit konstant sei; und daß
3. die Normal-Lichtquelle alle Gattungen von Lichtstrahlen aussende, welche bei photographischen Prozessen in Betracht kommen.

Es ist sehr schwierig, Normal-Lichtquellen zu finden, welche allen diesen Anforderungen entsprechen.

Das gewöhnliche Licht einer Kerze, Leuchtgasflamme, Öl- oder Amylacetatlampe kann wohl von annähernd konstanter Helligkeit (Intensität) erhalten werden; allein das von diesen Lichtquellen ausgesendete Licht ist arm an blauen, besonders aber an violetten und ultravioletten Strahlen, auf welche es bei den gewöhnlichen photographischen Prozessen mit Silbersalzen hauptsächlich ankommt und welche in der Tat auch im Sonnenlicht reichlich vorkommen. Das elektrische Bogenlicht, welches auch reich an Strahlen von starker Brechbarkeit (Blau, Violett und Ultraviolett) ist, ist schwer konstant zu erhalten; das Licht von brennendem Magnesium ist allerdings reich an blauen, violetten und ultravioletten Strahlen, aber dafür arm an roten, gelben und grünen Strahlen, von welchen Farben das Magnesiumlicht kein kontinuierliches, sondern bloß ein mit einzelnen Linien durchsetztes Spektrum aufweist.

Ähnliches ist beim blaßblauen Lichte des brennenden Kohlenoxydes der Fall, welches wohl ein kontinuierliches Spektrum aussendet, aber fast keine roten und gelben Strahlen enthält. Am meisten entspricht das von weißglühendem Platin ausgesendete Licht allen theoretischen Anforderungen, weil es ein kontinuierliches Spektrum aller Strahlen von Rot bis Ultraviolett gibt und große Intensität besitzt;, jedoch ist die praktische Herstellung dieser Lichtquelle enorm schwierig.

Schließlich sei erwähnt, daß im Photometerzimmer der Ausschluß des Tageslichtes und jedes anderen fremden Lichtes möglich sein soll und daß dessen Wände zur Vermeidung von störenden Reflexen mattgrau oder dunkel angestrichen oder mit schwarzem Samt ausgekleidet sein sollen.

Die Sonne ist für uns eine schlecht definierte Strahlungsquelle, weil ihre Strahlen je nach ihrem Stand am Himmel eine verschieden dicke Atmosphärenschicht durchdringen müssen und ihre Urfarbenverteilung ändert. (Vgl. S. 13.)

Im Nachstehenden sollen die gebräuchlichsten älteren und neueren Formen der Normal-Lichtquellen aufgezählt werden.

1. Die Kerze

ist die älteste Einheits-Lichteinheit und wurde insbesondere in England verwendet, wo man sie noch gegenwärtig in manchen Fällen benutzt. Die englische Normalkerze wird aus echtem Walrat nach bestimmten Vorschriften hergestellt (vgl. Liebenthal a. a. O.). In England läßt man die Kerze ungestört brennen; die Lichtstärke wird als normal (= 1) angesehen, wenn der stündliche Verbrauch 120 engl. Grains (= 7,78 g) beträgt. Liegt der Verbrauch zwischen 114 und 126 Grains, so wird die Lichtstärke dem Verbrauch proportional angenommen. Die Flammenhöhe während der Messungen soll $1^3/_4$ Zoll engl. = 44,5 mm betragen.

Die Kerze des Vereins der deutschen Gas- und Wasserfachmänner ist aus Paraffin hergestellt. Nach den Versuchen von Rüdorff (Journal f. Gasbeleuchtung 1869, S. 577) zeigt diese Kerze jedoch eine nicht genügende Konstanz der Lichtstärke; sie ist nicht besser als die Walrat- und Stearinkerze.

Für genauere Proben, z. B. der Messung der Plattenempfindlichkeit, ist diese Lichteinheit wohl zu ungenau; sie wird trotzdem ab und zu, z. B. beim Sensitometer von Hurter und Driffield, von Chapman Jones (s. d.), verwendet.

Die optische Lichtstärke einer englischen Normalkerze ist = 1,14 Hefnerkerzen.

2. Die Carcellampe

wurde von Carcel im Jahre 1800 konstruiert und im Jahre 1842 als offizielles Lichtmaß in Frankreich eingeführt; sie ist eine der ältesten, jedoch nunmehr veralteten Lichteinheiten. Sie wird mit Rapsöl gespeist und hat einen Argandbrenner (Rundbrenndocht). Gewisse Lampenkonstruktionen, konstante Flammenhöhe usw., ermöglichen die Herstellung ziemlich konstanten Lichtes. 1 Carcel = 10,9 Hefnerkerzen. In der chemischen Photometrie wird sie kaum verwendet, da sie wenig genau ist.

Die Carcellampe ist sehr kompliziert, verwendet keinen einheitlichen Brennstoff, kann erst 25 Minuten nach dem Anzünden verwendet werden und ist auch von den französischen Fachleuten als ungenau bezeichnet worden.

3. Die Hefnerkerze.

Die Hefnerkerze (HK) oder Hefnerlampe wurde 1884 von Hefner-Alteneck konstruiert und sie drang allmählich als sehr verläßliche, allen Anforderungen der optischen und photographischen Photometrie sowie der Sensitometrie vollkommen entsprechende Lichteinheit durch. Die Hefnerkerze dient als Lichtmaß für die Helligkeitsmessung der Leuchtgasflammen, der elektrischen Beleuchtung und auch für die Empfindlichkeitsmessung photographischer Platten.

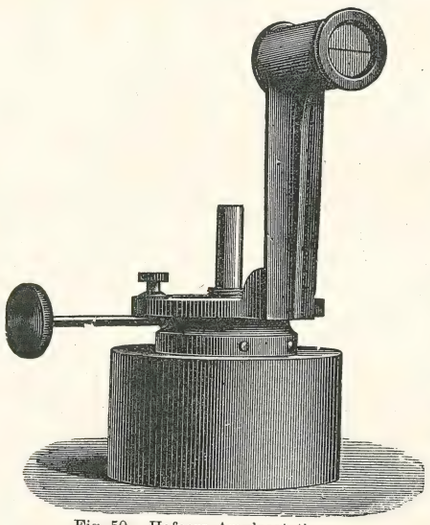


Fig. 50. Hefners Amylacetatlampe.

Die Hefnersche Amylacetat-Normallampe (HK) ist eine Lampe, in welcher Amylacetat mittels eines Baumwolldochtes verbrannt wird; diese Substanz ist leicht von konstanter Zusammensetzung zu haben und brennt mit ruhiger, helleuchtender rauchloser Flamme. Die spektrale Zusammensetzung ist ähnlich wie bei einer Kerzenflamme.

Die Hefnerlampe besteht aus einem Flüssigkeitsbehälter für das Amylacetat, dem die Dochtführung enthaltenden Brennerkopf und dem neusilbernen Dochtrohr und einer Vorrichtung zum Höher- und Tieferstellen des Dochtes. Die Flamme brennt frei an der Luft; sie steigt aus dem Querschnitt eines massiven mit Amylacetat gesättigten Dochtes auf, der ein kreisrundes Dochtröhrchen aus Neusilber von 8 mm innerem,

8,2 mm äußerem Durchmesser und 25 mm freistehender Länge ausfüllt, bei einer Flammenhöhe von 40 mm von dem Rande des Dochtröhrchens bis zur Flammenspitze und wenigstens 10 Minuten nach dem Anzünden gemessen. Zur genauen Einstellung der vorgeschriebenen Flammenhöhe dient ein optisches Visier oder besser der optische Flammenmesser von Krüß (Fig. 50). Bei dem letzteren wird durch eine Linse auf einer mit einer Strichmarke versehenen Mattscheibe das Bild der Flammenspitze erzeugt. Die Flammenhöhe muß sehr genau eingehalten werden, da sich die Leuchtkraft der Hefnerlampe um etwa 3% ändert, wenn die Flammenhöhe nur 1 mm zu- oder abnimmt. Auch hat die Reinheit der Luft einen Einfluß auf die Flamme, da durch zu viel Kohlensäure oder Wasserdampf ihre Helligkeit herabgesetzt wird (siehe Liebenthal a. a. O.). Solche Lampen liefern H. Krüß in Hamburg, Siemens & Halske in Berlin und Schmidt & Haensch in Berlin. Seit 1905 wird die Hefnerlampe von der Reichsanstalt in Berlin geprüft und amtlich beglaubigt. — Setzt man die Hefner-Altenecksche Amylacetatlampe = 1, so besitzt die deutsche Vereins-Paraffinkerze von 50 mm Höhe die Helligkeit = 1,224 und die englische Walratkerze (K) von 45 mm Flammenhöhe = 1,140.

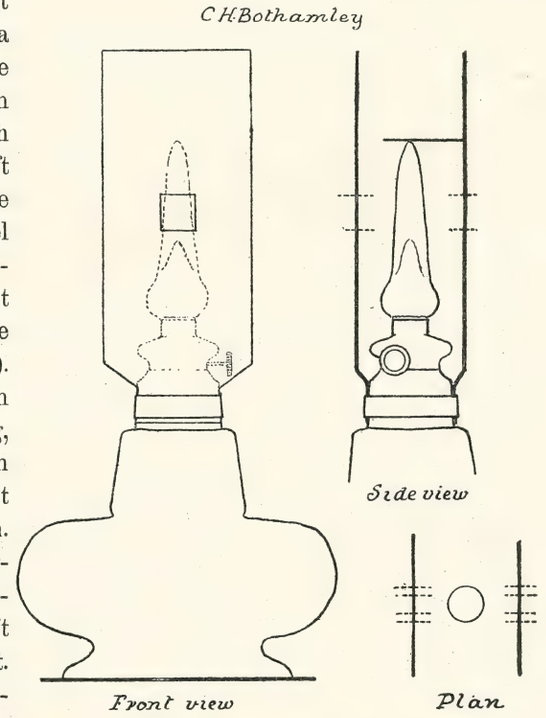


Fig. 51. Amylacetatlampe mit Fenster.

Es erscheint jedoch wichtig, ein konstantes Flammenmaterial (Siedepunkt 138 Grad C.) zu besitzen; das Amylacetat soll frei von Essigsäure und Wasser sein, Gehalt an Amylalkohol schadet weniger.

Man hat auch am Pariser Phot.-Kongreß (1889) vorgeschlagen, vor die Flamme 1 cm von der Flammenachse entfernt einen Schirm anzubringen, welcher ein horizontales Fenster von 4 mm Breite und 30 mm Länge besitzt; dieses Fenster ist aus dünnem

Metall angefertigt und auf einer verschiebbaren Röhre auf dem Dochthalter befestigt und 10 mm über dessen Ende befindlich, so daß es sich leicht auf- und abschieben und vor den hellsten Teil der Flamme bringen läßt. Auch von C. H. Bothamley rührt ein ähnlicher Vorschlag her. Fig. 51 zeigt die Amyllampe mit ihrem Fenster (Jahrb. f. Phot. 1890, S. 54). Diese Abart der Hefnerlampe hat sich aber nicht eingebürgert.

Am Internationalen Photogr.-Kongreß in Brüssel (1891) wurde ein neuerdings von Pellin in Paris hergestelltes Modell der Amylacetatlampe mit Schirm empfohlen, welche lichtschwächer als die Hefnerlampe ist und 0,12 der Intensität der Carcellampe betrug. Violle fand, daß auf Bromsilbergelatineplatten (Hauptwirkung des Spektrums zwischen *G* und *H*) die photographische Wirkung der Pellinschen Lampe nur 0,0015 der Violleschen Platineinheit betrug, ferner, daß die Pellinsche Lampe nur 0,03 der Wirkung der Bougiedezimale hat, wenn man deren Wirksamkeit $= {}^1/_{20}$ der Violleschen Einheit annimmt.

Setzt man die Heiligkeit der Pellinschen Amylacetatlampe mit Schirm = 1,00, so ist jene der Hefnerlampe ohne Schirm = 3,16; daraus ergibt sich, daß man die Original-Hefnerlampe 10mal weiter entfernt von der photographischen Platte aufstellen muß, um dieselbe photographische Wirkung zu erzielen (Jahrb. f. Photogr. 1892, S. 292).

4. Die Pentanlampe.

Harcourt konstruierte eine in England gebräuchliche Normallampe, die „10-Kerzen-Pentanlampe“, bei welcher mit Pentandampf[1]) gesättigte Luft in einem dem Argandbrenner ähnlichen Brenner verbrannt wird. Die Lichtstärke soll 10 englische Walratkerzen betragen.

Die 10-Kerzen-Pentanlampe von Vernon-Harcourt besitzt einen größeren Grad der Genauigkeit als die Carcellampe. Sie ist jedoch ebenfalls kompliziert. Es sind eine große Zahl von Dimensionen genau einzuhalten und zufolge der Anwendung eines Argandbrenners besteht die Möglichkeit, daß sich die kleinen Öffnungen desselben verstopfen. Ferner ist das Pentan, welches angewendet wird, ein Gemisch isomerer Kohlenwasserstoffe, welches durch fraktionierte Destillation zwischen 25 und 45 Grad aus Petroleum gewonnen wird. Es enthält auch noch Homologe des Pentans. Die leichtflüchtigen Verbindungen verdunsten leichter, so daß sich das spezifische Gewicht bei Transport und Aufbewahrung erhöht. (Zeitschr. d. Ver. d. Gas- u. Wasserfachmänner i. Öst.-Ung. 1910, Nr. 24.)

5. Die Azetylenlampe.

Das gasförmige Azetylen entspricht den Forderungen zur Herstellung einer Lichteinheit in hohem Grade, weil es als ein konstant zusammengesetztes Gas von hinlänglicher Reinheit[2]) leicht hergestellt

1) Pentan wird aus amerikanischem Petroleum destilliert; es ist flüssig und siedet bei etwa 40° C; sättigt man Luft mit dessen Dampf, so brennt das Gemisch mit heller Flamme.

2) Die Verunreinigungen des technischen Azetylengases sind Phosphorverbindungen (Phosphorwasserstoff), Schwefelverbindungen (Schwefelwasserstoff), Ammoniak; bei schlechtem Vergasen bei der Azetylenerzeugung: Methan, Wasserstoff, Teerdämpfe

werden kann. Violle (Compt. rend. 1896, Bd. 122, S. 79) brennt Azetylen in Schmetterlingsflammen. — Féry verbrennt Azetylen in einem Einlochbrenner: einer scharf abgeschnittenen Kapillare eines Thermometerrohres von 0,5 mm Durchmesser. Entsprechend dem Gasdruck schwankt die Flammenhöhe zwischen 5 und 35 mm; der stündliche Verbrauch zwischen 1,15 bis 6 Liter. Es wird stets die ganze Flamme benutzt; die Lichtstärke derselben ist für Flammenhöhen von 10 und 25 mm eine lineare Funktion der Flammenhöhe, so daß man die Lichtstärke bei der benutzten Flammenhöhe berechnen kann, sobald man die Lichtstärke für eine bestimmte Flammenhöhe gemessen hat (vgl. Liebenthal a. a. O.).

F. Monpillard modifizierte die Ferrysche Normal-Azetylenlampe. Das Azetylen brennt aus einem Loch-Specksteinbrenner von 0,3 mm Durchmesser, der bei einem Druck von 110 mm in der Stunde 5 Liter Gas konsumiert. Die Flamme hat eine Höhe von 20 mm und eine Breite von 3 mm. Eine Schlitzblende (ähnlich wie bei der Scheinerschen Benzinlampe) blendet das Licht ab (Bull. Soc. franç. Phot. 1905, S. 138; Eders Jahrb. 1905, S. 352; 1906, S. 440).

Das Viollesche Azetylen-Normallicht ist in dem Spektralgebiete *C* bis *F* dem des schmelzenden Platins sehr ähnlich und außerdem reich an aktinischen Strahlen (Zeitschr. f. phys. Chemie 1896, Bd. 20, S. 613; Eders Jahrb. f. Phot. 1897, S. 348).

Die Ferrysche Azetylen-Normallampe[1]), welche in Fig. 52 abgebildet ist, wird in ihrer neuen Form von Ph. Pellin in Paris, Rue de l'Odéon 21, erzeugt.

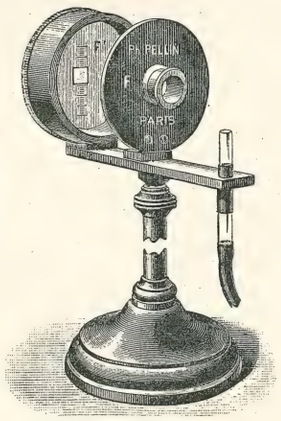


Fig. 52.
Ferrys Acetylen-Normallampe.

Am Internationalen Kongreß für Photographie in Liége 1905 wurde als sekundäre Lichteinheit für photographische Photometrie das Azetylenlicht empfohlen, und zwar eine Azetylenkerze, welche ${}^1/_{20}$ der Violleschen Lichteinheit beträgt (Revue des sciences phot. 1906, S. 26; Eders Jahrb. 1906, S. 440).

(zufolge zu hoher Temperatur, und sekundär durch Polymerisation des Azetylens). Man reinigt Azetylen durch Chromsäurelösung (z. B. Kaliumbichromat und Schwefelsäure in Kieselgur aufgesaugt, sog. „Heratal“) oder Chlorkalk oder ein Gemisch von Chlorkalk mit 15% Bleichromat usw. Vgl. G. Keppeler, Über die Reinigung des technischen Azetylens. Habilitationsschrift, München 1902; ferner Journal f. Gasbeleuchtung 1904 und 1905; ferner Luegers „Lexikon der gesamten Technik“ 1904, II. Aufl., Bd. I, S. 56.

1) Genau beschrieben im Berichte der Exposition Franco-Britannique in London 1908, ferner Journal de Physique, Bd. 3, 3. Nov. 1904.

6. Die Viollesche Platin-Lichteinheit.

Als Lichteinheit für photographische Zwecke wurde vom Kongreß für Photographie 1889 in Paris die sogenannte Viollesche Einheit (welche früher vom Kongreß der Elektriker im Jahre 1881 akzeptiert wurde) angenommen. Diese Viollesche Lichteinheit[1]) wird durch diejenige Lichtmenge gebildet, welche 1 qcm weißglühendes geschmolzenes Platin im Augenblicke des Erstarrens in senkrechter Richtung aussendet.

Diese Lichteinheit ist jedoch sehr schwierig herzustellen und zur praktischen Verwendung kaum geeignet.

Am Elektrikerkongreß in Genf wurde im Jahre 1896 die Viollesche Einheit beibehalten. Weiter wurde dort unter dem Namen „Bougie décimale“ $= 1/20$ Violle = der Lichtstärke der Hefnerlampe als internationale Gebrauchseinheit festgesetzt. Jedoch ist diese Reduktionszahl nicht ganz genau, sondern sie wurde erst später mit größerer Genauigkeit festgestellt (s. folgende Tabelle).

Die Untersuchungen von Moissan über das Verdampfen der Metalle im elektrischen Ofen haben Violle dazu geführt, andere Metalle an Stelle des sonst üblichen schmelzenden Platins zur Herstellung einer Lichtnormale zu benutzen. Über das zu verdampfende Metall wird ein Kohlerohr im elektrischen Ofen angebracht, welches sich mit dem Dampf umhüllt und von außen beobachtet werden kann. Von den Metallen zeigten sich besonders Silber und Kupfer geeignet. Um als konstante Strahlungsquelle praktisch verwendet zu werden, bedarf der Apparat nur noch kleiner Vervollkommnungen (Compt. rend. de l'Acad. des sciences; Chem. Zentralbl. 1906, Bd. I, Nr. 5, S. 356; Eders Jahrb. 1906, S. 451. — Vgl. ferner Liebenthal, Praktische Photometrie).

Da die Herstellung der Violleschen Einheit sehr kostspielig und schwierig ist, schlug Werner v. Siemens 1884 vor, nicht die Lichtstärke des erstarrenden, sondern des schmelzenden Platins zu messen, indem er den elektrischen Strom durch Platinblech schickte und den Strom bis zum Durchschmelzen des Platinstreifens steigerte. Das Lichtmaß ist aber nicht brauchbar, weil das Platinband bei sehr verschiedenen Lichtstärken durchschmilzt.

7. Tabelle der wichtigsten Lichteinheiten.

Folgende Tabelle gibt den relativen Wert der optischen Helligkeit verschiedener Normallichtquellen verglichen mit der Hefnerkerze:

	Hefnerkerzen (HK)
Hefnersche Amylacetatlampe	1
10-Kerzen-Pentanlampe	10,9
Carcellampe	10,9
Englische Wallratkerze	1,14
Bougie décimale	1,14
Viollesche Einheit	22,8

1) Violle, Note sur les experiences effectuées pour la détermination de l'etalon absolu de lumière. (Gauthier-Villars, Paris 1884.) — Ferner vgl.: Liebenthal, Praktische Photometrie.

8. Bunsen und Roscoës Normalflamme mit Kohlenoxyd.

Brennendes Kohlenoxydgas gibt nach Bunsen und Roscoë eine vollkommen konstante Lichtquelle.

Bunsen und Roscoë wählten beim Chlorknallgas-Photometer als Normalflamme eine in atmosphärischer Luft verbrennende Kohlenoxydflamme, die auf einer kreisrunden, 7 mm im Durchmesser haltenden Öffnung eines Platinbrenners brennt und deren Gaszufluß durch eine verschwindend kleine Druckdifferenz bewirkt wird und 5 ccm von 0 Grad C bei 760 mm Druck in der Sekunde beträgt.[1]) Hierzu wurde konstatiert, daß mit dem Zuwachs des strömenden Gases der Zuwachs der von der Flamme ausgeübten chemischen Wirkung proportional ist, wenigstens innerhalb der Grenze von 3 bis 6 ccm pro Sekunde. Mittels dieser Normalflamme wurden zunächst die Angaben verschiedener Instrumente auf ein und dieselbe Lichteinheit reduziert und untereinander vergleichbar gemacht. Als chemische Lichteinheit wurde diejenige chemische Wirkung angenommen, welche die Normalflamme bei 1 m Entfernung in einer Minute ausübt. Zehntausend Lichteinheiten geben einen Lichtgrad. Wo es sich darum handelt, die in einer gewissen Zeit auf ein Flächenelement auffallende Lichtmenge in absolutem Maße auszudrücken, fanden sie es am zweckmäßigsten die photochemische Wirkung in Höhen einer Salzsäureschicht anzugeben, welche über der bestrahlten Fläche erzeugt sein würde, wenn das auffallende Licht eine unendlich große Chlorknallgasschicht parallel durchstrahlt hatte. Sie nannten der Kürze wegen diese in Metern gemessene Höhe „Lichtmeter“.

Flammen von gewöhnlichen Lampen verwarfen Bunsen und Roscoë, weil sie Schwankungen ihrer optischen und chemischen Helligkeit zeigen, ebenso wie durch den elektrischen Strom glühend gemachte Metalldrähte.[2])

Trotz der vollkommen konstanten Intensität der Kohlenoxydflamme ist dieses Normallicht (außer zu den Untersuchungen von Bunsen und Roscoë) kaum in Verwendung gekommen, weil seine Herstellung umständlich und zeitraubend ist und die blaßblaue Flamme fast keine roten und gelben Strahlen aussendet und dadurch z. B. zur Prüfung orthochromatischer Platten unverwendbar ist.

9. Leuchtgasflammen als Normallicht.

Für praktische photographische Arbeiten, bei denen man ein Normallicht nötig hat (z. B. Vergleichung der Empfindlichkeit photographischer Platten), ist das Kohlenoxyd-Normallicht nicht verwendbar, jedoch ist gewöhnliches Leuchtgas einigermaßen brauchbar.

Man lasse Leuchtgas (Steinkohlengas) aus einem Rohr[3]) von 1 mm Öffnung ausströmen, entzünde es und reguliere den Gaszutritt derartig, daß die Flammenhöhe 68,4 mm beträgt. Bei diesem Licht exponiere man die photographischen Platten unter irgend einem Skalenphotometer usw., dessen Grade bekannte Werte haben (z. B. Vogels Photometer), in einer Distanz von 1 m durch eine bestimmte Zeit (Bromsilbergelatine $1/4$ bis 1 Minute). Dann wird die Platte mit dem Entwickler behandelt.

1) Die genaue Beschreibung dieses Brenners s. Poggend. Annal. 1859, Bd. 108, S. 193. (Auch Pizzighelli, Aktinometrie, 1884, W. Knapp in Halle a. S.)

2) Poggend. Annal. 1859, Bd. 108, S. 194.

3) Messingrohr mit Platinspitze.

Die Intensität der Flamme eines Leuchtgas-Einlochbrenners von bestimmter Höhe ist, wie Giroud zeigte[1]), konstant, selbst dann, wenn die Leuchtkraft des Gases um 15% auf- und abschwankt. Die Leuchtkraft eines Einlochbrenners von 67,5 mm Flammenhöhe ist gleich $^1/_{10}$ Carcellampe = 0,96 Wallratkerzen = 0,983 deutschen Vereinskerzen; beträgt die Flammenhöhe 68,4 mm, so ist die Leuchtkraft = 1,00 engl. Wallratkerzen.

Verfasser hat Versuche mit diesem Brenner gemacht und in der Tat während der Beobachtungszeit von mehreren Stunden genügend konstante Resultate erhalten.

10. Benzinlampe als Zwischenlichtquelle.

Die Benzinlampe wird in der Photometrie häufig als sekundäre Standard (Zwischenlichteinheit) benutzt, z. B. von Hefner-Alteneck[2]), L. Weber[3]), Uppenborn[4]), Stine[5]) und vom Verfasser.

Für photographische Sensitometrie wurde die Anwendung der Benzinlampe von Scheiner vorgeschlagen (s. Scheiners Sensitometer) und vom Verfasser durch zahlreiche Messungen begründet[6]).

Die Benzinlampe, in welcher die Flamme mit Glaszylinder, freier Austrittsöffnung und Blendungsfensterchen brennt, ist eine vorzügliche Zwischenlichtquelle. Diese Lampe wurde von Scheiner behufs Sensitometrie photographischer Platten konstruiert; sie wird von der mechanisch-optischen Werkstätte von Toepfer in Potsdam erzeugt. Die optischen und photographischen Konstanten dieser Lampe wurden von Eder zuerst genau festgestellt, welcher auch den Einfluß der Benzinqualität feststellte.

Die Außenansicht zeigt Fig. 52. Sie entspricht dem Typus einer sogenannten „Ligroinlampe“ mit großer Höhe des Saugdochtes; der letztere ist dicht gewebt und durch ein Zahnrad verstellbar. Die Höhe der Dochthülle beträgt 14 cm, der Durchmesser 6 mm. Der Ligroinbehälter im Lampenfuße faßt über 100 ccm des Leuchtmaterials.

---

1) Giroud, Journal für Gasbeleuchtung 1880, S. 700. Er fand weiter, daß bei gleichem Gas und gleicher Brenneröffnung die Flammenhöhe des Einlochbrenners direkt proportional dem Konsum ist; ferner, daß für verschiedenes Leuchtgas und gleiche Flammenhöhe der Konsum im umgekehrten Verhältnisse zur Leuchtkraft des Gases steht. — Auf einem ähnlichen Prinzipe konstruierte Lowe (Schillings Handbuch für Steinkohlengasbeleuchtung; 3. Aufl., S. 219) seine vielfach angewandte Photometer-Methode.

2) Elektrotechn. Zeitschr. 1883, Bd. 5, S. 455.

3) Bei dem bekannten Weberschen optischen Photometer.

4) Zentralbl. f. Elektrotechn. 1888, Bd. 10, S. 486.

5) Stine, Photometrical Measurements 1900.

6) Vgl. Eder, System der Sensitometrie (s. unten).

Die Flammenhöhe, welche mittels eines Diopters kontrolliert wird, beträgt 28 mm. Der Diopter besteht in seiner (auf des Verfassers Anregung hin ausgeführten) neuen Form aus einem durchlochten Blechring, der rings um die Mitte als Höhenmarke für die Flammenspitze einen feinen Draht trägt. Die Flamme wird seitlich durch ein Fensterchen abgeblendet; der horizontale Spalt in diesem Fensterchen ist 1 mm hoch und 15 mm breit; die Unterkante liegt 14,5 mm, die Oberkante 15,5 mm über der Dochthülse. Die Entfernung des Fensterchens von der Dochtachse beträgt 14 mm. Der rote Glaszylinder, welcher die Flamme einschließt, hat einen Durchmesser von 45 mm und eine Höhe von 23 cm. Das runde Loch im Zylinder, welches das durch die Spalte fallende Licht frei austreten läßt, besitzt einen Durchmesser von 17 mm.

Die Untersuchungen Eders (a. a. O.) zeigen: 1. daß die Benzinlampe als konstanter sekundärer Standard akzeptiert werden kann; 2. daß der Einfluß der geringen etwaigen spektralen Verschiedenheit der Benzin- und Amylacetatlampe als belanglos für die Reduktion ihrer relativen chemischen Helligkeit bei Bromsilbergelatine anzusehen ist; 3. daß die Reduktion der Helligkeit der Benzinlampe auf die Hefnersche Einheit mit großer Genauigkeit in der Weise möglich ist, daß man jenen Lichtabstand beider Lichtquellen bestimmt, in welchem sie (bei gleicher Belichtungsdauer) den gleichen photographischen Effekt geben. Die Resultate sind innerhalb weiter Grenzen konstant (bei proportionaler Vermehrung oder Verminderung der Lichtintensität und Expositionszeit), wenn man bei den Schwärzungsmessungen der photographischen Platten störende Nebeneinflüsse fernhält und die Bedingungen normaler Belichtung und Entwicklung erfüllt. 4. Sollen die sensitometrischen Angaben über Empfindlichkeit, Schwellenwert usw. photographischer Bromsilbergelatineplatten direkt mit Benutzung des Hefnerlichtes (Hefners Amylacetatlampe) vorgenommen werden ohne Anwendung der Scheinerschen Benzinlampe als Vergleichslicht (sekundären Standard), so kann man normale Scheinergrade dadurch erhalten, daß man das frei brennende Hefnerlicht in einer Distanz von 3,637 m (d. i. Abstand der Dochtachse der Hefnerlampe von der sensiblen Plattenschicht im

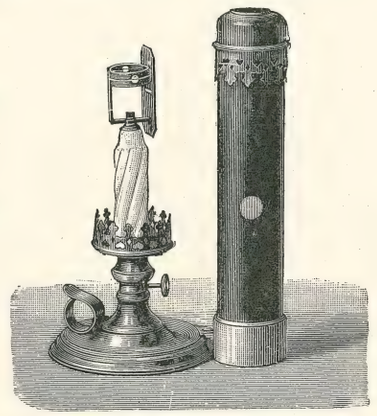


Fig. 52. Scheiners Normal-Benzinlampe.

Scheiner-Sensitometer, großes Modell) aufstellt.[1]) (Vgl. Eders Jahrb. f. Phot. 1901, S. 583.)

Der Verfasser benutzt Petroleumbenzin (sog. Gasolin), wie es für Ligroinlampen verwendet wird und zwar von der Petroleumraffinerie Gerson Boehm und Rosenthal in Wien, mit dem spez. Gew. von 0,704 bei 15° C, und einer Siedegrenze von 60 bis 100° C. (Über den Einfluß der Benzinsorten s. Phot. Korresp. 1899, S. 714.)

Der Verfasser fand, daß die etwa vorhandene geringe spektrale Verschiedenheit der Benzin- und Amyllampe belanglos für die Verwendbarkeit zur Sensitometrie von Bromsilberplatten ist. Stellt man eine freibrennende Hefnerlampe in einer Distanz von 3,637 m von einer photographischen Platte auf (Abstand der Dochtachse), so entspricht dies der Helligkeit der Scheinerschen Lampe = 0,0756 der Hefnerschen Normallampe.[2])

11. Elektrische Glühlampen als Normallampen.

Elektrische Glühlampen von bekannter Helligkeit und bei konstant gehaltener elektrischer Stromstärke (mit Akkumulatoren) sind als Vergleichslampen beim Photometrieren sehr geeignet. Metallfaden-Glühlampen sind den Kohlefadenlampen hierbei vorzuziehen (Dow, Beibl. Annal. Phys. 1907, Bd. 31, S. 321; Eders Jahrb. f. Phot. 1907, S. 421.)

Nernst-Glühlampen sowie Metallfadenlampen liefern viele Stunden konstantes Licht, wenn konstanter elektrischer Strom sie durchfließt (Nernst, Physik. Zeitschr. 1906, Bd. 7, S. 380; Eders Jahrb. f. Phot. 1907, S. 421).

12. Magnesium als Normallicht.

Nicol schlug vor, ein Quantum eines Gemisches von gepulvertem Magnesium und Salpeter zu verbrennen; er nahm an, daß bei gleichen Mengen sich stets gleich viel Licht entwickelt. (Phot. Wochenbl. 1881, S. 140; Brit. Journ. Phot. 1881, S. 182.) Diese Annahme ist aber nach Eders Versuchen nicht zutreffend.

Wenn man ein genau gewogenes Quantum ganz reines Magnesiumband in einer bestimmten Distanz vor der zu prüfenden, unter einem Sensitometer befindlichen Platte verbrennt, erhält man ein nur für sehr mäßige Ansprüche genügend konstantes Licht.

1) Mit anderen Worten: Die chemische Helligkeit der Scheiner-Benzinlampe (mit der vom Verfasser erwähnten Benzinsorte) in 1 m Abstand ist für Bromsilbergelatine gleich dem Hefnerlichte vom Abstande 3,637 m.

2) Eder, System der Sensitometrie I, Sitzungsber. d. k. k. Akad. d. Wissensch. Wien, Math.-naturw. Bl., 9. Nov. 1899; — II. Abhandl. ebenda 6. Dez. 1900. (Daselbst Zurückweisung unbegründeter Kritik Prechts über diese sekundäre Lichtquelle.)

Es muß ausdrücklich bemerkt werden, daß die Lichtintensitäten verschiedener Gewichtsmengen verbrannten Magnesiumdrahtes keineswegs proportional der Menge des verbrannten Magnesiumdrahtes sind. Die sich bildende Wolke von Magnesia verhüllt nämlich teilweise die Flamme und das um so mehr, je länger die Verbrennung andauert.

Etwas bessere Resultate erhält man, wenn man gleiche Gewichtsmengen gleichmäßig dicken Magnesiumbandes verbrennt; aber auch dann unterliegen die entwickelten Lichtstärken (selbst unter scheinbar ganz gleichen Versuchsbedingungen) nicht unbeträchtlichen Schwankungen, da das Magnesiumband nicht völlig an der Luft verbrennt, sondern ein wenig Magnesium unverbrannt verdampft[1]) und variable Rauchbildung auftritt.

Über Anwendung des Magnesiums zur Photometrie siehe H. W. Vogel (Eders Jahrb. 1896, S. 425), wobei allerdings die nicht ganz zutreffende Bemerkung gemacht wird, daß brennendes Magnesium konstantes Licht liefert.

13. Radiometer.

Das Radiometer (Lichtmühle) von Crookes (im Jahre 1874 erfunden), bei welchem ein leichtes Kreuz in einer luftleeren Glaskugel durch die Lichtstrahlen windmühlenartig bewegt wird (s. Fig. 53), ist mehr Thermometer als Photometer. Es ist deshalb als photographisches Aktinometer zur Bestimmung der Expositionszeit unbrauchbar, wie Seifert in einer ausführlichen Abhandlung[2]) zeigte, trotzdem es von Vidal und in veränderter Form von Zöllner, welcher sich auf einige Versuche des Photographen Naumann stützte, als Photometer im Atelier empfohlen wurde. Auch Olivier konstruierte ein registrierendes Photometer auf dieser Basis (Beibl. Annal. Phys. Chem. 1888, S. 848; Compt. rend. Bd. 106, S. 840). So fand Abney[3]), daß das Radiometer, den ultraroten Strahlen ausgesetzt, in einer Minute 38 Umdrehungen, den roten 19, den orangegelben 4, den grünen 1 und den übrigen Strahlen des Spektrums ausgesetzt, gar keine Umdrehungen machte.

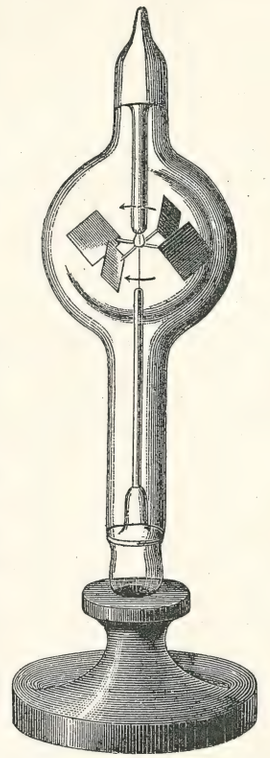


Fig. 53. Radiometer von Crookes.

Crookes selbst fand beim Aussetzen des Radiometers in die verschiedenen Strahlen des Spektrums das Maximum der Wirkung im Ultrarot; wird diese gleich 100 gesetzt, so ergeben sich nach Crookes für die Strahlen der anderen Farben folgende Verhältniszahlen: Äußerstes Rot 85, Rot 73, Orange 66, Gelb 57, Grün 41, Blau 22, Indigo $8^1/_2$, Violett 6, äußerstes Violett 5 (Seifert a. a. O.).

1) Christomanos, Eders Jahrb. f. Phot. 1904, S. 313.

2) Phot. Korr. 1879, S. 60.

3) Bull. Soc. franç. Phot. 1876, S. 90.

14. Lichtelektrische Apparate und photogalvanische Ketten als Photometer.

Die photoelektrischen Ströme, photogalvanischen Ketten und elektrochemischen Photometer sind bereits im 1. Bande, 3. Aufl. 1906, S. 424 beschrieben.

Die Abhängigkeit der photochemischen Wirkung von der Wellenlänge des einwirkenden Lichtes ist für verschiedene Stoffe sehr verschieden. So findet z. B. Rigollot die geringste Wirkung für Schwefelsilber in den infraroten, für Jodkupfer aber in den ultravioletten Strahlen; auf eine Goldplatte, welche als Anode zur Elektrolyse von Wasser diente und dadurch empfindlich für Lichtelektrizität wurde, liegt die Maximalwirkung des Spektrums zwischen λ 410 und 478 $\mu\mu$ (Bose und Kochan).

Das Gouy und Rigollotsche elektrochemische Photometer mit oxydierten Kupferstreifen besitzt die Maximalwirkung in Blaugrün zwischen λ 530 und 490 $\mu\mu$ (Jahrb. f. Phot. 1892, S. 307).

Eine Theorie der photoelektrischen Elemente haben bereits E. Bequerel und später Griveaux, Luggin, G. C. Schmidt u. a. entworfen. Besonders eingehend hat H. Scholl (1905) die photoelektrischen Erscheinungen am feuchten Jodsilber studiert; er findet, daß beim Belichten mehrere Prozesse sich abspielen, von denen je nach den Umständen der eine oder der andere hervortreten kann und zwar findet einerseits ein Dissoziationsvorgang statt, bei welchem außer den Ionen des Jodsilbers wahrscheinlich negative Elektronen entstehen, anderseits bildet sich ein neuer, photoelektrisch erregbar unbeständiger Körper, der sich leicht in die Ausgangssubstanz umwandelt. Theoretische Untersuchungen, die sich auf die neuere Lehre von den Elementen stützen, hat ferner Wilderman (1905—1907) ausgeführt. Er findet, daß es auch unter den photoelektrischen Elementen konstante und unbeständige, umkehrbare und nicht umkehrbare gibt. Für die verschiedenen möglichen Fälle hat er Formeln der elektromotorischen Kraft E abgeleitet. Ferner hat er theoretisch und durch das Experiment diejenigen Perioden der Variation von E untersucht, welche zu Beginn der Belichtung (Induktionsperiode) und nach Aufhören der Belichtung (Deduktionsperiode) vorhanden sind.[1])

Über galvanische, durch Lichtwirkung erzeugte Ketten stellte Meyer Wilderman Untersuchungen von größter Wichtigkeit an, welche die Kenntnis der chemischen Statik und Dynamik von reversiblen und irreversiblen Systemen unter dem Einfluß des Lichtes erschließen. Er knüpft an die Versuche von Becquerel und Minchin mit jodierten Silberplatten usw. an, bei deren Versuchsanordnung beim Belichten einer der Platten sich inkonstante galvanische Ketten bilden. Wilderman stellte fest, daß die Lichtstrahlen aller Wellenlängen (rote, blaue, violette usw.) sowohl „chemisch“ als auch als „Wärmestrahlen“ und in verschiedenem Grade wirken. Er stellt den wichtigen Satz auf: „Jede Art von chemischem Gleichgewicht zwischen zwei Zuständen der Materie bei konstantem Volumen wird durch Belichtung in solcher Richtung verschoben, daß die Lichtabsorption zunimmt“ — ein Prinzip, welches analog dem von van't Hoff für Wärme aufgestellten ist (Zeitschr. f. physik. Chem. 1902, Bd. 42, S. 332).

Die von Wilderman benutzten konstanten photogalvanischen Ketten mit Silber waren durch Eintauchen von metallischen Silberplatten in sehr verdünnte

1) Vgl. Chwolson, Lehrb. d. Physik 1908, S. 682. — Ferner die Referate über diesen Gegenstand in den Jahrbüchern f. Photogr. — Insbesondere aber Wilderman, Galvanische durch Lichteinwirkung erzeugte Ketten, Zeitschr. f. phys. Chemie 1907.

Chlorwasserstoffsäure hergestellt; sie wurden in schwache wässerige Chlornatriumlösung getaucht und etwas Chlorsilber auf den Boden des Gefäßes gebracht und eine von zwei derartigen chlorierten und in die Flüssigkeit getauchten Silberplatten belichtet, während die andere dunkel blieb. Ebenso werden Silberplatten bromiert und in Bromnatriumlösung getaucht. Es entstehen (besonders kräftig im blauen und violetten Lichte) photogalvanische Ströme. Alle Teile des Spektrums (Rot, Blau, Gelbgrün) rufen elektromotorische Kräfte hervor. Sehr interessant sind die Beobachtungen über den Einfluß einer vorhergehenden schwachen Belichtung auf die Zunahme der Empfindlichkeit solcher photogalvanischer Bromsilbersysteme; es nahm die Lichtempfindlichkeit unter gewissen Bedingungen etwas zu; es tritt eine „dauernde Lichtsensibilisierung“ ein und das früher absorbierte Licht bringt dann im Dunklen weiter eine Veränderung der mit dünnen Bromsilberschichten überzogenen Silberplatte hervor. Auch Silber- und Jodsilberplatten, getaucht in Jodkaliumlösung wurden untersucht; beim Belichten einer der Platten fließt stets der elektrische Strom von der Platte im Dunkeln zur belichteten Platte; hierbei wirkt das blaue und violette Licht stark, dagegen das rote und gelbgrüne so gut wie gar nicht. — Das System Quecksilber-Quecksilberchlorür oder Bromür gibt keine oder äußerst schwache photogalvanische Ströme. Dies ist insofern interessant, als manche Forscher (Lüppo-Cramer u. a.) eine große Analogie im photochemischen Verhalten der Silber- und Quecksilberhalogenide annehmen, was wenigstens in diesem Falle nicht zuzutreffen scheint, so daß man Analogieschlüsse zwischen beiden Systemen mit Vorsicht aufnehmen muß. Dagegen gibt Quecksilber mit Quecksilbersulfat in Lösungen schwefelsaurer Salze photogalvanische Ströme von der dunklen zur belichteten Elektrode. — Sehr gute Resultate liefern photogalvanische Ketten mittels Kupfer-Kupferoxyd in verdünnter Ätznatronlösung. Zu diesem Zwecke werden Kupferplatten in Salpetersäure getaucht, herausgenommen und senkrecht getrocknet; die entstandene Haut aus Kupfernitrat wird durch Erhitzen über einer Gasflamme in Kupferoxyd übergeführt. Werden zwei solche Platten in Ätznatronlösung getaucht und eine derselben belichtet, so gehen die Natrium-Ionen von der dunklen Platte zu der belichteten Platte über. Unter dem Einfluß des Lichtes verschwindet Kupferoxyd von der belichteten Platte und bildet neues Kupferoxyd auf der dunklen Platte. Diese photogalvanischen Kupfer-Kupferoxydketten absorbieren alles auf sie fallende Licht, weil die schwarze Farbe des Kupferoxyds günstig wirkt; da sie durch alle Strahlen des Spektrums gleich beeinflußt wird, so läßt sich dieses System besser als jedes andere bisher bekannte zur Messung der Intensität des Lichtes aller Wellenlängen verwenden; gleichzeitig zeigt es für gleiche Lichtintensität eine viel größere elektromotorische Kraft beim Belichten als die anderen photogalvanischen Ketten. — Als allgemeines, für die wissenschaftliche Photochemie wichtiges Ergebnis fand Wilderman bei seinen Versuchen einen weiteren Beweis, daß die chemische Reaktionsgeschwindigkeit in lichtempfindlichen Systemen ebenso wie das chemische Gleichgewicht unter dem Einfluß des Lichtes nach Ablauf der Induktionsperiode dem bekannten chemischen Massenwirkungsgesetz[1]) gehorchen (Zeitschr. f. physik. Chem. 1907, Bd. 60, S. 70).

K. Schaum erwähnt, daß die häufig untersuchten lichtempfindlichen Elektroden, bei welchen die durch das Licht veränderliche Substanz in Form einer festen Verbindung (Chlorsilber, Kupferoxydul usw.) auf einer metallischen Elektrode (Silber, Kupfer usw.) haftet, von verschiedenen Gebieten des Spektrums sehr verschieden beeinflußt. Solche elektrochemische Aktinometer zeigen häufig den Übelstand, daß

1) Vgl hierüber: Eder, Photochemie, 3. Aufl., 1906, S. 64.

die lichtempfindlichen Substanzen infolge der Bestrahlung ihre Oberfläche ändern. Schaum empfiehlt deshalb die Verwendung lichtempfindlicher Flüssigkeiten an unangreifbaren Elektroden, z. B. Kaliumferricyanatlösung mit Platinelektroden (Jahrb. f. Phot. 1902, S. 129).

Über das Problem der elektrischen Aktinometrie mit zwei Kupferplatten, kombiniert mit einem galvanischen Element, wovon eine belichtet wird, stellte Randall Versuche an (Photography 1901, S. 784; Brit. Journ. Phot. Suppl. 5. April 1901).

Über Anwendung des photoelektrischen Stromes zur Photometrie der ultravioletten Strahlen s. Kreusler (Annal. Phys. Chem. 1901, Bd. 6, S. 412).

Als Beispiel einer anderen Art von lichtelektrischen Photometern zur Bestimmung der Intensität der Sonnenstrahlung sei der von J. Elster und H Geitel angegebene Apparat angeführt, welcher von der Firma Günther & Tegetmeyer in Braunschweig hergestellt wird. Hierbei gehen Elster und Geitel von folgenden Erwägungen aus: Wird die blanke Oberfläche eines in verdünntem Wasserstoff befindlichen Alkalimetalls von Licht getroffen, so sendet sie bekanntlich nach Lenard negative Elektronen, d. h. Kathodenstrahlen aus, welche die in dem Rezipienten vorhandenen Gasreste ionisieren. Verbindet man daher die lichtempfindliche Fläche mit dem negativen Pole einer galvanischen Batterie, den die Wand des kugelförmigen Glasrezipienten durchsetzenden Platindraht mit dem positiven Pole und schaltet in den Stromkreis ein empfindliches Galvanometer ein, so zeigt dieses einen Strom an, sobald man dem Lichte Zutritt zur Alkalimetallfläche gewährt. Dabei ist die Stärke des photoelektrischen Stromes der Lichtintensität innerhalb weiter Grenzen proportional. Daß diese Anordnung zum Vergleiche von Lichtstärken geeignet ist, haben Elster und Geitel schon früher[1]) dargetan.

Es erschien von besonderem Interesse, mittels einer derartigen Vorrichtung die Variation der Lichtstärke der Sonne während des Verlaufes einer totalen Verfinsterung festzulegen, was Elster und Geitel 1905 durchführten.

Der Verwendung dieses Photometers ist durch den Umstand eine Grenze gesetzt, daß es im wesentlichen nur auf grüne, blaue, violette und ultraviolette Strahlen reagiert. Bei Rubidium ist zwar die Photometrierung gelben und roten Lichtes nicht ausgeschlossen, doch ist hierzu erforderlich, die Alkalimetallfläche auf ein konstantes, wesentlich höheres, negatives Potential zu laden.

Über Selen-Photometer s. Bd. I, 2. Abteilung.

Über die Anwendung der Thermosäule zu photometrischen Messungen im Ultraviolett s. A. Pflüger (Jahrb. f. Phot. 1905, S. 17).

15. Phosphoreszierende Substanzen als Normallicht.

Als Normallicht, bei welchem die zu prüfenden photographischen Platten exponiert werden sollen, schlug Warnerke eine mit blau phosphoreszierender Farbe (Balmains Leuchtfarbe) bestrichene Platte vor, welche durch Bestrahlen von 3 cm brennenden Magnesiumbandes leuchtend gemacht wurde. Die phosphoreszierende Platte wird 1 Minute nach der Bestrahlung auf das Sensitometer gelegt, unter welchem sich die Probe-

1) Eders Jahrbuch 1895 und 1906, S. 39.

platte befindet. Temperaturunterschiede von — 14 bis + 17 Grad C sollen ohne Einfluß sein; größere Mengen Magnesiumband ändern das Resultat nicht, indem obiges Quantum schon die äußerste Intensität gibt.

Die Absicht, dadurch ein Normallicht zu gewinnen, ist aber nicht erreicht, schon deshalb, weil die phosphoreszierenden Farben enorm in ihren Eigenschaften differieren.

Trotzdem wurde eine blau phosphoreszierende Tafel im Warnerke-Sensitometer (s. dieses) als Normallicht verwendet und es erscheint dasselbe für mäßige Anforderungen der photographischen Praxis genügend.

SECHSTES KAPITEL.

CHEMISCHE PHOTOMETER MIT GASEN UND FLÜSSIGKEITEN.

Zur Herstellung eines chemischen Photometers oder Aktinometers kann jedes lichtempfindliche Gas oder Gasgemisch, oder jede lichtempfindliche Flüssigkeit dienen, deren photochemischer Zersetzungsprozeß genügend regelmäßig während der Beobachtungsdauer verläuft und deren photochemischer Umsatz hinlänglich genau bestimmt werden kann[1]), um auf die Größe der wirkenden Lichtmenge einen Rückschluß ziehen zu können.

I. Photometer mit Chlorgas und Wasserstoffgas oder Kohlenoxydgas.

Wie in Bd. I, Abt. 2 angegeben wurde, verbindet sich ein Gemisch von Chlor und Wasserstoff langsam im zerstreuten und mit Explosion im direkten Sonnenlichte, indem sich Chlorwasserstoffsäure bildet, die bekanntlich im Wasser äußerst löslich ist. Wenn man nun gleiche Raumteile Chlor und Wasserstoff mit etwas Wasser in ein Glasrohr bringt, kann die Menge von Chlorwasserstoffsäure, welche sich in einer gegebenen Zeit bildet und im Wasser löst, als Vergleichungsmaßstab für die verschiedenen Lichtquellen dienen.

Draper hatte schon Dezember 1843 in seinem Photometer (von ihm Tithonometer genannt) die Volumverminderung, welche das Gemenge von Chlor und Wasserstoff unter einer absorbierenden Flüssigkeit durch Bestrahlung erfährt, als Maß der chemischen Lichtwirksamkeit angewendet. Sein Verfahren war aber ungenau, weil er während des Versuches den Druck nicht konstant erhielt, auch die absorbierende Flüssigkeit vor dem Beginn der Messung nicht mit dem Gasgemenge von konstantem Mengungsverhältnis gesättigt hatte; aus beiden Gründen mußte die Menge des verschluckten Gases, abgesehen von der durch Salzsäurebildung bedingten Absorption, Schwankungen erleiden; die Volumveränderung des freien Gases durfte also als ein genaues Maß der chemischen Lichtwirkung nicht betrachtet werden[2]).

1) Vgl. Bd. I, 2. Abt. dieses Handbuches.

2) Philos. Magaz. 1843, Bd. 23, S. 401.

Bunsen und Roscoë erkannten, daß das Drapersche Tithonometer in der ursprünglichen Form kein wirkliches Meßinstrument sei, daß es aber sehr verbesserungsfähig sei. Sie suchten ein Gasgemenge von gleichem Volumen Chlor und Wasserstoff und von konstanter Zusammensetzung zu erhalten und erreichten dies durch Elektrolyse von verdünnter Salzsäure. Nach tagelangem Durchströmen fanden sie, daß die Sperrflüssigkeit ganz mit dem Gasgemisch gesättigt ist. Nun konnten sie durch einen Hahn den ferneren Zufluß absperren und aus der Volumverminderung des bestrahlten Gasgemenges die chemische Lichtintensität bestimmen. Die Angaben des Instrumentes blieben bei atmosphärischen Temperaturen zwischen 18 Grad und 26 Grad innerhalb der Grenzen möglicher Beobachtungszahlen konstant.

Das Wesentliche der Einrichtung des Bunsen-Roscoëschen Apparates wird durch Fig. 54 verdeutlicht.[1]) Die Einwirkung des Lichtes auf die Mischung von Chlorgas

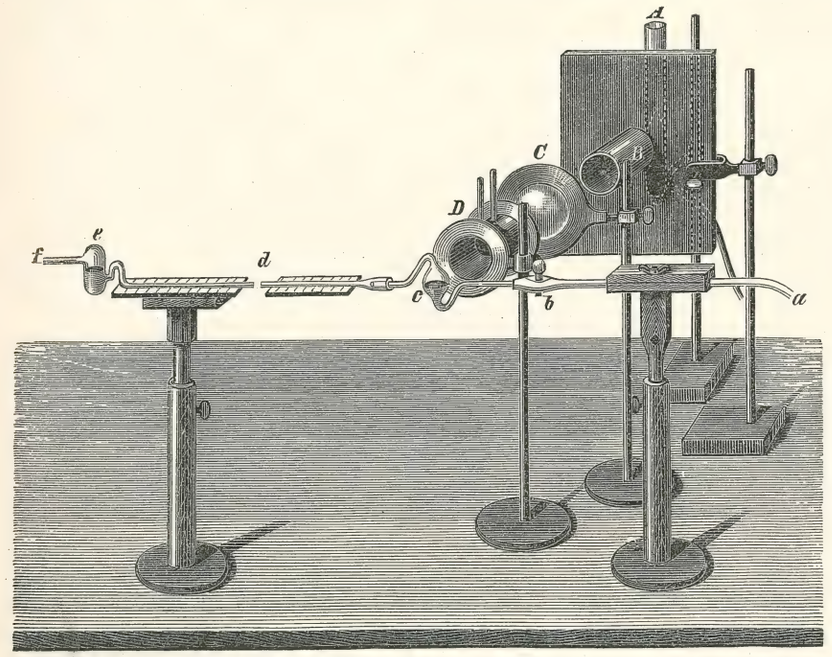


Fig. 54. Bunsen und Roscoës Chlorknallgas-Photometer.

und Wasserstoffgas findet in dem Glasgefäße c (dem Insolationsgefäße) statt, welches etwa 2 bis 3 ccm Wasser enthält und, soweit das Wasser in ihm reicht, von außen geschwärzt wird. Das Insolationsgefäß steht nach der einen Seite mit einem horizontalen Skalenrohr d und einem Gefäße e, worin sich Wasser zum Zweck der Absperrung des Skalenrohrs befindet, in Verbindung, andererseits mit einem Apparat, welcher jene Gasmischung rein entwickelt (durch Elektrolyse angemessen konzentrierter Salzsäure mit den nötigen Vorsichtsmaßregeln; alle Zusammenfügungen der verschiedenen Teile des Apparats mittels Kautschuk oder anderer Materialien, welche auf die Zusammensetzung der Gasmischung einen ändernden Einfluß ausüben könnten, müssen aus-

1) Buffs Physikalische Chemie 1863, S. 424.

geschlossen sein). Wenn diese Gasmischung, bei *a* ein- und bei *f* austretend, sehr lange Zeit durch den Apparat geleitet wurde, so daß alle im Apparat enthaltene Luft vollständig ausgetrieben ist, wird der Glashahn *b* geschlossen; die Flüssigkeit im Insolationsgefäße *c* und die Sperrflüssigkeit in *e* sind dann mit der Gasmischung gesättigt und üben auf die in *c* befindliche Gasmischung keinen absorbierenden noch einen die Zusammensetzung derselben ändernden Einfluß aus. Fällt nun Licht auf das Insolationsgefäß *c*, so wird nach Maßgabe der chemischen Wirksamkeit des auffallenden Lichtes Chlorwasserstoff gebildet, welches von der Flüssigkeit in *c* sogleich absorbiert wird, was an dem Vorrücken der Sperrflüssigkeit in der Skalenröhre *d* (von *e* nach *c* hin) gemessen wird; das Raumverhältnis eines Skalenteils der Röhre *d* zu dem von der Gasmischung erfüllten Raume ist bekannt. Da der Apparat auch als empfindliches Lufttthermometer wirkt, ist jede Erwärmung des Gefäßes *c*, namentlich auch von seiten der Lichtquelle, zu vermeiden; das z. B. von der Flamme einer konstant brennenden Gaslampe *A*, die hinter einem Schirme steht, durch die in diesen Schirm eingesetzte Röhre *B* kommende Licht geht deshalb, nachdem es durch die

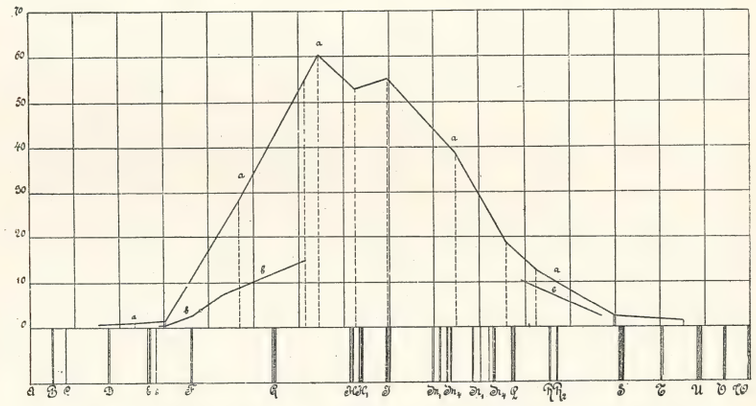


Fig. 55. Graphische Darstellung der Wirkung des Sonnenspektrums auf Chlorknallgas.

Konvexlinse *C* gegangen, durch den mit Wasser gefüllten, mittels Glasplatten geschlossenen Zylinder *D*, damit hier die von der Lichtquelle ausgehende strahlende Wärme absorbiert werde. Übrigens war bei den Messungen Bunsen und Roscoës das Insolationsgefäß *c* gegen die Lichtquelle hin noch durch einen blanken doppelten Metallschirm, welcher dem Licht durch zwei farblose Glimmerblättchen Zutritt zu *c* gestattete, und gegen alle anderen Seiten hin ebenfalls durch Umgeben mit nach außen blankem Metall vor der Einwirkung von außen kommender Wärme geschützt.

Mittels eines solchen Apparates lassen sich genaue photochemische Messungen vornehmen, doch nur, wenn die Mischung aus gleichen Volumen Chlor- und Wasserstoffgas ganz rein in ihm enthalten und jede Spur eines fremden Gases aus ihm weggeschafft ist. Als Lichtquelle, deren chemische Wirkung untersucht wurde, wendeten Bunsen und Roscoë zunächst das Licht an, welches von dem leuchtendsten Flammenmantel einer stets auf gleicher Höhe erhaltenen Leuchtgasflamme durch eine konstante Öffnung eines Schirmes hindurchging. Es geht unter dem Einflusse solchen Lichtes die Bildung von Chlorwasserstoff und die mit der Absorption des letzteren verbundene Volumverminderung zuerst nur langsam vor sich; die Wirkung steigert sich allmählich

und wird später konstant, sofern dann die weitere Chlorwasserstoffbildung der Zeit der Lichteinwirkung proportional ist (die alsdann vom Apparat gelieferten Angaben sind allein als Maß der chemischen Wirkungen brauchbar). Diese allmähliche Verringerung des ursprünglichen Widerstandes der beiden Gase gegen ihre Vereinigung ist als photochemische Induktion bezeichnet worden (s. Bd. I, 2. Teil, 1906). Wird später, nach konstant gewordener Wirkung, die Einwirkung des Lichtes plötzlich unterbrochen, so findet noch während kurzer Zeit eine Volumverminderung des im Insolationsgefäße enthaltenen Gases statt, welche indessen nicht auf einer Fortdauer der Vereinigung von Chlor mit Wasserstoff, sondern auf der Abkühlung beruht, welche nach dem Aufhören dieser, von Wärmeentwicklung begleiteten Vereinigung eintreten muß. Es wurde aber auch nachgewiesen, daß die Wärmentwickluug, welche diese Vereinigung begleitet, keinen bemerkbaren Einfluß auf die Verbindungsfähigkeit des Chlors und des Wasserstoffs ausübt, und mithin auch keinen auf die Vergleichbarkeit der durch den hier beschriebenen Apparat gelieferten Angaben, wenn sich einige Zeit nach Beginn der Wirkung der Wärmeentwicklung im Innern des Insolationsgefäßes und die Wärmeabgabe nach außen ins Gleichgewicht gesetzt haben.

Von den farbigen Strahlen wirkt besonders das blauviolette und ultraviolette Licht stark ein. In dem nebenstehenden Diagramm (Fig. 55) gibt die Linie *a a a a* eine graphische Darstellung der relativen chemischen Wirkung, welche die einzelnen Stellen des Spektrums des nur durch Luft und Quarz hindurchgegangenen Sonnenlichtes in völlig reinem Chlorknallgas hervorbringt. Man sieht, daß die Wirkung mehrere Maxima hat, von denen das größte bei $^1/_5$ *G H* bis *H* und das darauffolgende bei *J* liegt, und daß die Wirkung nach dem roten Ende hin rascher und regelmäßiger abnimmt als nach dem ultravioletten Ende hin.

Das Chlorknallgas-Photometer wurde von Bunsen und Roscoë später selbst aufgegeben, weil seine Anwendung sehr viele Vorsicht und Genauigkeit erfordert.

Dufours Aktinometer ist eine Modifikation des Chlorknallgas-Photometers. Es beruht im wesentlichen darauf, daß man die Wirkung des Lichtes auf ein Gemisch von Wasserstoff und Chlor durch die zersetzende Wirkung eines elektrischen Stromes auf Salzsäure balanciert und die Stärke des Stromes mißt, die der Intensität des Lichtes direkt proportional sein muß. Das Instrument gleicht einem Rumfordschen Thermoskop; eine Glaskugel enthält zwei Elektroden aus Retortenkohle, oberhalb deren sich eine gewisse Quantität Salzsäure befindet und woraus das lichtempfindliche Gemisch von Chlor- und Wasserstoff entwickelt wird.

Kohlenoxyd und Chlor.

Da das von Draper, Bunsen und Roscoë angewendete Gasgemisch unter dem Einflusse von grellem Lichte sich nicht mehr ruhig, sondern unter starker Explosion und Zertrümmerung des Gefäßes zersetzt, so ersetzte Burnett 1860 das Chlorgas-Wasserstoffgemisch durch ein Gemisch von Kohlenoxyd und Chlorgas, welches sich im Lichte ebenfalls rasch, aber ohne die Gefahr einer Explosion vereinigte, welche letztere Beobachtung schon Davy 1812 gemacht hatte (s. Bd. I, zweiter Teil, 1906, S. 123). Dieses Photometer kam nicht weiter zur Verwendung, bis Wilderman diese Lichtreaktion sehr sorgfältig studierte, was bereits in Eder „Photochemie“ (Bd. I, zweiter Teil dieses Handbuches, 1906) ausführlich besprochen wurde.

II. Photometer mit Chlorwasser oder Jodwasserstoffsäure.

Chlorwasser zersetzt sich im Lichte unter Bildung von Salzsäure und Freiwerden von Sauerstoff, wie Berthollet 1785 entdeckte. Je länger oder intensiver das Licht wirkt, desto mehr schwindet das freie Chlor in der Lösung und desto mehr Gas entwickelt sich. Diesen regelmäßigen Zusammenhang beobachtete Saussure 1790 und schlug vor, auf die Reaktion ein chemisches Photometer zu konstruieren[1]), welche Idee dadurch zuerst ausgesprochen wurde.

Die Zersetzung im Tageslichte (Lampenlicht bewirkt keine Zersetzung) wollte Wittwer zur Messung der chemischen Wirksamkeit des Lichtes benutzen. Er benutzte Chlorwasser, welches 0,1 bis 0,4 % Chlor enthielt und setzte es in Glasfläschchen von 1 Zoll Durchmesser dem Lichte aus. Die Menge des im Lichte nicht umgesetzten Chlors wurde durch Titrieren einer mit Indigoblau gefärbten arsenigen Säure bestimmt. Die Intensität des Lichtes gibt die Gleichung $J = \frac{\log S - \log s}{t \cdot \log e}$, wo S die Stärke des Chlorwassers im Anfange, s die Stärke nach der Wirkungszeit t und als Einheit 1 ‰ Chlor im Wasser angenommen ist[2]).

Diese Methode der Photometrie ist nach den Angaben von Bunsen und Roscoë[3]) nicht zulässig, denn sie schließe große Fehlerquellen in sich. Es sei nämlich die bei gleicher Beleuchtung gebildete Salzsäure der Stärke des Chlorwassers nicht proportional, ferner verändere die Gegenwart von entstandener Salzsäure im Chlorwasser die Einwirkung des Lichtes und setze einer ferneren Zersetzung des letzteren durch das Licht Grenzen. Es üben also die bei der photochemischen Zersetzung gebildeten Produkte eine Rückwirkung auf die Größe der ursprünglichen Verwandtschaft des Chlors aus, und ferner sei die wasserzersetzende Wirkung des Chlors weder der Dauer, noch der Intensität der Beleuchtung, noch der Stärke des Chlorwassers proportional. Bunsen und Roscoë gelangten zu dem Schlusse, daß es ein vergebliches Unternehmen sein werde, das Gesetz der chemischen Wirkung des Lichtes aus der Insolation des Chlorwassers ableiten zu wollen.

Wittwer hat diese Kritik nicht ohne Antwort gelassen und bemerkt, daß die Gegenwart kleiner Mengen von Salzsäure die fernere Zersetzung des Wassers durch Chlor nicht hindere. Die Versuche von Bunsen und Roscoë, welche den Satz Wittwers widerlegen sollten, daß bei gleicher Belichtung die gebildete Salzsäure der Stärke des Chlorwassers proportional sei, liegen, wie Wittwer nachweist, größtenteils außerhalb der Grenze des Chlorgehaltes (1 ‰ des Wassers), welche er als anwendbar bezeichnet hatte, die übrigen Versuche bestätigten aber die von ihm gezogenen Schlüsse, wenigstens innerhalb der von ihm selbst gezogenen Fehlergrenzen, so daß die Anwendbarkeit des Chlorwassers zur Intensitätsbestimmung des Lichtes wohl anwendbar erscheint[4]).

1) Eder, Geschichte der Photochemie (Bd. I dieses Handbuchs).
2) Poggend. Annalen, Bd. 94, S. 597; Fortschr. d. Phys. 1855, S. 341.
3) Poggend. Annalen, Bd. 96, S. 373; Fortschr. d. Phys. 1855, S. 349.
4) Poggend. Annalen 1855, Bd. 97, S. 304.

Im Jahre 1865 machte Wittwer[1]) die Einwirkung des Lichtes auf Chlorwasser zum Gegenstande neuer Mitteilungen. Er stellte sich zunächst die Frage zur Beantwortung, ob die Rückwirkung der während der Insolation des Chlorwassers gebildeten Salzsäure auf die weitere Chlorwasserzersetzung wirklich so bedeutend sei und so gänzlich unbestimmbaren Gesetzen gehorche, wie Bunsen behauptete, oder ob dieses nicht der Fall sei. Er spricht aus, die Grundlage der Änderung, welche das Chlorwasser im Lichte erleidet, sei diese, daß die Menge des verschwindenden Chlors dem Produkte aus der Stärke des Chlorwassers in die Stärke des Lichtes proportional sei, daß aber noch Nebenwirkungen eintreten, von denen eine die Absorption des Lichtes in die einzelnen Schichten des Chlorwassers sei. Die genaue Theorie des Vorganges bietet Schwierigkeiten und es scheint Wittwer daher am zweckmäßigsten für die Korrektion, welche durch die Dicke der Chlorwasserschichten usw. nötig wird, die empirische Formel

$$i = 1000 \left(\frac{d}{8}\right)^{3/4} \log \frac{S}{s} \cdot e^{0{,}1061\,(S+s)}$$

zu benutzen, in welcher d den Röhrendurchmesser in Pariser Linien, S und s die Stärke des Chlorwassers vor und nach der Insolation und e die Basis der natürlichen Logarithmen bedeutet. Die Summe der hiernach für hinreichend kurze Zeitabschnitte berechneten Insolationen ergibt dann die Insolation während einer längeren Zeit. Wittwer glaubt, aus der durch Insolation bewirkten Chlorwasserzersetzung müßten sich die Wärmeäquivalente des Lichtes berechnen lassen. Nach Favre und Silbermann entwickelt 1 g Wasserstoff bei seiner Verbindung mit Sauerstoff 34462 Wärmeeinheiten, bei seiner Verbindung mit Chlor 23783. Gehen infolge der Lichtwirkung 1 g Wasserstoff von dem Sauerstoff des Wassers zum Chlor über, so müßte die dabei tätig gewesene Lichtmenge ein Äquivalent für (34463 — 23793) = 10679 Wärmeeinheiten sein. In einer Note bemerkt Wittwer noch, daß, wenn mit Hilfe des Lichtes in den Pflanzen Kohlenstoff reduziert wird, das Licht das Äquivalent für so viele Wärmeeinheiten sein müsse, als die entstandenen organischen Verbindungen bei dem Verbrennen entwickeln.

Das Photometer mit Chlorwasser fand keine praktische Verwendung, wohl aber wurde die photochemische Seite des Prozesses später genauer studiert (s. Eder, Photochemie, 1906, S. 137).

Wässerige Jodwasserstoffsäure zersetzt sich bei Luftzutritt ziemlich rasch im Licht unter Ausscheidung von Jod (vgl. Eder, Photochemie, 1906, S. 144).

Leeds machte 1879 die erste Mitteilung, daß er die Jodausscheidung, welche eine angesäuerte Lösung eines Jodides im Lichte erleidet, zu einer photometrischen Methode benutzen wolle[2]). Er setzte der Jodidlösung Stärke zu, welche durch das frei werdende Jod gebläut wurde; das Jod wurde dann mit Hyposulfit titrimetrisch bestimmt. Später bemerkte Leeds[3]), daß die Anwesenheit von Stärke die photochemische Zersetzung der Jodidlösung verzögert.

1) Ann. Chem. Pharm. Suppl. Bd. 4, S. 63; Jahrb. d. Chem. 1865, S. 94.
2) Phot. News. 1879, S. 228.
3) Philosoph. Magaz. 1880, 5. Bd. 10, S. 89; Chemic. News. Bd. 42, S. 147; Beibl. Annal. Phys. Chem. 1880, S. 730.

Eine bedeutende Beschleunigung und Vermehrung der Zersetzung der Jodide wurde andererseits herbeigeführt, wenn durch die Lösung Sauerstoff geleitet wurde, ein Vergleich mit Lösungen, zu denen der Sauerstoff nur an der Oberfläche Zutritt hatte. Da nun die Lösungen in verschiedenen Verhältnissen Sauerstoff aufgelöst enthalten, muß dieser Faktor bei Jodsäure-Aktinometern noch näher untersucht werden.

Um das Verhältnis der Zersetzung ein und derselben Jodverbindung durch verschiedene Säuren und verschiedene Jodide durch eine Säure festzustellen, wurden von Leeds Messungen ausgeführt mit Schwefelsäure und Salzsäure, und mit Jodkadmium, Jodkalium und Jodlithium.

Die Lösungen der verschiedenen Jodide wurden mit verschiedenen Säuren versetzt, dieselben dem Einfluß verschiedener Lichtquellen ausgesetzt und die Menge des frei gemachten Jodes bestimmt. (1 ccm der Lösung der Säuren entsprach stets 12,6 ccm einer normalen Natronlösung; die Jodidlösungen waren genau äquivalent einer 20proz. Lösung von Jodkalium, und es wurden stets gleiche Volumina von Jodid und Säuren gemischt.) Zunächst ergab sich, daß ein Zusatz von Stärke die Menge des beim Bestrahlen frei werdenden Jod wesentlich vermindert. Die folgende Tabelle gibt einige Resultate, welche an einem schönen Tage in verschiedenen Zeiten (von je $^1/_2$ Stunde zu $^1/_2$ Stunde) erhalten wurden. Die Zahlen bedeuten die in $^1/_2$ Stunde ausgeschiedenen Jodmengen.

Die Wirkung von H_2SO_4 : HCl verhält sich demnach im Mittel wie 1 : 1,47. Die von zwei Säuren aus verschiedenen Salzen frei gemachten Jodmengen stehen demnach in einem konstanten Verhältnis. Für verschiedene Jodide und eine Säure ergab sich dagegen kein konstantes Verhältnis.

Zeitangabe	$9^1/_2$-10	10-$10^1/_2$	$10^1/_2$-11	11-$11^1/_2$	$11^1/_2$-12	12-$12^1/_2$	$12^1/_2$-1	1-$1^1/_2$	Mittel
H_2SO_4+KJ .	1,55	1,81	2,1	2,06	1,87	1,7	1,6	0,75	1,69
HCl+KJ . .	2,4	2,6	2,75	2,66	2,39	2,15	2,05	2,0	2,5
H_2SO_4 + CdJ_2	1,5	1,62	1,81	1,81	1,56	1,29	1,19	1,18	1,49
HCl+CdJ_2 .	2,4	2,35	2,63	2,68	2,09	1,79	1,79	1,75	2,18
H_2SO_4+LiJ .	1,18	1,28	1,41	1,35	1,13	0,96	0,93	0,93	1,15
HCl+LiJ . .	1,83	1,9	2,03	2,0	1,56	1,25	1,58	1,4	1,69

Organische Säuren machen weit kleinere Jodmengen frei, Essigsäure so gut wie gar keines. Am wirksamsten erwies sich noch die Oxalsäure, obwohl auch sie verhältnismäßig schwach wirkte; fast unmerklich war die Einwirkung der Weinsäure innerhalb 3 Stunden.

Weiter verglich Leeds die Wirkungen von Sonnen-, elektrischem und Magnesiumlicht und fand folgende relative Werte:

	Sonnenlicht	Elektrisches Licht	Magnesiumlicht
H_2SO_4+KJ	2,70	10,0	0,084
HCl+KJ	4,00	24,0	0,87
H_2SO_4+CdJ_2	2,04	9,5	0,072
HCl+CdJ_2	3,00	24,0	0,6
H_2SO_4+LiJ	1,44	5,0	0
HCl+LiJ	2,40	15,0	0,3

Der Einfluß verschiedenfarbiger Gläser auf das durchfallende Licht wird durch folgende Tabelle illustriert:

		Sonnenlicht	Elektrisches Licht
Blaues Glas	H_2SO_3+KJ	0,74	1,80
	HCl+KJ	1,12	6,75
Gelbes „	H_2SO_3+KJ	0,11	0,00
	HCl+KJ	2,25	0,125
Rotes „	H_2SO_4+KJ	0,28	0,60
	HCl+KJ	0,56	2,25

Smith empfahl[1]) zum Messen des Aktinismus des Sonnen- und Tageslichtes eine 1- bis 2prozentige Jodkaliumlösung, welche mit etwas verdünnter Salpetersäure (von einem Säuregehalt, welcher 1% SO_3 entsprach) versetzt war.[2]) Diese Lösung scheidet im Lichte Jod aus, welches leicht quantitativ durch Titrieren mit Hyposulfit bestimmt werden kann. Es schied sich z. B. im März in der Sonne aus 15 ccm in $2^1/_2$ Stunden 0,0008 g Jod aus, bei schlechtem, nassen Wetter nur eine Spur bis 0,00006 g, jedoch wurde auch die Lösung im Finstern allmählich zersetzt und zwar ungefähr 100mal langsamer, was Smith vernachlässigt. Durch Ansäuern mit Schwefelsäure werden Lösungen erhalten, welche im Finstern beständiger sind. Durch Vermehrung des Säurezustandes wird die Zersetzung im Lichte (aber auch die im Dunkeln) beschleunigt. Wärme unterstützt die Lichtwirkung; sie übt weniger Einfluß, wenn die Lösung verdünnt ist.

S. Rideal stellte Untersuchungen an über den Aktinismus des Sonnenlichtes im Engadin, indem er die Menge des freien Jods bestimmte, welches durch Licht aus einer angesäuerten Jodkaliumlösung ausgeschieden wurde[1]) (durch Titrieren mit Natriumthiosulfatlösung). Seine Versuche erstrecken sich auf den Monat Januar 1893, dann vom Dezember 1893 bis Februar 1894. Das Maximum der Wirkung trat am 4. Februar 1894 ein; pro 100 ccm Jodkaliumlösung wurden im Maximum während sechs Stunden 87 Milligramm Jod ausgeschieden, d. i. pro 1 Stunde = 14,5 Milligramm, während am 1. Januar 1893 13,5 Milligramm Jod pro Stunde ausgeschieden wurden. Der niedrigste Wert war am 9. Dezember 1893, als 3,5 g Jod pro Stunde ausgeschieden wurden (Industries and Iron, 24. Aug. 1894, S. 171; Eders Jahrb. f. Photogr. 1895, S. 393).

Über die Zersetzung von Jodwasserstoff, bezw. eines Gemisches von Jodkalium und Salzsäure, im Lichte und die Abhängigkeit der Reaktionsgeschwindigkeit von der Konzentration und der Zusammensetzung der Katalysatoren berichtete J. Plotnikow (Zeitschr. f. phys. Chemie 1908, Bd. 64, S. 228; Eders Jahrb. 1909, S. 282).

III. Oxalsäurelösung.

Downes fand, daß sich $^1/_{10}$ Normallösung von Oxalsäure im Finstern ganz unverändert hält, dagegen im Sonnenlicht in Kohlensäure und Wasser zerlegt wird. Durch Titrieren läßt sich leicht die Zersetzung quantitativ bestimmen und darauf eine photometrische Methode gründen (Chem. News. 1880, Bd. 42, S. 178).

Die genaueren photometrischen Zersetzungsgleichungen s. in Eders Photochemie 1906, S. 348.

1) Phot. News. 1880, S. 293; Chemic. News. Bd. 41, S. 211, aus den Berichten der Royal Society (s. Nature).

2) Z. B.: 50 ccm Jodkaliumlösung + 0,8 ccm Salpetersäure.

Über die Verwendbarkeit von Duclaux' Oxalsäurelösung zu aktinometrischen Untersuchungen stellten Herr und Frau Vallot Versuche in Chamonix an (Moniteur de la Phot. 1898).

Sebelien fand Duclaux' wässerige Oxalsäurelösung für zu wenig lichtempfindlich; er zog Eders Quecksilberoxalatphotometer und die Photometrie mit Normalfarben-Chlorsilberpapier vor (Eders Jahrb. f. Potogr. 1899, S. 455).

IV. Das Quecksilberoxalat-Photometer.

Fowler gab 1858 eine photometrische Methode an, welche auf der Zersetzung einer Lösung von Quecksilberchlorid und oxalsaurem Ammoniak und dem Wägen des ausgeschiedenen Niederschlages von Quecksilberchlorür oder dem Messen des entweichenden Kohlensäuregases beruht.[1]) Dieselbe ist ganz unbrauchbar, weil die Korrektionen für wechselnde Temperatur und Konzentration fehlen.

Becquerel wollte die Lichtempfindlichkeit eines Gemisches von Quecksilberchlorid und Oxalsäure zum selben Zwecke benutzen[2]). Jedoch ist die Zersetzung desselben ganz unregelmäßig, wie zuerst Marchand[3]), dann Eder[4]) zeigte, namentlich der allmählich frei werdenden Salzsäure zufolge.

Schließlich gab der Verfasser selbst ein Photometer mit Quecksilbersalzen an, welches Gegenstand eingehender Untersuchungen war.

Das „Edersche Quecksilberoxalat-Photometer" dient hauptsächlich zur Bestimmung der Intensität der ultravioletten Strahlen des Tageslichtes[4]).

Ein Gemenge von Quecksilberchlorid mit neutralem Ammoniumoxalat wird im Lichte besonders rasch zersetzt, viel rascher als das Gemenge mit Oxalsäure oder Tetraoxalat. Es scheidet in derselben Zeit die 20 bis sogar die 100fache Menge Quecksilberchlorür aus, als eines der beiden letzteren. Im zerstreuten Tageslicht trübt es sich nach wenigen Minuten, im direkten Sonnenlicht nach mehreren Sekunden. Bei wochenlangem Aufbewahren im Finstern verändert es sich nicht merklich und in der Siedehitze ist es bei der Abwesenheit von Licht beständig.

Zu seinen Messungen bediente sich der Verfasser entweder viereckiger Flaschen mit ebenen Wänden, welche in eine undurchsichtige lichtdichte Kartonhülle paßten, an deren einer Wand eine Öffnung von mehreren Quadratzentimetern angebracht war,

1) Liverpool and Manchester phot. Journ. Okt. 1858; Jahrber. Chem. 1859, S. 32.
2) Becquerel, La lumière 1868, Bd. 2, S. 69.
3) Marchand, Etude sur la force chimique 1875.
4) Wiener Akad. Ber. (2), Bd. 80, Okt. 1879. — Über die älteren Versuche von Planté s. Eders Geschichte d. Photogr. 1905, S. 70.

welche je nach der Intensität des Tageslichtes verschieden groß genommen wurde. Besser ist es, die Wirkung des Lichtes auf ein horizontales Flächenelement zu betsimmen und zu diesem Zwecke dient folgender einfacher Apparat. Ein Becherglas von etwas mehr als 100 ccm Inhalt wurde mit Papier überklebt und mit Asphaltlack lichtdicht lackiert. Darüber wurde ein übergreifender lackierter Deckel gestülpt, in dessen Mitte eine Öffnung von 9 qcm ausgeschnitten war. Arbeitete Verfasser in hellem Sonnenlichte, so ging er auf 1 qcm Öffnung herab. Man wird leicht das Richtige finden, wenn Verfasser aufmerksam macht, daß während einer Beobachtungsperiode aus 100 ccm nicht mehr als 1 g Niederschlag ausgeschieden werden soll.

In diesen Apparat werden 100 ccm einer Lösung von Quecksilberchlorid-Ammoniumoxalat[1]) gegossen, dem Tageslichte während einer gewissen Zeit — für welche die mittlere Intensität des Lichtes bestimmt werden soll — ausgesetzt, das ausgeschiedene Quecksilberchlorür auf einem doppelten tarierten Filter gesammelt, gewaschen und bei 100 Grad C getrocknet und gewogen. Es ist notwendig, dem ersten Waschwasser etwas verdünnte Salzsäure zuzusetzen, weil sonst dem Quecksilberchlorür etwas Quecksilberoxalat beigemengt wird; wenn die Verunreinigung eingetreten und durch Salzsäure nicht beseitigt ist, färbt sich der Niederschlag beim Trocknen gelblich.

Die lichtempfindliche Lösung besteht aus einem Gemische von 2 Volumen einer Lösung von 40 g Ammoniumoxalat in 1 Liter Wasser mit 1 Volumen einer Lösung von 50 g Sublimat in 1 Liter Wasser.

Die Zersetzung dieser Lösung im Lichte geht ganz glatt vor sich. Es entweicht reine Kohlensäure. Der ausgeschiedene Niederschlag besteht aus reinem Quecksilberchlorür, dem sich nur durch Unvorsichtigkeit Quecksilberoxalat beimengt; die Flüssigkeit scheidet nämlich beim starken Verdünnen mit Wasser (aber nicht mit salzsäurehaltigem Wasser!) Quecksilberoxalat aus und dieses löst sich nur in überschüssigem Ammoniumoxalat oder Salzsäure wieder auf. Die durch das Licht in der Photometerflüssigkeit bewirkte chemische Zersetzung verläuft im allgemeinen[2]) nach der Gleichung:

$$2\,HgCl_2 + C_2O_4(NH_4)_2 = Hg_2Cl_2 + 2\,CO_2 + 2\,NH_4Cl.$$

Die Anfangswirkung des Lichtes tritt bei dem Aussetzen einer frischen Lösung an das Licht nicht sofort ein. Dasselbe muß auf das Gemenge einige Zeit hindurch wirken, bevor sich das Quecksilberchlorür auszuscheiden beginnt; es dauert im Sonnenlichte einige Sekunden, im zerstreuten Tageslichte mehrere Minuten — die Versuche waren im Sommer angestellt worden — bis die Trübung der Lösung beginnt.

Läßt man das lichtempfindliche Gemenge so lange am Lichte stehen, bis es sich deutlich trübt, so ist es mit Quecksilberchlorür gesättigt. Sowie man sie ans Licht bringt, beginnt die Zersetzung in kurzer Zeit und das Licht braucht nicht mehr die lange Zeit, um die Anfangswirkung zu äußern, wie bei einem frischen Gemenge.

Um alle Fehler, welche aus dieser im ersten Anfange langsamen Lichtwirkung etwa hervorgehen können, unschädlich zu machen, pflegt Verfasser seinen Vorrat von Photometerflüssigkeit so lange dem Lichte auszusetzen, bis er sich deutlich und stark trübt, dann zu filtrieren und im Finstern aufzubewahren, wo er sich die längste Zeit unverändert hält. Auf diese Weise vermeidet man etwaige Korrekturen bezüglich der verzögerten Anfangswirkung.

1) Der Name „Quecksilberoxalat-Photometer" ist gekürzt statt des schwerfälligen Ausdruckes „Quecksilberchlorid-Ammoniumoxalat-Photometer".
2) Über den genaueren photochemischen Verlauf der Reaktion s. Eder, Photochemie 1906.

Über die Verwendbarkeit von Duclaux' Oxalsäurelösung zu aktinometrischen Untersuchungen stellten Herr und Frau Vallot Versuche in Chamonix an (Moniteur de la Phot. 1898).

Sebelien fand Duclaux' wässerige Oxalsäurelösung für zu wenig lichtempfindlich; er zog Eders Quecksilberoxalatphotometer und die Photometrie mit Normalfarben-Chlorsilberpapier vor (Eders Jahrb. f. Potogr. 1899, S. 455).

IV. Das Quecksilberoxalat-Photometer.

Fowler gab 1858 eine photometrische Methode an, welche auf der Zersetzung einer Lösung von Quecksilberchlorid und oxalsaurem Ammoniak und dem Wägen des ausgeschiedenen Niederschlages von Quecksilberchlorür oder dem Messen des entweichenden Kohlensäuregases beruht.[1]) Dieselbe ist ganz unbrauchbar, weil die Korrektionen für wechselnde Temperatur und Konzentration fehlen.

Becquerel wollte die Lichtempfindlichkeit eines Gemisches von Quecksilberchlorid und Oxalsäure zum selben Zwecke benutzen[2]). Jedoch ist die Zersetzung desselben ganz unregelmäßig, wie zuerst Marchand[3]), dann Eder[4]) zeigte, namentlich der allmählich frei werdenden Salzsäure zufolge.

Schließlich gab der Verfasser selbst ein Photometer mit Quecksilbersalzen an, welches Gegenstand eingehender Untersuchungen war.

Das „Edersche Quecksilberoxalat-Photometer" dient hauptsächlich zur Bestimmung der Intensität der ultravioletten Strahlen des Tageslichtes[4]).

Ein Gemenge von Quecksilberchlorid mit neutralem Ammoniumoxalat wird im Lichte besonders rasch zersetzt, viel rascher als das Gemenge mit Oxalsäure oder Tetraoxalat. Es scheidet in derselben Zeit die 20 bis sogar die 100fache Menge Quecksilberchlorür aus, als eines der beiden letzteren. Im zerstreuten Tageslicht trübt es sich nach wenigen Minuten, im direkten Sonnenlicht nach mehreren Sekunden. Bei wochenlangem Aufbewahren im Finstern verändert es sich nicht merklich und in der Siedehitze ist es bei der Abwesenheit von Licht beständig.

Zu seinen Messungen bediente sich der Verfasser entweder viereckiger Flaschen mit ebenen Wänden, welche in eine undurchsichtige lichtdichte Kartonhülle paßten, an deren einer Wand eine Öffnung von mehreren Quadratzentimetern angebracht war,

1) Liverpool and Manchester phot. Journ. Okt. 1858; Jahrber. Chem. 1859, S. 32.
2) Becquerel, La lumière 1868, Bd. 2, S. 69.
3) Marchand, Etude sur la force chimique 1875.
4) Wiener Akad. Ber. (2), Bd. 80, Okt. 1879. — Über die älteren Versuche von Planté s. Eders Geschichte d. Photogr. 1905, S. 70.

welche je nach der Intensität des Tageslichtes verschieden groß genommen wurde. Besser ist es, die Wirkung des Lichtes auf ein horizontales Flächenelement zu betsimmen und zu diesem Zwecke dient folgender einfacher Apparat. Ein Becherglas von etwas mehr als 100 ccm Inhalt wurde mit Papier überklebt und mit Asphaltlack lichtdicht lackiert. Darüber wurde ein übergreifender lackierter Deckel gestülpt, in dessen Mitte eine Öffnung von 9 qcm ausgeschnitten war. Arbeitete Verfasser in hellem Sonnenlichte, so ging er auf 1 qcm Öffnung herab. Man wird leicht das Richtige finden, wenn Verfasser aufmerksam macht, daß während einer Beobachtungsperiode aus 100 ccm nicht mehr als 1 g Niederschlag ausgeschieden werden soll.

In diesen Apparat werden 100 ccm einer Lösung von Quecksilberchlorid-Ammoniumoxalat[1]) gegossen, dem Tageslichte während einer gewissen Zeit — für welche die mittlere Intensität des Lichtes bestimmt werden soll — ausgesetzt, das ausgeschiedene Quecksilberchlorür auf einem doppelten tarierten Filter gesammelt, gewaschen und bei 100 Grad C getrocknet und gewogen. Es ist notwendig, dem ersten Waschwasser etwas verdünnte Salzsäure zuzusetzen, weil sonst dem Quecksilberchlorür etwas Quecksilberoxalat beigemengt wird; wenn die Verunreinigung eingetreten und durch Salzsäure nicht beseitigt ist, färbt sich der Niederschlag beim Trocknen gelblich.

Die lichtempfindliche Lösung besteht aus einem Gemische von 2 Volumen einer Lösung von 40 g Ammoniumoxalat in 1 Liter Wasser mit 1 Volumen einer Lösung von 50 g Sublimat in 1 Liter Wasser.

Die Zersetzung dieser Lösung im Lichte geht ganz glatt vor sich. Es entweicht reine Kohlensäure. Der ausgeschiedene Niederschlag besteht aus reinem Quecksilberchlorür, dem sich nur durch Unvorsichtigkeit Quecksilberoxalat beimengt; die Flüssigkeit scheidet nämlich beim starken Verdünnen mit Wasser (aber nicht mit salzsäurehaltigem Wasser!) Quecksilberoxalat aus und dieses löst sich nur in überschüssigem Ammoniumoxalat oder Salzsäure wieder auf. Die durch das Licht in der Photometerflüssigkeit bewirkte chemische Zersetzung verläuft im allgemeinen[2]) nach der Gleichung:

$$2\,HgCl_2 + C_2O_4(NH_4)_2 = Hg_2Cl_2 + 2\,CO_2 + 2\,NH_4Cl.$$

Die Anfangswirkung des Lichtes tritt bei dem Aussetzen einer frischen Lösung an das Licht nicht sofort ein. Dasselbe muß auf das Gemenge einige Zeit hindurch wirken, bevor sich das Quecksilberchlorür auszuscheiden beginnt; es dauert im Sonnenlichte einige Sekunden, im zerstreuten Tageslichte mehrere Minuten — die Versuche waren im Sommer angestellt worden — bis die Trübung der Lösung beginnt.

Läßt man das lichtempfindliche Gemenge so lange am Lichte stehen, bis es sich deutlich trübt, so ist es mit Quecksilberchlorür gesättigt. Sowie man sie ans Licht bringt, beginnt die Zersetzung in kurzer Zeit und das Licht braucht nicht mehr die lange Zeit, um die Anfangswirkung zu äußern, wie bei einem frischen Gemenge.

Um alle Fehler, welche aus dieser im ersten Anfange langsamen Lichtwirkung etwa hervorgehen können, unschädlich zu machen, pflegt Verfasser seinen Vorrat von Photometerflüssigkeit so lange dem Lichte auszusetzen, bis er sich deutlich und stark trübt, dann zu filtrieren und im Finstern aufzubewahren, wo er sich die längste Zeit unverändert hält. Auf diese Weise vermeidet man etwaige Korrekturen bezüglich der verzögerten Anfangswirkung.

1) Der Name „Quecksilberoxalat-Photometer" ist gekürzt statt des schwerfälligen Ausdruckes „Quecksilberchlorid-Ammoniumoxalat-Photometer".
2) Über den genaueren photochemischen Verlauf der Reaktion s. Eder, Photochemie 1906.

Zunächst wurde der Einfluß der Konzentration und variabler Mengen von Quecksilberchlorid und Oxalat in der Flüssigkeit bestimmt.

Durch Versuche wurde konstatiert, daß die Photometerflüssigkeit mit dem verlängerten Gebrauche sich schwächt, und daß ein Punkt eintritt, wo sie sehr träge wird; dies tritt ein, bevor das in der Lösung befindliche Quecksilberchlorid vollständig zersetzt ist. Sobald $^4/_5$ des in der Lösung enthaltenen Quecksilberchlorides zersetzt ist, muß das Licht auf dieses Gemenge doppelt so lange oder mit doppelter Intensität wirken, als auf das frische Gemenge, um dieselbe Gewichtsmenge Quecksilberchlorür auszuscheiden.

Es wäre also fehlerhaft, die ausgeschiedene Menge des Quecksilberchlorürs in allen Fällen der Intensität des wirksamen Lichtes gleichsetzen zu wollen. Es muß vielmehr eine kleinere Menge von Hg_2Cl_2, welche gegen das Ende der Reaktion entstanden ist, in bezug auf die äquivalente Lichtwirkung, einer größeren Menge Hg_2Cl_2 zu Beginn derselben gleich gesetzt werden. Um die in den verschiedenen Phasen der Zersetzung ausgeschiedenen Mengen Hg_2Cl_2 im Zusammenhange mit dem wirksamen Lichte vergleichbar zu machen, ermittelte Verfasser die untenstehende Tabelle. Dabei bediente er sich solcher Photometerlösungen, welche auf 100 ccm immer um je 57,59 mg Quecksilberchlorid weniger enthielten und zugleich mit der normalen Lösung belichtet wurden. (Diese Versuche fallen teilweise mit den oben mitgeteilten zusammen.) Die Verminderung des Quecksilberchlorides entspricht einer Ausscheidung von 50 mg Quecksilberchlorür. Auf diese Weise wurde der Effekt des Lichtes (unter sonst gleichen Umständen) bei 18 bis 20 Grad C auf die Photometerlösung bestimmt, nachdem sie eine Verdünnung erlitten hatte, welche einer Ausscheidung von je 50, 100, 150 mg Hg_2Cl_2 usw. im Lichte gleichkommt. Die höheren Zahlen in der nachstehenden Tabelle sind nicht von großer Genauigkeit und Verfasser empfiehlt deshalb das Photometer nur so lange zu belichten, bis etwa 1 g Hg_2Cl_2 ausgeschieden ist, was man nach einiger Erfahrung schätzungsweise trifft. Der Niederschlag wird dann auf dem Filtrum gesammelt und eine neue Lösung dem Lichte exponiert.

Es folgt hier jene Korrektionstabelle, sie wird genau genug sein, um die mittlere Intensität des Tageslichtes, sei es nun im Verlaufe mehrerer Stunden oder eines Tages, mit großer Sicherheit zu bestimmen. Ganz ohne Korrektur würden die bei jeder photometrischen Beobachtung gefundenen Zahlen, welche das reduzierte Hg_2Cl_2 repräsentieren (sobald diese Menge für 100 ccm Flüssigkeit 1 g Hg_2Cl_2 erreicht) um etwa 20% fehlerhaft sein, mit der nachfolgenden Korrektionstabelle aber werden sie kaum einen Fehler über $\pm$ 1% aufweisen.

Aus 100 ccm der Photometerflüssigkeit werden aus der allmählich schwächer werdenden Lösung abgeschieden.

Gefundene Milligramme Hg_2Cl_2:			
50	650	50,5	746
100	700	103	830
150	750	156	894
200	800	211	964
250	850	265	1037
300	900	323	1106
350	950	380	1176
400	1000	439	1247
450	1100	499	1400
500	1200	560	1670
550	1300	621	1950
600	1350	683	2140

Die aus der allmählich schwächer werdenden Lösung ausgeschiedene Menge Hg_2Cl_2 kommt folgenden Mengen gleich, angenommen, daß die Flüssigkeit die anfängliche Konzentration behalten würde.

Milligramme Hg_2Cl_2 auf die Anfangskonzentration reduziert:	
50,5	746
103	830
156	894
211	964
265	1037
323	1106
380	1176
439	1247
499	1400
560	1670
621	1950
683	2140

Der Gebrauch der Tabelle ist selbstverständlich. Scheidet das Licht in einer gewissen Zeit, bei einer gewissen Oberfläche und Temperatur der Lösung 500 mg Hg_2Cl_2 aus, so wird der Effekt des Lichtes durch die Zahl 560 mg ausgedrückt, denn so viel hätte das Licht ausgeschieden, wenn die Konzentration der Lösung nicht abgenommen und die Lösung sich nicht teilweise erschöpft hätte. Es ist nicht empfehlenswert, die Erschöpfung der Lösung zu weit zu treiben, sonst werden die ausgeschiedenen Mengen von Hg_2Cl_2 gering, die Beziehung zu einer äquivalenten Lichtwirkung unsicher, und selbst die Korrekturen mittels dieser Tabelle sind dann (was das ausgeschiedene Hg_2Cl_2 über 1000 mg beträgt) zweifelhaft.

Es braucht wohl kaum hervorgehoben zu werden, daß diese Korrektionstabelle nur dann gültig ist, wenn 100 ccm der Photometerlösung genommen werden. Bei einem anderen Volumen, z. B. 50 ccm, wird die Schwächung der Lösung nach Ausscheidung von 100 mg Hg_2Cl_2 eine viel beträchtlichere sein, als bei der Verwendung von 100 ccm.

Der Einfluß der wechselnden Konzentration und der allmählichen Erschöpfung der Lösung ist durch das Mitgeteilte sichergestellt.

Wie man später fand (s. Seite 111), befördern schon ganz geringe Mengen von Ferrisalzen die Lichtempfindlichkeit der Quecksilberlösung ganz enorm. Vollkommen eisenfreie Präparate geben eine geringe photochemische Empfindlichkeit (Winter). Der Verfasser stellte (1910) Versuche an mit vollkommen eisenfreiem, im Vakuum mehrmals destilliertem Quecksilber, das mit eisenfreiem Königswasser in Chlorid übergeführt wurde, und reiner sublimierter Oxalsäure und bestätigte diesen Befund. Es genügen wenige Milligramm Eisenchlorid (Fe_2Cl_6) auf 100 ccm der Quecksilberoxalatlösung, um hohe Lichtempfindlichkeit der Photometerflüssigkeit zu veranlassen. Verfasser verwendet deshalb reine Mercksche Präparate (Darmstadt) und fügt pro 100 ccm der Quecksilber-Photometerflüssigkeit 25 Milligramm Fe_2Cl_6, welches als verdünnte Eisenchloridlösung von bekanntem Gehalt vorrätig gehalten ist, zu; hierdurch wird gute Empfindlichkeit und regulärer Verlauf der Lichtreaktion geliefert.

In zweiter Linie muß der Einfluß der Temperatur auf das lichtempfindliche Gemenge sichergestellt werden, welcher zur Zeit der Bekanntgabe von Eders Methode noch bei keinem derartigen Photometer untersucht worden war. Verf. beobachtete daß dasselbe Licht in derselben Zeit aus einer warmen Quecksilberoxalatlösung reichlich mehr Quecksilberchlorür ausscheidet, als aus einer Lösung von gewöhnlicher Temperatur. Auch ist die äußere Beschaffenheit des in der Hitze durch das Licht gefällten Quecksilberchlorürs eine andere, als des in der Kälte ausgeschiedenen. Zu den Versuchen wurde die lichtempfindliche Flüssigkeit in gleich große Flaschen gefüllt, die fest verkorkt und in große, mit Wasser von verschiedener Temperatur gefüllte Bechergläser von gleicher Beschaffenheit gebracht.

Es schieden sich aus den verschieden warmen Lösungen folgende Mengen Quecksilberchlorür aus, wobei die bei 0 Grad ausgeschiedene Menge = 100 gesetzt wurde.

Bei	0	Grad C	ausgeschiedenes Quecksilberchlorür	100
„	8	„	„	„ 105,3
„	15	„	„	„ 111,2
„	25	„	„	„ 125
„	30	„	„	„ 139
„	40	„	„	„ 177
„	48	„	„	„ 209
„	60	„	„	„ 304
„	80	„	„	„ 506
„	100	„	„	„ 1850

Die heißen Lösungen trüben sich nach dem Aussetzen an das Licht ein wenig später, als die kalten; auch erscheint das Volumen des ausgeschiedenen Hg_2Cl_2 bei den ersteren geringer, als bei den letzteren. Der Grund dieser Erscheinung liegt in der größeren Dichte des aus heißen Lösungen ausgeschiedenen Niederschlages. Während der in der Kälte ausgeschiedene fein flockig erscheint, hat der in der Hitze durch das Licht gefällte eine grob kristallinische Struktur.

Diese Vermehrung der Lichtwirkung mit der Erhöhung der Temperatur muß bei der Reduzierung der Photometerangaben berücksichtigt werden. Diese Zahlen sind um so beachtenswerter, als sie die ersten genauen quantitativen Angaben waren, welche den Zusammenhang der Temperatur einer Lösung mit ihrer Zersetzlichkeit durch Licht (sog. Temperatur-Koeffizienten) ausdrücken.

Wird ein Gemenge von Quecksilberchlorid und Ammoniumoxalat sehr lange belichtet, so scheidet sich sehr viel Quecksilberchlorür aus. Ist dann noch überschüssiges Ammoniumoxalat vorhanden und wird die Flüssigkeit, samt dem am Boden befindlichen Quecksilberchlorür, noch immerfort an das Tageslicht (oder besser Sonnenlicht) gestellt, so färbt sich der weiße Niederschlag hellgrau, dann immer dunkler und dunkler und wird schließlich grauschwarz, indem sich vielleicht anfangs ein Subchlorür, dann aber metallisches Quecksilber bildet. Das vorhandene Quecksilberchlorür wird jedoch erst dann geschwärzt, wenn nur noch sehr wenig Quecksilberchlorid in der darüberstehenden Flüssigkeit enthalten ist. Nach des Verfassers Versuchen kann der Gehalt der Lösung unbeschadet von 1,6% auf 0,08 bis 0,10% Quecksilberchlorid sinken, ohne daß das in der Lösung suspendierte Quecksilberchlorür weiter zu Metall reduziert würde.

Für die photometrische Verwendbarkeit des Gemisches mit Ammoniumoxalat hat diese Erscheinung wohl nur wenig Einfluß, da ja auf keinen Fall die Exposition der Flüssigkeit an das Licht so weit getrieben werden darf, daß die Lösung sich der Erschöpfung nähert. Es ist dies ein nicht zu leugnender Übelstand aller derartiger Photometer (auch des Marchandschen mit Eisenchlorid und Oxalsäure), welchen man dadurch zu vermeiden trachten muß, daß man die Einwirkung des Lichtes unterbricht, sobald man eine reichliche Menge Niederschlag am Boden des Gefäßes bemerkt (über das Quantum, nicht über 1 g pro 100 ccm s. o.); das Volumen des Niederschlages bietet einen Anhaltspunkt dazu.

Versuche ergaben, daß etwa 90% des Quecksilberchlorür-Niederschlages durch die ultravioletten Strahlen bewirkt werden und nur 10% durch das gesamte übrige Spektrum[1]).

Dieses Zahlenverhältnis wird, wie auch aus den Versuchen des Verfassers hervorgeht, unmöglich zu allen Tages- und Jahreszeiten gleich bleiben.

Die im Vergleich zu Silbersalzen geringe Lichtempfindlichkeit dieses Photometers macht es nur für längere Beobachtungszeiten verwendbar. Man wird damit die Intensität des Lichtes nicht im Verlaufe von einigen Minuten, sondern nur von Stunden bestimmen können. Vortrefflich wird dasselbe zur Bestimmung der mittleren Lichtintensität für einzelne Tage dienen und neue Aufschlüsse über die Verteilung der äußersten violetten und der unsichtbaren Lichtstrahlen jenseits des Violett in den verschiedenen Jahreszeiten geben.

---

1) Enthält die Quecksilberoxalatlösung größere Mengen von Ferrisalzen, so rückt die Empfindlichkeit im Spektrum gegen Blauviolett vor.

Mit Eders Quecksilberoxalat-Photometer stellte Sebelien ausführliche Beobachtungsreihen über die Abhängigkeit des Aktinismus des Sonnenlichtes von Sonnenstand und meteorologischen Verhältnisses an (Eders Jahrb. f. Phot. 1906, S. 445).

Jodlbauer und Tappeiner beobachteten, daß die „Edersche Lösung“ im luftleeren resp. sauerstofffreien Raum im Licht sich rascher zersetzt als bei Zutritt von Sauerstoff. Mancher Farbstoff, z. B. Eosin, wirkt in der Quecksilberlösung als Beschleuniger (Eders Jahrb. f. Phot. 1906, S. 591).

Über das Photometergemisch von Quecksilberchlorid und Ammoniumoxalat, das beim Belichten Quecksilberchlorür fallen läßt, stellte Chr. Winther Untersuchungen an. Am Londoner Kongr. f. angew. Chemie berichtete er hierüber (Österr. Chem.-Ztg. 1909, S. 222; ausführlich: Zeitschr. f. wiss. Phot. 1909, S. 409).

Aus Winthers Bericht über die „Ederlösung“ sei erwähnt: Kastle und Beatty fanden, daß Eisenchlorid die Lichtzersetzung der Ederlösung sehr stark beschleunigt. Winther fand nun, daß diese Beschleunigung mit der Menge des Eisenchlorids bis zu einem gewissen Punkt wächst, von welchem an ein weiterer Zusatz von Eisenchlorid die Sensibilität verringert. Bei Abnahme des Sauerstoffgehaltes der Lösung verschiebt sich das Maximum gegen die kleineren Eisenchloridkonzentrationen zu, und die Lösung wird empfindlicher als sie war. Die Sensibilität der Lösung konnte auf diese Weise von 1 bis etwa 12000 variiert werden. Die Untersuchungen erstreckten sich nun auf folgende Probleme:

1. Die Ursache des katalytischen Einflusses des Eisenchlorids. — Es war schon lange bekannt, daß eine Mischung von Eisenchlorid und Ammoniumoxalat bei Einwirkung von Licht sich in Ferrosalz und Kohlendioxyd umwandelt. Winther fand, daß eine verdünnte Lösung eines Ferrosalzes mit der Ederlösung in der Dunkelheit ziemlich schnell reagiert unter Bildung von Quecksilberchlorür und Kohlendioxyd.

2. Die Ursache des verzögernden Einflusses des Sauerstoffes, welche von Roloff (1894) und Jodlbauer und Tappeiner (1905) gefunden wurde. — Winther fand, daß das Ferrosalz viel mehr fällt als eine äquivalente Menge von Eisenchlorid, in einer mit Luft gesättigten Lösung ungefähr 20mal soviel. Bei Abnahme des Sauerstoffgehaltes in der Lösung wird das Verhältnis von Quecksilberchlorid zu Ferrosalz viel größer. In einem Strom von gereinigtem Kohlendioxyd fällt Ferrosalz die 4000fache Menge der äquivalenten Quecksilberchloridmenge. Es konnte gezeigt werden, daß die Oxydation des Ferrooxalats die Zerstörung der Ederlösung in der Dunkelheit bewirkt. Je weniger Sauerstoff in der Lösung, desto weniger Ferrosalz ist notwendig für die Fällung des Quecksilberchlorids. Je früher durch die Einwirkung des Lichtes auf das in der Ederlösung enthaltene Eisen die unterste Grenze für die Fällung des Quecksilberchlorids erreicht ist, um so größer ist die Sensibilität.

3. Die Ursache des Eisenchloridmaximums. — Bei Gegenwart von Ferrisalz ist die Fällung von Quecksilberchlorid durch Ferrosalze langsamer, oder durch das gleiche Verhältnis von Ferrisalz und Ferrosalzen wächst der verzögernde Einfluß des Ferrisalzes mit der Menge von Eisen. Unter der Annahme, daß die Sensibilität des Ferrioxalats unabhängig ist von der Menge des Eisens bei gleicher Bestrahlung verschiedener Mischungen, sollten sich gleiche Mengen von Ferrosalz bilden. Der verzögernde Einfluß des übrigbleibenden Ferrisalzes auf die Fällung des Quecksilberchlorids besteht jedoch, was sowohl direkt als indirekt bewiesen werden konnte, und kann die Ursache eines Maximums sein, wie experimentell nachgewiesen wurde.

4. Die Ursache der Änderung des Eisenchloridmaximums mit der Menge des Sauerstoffes. — Winther fand, daß der verzögernde Einfluß des Ferrisalzes auf die Fällung von Quecksilberchlorid durch Ferrosalz wächst mit abnehmendem Sauerstoff-

gehalt der Lösung. Bei kleinen Mengen von Sauerstoff ist der verzögernde Einfluß deswegen auch kleiner wie bei geringem Eisengehalt.

Es wurden verschiedene käufliche Quecksilberchloridlösungen und Ammoniumoxalate untersucht. Bei gleicher Bestrahlung der verschiedenen aus diesen Präparaten hergestellten Mischungen zeigte es sich, daß die Sensibilität zwischen 1 und 3 schwankte. Der Fehler kann korrigiert werden durch Zufügen einer geeigneten Menge von Eisenchlorid, wodurch auch der Einfluß des Sauerstoffes auf ein Minimum gebracht werden kann. (Eders Versuche s. oben S. 109.) Die Untersuchungen zeigen, daß die Ederlösung geringe Mengen von Eisensalzen enthält. Die Untersuchungen über den verzögernden Einfluß des Sauerstoffes ergaben, daß die reine eisenfreie Ederlösung praktisch insensibel oder unempfindlich gegen Lichtwirkung ist (Eders Jahrb. f. Phot. 1910, S. 433).

G. Schwarz empfahl das Edersche Quecksilberoxalatphotometer zur Messung der Intensität der Röntgenstrahlen; er bestimmt jedoch die Menge des ausgeschiedenen Niederschlages nicht gewichtsanalytisch sondern volumetrisch, z. B. durch Zentrifugieren in Glasröhrchen, oder bestimmt die Trübung der Flüssigkeit mit Suspensionen von Kalomel bekannter Zusammensetzung (Eders Jahrb. f. Phot. 1907, S. 215 u. 449).

V. Photometer mit Ferrioxalat, Ferrichlorid und Oxalsäure, sowie Uranylverbindungen.

Vielfach sind Photometer auf die Erscheinung gegründet worden, daß oxalsaures Eisenoxyd (Ferrioxalat), oder oxalsaures Uranoxyd (Uranyloxalat), oder Gemische von Eisenchlorid oder salpetersaurem Uranoxyd mit Oxalsäure im Lichte Oxydulsalz (Ferrosalz usw.) bilden, indem zugleich die Oxalsäure oxydiert und Kohlensäure gasförmig ausgeschieden wird. Man mißt nun entweder das entweichende Gas (Burnett 1858, Niepce 1859, Woods 1860, Marchand 1873, Monckhoven 1879) oder bestimmt das entstandene Oxydulsalz (Ferro-, Uranosalz) auf analytischem Wege (J. C. Draper 1857), oder ermittelt den Gewichtsverlust, der durch die entweichende Kohlensäure bedingt ist (H. W. Draper, Burnett). Leider wurde fast überall vernachlässigt, daß mit der Erschöpfung der Lösung im Lichte die Gasentwicklung geringer wird, daß Wärme die Gasentwicklung beschleunigt und daß die Flüssigkeit von beiden Faktoren abhängende variable Mengen von Kohlensäure absorbiert.

Methoden, bei welchen das entweichende Kohlensäuregas gemessen wird.

Am häufigsten suchte man das aus lichtempfindlichen Lösungen entweichende Gas zu messen, weil dieser Vorgang der leichteste und am raschesten zum Ziele führende ist und außerdem gestattet, die in einer bestimmten Zeit ausgeübte Lichtwirkung jeden Augenblick ablesen zu können.

Niepce de St. Victor empfahl 1859[1]) ein Gemisch von Urannitrat und Oxalsäure in einer mit Steigerohr versehenen Flasche dem Lichte zu exponieren und die in Folge der Lichtwirkung entweichende Kohlensäure in dem Steigerohre zu messen (Fig. 56).

Ganz desselben Apparates bediente sich Monckhoven 1879[2]). Er nahm eine Flasche, welche etwa 250 ccm faßte, füllte sie mit Lösung von oxalsaurem Uranoxydammoniak[3]) ganz voll an und verschloß den Hals mittels eines Kautschukpfropfens, der eine Glasröhre von 30 cm Länge trug; der Durchmesser des Rohres *B* betrug nur 1 mm, wenn das Photometer im Atelier (bei Negativaufnahmen) verwendet werden sollte, jedoch 4 mm, wenn es zum Pigmentverfahren dienen sollte. Durch die im Innern des Gefäßes erfolgende Gasentwicklung wird die Flüssigkeit in weniger als einer Minute merklich im Rohre in die Höhe getrieben. — Auch 1 g brennender Magnesiumdraht bewirkt nach H. W. Vogel[4]) schon das Steigen der Flüssigkeitssäule um einige Millimeter.

Woods richtete 1860 ein ganz ähnliches Photometer wie Niepce ein[5]), nur mit dem Unterschiede, daß statt der Uranlösung die schon von Draper benutzte Lösung von Ferrioxalat angewendet und dem viereckigen Entwicklungsfläschchen *A* außer der Steigeröhre *B* ein Thermometer und ein beliebig zu öffnendes Austrittsrohr *D* für das entbundene Gas beigegeben ward (Fig. 57). Woods machte auf den großen Einfluß der Temperatur aufmerksam, gab aber keine Korrektionstabellen hierfür an; deshalb, sowie wegen mangelnder Konzentrations-Korrektion sind alle drei genannten Apparate ungenau.

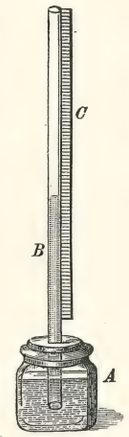


Fig. 56. Niepces Photometer.

Das Lipowitzsche Aktinometer wurde im Anschluß an Woods' Apparat konstruiert[6]). Es zeigt Fig. 58 zwei Flaschen *aa'*; in der mit *a'* bezeichneten befindet sich eine Lösung von saurem oxalsauren Eisenoxyd in Wasser von 1,08 bis 1,1 spezifischem Gewicht. Zwischen diesen Grenzen der Konzentration beobachtete Lipowitz keine wesentlich geringe oder größere Zersetzung der Lösung in einem Lichte von gleicher Intensität. Es ist nur nötig, vor Beginn der Beobachtung diese Flasche dem Lichte so lange auszusetzen, bis die in derselben enthaltene Flüssigkeit mit der durch die Zersetzung derselben entstehende Kohlensäure gesättigt ist. In jeder Flasche befindet sich seitwärts am Boden eine Öffnung, in welcher die heberförmig gebogenen, an beiden Enden offenen Glasröhren *bb* mit einem Kork eingepaßt sind. Die kürzeren Schenkel dieser Röhren stehen frei über je einen in $^1/_{10}$ ccm eingeteilten Zylinder *d*. Beide Flaschen sind auf einem Brettchen *e* in Messinghaltern *ff* festgestellt, so daß sie, wenn das Brettchen mittels der Schraube auf dem Messingfuß *g* nach der einen Seite geneigt ist, nicht herabfallen. — Die zweite Flasche ist mit einer vom Lichte nicht zersetzbaren Flüssigkeit von gleicher Farben-

1) Cosmos 1859, Bd. 2, S. 341.

2) Phot. Corr. 1879, S. 176; Phot. Mitt., Bd. 16, S. 129.

3) Die Flüssigkeit wird in folgender Weise hergestellt: 50 g kohlensaures Uranoxydammoniak werden in 30 g Oxalsäure und 200 ccm Wasser gelöst, filtriert und in der Flasche mit Wasser auf 250 ccm verdünnt.

4) Phot. Mitt., Bd. 16, S. 163.

5) Kreutzer, Zeitschr. 1860, Bd. 1, S. 58, aus Journ. Phot. Soc. London, Bd. 6, S. 135.

6) Kreutzer, Zeitschr. f. Phot. 1860, Bd. 1, S. 188.

intensität und Durchscheinenheit gefüllt (z. B. irgend eine Eisenoxydlösung). Der Apparat erhält stets die Stellung, daß die Lichtstrahlen auf die geraden Flächen der Flaschen bei den täglichen Beobachtungen unter dem Winkel auffallen, welchen für jeden Ort die Strahlen beim niedrigsten Stande der Sonne haben. Durch eine Vorrichtung, wie Fig. 59 uns zeigt, wird dies leicht erreicht. Zwischen den inneren Armen der Flaschenhalter *ff* ist horizontal ein Faden *h* eingespannt, welcher seinen Schatten auf den markierten Strich der kleinen Rückwand werfen muß, wenn der Apparat in der verlangten Stellung sich befinden soll. Auf jeder Flasche befindet sich eine kleine weiß beklebte Papphaube, welche bei Beobachtungen in der Sonne etwa den vierten oberen Teil vor zu starker Erwärmung und dadurch erfolgender Ausdehnung der Luft zu schützen hat. Beim Gebrauche wird in den Zylinder links nur so viel von der neutralen Flüssigkeit der Flasche *a* abtropfen, als sich der Inhalt derselben durch etwaige starke Erwärmung ausgedehnt hat. Dieses Quantum ist stets von dem aus der Flasche *a'* Geflossenen abzuziehen. Die Differenz der Inhalte beider Zylinder gibt somit den eigentlichen Lichteffekt an.

Burnett hatte ein ähnliches Photometer, wie Woods konstruiert. Er machte gegenüber Woods sein Recht der Priorität geltend, indem er schon in der Liverpooler photographischen Zeitschrift vom 15. Dezember 1858 den Abriß seines Photometers gegeben hatte, wo der Grundsatz der Messung des im Lichte aus oxalsauren Eisenoxyd- oder Uranoxydsalzen Kohlensäuregases angeführt ist. Er zog aber vor, nicht die empfindliche Flüssigkeit selbst zum Anzeigen zu verwenden, sondern durch das entweichende Gas einer Öl- oder Quecksilbersäule in einem getrennten Gefäße zu heben. Der Apparat kann die Form wie Fig. 60 haben, wo das aus *A* entweichende Gas die Flüssigkeitssäule bei *D* senkrecht hebt, oder die Form wie Fig. 61, wo die Anzeigeröhre horizontal liegt, um den Druck der Flüssigkeit zu beseitigen, oder die Form wie Fig. 62. Auch das Ersetzen der Anzeigeflüssigkeit durch einen leichten Stempel, welcher etwas Öl über sich hat und sich in einer Röhre bewegt, faßte Burnett ins Auge.

Carey Lea füllte das Photometer mit gelöstem oxalsaurem Eisenoxydammoniak (Annuaire Photogr. 1868, S. 99), welches Salz sich aber nicht so regelmäßig als die vorigen zersetzt.

Am vollkommensten in dieser Richtung ist Marchands Photometer oder, wie er es nennt, „Photantitypimeter“.

Bei dem „Photantitypimeter“ wird das entweichende Gas gemessen[1]). Es besteht aus einer 90 bis 100 ccm fassenden Flasche (*AA*) von weißem Glase (Fig. 63), welche mit einem schwarzen undurchsichtigen Firniß mit Ausnahme der runden Stelle (*X*) überzogen ist. Die freie durchlassende Stelle soll genau 5 oder 10 qcm Fläche haben; durch dieselbe dringt das Licht ein und wirkt auf die in der Flasche befindliche lichtempfindliche Mischung. Oder man wendet eine besonders geformte Flasche, wie sie Fig. 63 *G* (*Z' g*) zeigt, an.

1) Marchand, Étude sur la force chimique continue dans la lumière du Soleil. Paris 1875. Eine kurze Notiz erfolgte schon im November 1873 in den Annales de chim. et phys. Die für die Akademie bestimmte ausführliche Abhandlung wurde Becquerel zur Berichterstattung zugewiesen, welcher aber die höchst interessante Arbeit fast zwei Jahre liegen ließ, worauf sie Marchand separat veröffentlichte (s. die Vorrede zum erwähnten Werk).

Vor dem Gebrauche wird die Flasche mit der Oxalsäure-Eisenchloridlösung ganz voll gefüllt und mit einem durchbohrten Pfropfen, der das geschwärzte Gasentbindungsrohr (*BB'*) trägt, geschlossen; das in der Flasche befindliche Ende des Rohres ist derartig gekrümmt, daß es bis an die Oberfläche der Flüssigkeit reicht und das Entweichen des Gases ermöglicht.

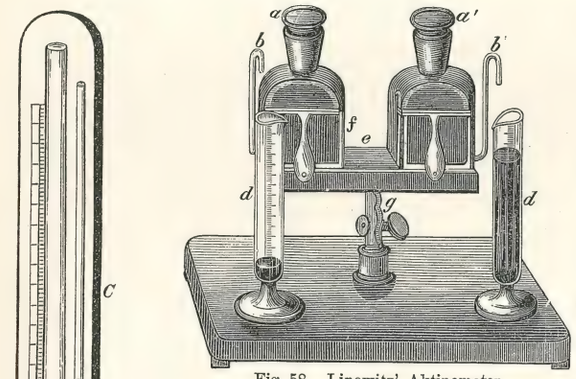


Fig. 58. Lipowitz' Aktinometer.

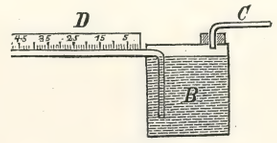


Fig. 61.
Burnetts Photometer.

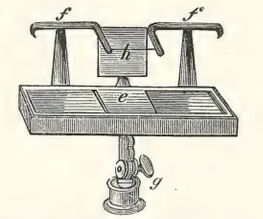


Fig. 59. Lipowitz' Aktinometer.

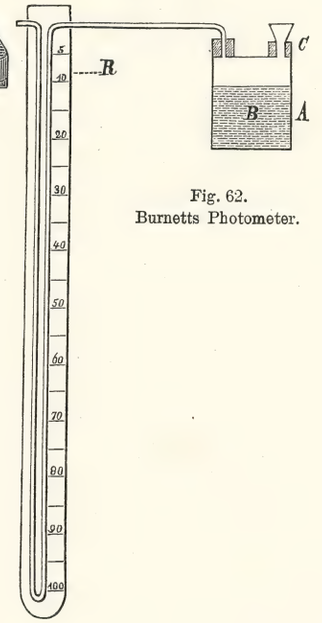


Fig. 62.
Burnetts Photometer.

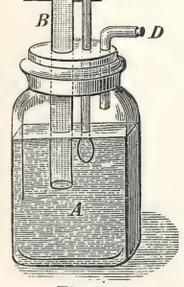


Fig. 57.
Woods' Photometer.

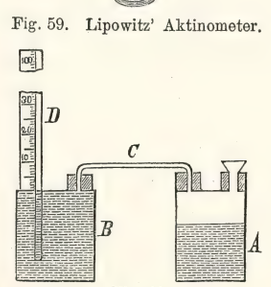


Fig. 60.
Burnetts Photometer.

Unter dem Einflusse des Lichtes entwickelt sich Kohlensäure, welche sich unter der graduierten Glocke *E* sammelt, bei welcher sirupartiges Glyzerin (von 28 bis 30 Grad B.) als Sperrflüssigkeit dient. Die pneumatische Wanne *t* verlängert sich nach unten in ein weites Rohr *C'*. Letzteres dient dazu, um das in *E* gesammelte Gas durch Untertauchen und gleichzeitiges Öffnen des Hahnes zu entfernen, die Meßglocke

wieder mit Glyzerin zu füllen, worauf man den Hahn schließt und selbe wieder an die alte Stelle bringt.

Die lichtempfindliche Lösung stellte Marchand durch Mischen von 10 ccm Eisenchloridlösung von 24 Grad B. (d = 1,200), 10 ccm Oxal-

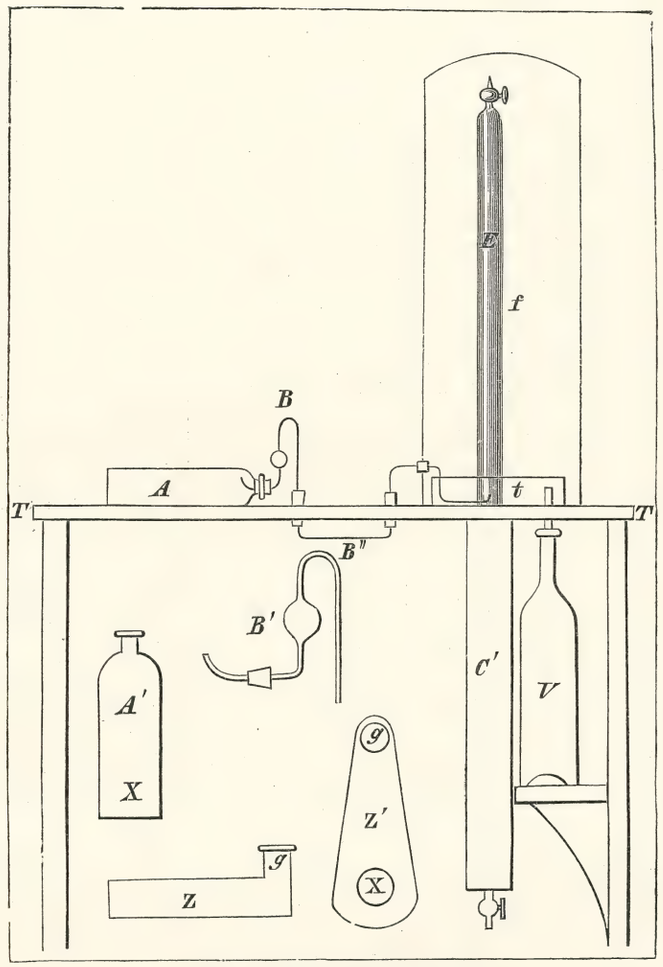


Fig. 63. Marchands Photantitypimeter.

säurelösung (20 g auf ein Liter Wasser gelöst) und so viel Wasser (oder an Stelle desselben schon einmal gebrauchte mehr oder weniger erschöpfte Photometerflüssigkeit) her, bis die Flasche voll ist. Jede der Lösungen wird zuvor mit Kohlensäure gesättigt. Dies Verhältnis fand Marchand als das beste. Eine unverdünnte Mischung aus 1 Volumen

der Eisenchlorid- mit 2 Volumen Oxalsäurelösung ohne Kohlensäure fand er anfangs wohl lichtempfindlicher, aber die Empfindlichkeit nahm rasch ab und der Gang der Reaktion war nicht regelmäßig, bevor nicht $^2/_3$ des Eisenchlorids reduziert waren. Bei der normalen Lösung verläuft die Reaktion regelmäßig, wenn nicht mehr als 260 ccm Gas entwichen sind (die Flüssigkeit kann 340 ccm Gas entwickeln), dann nimmt die Zersetzung im Lichte stark ab und die Kohlensäure-Entwicklung ist nicht mehr proportional der Lichtwirkung. Die Flüssigkeit in und außer der graduierten Röhre wird während der Operation immer im gleichen Niveau gehalten. Man kann in jedem Augenblick ablesen, man braucht nur die Temperatur und den Barometerstand zu berücksichtigen. — Ist die wirksame Flüssigkeit erschöpft, so ersetzt man 30 ccm Flüssigkeit durch 10 ccm Eisenlösung und 20 ccm Oxalsäurelösung. Die völlige Erneuerung der Flüssigkeit ist nur zwei- bis dreimal jährlich nötig. — Notwendig ist es, die Flüssigkeit mit Kohlensäure gesättigt zu erhalten; Marchand verwendet deshalb Vorratsflaschen mit Röhren und bewahrt sie unter Kohlensäure-Atmosphäre auf mit einigen Zentimetern Glyzerin Druck. — Man beachte, daß die Temperatur der Flüssigkeit in nicht bekannter Weise das Resultat beeinflußt.

Über die Wirkung der verschiedenfarbigen Strahlen des Sonnenspektrums gibt nachstehende Tabelle Aufschluß:

Teil des Spektrums	Relative chemische Wirkung	Teil des Spektrums	Relative chemische Wirkung
rot	2,6	violett	75,9
„	3,1	„	31,2
rotorange	4,2	ultraviolett	18,2
orange	5,7	„	8,8
gelb	43,1	„	8,3
grün	134,1	„	6,2
blau	278,0	„	5,2
„	337,8	„	2,0
indigo	370,0	„	2,0
violett	214,1	„	1,4

Warnerke wendete wie Marchand ein Gemenge von Oxalsäure und Eisenchlorid als photometrische Flüssigkeit an, jedoch nach folgenden Mischungsverhältnissen:

Eisenchlorid . . . . . 60 Gramm
Oxalsäure . . . . . 16,5 „
Wasser . . . . . 60 „

Er sättigte diese Lösung nicht von Vorhinein mit Kohlensäure, sondern begann seine Beobachtungen erst dann, nachdem der Apparat

einige Zeit dem Lichte ausgesetzt worden war. Da er bemerkte, daß in der Dunkelheit und bei wechselnder Temperatur ein Teil der Kohlensäure wieder frei wird, so trennte er, wie Marchand, den gaserzeugen-

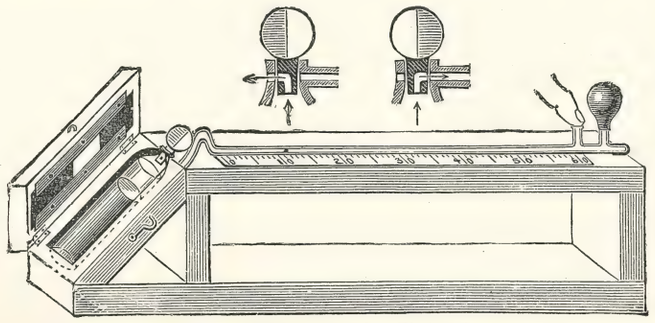


Fig. 64. Warnerkes Oxalat-Photometer.

den Apparat vom registrierenden. Die von ihm als Photometer benutzte Vorrichtung zeigt Fig. 64.

Für genaue Messungen des entweichenden Gases gab Warnerke folgenden Apparat[1]) an, welcher aus einer langen Flasche besteht. Sowohl Stöpsel als Hals sind durchbohrt, so daß das Gas bei der ersten Stellung (s. Fig. 64) an die Luft entweicht. Durch eine Drehung des Hahnes in die zweite Stellung kann man das Gas in die Meßröhre leiten. Die enge Meßröhre hat an dem einen Ende zwei Ansätze, wovon der eine mit einem Kautschukballon versehen, der andere offen ist. In die Röhre wird ein Tropfen Quecksilber gebracht und durch passendes Drücken des Ballons an Grad 0 der Röhre geschoben, welche Manipulation aus der Figur leicht ersichtlich ist.

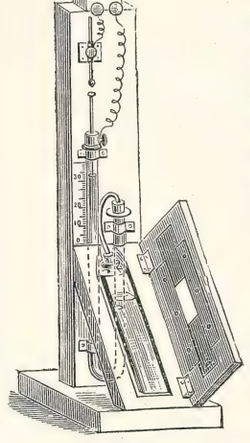


Fig. 65.
Warnerkes Alarm-Photometer.

Sinnreich ist Warnerkes Alarm-Photometer konstruiert (Fig. 65). Er besteht aus der mit oxalsaurem Eisenoxyd gefüllten Flasche. Ein **U**-förmiges Glasrohr enthält Glyzerin. Das eine Ende ist mit der Flasche verbunden, am anderen befindet sich ein Schwimmer mit einem feinen Platindraht. Das durch Lichtwirkung ausgetriebene Gas treibt die Flüssigkeit und damit den Schwimmer in die Höhe und berührt einen in bestimmter Höhe angebrachten Metallknopf, wodurch eine eingeschaltete elektrische Glocke zum Läuten gebracht

1) Bull. Assoc. Belge Phot., Bd. 6, S. 403.

wird. Dadurch kann eine bestimmte Lichtwirkung zur Anzeige gebracht werden.

Alle diese Instrumente entbehren aus dem oben genannten Grunde der Genauigkeit, sind aber gewiß verbesserungsfähig.

Die photochemischen Reaktionen der Ferrisalze sind in Eders Photochemie 1906, S. 167 beschrieben.

Gewichtsanalytische Bestimmung des zersetzten Eisensalzes.

Im Jahre 1857 schlug John C. Draper[1]) eine wässerige Lösung von saurem oxalsauren Eisenoxyd vor, um durch deren Zersetzung im Lichte ein Maß für die Intensität des Lichtes zu gewinnen. Diese Lösung kann in vollkommener Finsternis aufbewahrt werden, ohne daß sie eine Änderung erleidet; setzt man sie aber dem Lichte einer Lampe oder des Tages aus, so erfolgt die Reduktion. Der vorzugsweise wirksame Strahl ist der indigoblaue, welcher während seiner Wirkung absorbiert wird. Draper machte aufmerksam, daß man die Ausscheidung des zitronengelben oxalsauren Eisenoxyduls am Lichte vermeiden müsse, damit das Glas nicht seine Durchsichtigkeit verliere und daß ferner die Flüssigkeit bei einer beständigen Temperatur erhalten werde, indem sich ihre Farbe in der Wärme ändert. Bei 0 Grad C ist sie smaragdgrün, bei 100 Grad C aber bräunlichgelb. Mit dieser Farbenwandlung ändert sich auch die Aufsaugung des Lichtes und daher ihre Zersetzbarkeit. Draper erkannte die Schwierigkeit, aus der Menge des frei gewordenen Kohlensäuregases die Größe der Zersetzung zu erschließen; dieselbe liegt hauptsächlich in der Absorption der Kohlensäure durch das Wasser. Er zog es deshalb vor, das entstandene oxalsaure Eisenoxydul durch Versetzen der Lösung mit Goldchlorid zu bestimmen, wobei das Oxydulsalz metallisches Gold ausscheidet, welches quantitativ bestimmt werden kann. — Die Methode wäre genau, falls die Temperatur- und Konzentrationseinflüsse bekannt wären.

Bestimmung des durch die Lichtwirkung erlittenen Gewichtsverlustes.

Harry N. Draper beschäftigte sich mit demselben Gegenstande wie John C. Draper. Er sättigte eine Lösung von 189 Teilen kristallisierter Oxalsäure mit Eisenoxyd und verdünnte dann mit Wasser auf 2000 Teile und exponierte das Gemisch in einem Gefäße dem Lichte; der Apparat wurde vor und nach dem Exponieren gewogen und auf diese Weise gewichtsanalytisch die entwichene Kohlensäure bestimmt, wodurch die Korrektionen für Druck, Temperatur usw., welche beim Messen des Gases nötig erscheinen, vermieden wurden. Die in der Lösung absorbiert bleibende Kohlensäure, welche das Resultat wesentlich beeinflußt, wurde durch Hindurchleiten von Wasserstoffgas während $^1/_2$ Stunde beseitigt[2]).

Burnett hatte ebenfalls den Plan, den Gewichtsverlust, welchen eine Lösung von oxalsaurem Eisenoxyd oder Uranoxyd oder eine Mischung von Urannitrat oder Eisenalaun mit Oxalsäure oder sauren oxalsauren Salzen im Lichte erleidet, zu bestimmen. Er dachte das Gefäß mittels eines Hebelwerkes nach Art der Schnellwage abzuwägen oder dasselbe im Wasser nach Art eines Aräometers schwimmen zu lassen, wodurch das Instrument infolge des Gewichtsverlustes im Lichte in die Höhe steigt.

1) Philos. Magaz. 51, 151. Dingler 146, 29. Horn. Phot. Journ. 8, 85.
2) The photogr. Journal 1859, S. 37.

VI. Photometrie mit Nitroprussidnatrium.

Roussin wendet eine Lösung von 2 Teilen Nitroprussidnatrium, 2 Teilen trockenem Eisenchlorid und 10 Teilen Wasser an. Die Lösung scheidet im Lichte Berlinerblau aus, welches auf einem Filter gesammelt, bei 100 Grad getrocknet und gewogen wird; auch kann das spezifische Gewicht mittels eines sehr empfindlichen Aräometers bestimmt werden.

Die Abnahme des spezifischen Gewichtes ist proportional der Menge des ausgeschiedenen Berlinerblau; oder es werden 15 qcm große, gewogene Papierstücke mit der Lösung getränkt, getrocknet, exponiert, gewaschen und wieder gewogen. Die Gewichtszunahme bringt man als Berlinerblau in Rechnung[1]). — Nach Aug. Vogel bewirkt auch Magnesiumlicht bald eine Zersetzung[2]).

Verfasser beobachtete, daß die Flasche, welche die Lösung von Nitroprussidnatrium enthält, bald an den Wänden sich mit dem blauen Niederschlag bedeckt und deshalb den Zutritt des Lichtes hemmt, wodurch Unregelmäßigkeiten veranlaßt werden müssen. Wäre dies nicht der Fall, so könnten auch gemischte Lösungen von den Ferridcyankalium- und Eisenoxydsalzen (z. B. Eisenalaun) mit Nitroprussidnatrium bei Luftabschluß photometrische Verwendung finden.

VII. Jodoform-Chloroformlösung.

Die Lösung von reinem Jodoform in Chloroform ist im Dunklen gelblich, wird aber im Lichte ebenso wie durch Radium- oder Röntgenstrahlen rasch purpurrot; es wird Jod frei. Eine 2prozentige Jodoformlösung in Chloroform dient als Photometerflüssigkeit (s. dieses Handbuch, I. Band, zweiter Teil, Photochemie 1906, S. 477).

1) Phot. Archiv 1865, S. 342.
2) Ibid. 1871, S. 92.

SIEBENTES KAPITEL.

VERWENDUNG OPTISCHER PHOTOMETER UND PHOSPHORESZIERENDER SUBSTANZEN IN DER PHOTOGRAPHIE.

Versuch, optische Photometer photographisch zu verwerten.

Es wurde an mehreren Stellen dieses Werkes darauf hingewiesen, daß die chemische Intensität verschiedener Lichtquellen nicht mit ihrer optischen Helligkeit parallel läuft; diese Divergenz wird um so auffälliger, je größer die spektrale Zusammensetzung des von ihnen emmittierten Lichtes ist.

Manche in den Handel gekommenen sogenannten Photometer für photographische Zwecke (Expositionsmesser, s. u.) sind keineswegs Instrumente, welche die chemische Intensität messen, sondern mit ihnen kann nur die optische Helligkeit bestimmt werden. Sie sind also eigentlich im Prinzipe als photochemische Photometer falsch. Als Beispiel eines solchen Photometers sei das von Decoudun oder Goerz herausgegriffen. Bei demselben wird das Bild auf der matten Scheibe durch eine halbdurchsichtige Schicht betrachtet, deren Undurchsichtigkeit in einer Reihe von Abstufungen zunimmt. Je heller das Bild auf der matten Scheibe ist, um so weniger lichtdurchlassende Schicht kann man vor das Auge bringen, um das Bild auf der matten Scheibe nicht mehr zu erkennen. Hieraus wird dann ein Schluß auf die erforderliche Expositionszeit gemacht.

Es ist klar, daß hier nur die optische Helligkeit des Bildes auf der matten Scheibe gemessen wird, weil die optische Durchlässigkeit der halbdurchsichtigen Schicht als Maß genommen wird. Wenn, wie schon hervorgehoben, diese Methode prinzipiell ungenau ist, so darf man diese Methode für die Praxis nicht ganz verwerfen, sondern muß zugeben, daß solche Photometer für eine Reihe von Fällen brauchbare Resultate ergeben können, sobald es sich nur um die Helligkeitsmessung des gewöhnlichen Tageslichtes zu verschiedenen Zeiten handelt.

Um die optischen Photometer zur Messung der photographischen Wirksamkeit des Lichtes besser verwendbar zu machen, schaltete man blaue Gläser vor, um die Helligkeit der blauvioletten Komponente des Tageslichtes, welche photographisch besonders wirksam ist, herauszuheben. Deshalb schlug bereits 1860 Draper vor[1]), das in irgend ein optisches Photometer[2]) fallende Licht durch blaue ammoniakalische Kupfersulfatlösung fallen zu lassen und dann die Intensität des blauen Lichtes mit dem Auge zu schätzen. Die blaue Lösung läßt nur die vorzugsweise chemisch wirkenden, nicht aber die optisch hellsten Strahlen (Rot, Gelb) durch.

Hierher gehört auch Husniks Photometer, bei welchem in einem Kasten ein schwarzer Fleck auf ultramarinblauem Grunde sich befindet. Man schiebt nun den Deckel des Kastens so weit zu, daß der Fleck verschwindet[3]). Jedoch ist dieses Photometer sehr unsicher, weil das Auge für diese Erscheinung eine sehr schwankende Empfindlichkeit besitzt.

1. Expositionsmesser, mittels welcher die Helligkeit des Bildes auf der Visierscheibe direkt ermittelt wird.

Diese Art der Expositionsmesser ist theoretisch richtig, aber nur dann, wenn auf aktinometrischem Wege die chemische Wirksamkeit des jeweiligen Lichtbildes ermittelt wird.

Es wurde auch vorgeschlagen, über der Kamera (besonders für Landschaftsphotographie) eine zweite kleine Kamera, welche nur zur Aufnahme des Photometers dient, anzubringen (C. P. in Brit. J. of Phot. 1877, S. 580).

Jedoch bietet diese Art der Helligkeitsbestimmung des Bildes auf der Visierscheibe mittels chemischer Aktinometer Schwierigkeiten (siehe S. 126), weshalb man den bequemeren, aber weniger genauen Weg einschlug und optische Photometer als Expositionsmesser verwendete, welche für den Ungeübten einigermaßen brauchbare Anhaltspunkte bieten; übrigens können kleine Fehler in der Belichtungszeit in der photographischen Praxis durch passende Hervorrufung der Platten korrigiert werden. Geübte Praktiker bedienen sich jedoch niemals derartiger Apparate, sondern wissen die Helligkeit des Visierscheibenbildes

1) Kreutzers Zeitschr. f. Phot. 1860, I, S. 188.

2) D. i. ein solches, bei dem die Helligkeit mittels des Auges abgeschätzt wird. Beim Bunsenschen z. B. wird ein Papierschirm mit einem Fettfleck zwischen die zu vergleichenden Lichtquellen geschoben, bis der Fleck von beiden Seiten gleichviel Licht erhält und deshalb unsichtbar wird oder gleich hell erscheint.

3) Phot. Mitteil. 1870, Bd. 7, S. 217.

im Zusammenhang mit der erforderlichen Expositionszeit richtig einzuschätzen.

Zuerst brachte Decoudun in Paris (1888) einen optischen Expositionsmesser, den man an die Visierscheibe anlegte, in den Handel[1]).

Decoudun nahm bei Konstruktion seines äußerst sinnreich erdachten Instrumentchens (in Originalgröße in Fig. 66 und Fig. 67 dargestellt) einen Kreis, in Seidenpapiersegmente von verschiedener bestimmter Transparenz eingeteilt.

Diese Segmente sind hier in einem uhrförmigen Metallgehäuse (Fig. 66) eingeschlossen und werden durch Drehung des Knopfes vor die drei kleinen, in der Zeichnung ersichtlichen Punkte gebracht.

Das aufzunehmende Objekt wird wie gewöhnlich scharf eingestellt und die betreffende Blende eingefügt. Um nun die Expositionszeit richtig zu messen, geht man folgendermaßen vor:

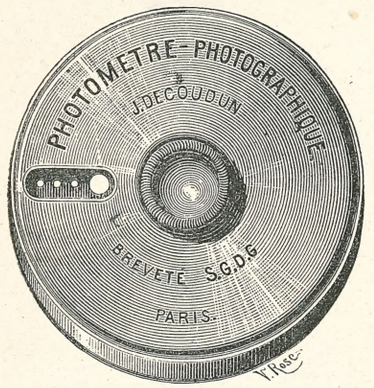
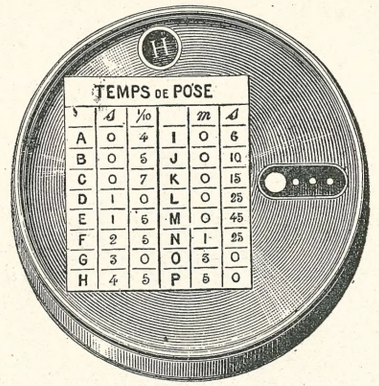


Fig. 66.



	s	1/10		m	s
A	0	4	I	0	6
B	0	5	J	0	10
C	0	7	K	0	15
D	1	0	L	0	25
E	1	5	M	0	45
F	2	5	N	1	25
G	3	0	O	3	0
H	4	5	P	5	0

Fig. 67.

Decouduns Expositionsmesser.

Man hält das Photometer an die matte Tafel seiner Kamera, während man mit einem entsprechend großen Einstellmantel sich so sorgfältig umhüllt, daß gar keine Spur Nebenlicht auf das kleine Instrument fällt. Man beobachtet nun von normaler Sehweite aus den kleinen Ausschnitt zur Linken des Photometers, wo man drei kleine und einen größeren Punkt wahrnimmt. Indem man nun den Mittelknopf dreht, werden diese Punkte nach und nach immer dunkler, bis ein Moment kommt, wo man selbe nicht mehr unterscheiden kann. Ist dies eingetreten, dann darf man ja nicht mehr weiter drehen. Man wendet nun das Instrument um und findet auf der Rückseite (Fig. 67) einen automatisch sichtbar gewordenen Buchstaben (in der Fig. 67 beispielsweise mit *H* gezeichnet), nach welchem man die Belichtungszeit auf der Expositionstabelle abliest. — Also $H = 4^1/_2$ Sekunden.

Die angegebenen Expositionszeiten sind für Gelatineemulsionsplatten von mittlerer Empfindlichkeit berechnet. Kommen aber hochempfindliche Platten in Anwendung, welche dann nicht mit der Tabelle übereinstimmen, so wird ein einfacher Versuch die Modifikation zeigen, welche eine der Ziffern zu erleiden hat; die anderen folgen dann alle in dem Verhältnisse der Tabelle, die durchaus nicht geändert werden darf.

1) Eders Jahrb. f. Phot. 1889, S. 35; Weber, Phot. Mitt., Bd. 25, S. 37.

Keineswegs ist es gleichgültig, wohin man das kleine Instrument auf der matten Tafel seiner Kamera aufsetzt, vielmehr muß man die drei kleinen Punkte über die wichtigste Lichtstelle des aufzunehmenden Bildes halten. Bei einer Porträtaufnahme in normaler Beleuchtung, z. B. auf die Lichtseite des Gesichtes, bei einer Landschaft auf die beleuchteten Partien des Mittelgrundes. Bei einem Interieur wird man die mittleren Lichter auf der matten Tafel messen.

Eine große Fehlerquelle dieser Art von Photometern besteht darin, daß die Augen verschiedener Beobachter das Verschwinden des letzten Lichtschimmers sehr verschieden beurteilen und auch derselbe Beurteiler verschiedene Ablesungen macht, je nachdem sein Auge mehr oder weniger lange im Dunkeln verweilt.

Bei dem neueren Photometer Nr. 41 von J. Decoudun in Paris ist ein blaues Glas eingesetzt. — Übrigens ging Decoudun zuletzt auf ein Photometer mit lichtempfindlichen Papier und Normalfarbe über (s. unten).

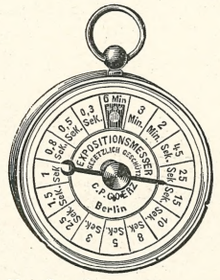


Fig. 68. Goerz' Expositionsmesser.

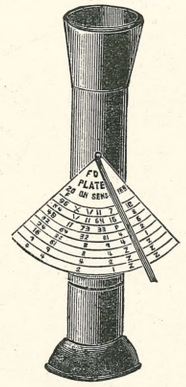


Fig. 69. Picards Expositionsmesser.

C. P. Goerz in Berlin konstruierte (1888) einen „Expositionsmesser“ auf einem ähnlichen Prinzip wie Decoudun, vereinfachte aber denselben wesentlich. Derselbe besteht aus einer Metallkapsel (Fig. 68), innerhalb welcher sich eine Scheibe dreht; letztere hat am Umfange ein System von Löchern, deren Transparenz verschieden ist[1]). Man legt beim Gebrauche den Expositionsmesser unter dem schwarzen Tuche auf die Visierscheibe der Kamera, so daß der helle Teil des Bildes, welcher am wichtigsten ist, auf das oberste Feld fällt und dreht nun den Knopf des Zeigers, bis die drei sichtbaren transparenten Punkte verschwinden, weil eine entsprechend undurchsichtige Schicht der Scheibe im Innern durch Drehen hervorgebracht wurde. In diesem Momente wird mit dem Drehen des Knopfes aufgehört und die Stellung des Zeigers gibt die jeweilige relative Belichtungszeit unmittelbar am Zifferblatte des Instrumentes .

Bei diesem Apparate ist die Handhabung äußerst einfach und die relative Bildhelligkeit auf der Visierscheibe mit annähernder Genauigkeit festzustellen.

Picard gab dem Decoudunschen Expositionsmesser die in Fig. 69 abgebildete Form (Eders Jahrb. f. Phot. 1896, S. 438).

1) Eders Jahrb. f. Photogr. 1889, S. 106. — Die an diesem Photometer angebrachten Expositionszeiten sind annähernd verkehrt proportional der Undurchsichtigkeit der transparenten Schicht im Innern.

Feitzingers (Wien) „Exponometer“ besteht aus einer Papierskala, die man an die Visierscheibe hält; man beobachtet die letzte eben noch durchscheinende Stelle (Eders Jahrb. f. Phot. 1905, S. 355).

2. Optische Expositionsmesser, mit welchen die Helligkeit der Landschaft direkt abgeschätzt wird.

Bei neueren Formen dieser optischen Expositionsmesser werden blaue abschattierte Keile bis zur Verdunklung geschoben und somit das Drapersche Prinzip verwendet.

Hierher gehört das vielfach verwendete Gustav Heydesche Aktino-Photometer (Dresden-A.).

Dasselbe besteht aus zwei drehbar verbundenen und mit einer Durchsicht versehenen Dosen. Innerhalb der Dosen ist ein Keilprisma von eigenartigem, dunkelblauem Glase angebracht, das durch die Drehung der Dosen von seiner hellsten bis zur dunkelsten Stelle vor der Durchsichtsöffnung vorübergeführt wird. Zur weiteren Verdunklung des Keils (bei Aufnahmen von Gletschern, Meer usw.) ist ein dunkles Glas vorschaltbar. Die eigenartige Färbung des Glaskeils schaltet die nicht aktinischen Strahlen fast ganz aus, so daß in der Hauptsache nur die aktinischen grünen, blauen und violetten Strahlen zur Wirkung kommen. Das Instrument ist daher „Aktino-Photometer“ genannt worden (siehe Fig. 70). (Siehe auch Phot. Korresp. 1905, S. 176; Eders Jahrb. f. Phot. 1905, S. 352.)

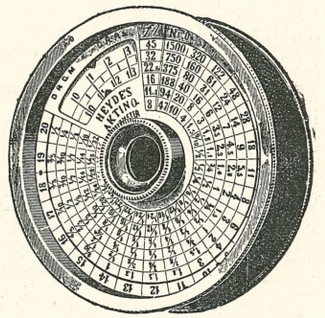


Fig. 70. Heydes Aktino-Photometer.

Der Aufnahmegegenstand wird direkt betrachtet (nicht auf der Visierscheibe) und so lange der Zeiger des Instrumentes gedreht, bis die beobachteten dunklen Stellen des Motivs verschwinden. Eine beigegebene Tabelle enthält Objektivhelligkeiten usw. und gibt in Verbindung mit den Photometeranzeigen die Belichtungszeiten.

Hierher gehört auch das Normal-Photometer von Degen in Paris (Rue de la Perle 3), bei welchem ein Prisma aus veilchenblauem Glase, auf das ein gleiches Prisma in umgekehrter Richtung aufgekittet ist, so daß beide zusammen eine planparallele Scheibe darstellen, deren eine Seite ganz dunkel ist und deren andere heller verläuft. Durch Verschieben solcher blauer Keile kann das Licht verschieden gedämpft werden, und man betrachtet durch dieselben den betreffenden Gegenstand. Eine dazu gehörige Skala gibt die betreffende Expositionszeit an.

3. Chemische Photometer an der Visierscheibe der Kamera.

Der richtigere Weg ist ohne Zweifel, die jeweilige Helligkeit des Bildes in der Kamera mittels lichtempfindlicher photographischer Schichten zu prüfen. Dies tat schon Soleil 1840 zur Bestimmung der Expositionszeit für Daguerreotypplatten. Soleils Röhrenphotometer bestand in folgendem Apparate. Er schwärzte die innere Wand einer messingenen Röhre von 40 mm Länge und 25 mm Durchmesser und verschloß sie an dem einen Ende mit einer beweglichen Platte, vor der er ein Kartenblatt einschob. Auf dieses Kartenblatt, welches vorher mit Gummi oder Dextrin überzogen worden war, trug er mit einer Spatel eine dünne Schicht feuchtes Chlorsilber auf. Die auf diese Weise zubereitete Röhre kehrte er gegen das Objekt, dessen Bild er daguerreotypieren wollte und zählte, wie lange Zeit das Chlorsilber braucht, um eine schiefergraue Farbe anzunehmen (Comptes rendus 1840, I, Nr. 21; Dingler, Polyt. Journ., Bd. 77, S. 160); die Röhre kann auch gegen die matte Scheibe gerichtet werden.

Ohne Zweifel kann jedes Photometer an Stelle der matten Scheibe angebracht und die Helligkeit daselbst ermittelt werden. Man beachte aber die Schwierigkeit, welche sich bietet, daß das Bild in den seltensten Fällen gleichmäßig hell ist und es demnach nicht gleichgültig ist, an welchem Punkte das Photometer sich befindet; ferner ist es theoretisch nicht zu vergessen, daß z. B. ein Chlorsilber-Photometer kein absolut genaues Maß für Bromsilbergelatine bietet, wenn auch die Differenz praktisch zu vernachlässigen sein dürfte.

Papiere mit Bromsilber- oder Chlorsilbergelatine überzogen und in Rollkassetten in der Kamera hinter einem Skalenphotometer exponiert, dann mit Eisenoxalat oder Zitrat usw. entwickelt, dürften photometrisch gut verwertbar sein. Bereits in der vorigen Auflage dieses Werkes machte der Verfasser aufmerksam, daß man auch die gleichzeitige Belichtung und Entwicklung photographischer Papiere, welche mit der Entwicklerflüssigkeit vor dem Belichten getränkt sind, in der Kamera vornehmen könnte.

4. Anwendung phosphoreszierender Substanzen in der Photometrie.

Das Phosphoreszenz-Photometer. Warnerke[1]) versuchte phosphoreszierende Substanzen zur Photometrie zu verwenden. Er schloß phosphoreszierende Farbe (Schwefelkalzium, Balmainsche Leuchtfarbe) zwischen zwei Glasplatten ein und exponierte diese in einer verschließbaren Büchse durch einige Sekunden dem Lichte; die bestrahlte Stelle wird leuchtend und zwar um so mehr, je intensiver das einwirkende Licht war. Nun wird die Helligkeit der phosphoreszierenden Fläche durch eine Scheibe von steigender Undurchsichtigkeit (nach Art der Skalenphotometer) mittels einer Lupe gemessen. Die Intensität der phosphoreszierenden Fläche nimmt nach der Bestrahlung rasch ab; man liest deshalb nach einer bestimmten Zeit (z. B. 30 bis 60 Sekunden) ab. Das Phosphoreszenz-Photometer gibt die Intensität der aktinischen Strahlen ziemlich gut an; es ist empfindlicher als irgend eines (siehe Fig 71 bis 74).

Warnerke gab dem Instrument folgende Einrichtung: A ist eine kreisförmige Scheibe von $2^1/_2$ Zoll Durchmesser, auf welcher die phosphoreszierende Substanz zwischen zwei Glasplatten hermetisch eingeschlossen und auf einem hölzernen Träger befestigt ist. Das Messingrohr B mit der Scheidewand C wird über die Scheibe A

1) Phot. News 1880, S 63; Phot. Corresp. 1880, S. 31.

gestellt und ist in dem Holzteile der Scheibe C in der Weise befestigt, daß es gedreht werden kann. Die Scheidewand C hat eine kreisförmige Öffnung von $^1/_2$ Zoll Durchmesser. An dem Rohre B ist ein Deckel D befestigt, der ein kleines Vergrößerungsglas E trägt, ferner ein Zeiger G. Die Scheidewand C ist so eingerichtet, daß nur ein kleiner Teil der phosphoreszierenden Substanz bei jeder Beobachtung dem Lichte ausgesetzt wird. Der Zeiger G, welcher bei einer auf dem Rande der Scheibe A angebrachten Zahl steht, zeigt, welcher Teil der Scheibe erregt wurde. Das Messingrohr H ist im Innern des Rohres B eingepaßt und hat einen Boden J, der aus zwei Scheiben von dünnem Glas hergestellt ist, zwischen welche eine durchscheinende

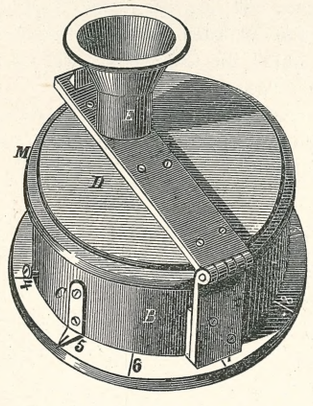


Fig. 71.

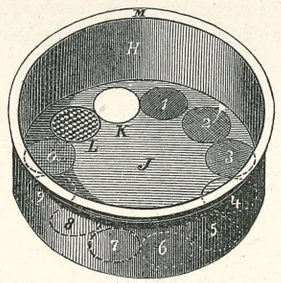


Fig. 72.

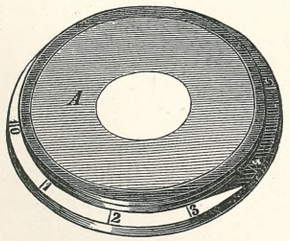


Fig. 73.

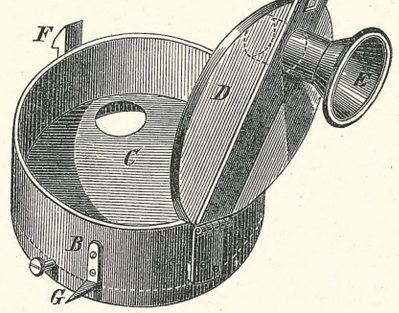


Fig. 74.

Warnerkes Phosphoreszenz-Aktinometer.

Substanz in solcher Weise verteilt wird, daß der Beobachter mit Hilfe des durchgelassenen Lichtes, welches durch eine Serie von kreisförmigen Scheiben von wachsender Undurchsichtigkeit tritt, eine helle Zahl in der Mitte eines dunklen Grundes sieht. Es sind 10 solche mit Zahlen versehene Scheiben angebracht, L und K tragen keine Zahlen. L ist mit einer Substanz von grüner Farbe geschlossen, K ist vollkommen durchsichtig und farblos. Fig. 71 stellt das vollständige Aktinometer vor.

Beim Gebrauche wird der Deckel D geöffnet. Das Rohr H, welches leicht mit Hilfe des bevorstehenden Randes M gedreht werden kann, wird so gestellt, daß der kreisförmige Ausschnitt K genau über die Öffnung in der Scheidewand C zu stehen kommt. Das Licht kann nunmehr frei auf die phosphoreszierende Substanz einwirken. Nach der Exposition wird der Deckel D geschlossen, der Trichter E des Fernrohres so weit als möglich dem Auge genähert und mittels des hervorstehenden Ringes M

das Rohr H gedreht; die aufeinanderfolgenden Nummern werden durch das Fernrohr wahrgenommen werden, jedoch mit stets abnehmender Intensität, bis zuletzt eine Nummer erreicht wird, die nicht mehr wahrgenommen werden kann. Die zuletzt wahrgenommene Nummer gibt selbstverständlich die Intensität des Lichtes an. Soll die nächste Beobachtung angestellt werden, so ist mit Rücksicht auf die mögliche Fortdauer des Leuchtens an der früher verwendeten Stelle vorzuziehen, einen anderen Teil der Fläche zu verwenden und zu diesem Ende wird die Holzscheibe so lange gedreht, bis der Zeiger G bei der nächsten an derselben angebrachten Nummer steht. Zehn Expositionen können in der angedeuteten Weise nacheinander stattfinden. Wenn jedoch die Beobachtungen so rasch aufeinander folgen, daß nach der letzten Exposition die zuerst exponierte Stelle der Scheibe noch leuchtet, so kann man zum Prozeß des Auslöschens seine Zuflucht nehmen, indem man durch die Öffnung L, welche mit rotem oder grünem Glase bedeckt ist, das Licht einwirken läßt.

Das Phosphoreszenz-Photometer fand trotz seiner sinnreichen Ausführung keinen Eingang in die Praxis. Zum Teil ist die Schwierigkeit, sich gleichmäßig phosphoreszierende Substanzen zu verschaffen, die Ursache davon.

Ein Photometer mit phosphoreszierenden Substanzen konstruierte auch Hoffsümmer (D. R.-Patent Nr. 130964; Eders Jahrb. f. Phot. 1903, S. 457).

ACHTES KAPITEL.

PHOTOMETRIE MITTELS PHOTOGRAPHISCHER SCHICHTEN.

Mit Vorliebe werden diverse lichtempfindliche Papiere in den verschiedensten Anwendungsarten zur Photometrie des bei photographischen Prozessen in Betracht kommenden Lichtes benutzt, wobei man entweder den Beginn der photographischen Veränderung (den Schwellenwert) und die hierfür notwendige Belichtungszeit beobachtet (z. B. Beginn der Schwärzung eines Chlorsilberpapieres in einem Skalenphotometer) oder man läßt die photographische Schwärzung (Färbung) eines lichtempfindlichen photographischen Papieres bis zu einer gewissen Farbe vorschreiten und beobachtet die hierfür erforderliche Belichtungszeit. Unter Benutzung der Reziprozitätsregel (s. S. 75) läßt sich je nach der Versuchsanordnung ein Rückschluß auf die wirkende Lichtstärke bei Benutzung von photographischen Papieren konstanter Empfindlichkeit (photographische Normalpapiere) machen oder andererseits bei Verwendung konstanter Lichtquellen die relative Lichtempfindlichkeit photographischer Schichten ermitteln. Diese Anwendung der photometrischen Prinzipien zur Empfindlichkeitsmessung photographischer Präparate nennt man Sensitometrie.

Obwohl Photometer, Aktinometer und Sensitometer prinzipiell nicht verschieden sind, wollen wir sie, den praktischen Anforderungen der Photographie entsprechend, dennoch in getrennten Abschnitten besprechen.

I. Normalfarbenphotometer.

Bei den sog. Normalfarbenphotometern wird gesilbertes Papier (Chlor- oder Bromsilber) dem Lichte bis zur Erreichung einer gewissen Normalfärbung (eines bestimmten Schwärzungsgrades) ausgesetzt und die hierzu erforderliche Belichtungszeit bestimmt.

Kurz nach der Erfindung der Daguerreotypie suchte man die Intensität des Tageslichtes und die davon abhängige Expositionszeit durch die Schwärzung von Chlorsilberpapier zu bestimmen.