Nach diesem Prinzip versuchten Jordan (1839), Malagutti (1839)[1]), Hunt (1845), Herschel[2]), Claudet[3]) u. a. mittels der Schwärzung photographischer Papiere die chemische Lichtwirkung zu messen.

Heeren gab im Jahre 1844[4]) eine Methode zur Messung der Lichtstärke behufs photographischer Versuche an, bei welcher er die Schwärzung des Chlorsilberpapieres im Lichte mit einer grauen Unterlage vergleicht. Aus der Zeit, welche nötig ist, um diesem Papiere eine bestimmte Färbung mitzuteilen, bestimmte er die zur Erzeugung photographischer Eindrücke nötige Zeit, indem durch Versuche ermittelt werden kann, wie sich die Zeiten zueinander verhalten.

Das Chlorsilberpapier stellte sich Heeren durch aufeinanderfolgendes Baden von Papier mit Silbernitrat (1 : 5) und gesättigter Chlornatriumlösung und schließlichem Waschen und Trocknen her. (Das Chlorsilber war somit mit überschüssigem Chlornatrium hergestellt.) Dieses Papier benutzte er, um aus dessen Färbung, verglichen mit einer grau gemalten, dem Farbentone nach durch einen Versuch ermittelten Unterlage, auf die Zeitdauer der in der Kamera nötigen Beleuchtung der Daguerreotypplatten zu schließen[5]).

Dieses Prinzip wollte auch Schall (1853) verwerten, indem er eine Skala anfertigte, welche die Färbungen enthält, welche die verschiedenen Nuancen der Wirkung des Sonnenlichtes gaben; mit dieser sollte dann die in einem bestimmten Falle entstehende Färbung durch das Sonnenlicht verglichen werden[6]).

Alle auf ein solches Prinzip gegründeten Instrumente mußten zu völlig illusorischen Resultaten führen, so lange es nicht gelungen war, eine photographische Schicht von stets gleicher Empfindlichkeit herzustellen und eine gesetzmäßige Abhängigkeit der Schwärzung von der Expositionszeit und Lichtstärke aufzufinden.

Diese Aufgabe lösten Bunsen und Roscoë 1862 durch ihre Untersuchungen, welche für alle derartigen Photometer fundamental sind und deshalb hier ausführlich mitgeteilt werden[7]).

Die Messung der Lichtwirkung, welche sich auf eine Schätzung verschiedener Schwärzungen von Chlorsilberpapier stützt, wurde von Bunsen und Roscoë nicht weiter ins Auge gefaßt, weil es sich zeigte, daß zwischen der wirkenden Lichtintensität und den dadurch in gleicher Zeit erzeugten Schwärzungen keine Proportionalität besteht. So waren z. B. für die Lichtmengen 5 und 1 die entsprechenden

1) Annal. de chim. et de phys. (2.) Bd. 72, S. 5.

2) Philos. Transact. 1840, S. 46.

3) London. Philos. Magaz. (3.) Bd. 33, S. 329.

4) Poggend. Ann. Bd. 64, S. 309; Dinglers Journ. Bd. 93, S. 47 u. Bd. 96, S. 26.

5) Heeren polemisierte auch damals gegen Lipowitz, welcher 1844 die Lichtintensität für photographische Zwecke optisch bestimmen wollte (Pogg. Ann. Bd. 61, S. 140; Bd. 63, S. 348); der Streit entspann sich bezüglich des Messens der Lichtstärke durch die Öffnung der Pupille des Auges und durch Färbung von Chlorsilber.

6) Cosmos III, 487.

7) Poggend. Ann. Bd. 117, S. 529.

Schwärzungen 0,50 und 0,22[1]). Man kann bei äußerst schwachen Schwärzungen der photographischen Schicht noch sehr kleine Unterschiede in der Schwärzung durch das Auge wahrnehmen, bei intensiven Schwärzungen ist dagegen eine solche Schätzung unmöglich.

Der Satz, daß gleiche Produkte von Lichtintensität und Insolationsdauer gleichen Schwärzungen entsprechen, war von Malagutti[2]) vor längerer Zeit hypothetisch ausgesprochen worden; innerhalb der engen Grenzen einer von 1 bis $2^1/_2$ wechselnden Lichtstärke wurde er 1862 von Hankel[3]) annähernd richtig befunden.

Bunsen und Roscoë stellten durch sehr genaue Versuche fest, daß 1. innerhalb sehr weiter Grenzen (Schwankung der Intensität um das 25fache) gleichen Produkten aus Lichtintensität und Insolationsdauer gleiche Schwärzungen auf Chlorsilberpapier von gleicher Sensibilität entsprechen; 2. beim Schwärzen von Chlorsilberpapier photochemische Induktionen (s. S. 101) keinen störenden Einfluß ausüben; 3. ein Gemenge von 1000 Teilen reinem Zinkoxyd mit 1 Teil reinem Lampenruß eine konstante unveränderliche Farbennuance, die als Normalfärbung benutzt werden kann, gibt[4]).

Zur Herstellung des Bunsen und Roscoëschen Normalpapieres werden 300 g reines Kochsalz in 10 Liter Wasser gelöst und in eine Tasse gegossen. In diese Lösung senkt man die an zwei diametralen Flächen mit der Hand herabhängend gehaltenen 0,3 qm großen Papierbogen unter die Flüssigkeit völlig ein. Nach 5 Minuten langem Verweilen in der Flüssigkeit wird der Bogen herausgenommen und vertikal herabhängend getrocknet. Die angewandten 10 Liter reichen hin, um 70 solche Papierbogen von 0,3 qm Oberfläche nacheinander oder zu verschiedenen Zeiten zu präparieren. Das also bereitete Papier kann Monate lang aufbewahrt werden, ohne seine Anwendbarkeit zu verlieren.

1) Zur Messung des Grades der Schwärzung diente eine rotierende Scheibe mit schwarzen und weißen Sektoren, deren Verhältnis zueinander beliebig verändert werden konnte. Indem man $^1/_{10}$, $^2/_{10}$, $^3/_{10}$ usw. der Scheibenoberfläche aus schwarzen Sektoren bestehen läßt, erhält man die entsprechenden Schwärzungen $^1/_{10}$, $^2/_{10}$, $^3/_{10}$ usw. auf der in Rotation versetzten Scheibe, deren mittlerer Teil mit dem zu vergleichenden, durch die Lichtwirkung veränderten Papiere ausgefüllt war.

2) Ann. de chim. et de phys. 62, 5.

3) Messungen über die Absorption der chemischen Strahlen des Sonnenlichtes. Abhandl. d. k. sächsischen Gesellsch. d. Wissensch. Leipzig (1862).

4) Der Lampenruß wurde dadurch erhalten, daß man eine Terpentinöllampe unter einer großen mit Wasser kalt gehaltenen Porzellanschale brennen ließ und den abgesetzten Ruß in einem bedeckten Platintiegel 5 Minuten lang zur Rotglut erhitzte. Als Bindemittel wurde Wasser verwendet, in dem ungefähr $^8/_{1000}$ Hausenblase gelöst waren. Die Mischung wurde 1 Stunde lang auf dem Reibstein gerieben.

Die Silberung geschieht unter den beim Photographieren üblichen Vorsichtsmaßregeln, nachdem der 0,3 qm große Bogen in vier gleiche Teile zerschnitten ist, in einem passenden Glasgefäß mit flachem Boden, worin sich eine Lösung von 120 g salpetersaurem Silberoxyd in 1 Liter Wasser befindet. Die Zeit, während welcher das Papier auf der Oberfläche des Silberbades schwimmend erhalten wird, beträgt 2 Minuten. Der angewandte Liter Silberbad reicht aus, um 500 jener zerschnittenen Blätter zu silbern, wodurch die Flüssigkeit ungefähr auf die Hälfte ihres Volumens verringert wird. Dieses Normalpapier kann nach dem Trocknen an der Luft 15 bis 24 Stunden im Dunkeln aufbewahrt werden, ohne daß sich an demselben eine bemerkbare Änderung in der Lichtempfindlichkeit zeigt.

Eine Reihe von Versuchte ergibt, daß das nach dieser Vorschrift dargestellte photographische Normalpapier von hinlänglich gleichbleibender Lichtempfindlichkeit ist, um zu photochemischen Messungen dienen zu können.

Die Empfindlichkeit dieses Papieres bleibt unverändert, mag die Silberlösung 15 Sekunden oder 8 Minuten mit dem gesilberten Papier in Berührung gewesen sein. Ferner zeigt es sich, daß die Empfindlichkeit des Papieres unverändert dieselbe bleibt, mag man 8-, 10- oder 12prozentige Silberbäder anwenden, daß aber bei 6 Proz. schon die Grenze der Veränderlichkeit erreicht ist.

Bunsen und Roscoë aber fanden ferner, daß von einem 12prozentigen Silberbad $^2/_3$ der Lösung verbraucht werden können, ohne daß der Gehalt nur auf 8 Proz. sinkt. Aus einer Silberlösung von der bezeichneten Stärke nimmt 1 qdcm Papier höchstens 0,01 g Silbernitrat in Anspruch. Das alte Silberbad gibt ebenso empfindliche Papiere als frisches.

Mit steigendem Kochsalzgehalt steigt die Empfindlichkeit des Papieres fortwährend in raschem Maße. Um konstante Resultate zu erhalten, ist es daher nötig, eine Lösung von stets gleichem Kochsalzgehalt anzuwenden.

Die Dicke weißer, zum Photographieren tauglicher Papiere ist ohne Einfluß auf die Empfindlichkeit derselben. (Man verwendet 8 oder 10 kg Rivespapier.)

Die Unterschiede in den atmosphärischen Temperaturen und Feuchtigkeitsgraden sind auf die Lichtempfindlichkeit ohne Einfluß.

Zu ihren Versuchen bedienten sich Bunsen und Roscoë des sog. Pendelapparates. Derselbe beruht darauf, daß ein durch ein Pendel bewegtes geschwärztes Glimmerblatt sich einseitig über einem unverrückbar befestigten, mit einer Millimeterskala versehenen Streifen photographischen Chlorsilberpapieres verschiebt, so daß die

verschiedenen Vertikalzonen des letzteren der Einwirkung des Lichtes durch sehr verschiedene Zeiträume ausgesetzt bleiben. Es entsteht so eine Skala von verschiedenen Graden der Schwärzung, mit denen sich andere, durch gesonderte Bestrahlung geschwärzte Flächen in einem dunklen Zimmer bei dem chemisch unwirksamen Licht einer hellen Natronflamme vergleichen lassen.

Später vereinfachte Roscoë (1864)[1]) die Bunsen-Roscoësche photometrische Methode mittels des Pendelapparates, weil dieselbe äußerst zeitraubend und nur bei ruhigem Wetter ausführbar ist und beträchtliche Mengen von photographischem Papier erfordert. Roscoë benutzte nun den Pendelapparat nur mehr zur Herstellung der Normalskala.

Von zweien solcher Streifen wurde der eine fixiert und auf ein Brettchen mit Millimetereinteilung befestigt; mittels des zweiten unfixierten Streifens wurde, nachdem darauf die Stelle der Normalschwärze genau bestimmt worden war, der fixierte Streifen bezüglich der Stellen gleicher Schwärzung graduiert.

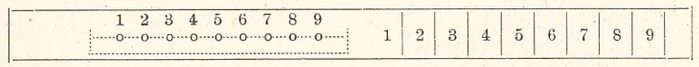


Fig. 75. Roscoës Insolationsband.

Die Beobachtungsmethode war auf diese Art sehr einfach geworden; jedem fixierten und graduierten Streifen wurde eine Tabelle beigegeben, welche den Wert der Schwärzung für jeden Millimeter Länge des Streifens in der Maßeinheit ausgedrückt angab. Insolierte man dann ein Stück photographisches Normalpapier während einer bekannten Anzahl von Sekunden, bis man eine Schwärzung erhielt, deren Intensität derjenigen irgend einer Stelle auf dem fixierten Streifen gleichkam und bestimmte man genau die Lage der Schwärzung bei dem Lichte einer Natronflamme, so fand man die Intensität des wirkenden Lichtes ausgedrückt in der Maßeinheit durch Division der Zahl, welche in der Intensitätstabelle der Stelle gleicher Schwärzung entsprach, durch die in Sekunden gegebene Insolationszeit.

Behufs Insolation und Ablesung bediente sich Roscoë der folgenden Methode: Ein Stück photographisches Normalpapier von 100 mm Länge und 10 mm Breite wurde auf die Rückseite eines „Insolationsbandes“ (Fig. 75) mit Gummi in der Lage aufgeklebt, wie es die punktierten Linien in der Zeichnung andeuten, so also, daß die neun Löcher, jedes von 5 mm Durchmesser, die sich auf dem Insolationsbande in einer Entfernung von 10 mm befanden, je zur Hälfte durch das empfindliche Papier bedeckt wurden. Die Insolationsbänder wurden aus steifem Papiere vermittelst eines 400 mm langen und 35 mm breiten eisernen Lineals ausgeschnitten und dann die neun Öffnungen mit einem Locheisen, das in neun entsprechende Löcher des Lineals paßte, ausgestanzt; diese Öffnungen waren auf dem Insolationsbande numeriert und die Zahlen wiederholten sich in einer Entfernung von 87 mm von jedem Loche.

1) Poggend. Ann. Bd. 124, S. 353; Phot. Arch. 1865, S. 373.

Der Insolationsapparat (Fig. 76) bestand aus einer engen Messinglade A von 174 mm Länge und 40 mm Breite, offen an den zwei schmalen Seiten und gerade so weit, daß das Papierband B leicht hindurchgesteckt werden konnte. Eine kreisförmige Öffnung C von 10 mm Durchmesser war in der Mitte des oberen Bodens eingeschnitten, und zwar in der Lage, daß, wenn die Linie 1 auf dem Insolationsbande an dem einen Ende des Apparates sich befand, der Mittelpunkt der Öffnung 1 genau im Mittelpunkt der Öffnung C zu liegen kam. Ein dünner Messingstreifen E bewegte sich mit Leichtigkeit über den oberen Boden und schützte das sensible Papier vollständig vor Lichteinwirkung, wenn es sich gerade über der Öffnung C befand. Dieser Deckel E konnte mittels eines auf der Rückseite des Apparates angebrachten Knopfes leicht mit der Hand bewegt werden; wurde jedoch der Apparat der Bequemlichkeit halber auf den Träger G gesetzt, so diente der mit demselben verbundene Hebel F, welcher sich dem Knopfe anpaßte, dazu, die Öffnung C leicht und rasch zu öffnen und zu schließen.

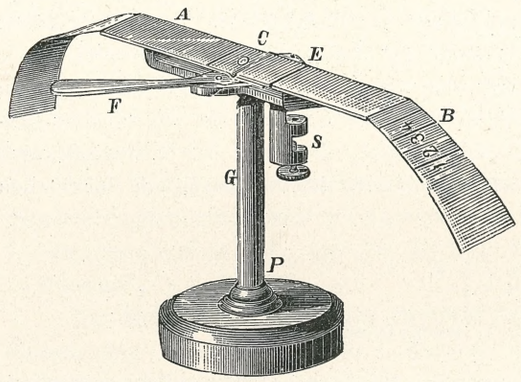
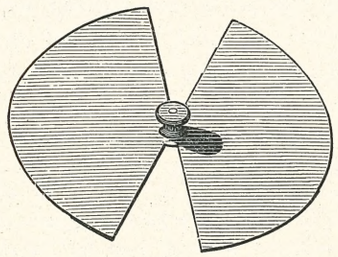


Fig. 76. Roscoës Insolationsapparat.

War die Intensität des Lichtes so groß, daß die Insolation höchstens 2 bis 3 Sekunden dauern durfte, so wäre der Fehler, welcher durch das Schließen und Öffnen der Öffnung gemacht worden wäre, zu beträchtlich gewesen. Um in diesem Falle durch längere Dauer der Insolation diesen Fehler zu verkleinern, wurde die Intensität des Lichtes in einem bestimmten Verhältnisse vermindert, indem eine kreisförmige, geschwärzte Metallscheibe (Fig. 77) mit zwei Segmentausschnitten von je $^1/_{12}$ ihrer Oberfläche, deren Achse in die Zapfenlager S (Fig. 76) paßte, in schnelle Rotation versetzt wurde. Da die Drehungsgeschwindigkeit keinen Einfluß auf das Resultat ausübt, wurde die Scheibe einfach mit der Hand zum Rotieren gebracht. Nach Beendigung einer jeden Belichtung konnten die übrigen Teile des Normalpapieres durch eine beliebige Zeit hindurch ebenso insoliert werden, indem man sie durch Verschieben des Insolationsbandes unter die Öffnung C (Fig. 76) brachte.


Fig. 77. Rotierende Scheibe des Insolators.

Das zum Ablesen verwendete Instrument ist durch Fig. 78 dargestellt. Es bestand aus einer Messingtrommel M von 60 mm Durchmesser und 37 mm Breite, auf dessen Zylinderfläche ein Stück weißes Papier befestigt war, worauf der fixierte Streifen geklebt wurde. Der Rand des Zylinders war in Millimeter geteilt und das dunkle Ende des Streifens traf mit dem Anfange der Skala zusammen. Die Trommel drehte sich um eine horizontale Achse O, welche an eine vertikale, kreisförmige Scheibe N befestigt war. Trommel und Scheibe waren auf einem Pfeiler mit dem Fuß P befestigt.

Das Insolationsband wurde mit Hilfe zweier Schraubenklemmen QQ_1 gegen den graduierten Streifen gepreßt; die Klemmen waren 133 mm voneinander entfernt an der vertikalen Scheibe N befestigt. Drehte man die Trommel um ihre Achse, so passierten die verschiedenen Schwärzungen des Streifens jedes der Löcher des Insolationsbandes und man konnte beim Lichte der Natronflamme[1]) die Lage der Punkte auf den Streifen, welche gleiche Schwärzungen mit jedem der insolierten Blättchen besaßen, bestimmen. Die Linse R, welche an dem Messingpfeiler des Instrumentes befestigt war, diente zur Konzentration des Lichtes der Flamme auf die kleine Fläche, welche untersucht wurde.

Nach der eben beschriebenen Methode wurden von August 1863 bis September 1864 eine Reihe Beobachtungen gemacht; die Resultate derselben sind in der oben zitierten Abhandlung in Tabellen zusammengestellt und auch graphisch dargestellt

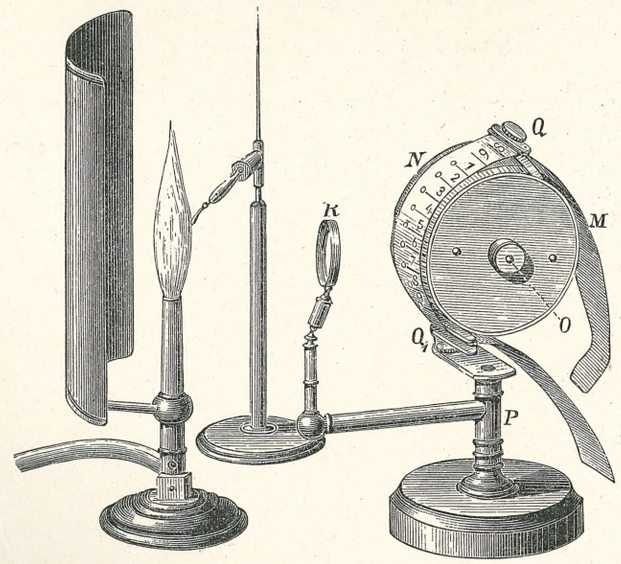


Fig. 78. Ablesung des Schwärzungsgrades bei Natriumlicht.

worden. Die graphische Darstellung benutzte Roscoë, um durch eine einfache und praktische Integrationsmethode die mittlere chemische Lichtintensität eines Tages zu bestimmen. Es wurden nämlich die Kurven auf steifes, sehr gleichförmiges Papier gezeichnet, ausgeschnitten und das Gewicht des Stückes Papier, das zwischen Kurve und Basis lag, bestimmt. Zwischen 4 und 5 Kurven wurde ein Stück von bestimmter Größe ausgeschnitten, um Veränderungen im Gewichte, welche in einer Ungleichförmigkeit des Papieres ihren Grund hatten, zu ermitteln und darnach notwendige Korrekturen anzubringen.

---

1) Die Natronflamme wird erhalten, indem man Natriumkarbonat, welches am Platindrahte angeschmolzen ist, im Bunsenbrenner glüht, oder wenn kein Gas zur Disposition steht, den Docht und die Füllung einer Weingeistlampe mit Chlornatrium tränkt.

Die oben mitgeteilte Methode zur Messung der Lichtintensität nimmt viel Zeit und Mühe in Anspruch, indem die Beobachtungen wenigstens jede Stunde wiederholt werden müssen, um eine zufriedenstellende Kurve der Tageswirkung zu geben. Roscoë[1]) modifizierte (1874) deshalb dieselbe derart, daß, ohne die Genauigkeit der Beobachtung zu verringern, die Arbeit auf ein Minimum reduziert wurde.

Da, wie bekannt, die chemische Intensität an verschiedenen Orten und zu verschiedenen Zeiten großen Veränderungen unterworfen ist, so ist es nötig, daß behufs scharfer Bestimmung der chemischen Wirkung das Papier innerhalb bestimmter Grenzen stets eine gewisse Schwärze erhalte. Dies erzielte Roscoë dadurch, daß er verschiedene Punkte des Streifens schnell hintereinander verschiedene Zeitlängen exponierte; hierzu bediente er sich der nachstehend beschriebenen Einrichtung (Fig. 79).

Das Minutenrad der Uhr A (Fig. 79, links) ist mit drei Rädern (BCD) der Reihe nach so verbunden, daß das letzte Rad D sich einmal alle zwei Minuten um seine Achse dreht. An der Peripherie dieses metallenen Rades sind elf starke Platinnadeln befestigt (mit den Zahlen 1—11 bezeichnet). Jede dieser Nadeln ragt etwa 3 mm aus der Oberfläche des Rades hervor. Wenn sich dieses Rad umdreht, wird der Reihe nach jede dieser Nadeln einen Augenblick in metallische Verbindung mit dem elastischen Metallarm E gebracht, dessen Ende mit Platin bedeckt ist. Die Platinnadeln sind so am Rade befestigt, daß der Kontakt nur einen Augenblick dauert, dann wieder unterbrochen wird, bis die nächste Nadel in Position kommt. Dieses geschieht im ganzen 11 mal. Die Intervalle, während welcher der Kontakt unterbrochen wird, sind verschieden, je nach den Zwischenräumen zwischen den Platinnadeln. Roscoë fand für England folgende Unterbrechungszeiten am zweckmäßigsten:

Intervall:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Sekunden:	2	3	4	5	7	10	12	17	20	30.

Für andere Orte, wo die Intensität entweder viel größer oder viel geringer ist, müßten andere Zwischenräume gewählt werden.

Während das Rad im Kontakt mit dem elastischen Arm E ist, geht ein Strom, von mehreren Zellen einer kräftigen Batterie (Fig. 79, Mitte), durch einen zweiten elastischen Arm F und durch Drähte, welche die Uhr mit dem Insolationsapparat (Fig. 79, rechts) verbinden. Sobald der Kontakt bei E unterbrochen wird, wird dieser Strom ebenfalls unterbrochen. Das Papier von konstanter Empfindlichkeit wird in lange und schmale Streifen zerschnitten; die Länge von zirka 3 m muß für einen Tag genügend sein. Dieser Papierstreifen wird über die Rolle B (Fig. 79, rechts) gewunden, von welcher er über das leichte Metallrad W, dessen Durchmesser etwa 15 cm beträgt, geht. Ein Ende des Papierstreifens ist an diesem Rade befestigt. Das Hemmrad F wird durch eine Feder E in Bewegung gesetzt und hat eine gemeinschaftliche Achse mit dem Rade W. Die Hemmung E ist in Verbindung mit einem Eisenstück K, welches sich nahe an einem Elektromagnet M befindet; um diesen Elektromagnet

1) Poggend. Annal. f. Phys. u. Chem. Bd. 151, S. 268.

geht ein Strom, sobald die metallische Verbindung bei E (Fig. 79, links) hergestellt ist.

Geht ein Strom um den Elektromagnet, so wird das Eisenstück K angezogen, die Hemmung E wird nun frei und das Rad mit dem Papier um eine Strecke bewegt, die von der Anzahl der Zähne des Rades F abhängt. Sobald der Strom unterbrochen wird, wird das Eisenstück mittels einer Spiralfeder S in die ursprüngliche Position zurückgebracht. Wenn das Minutenrad A der Uhr an einen bestimmten Punkt kommt, drückt eine auf ihm befindliche Nadel h gegen das lange Ende eines Hebels L; dieser Hebel drückt den elastischen Arm E herab. Die Platinnadeln des Rades D drücken nun gegen den Arm E und der Strom wird in den gegebenen Zwischenräumen hergestellt und unterbrochen. Das empfindliche Papier wird dadurch nach bestimmten Zwischenräumen um eine Entfernung vorwärts bewegt, die genügt, um einen frischen Teil desselben unter die kreisförmige Öffnung (4 mm Durchmesser) zu bringen. Auf diese Weise wird während einer Umdrehung des Rades D das empfindliche Papier in fortschreitenden, bis zu 80 Sekunden reichenden Zeitlängen exponiert. Die feste Nadel h des Minutenrades hat sich während dieser Zeit so weit vorwärts bewegt, daß sie nicht mehr gegen das gebogene und dicke Ende des Hebels L drückt und das Ende des elastischen Armes E wird durch die isolierte Spiralfeder S zurückgezogen. Der Arm bleibt nun in dieser Position, bis eine Stunde verflossen ist, worauf er wieder heruntergepreßt und mit den Platinnadeln in Verbindung gebracht wird. Während dieser Stunde wird eine Papierscheibe exponiert und dadurch stark geschwärzt. Wird im Laufe des Tages eine dieser schwarzen Scheiben markiert, so kann man dadurch auf die Stunden schließen, in welchen die verschiedenen Expositionen stattgefunden haben.

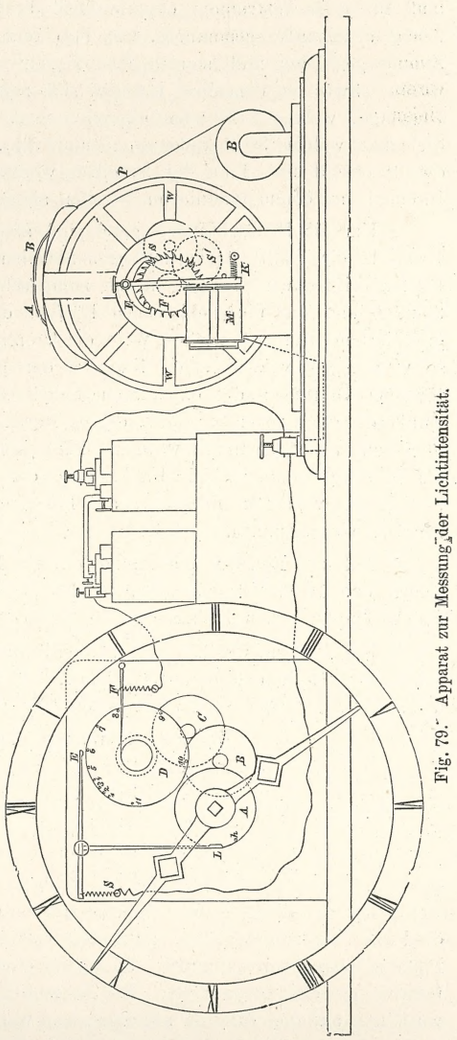


Fig. 79. Apparat zur Messung der Lichtintensität.

Ist der Apparat in Gebrauch, so wird er durch einen leichten metallischen, geschwärzten Deckel geschützt. Auf diesem Deckel befindet sich eine Metallplatte mit einer kreisförmigen Öffnung (4 mm Durchmesser), deren Rand sorgfältig abge-

rundet ist. Eine Stahlfeder AB (Fig. 79, rechts), über welche der empfindliche Papierstreifen geführt wird, drückt denselben gegen die horizontale Metallplatte, so daß die exponierte Papierscheibe dicht unter der Öffnung der Metallplatte liegt. Um das Papier und den Apparat während des Regens trocken zu halten, wird derselbe mit einer Glaskuppe bedeckt. Der Verlust an Licht, welcher durch das Glas bedingt wird, muß für jedes Instrument experimentell bestimmt werden. Wird der Apparat am Abend auseinander genommen, was in einem durch eine Natronflamme erleuchteten Zimmer geschehen muß, so sieht man die schwarzen Scheiben, die eine Stunde exponiert waren. Zwischen denselben befinden sich zehn Scheiben von verschiedenen Nuancen. Diejenige, welche 2 Stunden exponiert war, ist vielleicht kaum sichtbar, während diejenige, welche 30 Sekunden exponiert war, vielleicht zu dunkel zur Bestimmung der Intensität ist. Eine der Scheiben wenigstens muß eine Nuance haben, deren Intensität an einem graduierten Streifen abgelesen werden kann.

Um die Beobachtungen geschwind ablesen zu können, wird vermittelst eines Drückers die Hälfte der schattierten Scheiben herausgedrückt. Das eine Ende des Papierstreifens wird sodann in die zum Ablesen bestimmte Trommel (Fig. 78) geklemmt und die übriggebliebenen Hälften der gefärbten Scheiben dicht über die graduierten Streifen gepreßt. Wird die Trommel um ihre horizontale Achse gedreht, so werden die verschiedenen Nuancen der graduierten Streifen an den halbkreisförmigen Öffnungen der exponierten Scheiben vorbeigeführt und es kann somit der Punkt des graduierten Streifens, dessen Nuance identisch ist mit einer der schattierten Scheiben, leicht bestimmt werden. Eine jede Nuance wird zehnmal abgelesen und das Mittel genommen. Die Kalibrierung der fixierten Streifen wurde von Roscoë, unabhängig vom Pendelapparat, auf folgende Weise mittels eines Röhrenphotometers vorgenommen.

Auf dem Boden von sechs hohlen, mit Blenden versehenen Zylindern von 60 cm Länge und 10 cm Durchmesser, welche gegen den Zenit gerichtet waren, wurden Stücke empfindlichen Papieres gleich lang belichtet.

Die Blenden, welche oben auf den Zylindern aufgesetzt wurden, waren von verschiedener Größe und derart bestimmt, daß die relative Lichtintensität, welche auf die auf den Zylinderböden befindlichen Papiere wirkt, die folgende war:

Zylinder	1:	relative	Lichtintensität	1,00
„	2:	„	„	2,32
„	3:	„	„	4,00
„	4:	„	„	6,13
„	5:	„	„	8,72
„	6:	„	„	11,95.

Die so belichteten Papierstücke wurden nun in ein dunkles Zimmer gebracht und die Punkte des zu graduierenden Streifens bestimmt, deren Nuance mit den verschiedenen Papierstücken übereinstimmte. So wurde eine Anzahl von Punkten gefunden, deren relative Intensität bekannt war. Die Normalschwärzung (die der Intensität 1 entspricht) ward nun auf dem Streifen abgelesen und wenn der betreffende Punkt mit einem der vorher fixierten übereinstimmte, so wurden die mit den gefundenen Punkten korrespondierenden Intensitäten leicht gefunden. Mehrere Experimente mit den Zylindern wurden für jeden zu kalibrierenden Streifen gemacht, und da im allgemeinen die Intensität des Tageslichtes bei den verschiedenen Experimenten verschieden war, wurde eine große Anzahl von Punkten gefunden, unter denen einer ziemlich genau mit der Normalschwärze übereinstimmen mußte.

Die chemische Wirkung des totalen Tageslichtes wird mit diesem Instrumente, gemäß Roscoës Methode, durch ein dem Lichte ausgesetztes Stück empfindlich gemachten Papieres für einen bestimmten Zeitraum in jeder Stunde gemessen. Um dies zu bewerkstelligen, ist das empfindliche Papier um eine Trommel, welche sich um eine horizontale Achse dreht, gewickelt, und das tragende Gestell kann außerdem parallel dieser Achse verschoben werden. Ein mit einer Öffnung versehenes Stück Messingblech ist so über der Trommel befestigt, daß es leicht auf die Trommeloberfläche drückt, so daß nur immer ein kleines Stück des Papieres dem Tageslichte unter der Öffnung ausgesetzt ist, während der Rest des Papieres in Dunkelheit verbleibt. Aus der horizontalen Bewegung des Gestelles und der Drehung der Trommel ist leicht zu ersehen, daß jeder Teil des empfindlichen Papieres dann beliebig dem Tageslichte ausgesetzt werden kann. Nehmen wir an, unser Instrument arbeite, so hat das Gestell, welches die Trommel trägt, eine langsam kontinuierliche horizontale Bewegung, parallel ihrer Achse, die Trommel nimmt an dieser Bewegung teil, aber dreht sich während der Stunde nicht; aber mit dem Glockenschlage der vollendeten Stunde dreht sie sich plötzlich etwas, so daß ein frisches Stückchen Papier unter der Öffnung dem Lichte bloßgestellt ist. Nach zwei Sekunden erfolgt wiederum plötzlich eine Drehung wie bevor, so daß dieses Stück Papier zwei Sekunden dem Lichte ausgesetzt war. In derselben Weise werden frische Stücke Papier für 2, 4, 6, 10, 20, 40 und 90 Sekunden ausgesetzt, nach dieser Zeit dreht sich die Trommel nicht mehr bis zur nächsten vollendeten Stunde, wo sich der Vorgang in gleicher Weise wiederholt. Folglich wird hier ein Stück Papier 57 Minuten dem Lichte ausgesetzt und ist dann unbrauchbar geworden wegen der langen Dauer seiner Insolation. Hat nun eine vollständige Umdrehung stattgefunden, so wird durch die horizontale Bewegung der Trommel eine frische Stelle des Papieres dem Tageslichte ausgesetzt. Der Mechanismus dieser horizontalen Bewegung ist nun folgender.

An der Walze einer Uhr, d. h. derjenigen Walze, um welche die Kette mit dem sie treibenden Gewichte aufgewickelt ist, ist ein Getriebe befestigt. Dieses Getriebe greift in ein Zahnrad, welches auf einer kleineren Walze angebracht ist. Wird nun die Uhr aufgezogen, so dreht sich dieser kleine Zylinder und windet dabei ein Stück Kette auf, und indem das Uhrgewicht wieder herabgeht, dreht sich diese kleine Trommel in der entgegengesetzten Richtung und die Kette wird sich langsam abwinden. Das andere Ende dieser Kette ist auf dem Rahmen befestigt, welcher die Trommel trägt und welcher horizontal gleiten kann. Wenn auf diese Weise die Kette immer von außen in Spannung gehalten wird, wird sich die Trommel langsam in horizontaler Richtung bewegen, und wenn die Uhr aufgezogen wird, wird sie wieder in ihre ursprüngliche Lage zurückgekehrt sein. Die Kette wird nun in Spannung gehalten durch eine Darmsaite, welche auf der anderen Seite des Rahmens befestigt ist und von hier über eine Rolle gehend durch ein Gewicht angespannt wird. Die horizontale Bewegung der Trommel ist so erklärt, es bleibt uns somit nur noch die Einrichtung der rotierenden Bewegung übrig, deren Mechanismus folgender ist (siehe Fig. 80).

A ist eine Triebwelle, welche das Bestreben hat, sich in der Richtung des Pfeiles zu drehen. Der Mechanismus dieser Bewegung ist in der Zeichnung nicht zu sehen, aber folgendermaßen arrangiert: Auf der Welle ist ein Getriebe, in welches ein Zahnrad eingreift; dieses Rad dreht sich vermittelst einer durch ein Gewicht in Spannung gehaltenen Schnur, welche um eine kleine auf der Achse des Rades befestigten Walze aufgewunden ist. B ist wieder ein Zahnrad, welches jedoch nicht auf der Welle A befestigt ist, sondern, indem es durch ein Hemmrad mit dem Triebwerk der Uhr in Verbindung steht, sich frei in der Richtung des Pfeiles einmal in drei

Minuten um sich selbst dreht. Wie nun auf der Zeichnung zu sehen ist, ist auf der Welle A ein Arm C, welcher an seinem Ende einen Stift trägt, befestigt. Um diesen Stift kann sich ein Stück E drehen; ein Bolzen F, welcher auf der Seite von E hervorragt, ist so angebracht, daß er in die Zähne des Rades B einzugreifen vermag. Eine Feder G dient dazu, das Stück E zu drehen, so daß, wenn es nicht anderwärts verhütet ist, der Bolzen F sich zwischen die Zähne des Rades B einzwängt. Wie wir nun gesehen haben, dient die Welle A dazu, den Arm C zu tragen und mit sich zu führen; kommt sie nun in die Lage, wie gerade in der Zeichnung angegeben ist, so wird diese Drehung durch das gekrümmte Ende H des Hebels HK verhindert. Dieser Haken faßt das Ende von E, während fast zu gleicher Zeit das andere Ende von E, durch eine an der Seite von C hervorragende Hemmung L, den Arm C in der auf der Zeichnung angegebenen Lage festhält. In dieser Stellung kann nun der Bolzen F nicht in das Zahnrad B eingreifen. Das Gewicht, welches dazu dient, die Triebwelle A zu drehen, wird jetzt den Arm C in dieser Lage halten. Mit dem Glockenschlage der vollendeten Stunde wird nun der Haken aufgehoben, dadurch dem Stücke E freien

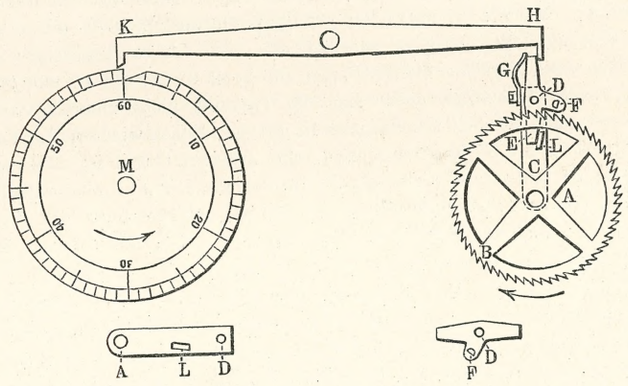


Fig. 80. Roscoës Photometer.

Spielraum gebend, jetzt wirkt die Feder G auf E ein, und der Bolzen F wird sich in die Zähne des Rades B einsenken. Dadurch wird aber die Welle A gezwungen, sich in demselben Verhältnisse zu drehen, wie das Zahnrad, welches, wie wir schon wissen, immer seine Umdrehung in drei Minuten vollzieht. Ehe nun der Arm C Zeit hat, wieder zu seiner ursprünglichen Lage herumzukommen, hat sich der Haken H wieder gesenkt, und das äußere Ende des Stückes E wird gegen ihn treffen, aber der Arm C wird noch ein kleines Stückchen weitergehen, bis das untere Ende von E gegen die Hemmung L anprallt. Durch diese kurze Bewegung wird aber der Bolzen F aus dem Zahnrad herausgeworfen und die Triebwelle A wird wieder festgehalten. So macht also die Welle A eine vollständige Umdrehung in drei Minuten, verharrt dann in ihrer Lage, um mit jeder nächsten vollendeten Stunde den Vorgang in gleicher Weise zu wiederholen. Die Art und Weise, wie nun die Drehung der Trommel reguliert wird, soll jetzt erklärt werden. Der Hebel HK dreht sich um seinen Mittelpunkt und sein Ende K ruht auf der Kante der Scheibe M. Diese Scheibe dreht sich einmal während einer Stunde und hat auf ihrer Kante einen Einschnitt, so daß nach einer Stunde das Ende K in diese Fuge einfällt und so das Ende H emporgehoben wird. Durch die schiefe Seite der Fuge wird K wieder aufgehoben, und so senkt sich H, ehe noch die

drei Minuten zu Ende sind, herab, dadurch den Arm C nach dieser Zeit in seiner ursprünglichen Lage festhaltend. Die Scheibe M ist in sechzig Grade eingeteilt und kann wie die Zeiger einer Uhr eingestellt werden, indem sie durch ein starres Gelenk mit der Stundenwelle verbunden ist; so kann die Stellung der Fuge in jeder Stunde auf das genaueste reguliert werden.

Um den Mechanismus etwas deutlicher zu machen, ist dieselbe Triebwelle A der Fig. 80 noch einmal in Fig. 81 ausführlicher dargestellt.

Das obige Instrument ist dem von Professor Roscoë in den „Philosophical Transactions for 1874“ beschriebenen im Grunde gleich, eine von H. Darwin modifizierte Form desselben ist jetzt in South Kensington im Gange gewesen.

Die Einrichtung von H. Darwin gibt in einzelnen Punkten noch bessere Resultate als die ursprüngliche Form des Aktinometers, besonders bei Anwendung einer kleineren Quantität des empfindlichen Papieres. Sein Instrument wurde von Professor Roscoë geprüft und als ganz vorzüglich befunden.

Ed. Stelling[1]) (1874) in St. Petersburg führte nach Bunsen-Roscoës Methode eine größere Reihe photochemischer Messungen aus und publizierte deren Ergebnisse.

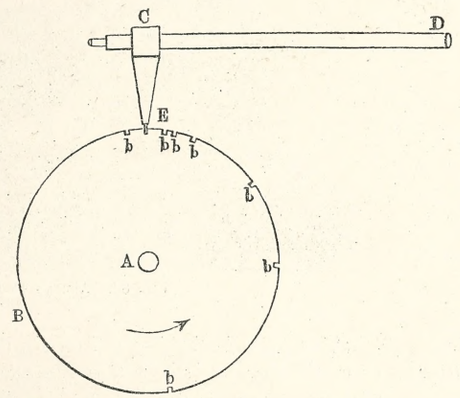


Fig. 81. Roscoës Photometer.

Das von Stelling angewendete Verfahren ist jenem, welches Roscoë 1874 publizierte, ziemlich analog, jedoch nicht ganz identisch, da ihm die Publikation Roscoës zu spät bekannt wurde.

Er benutzte zu seinen Beobachtungen einen im Pendelphotometer insolierten und dann fixierten Streifen Normalpapier, nahm jedoch die Kalibrierung nicht mittels eines zweiten, ebenso belichteten, aber unfixierten Streifens vor, sondern verfuhr folgendermaßen: Er setzte in einem Handinsolator nach Roscoë (siehe Fig. 76) Streifen des Normalpapieres durch verschiedene, aber genau bestimmte Zeiten dem Tageslichte aus und wählte dann jene Streifen, bei welchen für gleiche Insolationsdauer am Anfange und am Ende der Versuchsreihe die Schwärzungen gleich waren, oder mit anderen Worten, bei deren Belichtung sich die Intensität des Tageslichtes nicht geändert hatte. Die so erhaltenen Schwärzungen wurden dann mit dem fixierten Streifen, auf welchem vorerst die Stelle der Normalschwärze[2]) bestimmt worden war, verglichen und die entsprechenden Schwärzungen auf jenem bestimmt.

Um nun diese Schwärzungen in allgemein vergleichbarem Maße auszudrücken, mußte die Intensität (J) bestimmt werden, welche während der jeweiligen Versuchsdauer (t) geherrscht hatte; sie ergab sich daraus, daß entweder irgend eine Schwärzung der Normalschwärze gleich war, oder die Normalschwärze zwischen zwei naheliegende

1) Repertorium der Meteorologie, herausgegeben von der k. Akademie der Wissenschaften, Bd. VI, Nr. 6 und Zeitschrift der österr. Gesellschaft für Meteorologie, Bd. XIV, S. 43.

2) Stelling erhielt von Roscoë selbst ein Blättchen mit Normalschwärze.

Schwärzungen fiel, wo dann die Insolationsdauer zur Erreichung der Normalschwärze durch Interpolation erhalten wurde.

Den kalibrierten Streifen befestigte Stelling auf Roscoës Ablesetrommel (Fig. 78). Bei seinen Versuchen machte Stelling einige Erfahrungen, welche, als für derartige Arbeiten wichtig, hier Erwähnung finden sollen. Stelling fand:

1. Daß auf die genaue Abschätzung gleicher Schwärzungen sowohl die Helligkeit der Natronflamme als auch die Richtung der auffallenden Strahlen von Einfluß sind; daß dieser Einfluß sich jedoch bei Vergleich der Töne, welche der Normalschwärze nahe kommen, weniger geltend macht.

Es empfiehlt sich daher einerseits, immer gleiche Salzperlen in der gleichmäßig erhaltenen Flamme des Bunsenbrenners zu verbrennen und die gegenseitige Lage der Flamme der Beleuchtungslinse und der Ablesetrommel immer unverändert beizubehalten, ferner andererseits jene Schwärzungen zu Intensitätsbestimmungen zu benutzen, welche nahe der Normalschwärze sich befinden.

2. Daß geringere oder größere Trockenheit und Alter des empfindlichen Papieres auf die Empfindlichkeit des letzteren keinen wesentlichen Einfluß ausüben.

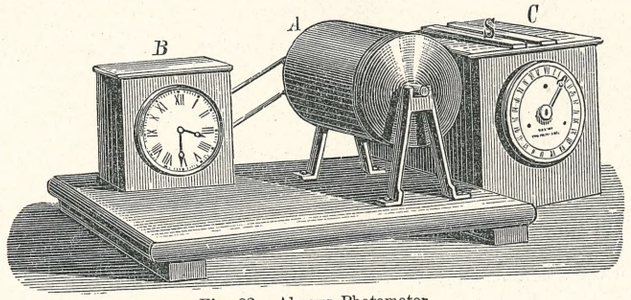


Fig. 82. Abneys Photometer.

3. Daß es nicht gleichgültig sei, ob das Papier auf einer nicht filtrierten Lösung oder einer unmittelbar zuvor filtrierten Lösung sensibilisiert wurde.

Wie aus seinen Versuchen erhellt, sind die vor der Filtration gesilberten Papiere unempfindlicher als jene, welche nach der Filtration gesilbert wurden und kann der Unterschied bis zu 10 Proz. betragen. Es empfiehlt sich daher, die Silberung unmittelbar nach der Filtration vorzunehmen.

Abney[1]) konstruierte 1876 ein selbstregistrierendes Photometer, ähnlich demjenigen Roscoës, welches aber, wie Abney selbst erklärte, Roscoës Instrument nicht verdrängen, sondern seiner leichteren Herstellungsweise und größeren Billigkeit halber für jedermann zugänglich sein sollte. Das kleine Instrument hatte die in der Fig. 82 skizzierte Form und bestand aus einem um die Achse drehbaren und mit dem empfindlichen Papiere überzogenen Zylinder A, welcher durch ein einfaches Uhrwerk B in 24 Stunden einmal um seine Achse gedreht wurde. Zu diesem Behufe war auf die Achse des Zylinders eine Rolle gesteckt, welche mittels eines Bandes mit der Trommel der Uhr verbunden war.

1) Phot. News. 1876, S. 242 u. f.

Die Belichtung des Papieres fand durch einen im Deckel des Überkastens C angebrachten engen Schlitz S statt, welcher mittels einer auf photographischem Wege erhaltenen abgetönten Skala bedeckt war. Entsprechend der Intensität des Lichtes fand auch die Schwärzung des Papieres in seiner Längenrichtung statt.

Zur Ablesung der erhaltenen Resultate wurde beim Lichte einer Natronflamme der Zylinder A aus seinen Lagern gehoben und in den Rotationsapparat (Fig. 83) eingeschaltet. Vermittelst der Scheibe D wurde nun der Zylinder A in so rasche Rotation versetzt (über 30 Umdrehungen in der Sekunde), daß die verschiedenen Töne, welche sich auf einer Leitlinie der Zylinderoberfläche befanden, je zu einem einzigen Mittelton integriert wurden. Durch den Spalt t des über dem rotierenden

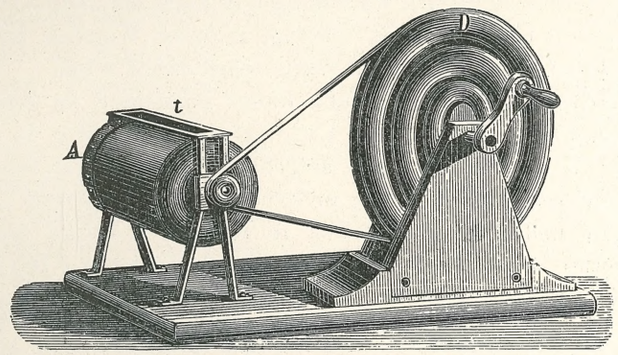


Fig. 83. Abneys Photometer.

Zylinder befindlichen Aufsatzes wurden nun die entstandenen Töne beobachtet und mit der Normalfarbe verglichen. Abney benutzte, um eventuelle Ablesungsfehler möglichst zu korrigieren, vier Normaltöne von bestimmtem Werte und nahm dann das Mittel aus den vier Ablesungen.

A. Larsen schlug vor, die Vergleichung der Schwärzung des Chlorsilberpapieres mit der Normalfarbe im durchfallenden Licht (mit einem optischen Photometer oder dergl.) zu messen und glaubte dadurch genaueres Resultat (?) zu bekommen (Eders Jahrb. f. Phot. 1902, S. 495).

Ähnliche, aber veraltete Normalfarbenphotometer gaben an: Poey[1]), Montagna[2]), welcher das Papier mittels eines Uhrwerks vorwärts schob. Garneris Photergimeter (Lichtwirkungsmesser) war Chlorsilberpapier, dessen Kopiergrad mit einer der verschiedenen Abstufungen der Normalskala übereinstimmen mußte; die Angaben wurden in Photergimetergraden gemacht[3]).

1) La Lumière 1863, S. 42.
2) Phot. Corr. 1873, S. 121.
3) Roth, Fortschr. 1868, S. 14.

Ein selbstregistrierendes Normalfarben-Photometer mit haltbar gesilbertem Chlorsilberpapier konstruierten Samec und Jencic (1910). Das sensible Papier wird mittels eines Uhrwerkes im Apparate vor einer Öffnung vorbeigezogen, durch welche Sonnenlicht und diffuses Licht fällt, während ein Stift an einer zweiten Öffnung Schatten wirft und hierbei nur diffuses Licht zur Wirkung kommt[1]).

II. Photographisches Normalpapier für Zwecke der Normalfarbenphotometrie nach Eder.

Das Bunsensche Normal-Chlorsilberpapier mit überschüssigem Silbernitrat hält sich nur einen Tag lang, was für systematische Lichtmessungen (namentlich bei Reisen) als großer Übelstand empfunden wird.

Der Verfasser benutzte deshalb als photographisches Normalpapier haltbares Chlorsilberpapier, welches nach Bunsens Methode sensibilisiert, aber dann vom überschüssigen Silbernitrat durch Waschen befreit und mit salpetrigsaurem Kali (Kaliumnitrit) sensibilisiert wird.

Es wird also zur Herstellung dieses Papieres 8 kg (oder 10 kg) Rives-Rohpapier 5 Minuten in Chlornatriumlösung (3 g in 100 ccm Wasser) getränkt, zum Trocknen aufgehängt, dann durch Schwimmenlassen auf Silbernitratlösung (12 g in 100 ccm Wasser) während 2 Minuten sensibilisiert und hierauf mehrfach in reichlicher Menge destilliertem Wasser gewaschen. Hierauf wird es in einer Lösung von 1 Teil salpetrigsaurem Kali (Kaliumnitrit) in 20 Teilen Wasser 5 Minuten lang gebadet und zum Trocknen aufgehängt. Das Papier nimmt ganz gut den Bunsenschen Normalfarbenton an, welchen man bekanntlich besonders sicher ablesen kann, wenn man ein gelbes Glas bei der Ablesung vor die Augen nimmt oder bei gelbem Natriumlicht abliest. Nuancen der Normalfarbe zeigen eine höhere Lichtintensität an. Die Untersuchungen der Lichtintensität in großen Seehöhen führt Maximilian Samec[2]) mit solchem Ederschen Normalpapier aus. Er stellte durch Vergleichsmessungen die Relation der Empfindlichkeit dieses Papieres mit Bunsenschem Normalpapier fest; sie betrug 0,7. Somit ist für die Normalfarbenphotometrie, bei der es sich um rasche Erzielung von schwach grauen Tönen handelt, das Nitritpapier gut verwendbar. Man ermittle experimentell die Empfindlichkeitsrelation gegenüber Bunsens Papier, und zwar der Sicherheit halber für die jeweilig verwendete sensible Papiersorte. Durch Multiplikation mit dem Faktor (in unserem Beispiel 0,7) werden die mit Eders Normalpapier erhaltenen Intensitätswerte multipliziert, um auf Bunsen-Einheiten reduziert zu werden.

1) Sitzungsber. d. K. Akad. d. Wiss. in Wien II. a., Bd. 119, S. 1572.

2) Samec, Zur Kenntnis der Lichtintensitäten in großen Seehöhen (Sitzungsber. d. Akad. d. Wiss. in Wien 1907, Bd. 116, Abt. I, S. 1061; 1908, Bd. 117, S. 521).

In ähnlicher Weise kann haltbar gesilbertes Bromsilberpapier hergestellt werden, welches noch größere Empfindlichkeit aufweist; über das spektrale Verhalten von solchem Chlor- und Bromsilberpapier s. S. 243.

Man kann auch käufliches Chlorsilber-Zelloidin- oder Gelatinepapier verwenden; ebenso Bromsilbergelatinepapier mit Kaliumnitritsensibilisierung. Man beachte, daß Chlorzitratpapier eine andere spektrale Empfindlichkeit als reines Chlorsilberpapier aufweist (s. Kapitel IX).

Kißlings Versuche mit Bunsens Normalfarbenphotometer für Lichtgenuß von Pflanzen usw. s. Eders Jahrb. f. Phot. 1896, S. 436; ferner Kißling, Beiträge zur Kenntnis des Einflusses der chemischen Lichtintensität auf die Vegetation, Halle a. S. 1895.

III. Wiesners Normalfarbenphotometer und Insolator.

In neuerer Zeit (1892 bis 1910) wendete J. Wiesner die Bunsensche photometrische Methode mit Normalfarbenpapier mit wesentlichen Vereinfachungen zu seinen umfassenden Untersuchungen auf pflanzenphysiologischem Gebiete an[1]).

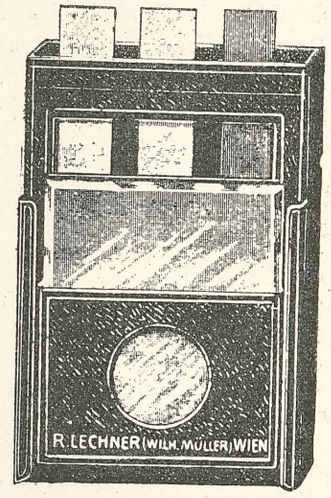


Fig. 84. Wiesners Insolator.

Der einfache Wiesnersche Apparat zur Belichtung des Normalpapieres, der sog. „Insolator“ (Fig. 84), besteht aus einer 10 cm langen, 8 cm breiten und 6 mm dicken Platte aus weichem Holz, welche bis auf einen etwa 4 mm breiten Spalt mit dickem schwarzen Papier bedeckt ist. Die Befestigung des Papieres erfolgt mit Heftnägeln. Dasselbe liegt dicht an, gestattet aber den Durchgang von schmalen (etwa 6—8 mm breiten) Papierstreifen. Es wird zunächst ein Streifen durchgezogen, welcher mit einer Schicht von Normalschwärze dicht und gleichmäßig bedeckt ist. Neben demselben wird

1) J. Wiesner, Beiträge zur Kenntnis des photochemischen Klimas im arktischen Gebiete, Wien 1898. — Bemerkungen über den faktischen Lichtgenuß der Pflanzen (Ber. d. deutschen botanischen Gesellschaft in Berlin 1894). — Über das Verhalten des Chlorophylls und Xantophylls im Lichte verschiedener Brechbarkeit. — Über den Einfluß der sogenannten chemischen Lichtintensität auf den Gestaltungsprozeß der Pflanzenorgane, Wien 1893. — Untersuchungen über das photochemische Klima von Wien, Kairo und Buitenzorg (Java), Wien 1906. — Untersuchungen über den Lichtgenuß der Pflanzen mit Rücksicht auf die Vegetation von Wien, Kairo und Buitenzorg (Java), Wien 1895. — Untersuchungen über die Beziehungen des Lichtes zum Chlorophyll, Wien 1874. — Versuch einer Bestimmung der unteren Grenze der heliotropischen Empfindlichkeit nebst Bemerkungen zur Theorie des Heliotropismus, Wien 1893.

ein Streifen von Normalpapier durchgezogen (in der Dunkelkammer oder bei Kerzenlicht). Man bestimmt mittels einer Stopuhr die zur Erreichung der Normalfärbung am Tageslicht erforderliche Belichtungszeit.

Wiesner verwendete anfangs Bunsensches Chlorsilber-Normalpapier, später benutzten er und seine Schüler Edersches haltbares Chlorsilber-Normalpapier. Um die Ablesung des Schwärzungstones zu erleichtern, bedeckt man das Papier mit einem gelben Glase; findet man nach Bedeckung mit dem gelben Glase, daß der Normalton noch nicht erreicht ist, so läßt man so lange direktes Licht einwirken, bis vollkommene Übereinstimmung erzielt ist.

Um intensivere Lichtwirkungen zu messen, läßt man an die Nuance einer dunkleren Normalfarbe anlaufen, deren Photometerwert als Vielfaches des bloßen Normalfarbentones man leicht durch einen Belichtungsversuch finden kann; man belichtet mehrmals auf die lichte Normalfarbe und findet z. B., daß viermalige Belichtungszeit notwendig ist, um den dunkleren Normalton zu erhalten.

Der Wiesnersche „Insolator“, welcher zur Bestimmung der chemischen Helligkeit des Tageslichtes, insbesondere auch für pflanzenphysiologische Studien vielfach verwendet wird, ist bei der Firma R. Lechner (W. Müller) in Wien I. Graben, erhältlich.

Eine sehr eingehende Studie über chemische Helligkeit von Sonnen- und Tageslicht stellte Franz Schwab in Kremsmünster an. (Über das photochemische Klima von Kremsmünster; Eders Jahrb. f. Phot. 1904, S. 402.) Er untersuchte auch das Verhältnis des seitlichen Himmelslichtes gegen das Oberlicht, welches namentlich von großem pflanzenphysiologischen Interesse ist.

IV. Büchsenphotometer als Normalfarbenphotometer zu photographischen Kopierzwecken.

a) Photometer mit einer Normalfarbe.

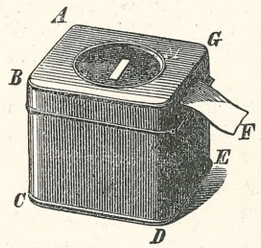


Fig. 85. Büchsenphotometer.

Die „Autotype Company“[1]) und mit ihr viele andere wenden das „Büchsenphotometer“ oder auch sog. „englische Normalfarben-Photometer“ beim photographischen Kopierprozeß, insbesondere beim Pigmentverfahren an. Es besteht aus einer Büchse von Eisenblech, deren Deckel *M* ein rundes Glas von 2 cm Durchmesser enthält, welches mit Ausnahme eines schmalen (2 mm) Streifens mit Ölfarbe schokoladebraun angestrichen ist, welchen Farbenton gesilbertes Albuminpapier im Sonnenlicht in $1^1/_2$ Minuten annimmt (Fig. 85). Im Innern der

1) Eine englische Gesellschaft, welche sich dem Pigmentverfahren widmet.

Büchse befindet sich ein Streifen sensibilisiertes Papier, welchen eine federartige Vorrichtung immer gegen das Glas drückt. Wenn die Farbe derjenigen des angestrichenen Glases entspricht, hat man einen Grad des Photometers. In diesem Augenblicke verschiebt man den Papierstreifen ein wenig und läßt einen zweiten Grad kopieren[1]). Ein Negativ von mittlerer Dichtigkeit braucht zwei Grade, ein mit Mattlack überzogenes drei, um auf Pigmentpapier eine gute Kopie zu geben.

Analog ist das Lamysche Aktinometer[2]) (für Pigmentdruck) konstruiert, welches Fig. 86 veranschaulicht. Das empfindliche Papier *F* (1 cm Breite, 50 cm Länge) ist bei *H* aufgerollt, wobei eine Feder die Rolle festklemmt und eine andere das Papier *F* empordrückt, so daß es sich beim Zuklappen des Deckels an die Fläche bei *G* anschmiegt. *E* ist eine gefärbte Fläche, welche bei *G* eine durch blankes Glas verschlossene Öffnung hat, durch welche das Licht eindringen kann.

In älterer Zeit benutzte man als sensibles Papier im Büchsenphotometer gesilbertes Albuminpapier, welches aber oft variable Farbentöne (zufolge verschiedener Präparation oder Alters oder Feuchtigkeit) aufweist. Natürlich kann man auch Zelloidinpapier usw. benutzen, muß aber dann andere Normalfarbennuancen wählen.

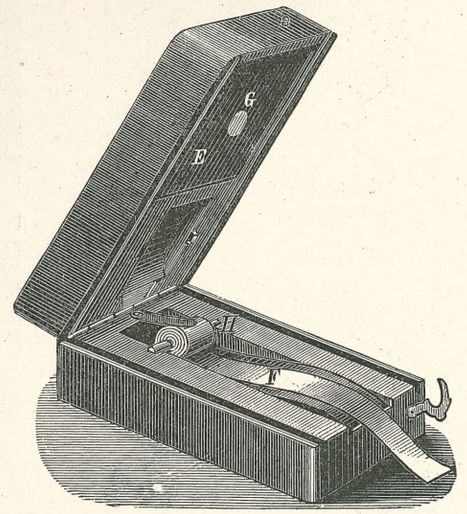


Fig. 86. Lamys Photometer für Pigmentdruck.

Liest man die Normalfarbenphotometer bei gelbem Natriumlicht oder hinter gelbem oder blauem Glas ab, so stört die variable Farbennuance weniger. Man hat deshalb auch Normalfarbenphotometer mit blauen Deckgläsern versehen (z. B. bei Watkins u. a.).

Bei Johnsons Büchsenphotometer ist gelbes Glas darüber gedeckt. Die Schwärzung des Silberpapieres und die Belichtungszeit wird verlängert (Eders Jahrb. f. Phot. 1894, S. 364).

Diese Photometer fanden aber für Kopierzwecke wenig Verwendung. Häufiger benutzt man Normalfarbenphotometer für Belichtungsmesser.

1) Dieses Photometer ist beschrieben: Phot. Arch. 1870, S. 189; Monckhoven, Kohlephotographie, 1876, S. 35; Liesegang, Der Kohledruck, 1877, S. 65.

2) Lamy, Instruction pour l'emploi du papier au charbon, 2. Aufl., 1881, S. 12.

b) Büchsenphotometer mit mehreren Farbentönen.

Woodburys Photometer ist ein Büchsenphotometer mit 6 Farbentönen (Fig. 87). Es hat die Form und Größe einer kleinen Taschenuhr. Auf der einen Seite trägt es 6 Sektoren, welche mit verschieden dunkler Farbe (Tusche und Alizarin) bemalt sind und in der Mitte eine Öffnung haben. Ein Streifen sensibles auf eine Rolle (Fig. 88) gewickeltes Papier befindet sich unter der Öffnung *b* und kann durch Ziehen an dem Ende bei *a* verschoben werden. Je nach der gewünschten Stärke der Lichtwirkung exponiert man auf eine hellere oder dunklere Nuance. Für Pigmentdruck schwächt man die Lichtwirkung durch ein gelb gefärbtes Gelatinehäutchen[1]). Woodbury gab demselben Apparat auch oblonge Form[2]).

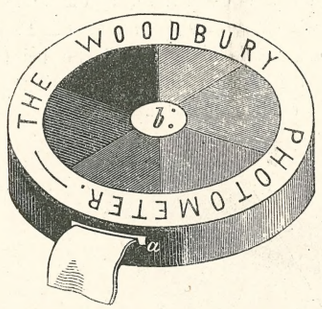


Fig. 87. Woodburys Photometer.

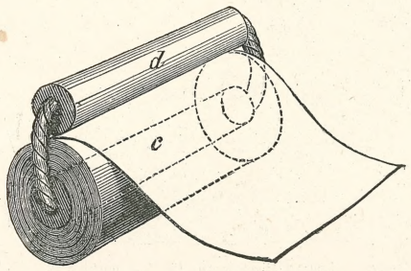


Fig. 88.
Rolle für empfindliches Papier.

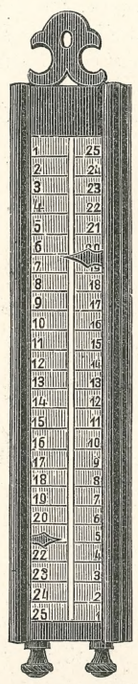


Fig. 89.

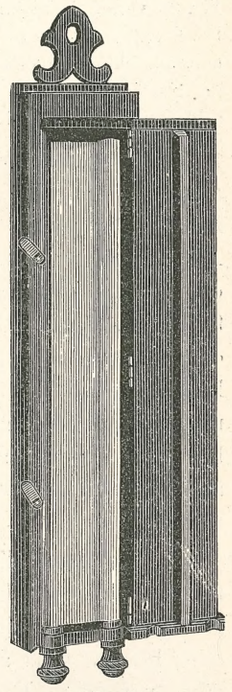


Fig. 90.

Geldmachers Photometer.

Swan benutzte 1866 zur Bestimmung der Expositionszeit für Pigmentpapiere Chlorsilberpapier, welches unter einer halbdurchsichtigen Schicht so lange exponiert wurde, bis die nötige Färbung eingetreten war. Wie tief das Papier gefärbt sein muß, um die für ein Negativ nötige Belichtungszeit anzugeben, ist durch ein vorhergehendes Experiment festzustellen. Sobald Swan den Farbenton gefunden hatte, verglich er ihn mit der Skala (die 10 Töne hatte) und notierte dessen Nummer. Die halbdurchsichtige Schicht stellte er durch Entwickeln und Verstärken einer Kollodiumplatte her, bis sie die Intensität der dichtesten Teile eines Negativs hat. Diese Schicht legte Swan deshalb über das Chlorsilberpapier, weil das Papier im vollen Licht viel zu stark sich schwärzt und eine genaue Vergleichung der Farbentöne dadurch unmöglich wird[1]).

1) Warnerke, Bull. Assoc. Belge de Phot. Bd. 6, S. 408.
2) Year-Book of Phot. 1878, S. 34.

Einen ähnlichen Plan hatte Honikel, welcher das Photometer mit ganz schwachem gelben Glas bedeckte[2]).

Lloyd[3]) erzeugte eine Skala auf gesilbertem Albuminpapier von verschieden dunklen Farben. Der Streifen wird im Goldbade gebadet und fixiert und dient dann als Norm.

Geldmachers Photometer[4]) unterscheidet sich im Prinzipe nicht vom Woodburyschen und ähnlichen, ist aber in ganz andere Form gebracht. In einem Holzrähmchen befindet sich unter Glas eine Farbenskala von verschieden stark im Lichte gefärbtem gesilberten Papier (25 Nuancen). Dieselbe wird dadurch hergestellt, daß man als schwächsten Normalton eine schwach graubraune Färbung annimmt (z. B. 2 bis 9 Minuten Exposition an einem regnerischen Tage) und für jeden folgenden Grad 2-, 3-, 4mal bis 25mal so lang exponiert. Zur Vermehrung der Sicherheit sind zwei solche Skalen in entgegengesetzter Richtung hinter dem Glas befestigt. Im Innern des Kästchens ist sensibles Papier aufgerollt. Man exponiert zur Herstellung von Pigmentdrucken so lange, bis das Papier den entsprechenden Färbungsgrad angenommen hat. Mittlere Exposition bis Grad 25. (S. Fig. 89 und 90.) [Diese höheren Grade haben viel zu dunkle, schwer zu unterscheidende Farbentöne. Eder.]

Alle diese Photometer sind ganz willkürlich geeicht.

c) Normalfarbenphotometer für den photographischen Hervorrufungsprozeß.

Der Internationale photographische Kongreß in Paris 1889 stellte als Maß für die Empfindlichkeit die Dauer der Exposition auf, welche erforderlich ist, um mit dem Normallichte (Amylacetatlampe, s. S. 85) und unter Anwendung von Entwicklern einen gewissen grauen Farbenton („ton normale“) zu erzielen. Hierzu kann eine rotierende Scheibe, in welcher weiße und schwarze Segmente enthalten sind, dienen. Zwischen der Platte und der Lichtquelle werden keine absorbierenden Mittel eingeschaltet.

Die Amylacetat-Normallampe des Kongresses wird in einer Distanz von 1 m direkt vor der Platte aufgestellt, ohne daß seitliches Reflexlicht dazu treten kann. Die Platte wird sukzessive in Intervallen von 5 zu 5 Sekunden belichtet. Nach der Hervorrufung sucht man jene Zone auf der Platte, welche den Normalton hat. Zur leichteren Vergleichung kann der Normalton mittels Tusche, eventuell mit Benutzung entsprechend grau gefärbter Gelatinefolien hergestellt werden.

Der graue Normalton, welchen der Pariser photographische Kongreß 1889 für sensitometrische Zwecke vorschlug, wurde später von Eder gemessen; er entspricht

1) Phot. Archiv 1866, S. 277.
2) Phot. Archiv 1876, S. 73.
3) Phot. Wochenbl. 1881, S. 364; aus Brit. Journ. of Phot. 1881, S. 556.
4) Phot. Archiv 1876, S. 211.

der ziffernmäßigen Schwärzung (Logarithmus der Lichtundurchlässigkeit) = 0,35, wenn man eine derartige geschwärzte Platte auf weißes Papier legt und im reflektierten Licht betrachtet (Sitzungsber. d. k. Akad. d. Wiss. Wien 1899, Bd. 108, Abt. IIa).

Houdaille kam auf diese Idee der Erzielung eines normalen grauen Mitteltons bei Entwicklungsverfahren photographischer Platten zwecks sensitometrischer Prüfung zurück (Eders Jahrb. f. Phot. 1904, S. 399).

Dieses System von Photometern ist in dieser Form wenig zur Sensitometrie geeignet und wurde auf den späteren Kongressen aufgegeben.

V. Skalenphotometer.

Lanet de Limency konstruierte 1856 sein „Lucimeter", welches aus stufenförmig übereinander gelegten feinen Papierstreifen bestand, die eine allmählich undurchsichtiger werdende Skala bis zu 16 Grad bildeten. Je stärker das Licht, desto mehr solcher Schichten durchdrang es und auf diese Weise suchte de Limency die Intensität des jeweiligen Lichtes mit dem Auge abzuschätzen.

Bei der Vorlage dieses Instrumentes in der Sitzung der Pariser photographischen Gesellschaft vom 15. Februar 1856 knüpfte sich daran eine Diskussion, daß die Intensität der leuchtenden (optischen) Strahlen mit jenen der chemischen nicht parallel laufe, und Regnault wies darauf hin, daß man diesem Übelstande leicht abhelfen könne, wenn man hinter die Skala ein Blatt sensibles Papier lege[1]).

Im September 1866 nahm Louis Bing ein englisches Patent auf ein Photometer zur Bestimmung der „aktinischen Kraft" des Lichtes, welches darin bestand, daß unter ein Medium von abnehmender Transparenz ein Stück gesilbertes Papier gelegt und nun beobachtet wurde, durch wie viele Schichten in einer gewissen Zeit das Licht wirkte[2]). Im April 1868 nahm Bing ein Nachtragspatent auf diesen Apparat, indem er das sensible Papier auf eine Rolle aufwickelte und es dadurch ermöglichte, daß durch einfaches Drehen das unter der transparenten Skala befindliche Papier nach jeder Beobachtung leicht erneuert werden konnte[3]).

H. W. Vogel gebührt das Verdienst, das Skalenphotometer als photographisches Meßinstrument zu Kopierzwecken zuerst genau beschrieben[4]) (1868) und in die photographische Praxis eingeführt zu haben.

---

1) Bulletin de la Société française, 1856, Bd. 2, S. 79.

2) Abridgements of Specification relating to Photography II, 1860—1866, S. 149.

3) Abridgements of Specification relating to Photography II, 1867—1876, S. 18.

4) Pogg. Ann. Bd. 134, S. 146; Phot. Mitt. 1868, S. 292 u. 1882, Bd. 18, S. 266.

Vogels Photometer[1]) besteht aus einem Kästchen (Fig. 91), wovon der eine Teil T Streifen von chromiertem Steinbach- oder Rives-Rohpapier[2]) enthält. Dieselben werden über das Hölzchen h gelegt und durch die Enden f gegen die transparente Skala gedrückt, wenn der Deckel geschlossen ist. Der Teil D enthält die auf Glas geklebte Seidenpapierskala und derselbe kann mittels des Hakens Z geschlossen werden. Durch den Holzdeckel L kann der Lichtzutritt zur Skala bewerkstelligt oder verhindert werden. Bei der Exposition scheint das Licht durch die Seidenpapierskala hindurch und bräunt den darunter liegenden Streifen. Diese Färbung schreitet von dem dünnen nach dem dicken Ende der Skala hin fort, und zwar um so rascher, je stärker das Licht wirkt. Um nun zu erkennen, wie weit die Lichtwirkung nach dem dicken Ende fortgeschritten ist, sind auf die Skala schwarze Zahlen und Zeichen aufgedruckt; diese lassen das Licht nicht durch und werden daher,

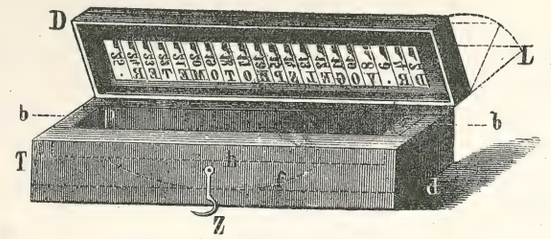


Fig. 91. Photometer von H. W. Vogel.

wenn das Chromatpapier ringsum affiziert ist, hell auf braunem Grunde erscheinen. Öffnet man nun das Photometer bei Lampenlicht[3]) und beobachtet den Chromatpapierstreifen, so erkennt man die Stelle, bis zu welcher die Lichtwirkung fortgeschritten ist, an der daselbst erschienenen Zahl. Statt des Chromatpapieres können auch in ähnlicher Weise Chlorsilberpapiere Verwendung finden.

Mittlere Kopierzeit für Negative mittels Pigmentverfahren, Grad 14; für dünne Negative Grad 11, für dicke Grad 16 bis 20.

Diese Photometergrade stehen keineswegs im selben Verhältnisse, wie Thermometergrade; die höheren Grade zeigen ganz andere Lichtintensitäten als die tieferen an. (Über die hierbei geltenden Gesetze s. S. 154.)

---

1) S. Vogels Lehrb. d. Phot; Vogel-Sawyer, Pigmentverfahren, 1877; Phot. Korresp. 1868, Bd. 5, S. 36, 190.

2) Durch 2 Minuten langes Schwimmen auf doppeltchromsaurer Kalilösung 4 : 100 erzeugt.

3) Chromatpapier ist empfindlicher als Silberpapier und soll deshalb bei Tageslicht nicht nachgesehen werden.

Vogel gibt für den Wert der Grade seines Photometers folgende Tabelle, welche jedoch nur annähernde Gültigkeit besitzt.

Grade	Angezeigte Lichtmenge	Grade	Angezeigte Lichtmenge
1	1,27	16	44,89
2	1,61	17	57,01
4	2,59	18	72,51
6	4,17	19	92,08
8	6,70	20	117,50
10	10,84	21	149,22
11	13,86	22	189,17
12	17,38	23	239,7
13	22,11	24	300,7
14	27,88	25	391,9
15	35,45		

Will man demnach ein Negativ, welches bei gewöhnlichen Bildern mit 13 Grad fertig kopiert ist, doppelt so lange kopieren lassen, d. h. die doppelte Lichtmenge darauf wirken lassen, so kopiert man keineswegs $2 \times 13 = 26$, sondern nur bis 16 Grad.

Das Skalenphotometer ist in den höheren Graden unempfindlich. Es ist sicherer dreimal bis Grad 18, als einmal bis Grad 23 zu kopieren.

Man pflegt bei Chromatprozessen (Pigmentdruck usw.) durch Einlegen von Chromatpapier in die Skalenphotometer auf den richtigen Grad zu kopieren und soll im allgemeinen einen photographischen Prozeß mit Photometerpapier derselben lichtempfindlichen Substanz messen oder wenigstens annähernd dieselbe Art von Spektralempfindlichkeit in beiden Fällen vor sich haben.

Um vergleichbare Resultate zwischen den Anzeigen des Photometerpapieres und der Empfindlichkeit des Pigmentpapieres zu erhalten, ist es notwendig, beide auf demselben Chrombad zu sensibilisieren. Darauf wies auch Stefanowski hin[1]). Er zeigte auch, daß ein mit weißer Gelatine überzogenes und dann chromiertes Papier[2]) die Ablesung der gebräunten Ziffern (besonders bei ganz schwachen, z. B. $^1/_2$ proz. Lösungen) schärfer als gewöhnliches Papier gestatte.

Für photometrische Untersuchungen über Schwankungen des Tageslichtes mittels eines Vogelschen Skalenphotometers ist (nach Eder) ein mit Kaliummonochromat sensibilisiertes Papier zu empfehlen, welches sehr lange haltbar ist (viel länger haltbar als Bichromatpapier); allerdings bräunt es sich etwa 3 bis 4mal langsamer, ist aber einen Monat lang ziemlich gut haltbar, wenn auch die Empfindlichkeit nicht völlig konstant bleibt. Man stellt solches Papier durch Tränken von 8 Kilo-Rives-

1) Phot. Korresp. 1877, S. 78 u. 207.

2) Solches gelatiniertes Papier wird z. B. für Zwecke des photolithographischen Umdruckverfahrens erzeugt.

papier mit einer Lösung von 50 g Kaliummonochromat in 1 Liter Wasser her (3 Minuten lang untertauchen); man läßt an Klammern aufgehängt 12 bis 24 Stunden trocknen und verwahrt das Papier in licht- und luftdichten Blechbüchsen.

Die Anwendung von Kaliummonochromatpapier im Skalenphotometer wurde von Eder 1894 vorgeschlagen und von Kiesling zu pflanzenphysiologischen und botanischen Studien verwendet (Eders Jahrb. f. Phot. 1896, S. 430; Kiesling, Beiträge zur Kenntnis des Einflusses der chemischen Lichtintensität auf die Vegetation, Halle a. S. 1895).

Man kann annähernd die Angaben des Vogelschen Skalenphotometers mit Kaliummonochromatpapier auf Lichteinheiten des Bunsenschen Normalfarbenphotometers mit Chlorsilber reduzieren. Es entsprechen bei klarem sonnigen Himmel 33 Bunseneinheiten ungefähr 1 Einheit mit dem Skalenphotometer und dem Monochromatpapier (Kiesling, Eders Jahrb. f. Phot. 1896, S. 436).

Skalenphotometer mit verschiedenen Konstruktionsabarten gaben Bernhardt[1]), Bing (mit Glimmerschichten)[2]), Sawyer u. a. an.

Sawyers Papierskalenphotometer älterer Konstruktion hatte nur 10 Grad mit undurchsichtigerem Papier als das von Vogel verwendete[3]).

Talbot in Berlin gibt dem „Sawyerschen“ Photometer 24 Grade mit ähnlicher Transparenz wie Vogels Originalphotometer. Die Form des ersteren ist in Fig. 92 abgebildet (Eders Jahrb. f. Phot. 1894, S. 364).

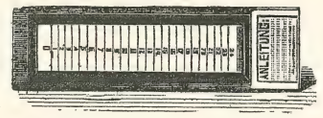


Fig. 92. Sawyersches Photometer von Talbot in Berlin.

Klimsch in Frankfurt a. M. brachte 1902 eine Variante des Vogelschen Photometers in den Handel, welches gleichfalls aus dünnen, stufenförmig übereinandergelegten Papierstreifen besteht. Es ist hierbei das empfindliche Photometerpapier (ähnlich wie bei Bings Patent 1868, s. S. 150) auf eine Rolle aufgerollt (s. Fig. 93) und die Skala besteht aus 30 Feldern, während Vogels Originalphotometer nur 20 Felder aufweist (Eders Jahrb. f. Phot. 1902, S. 494).

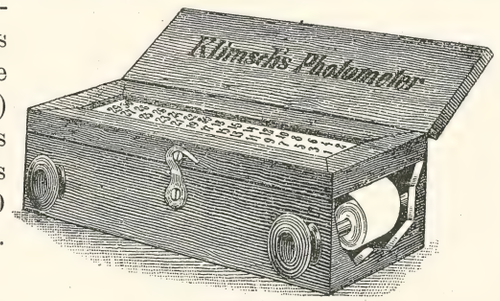


Fig. 93.
Photometer von Klimsch & Co. in Frankfurt a. M.

Das Flexoid-Photometer ist ein Skalenphotometer mit mattierten Gelatinefolien in kreisförmig-staffelförmiger Anordnung, welches die Geka-Werke, Akt.-Ges. in Hanau (D. R. G. M. 255058),

1) Phot. Archiv 1868, S. 59.

2) Bing, On Actinometry 1868; Fortschritte d. Physik 1868, S. 325.

3) Vogel und Sawyer, Das photographische Pigmentverfahren, 1877, S. 13.

konstruieren; diese Skalen sollen haltbarer als Papierskalen sein (Eders Jahrb. f. Phot. 1906, S. 15 u. 441).

Die „Lux-Kopieruhr“ von R. Hoh in Leipzig ist eine Art Papierskalenphotometer (ähnlich wie das von H. W. Vogel), welches eine praktische Verschlußvorrichtung (Fig. 94) besitzt; über die Papierskala ist eine braune transparente Schicht gelegt, welche das Licht aller Felder dämpft (Eders Jahrb. f. Phot. 1903, S. 458).

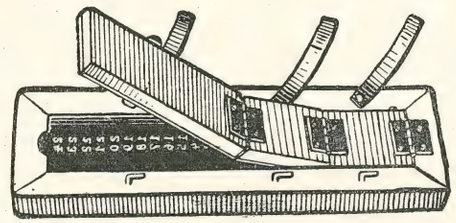


Fig. 94. Lux-Kopieruhr von R. Hoh in Leipzig.

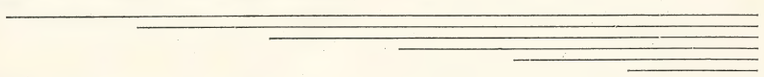
Eilhard Alfred Mitscherlich beschrieb ein registrierendes Photometer. Zur fortlaufenden Bestimmung der Intensität diffusen Lichtes hat Mitscherlich einen durch Uhrwerk getriebenen Apparat konstruiert, bei dem das Licht durch eine Lage von mindestens zehn treppenartig übereinandergelegten Streifen feinen Seidenpapiers hindurch auf das an einem Spalt vorbeipassierende lichtempfindliche Papier einwirkt. Aus der Empfindlichkeit des Apparates, die mittels einer Lichtquelle bekannter Intensität bestimmt wird, und der von diffusem Tageslicht bewirkten, gerade noch erkennbaren Einwirkung auf das lichtempfindliche Papier läßt sich die mittlere Lichtintensität des Tages berechnen. Der Apparat wird von R. Fueß, Steglitz bei Berlin, Düntherstraße 8, angefertigt (Landw. Vers.-Stat., Bd. 68, S. 467, Königsberg i. P.; Chem. Zentralbl. 1908, Bd. 2, Nr. 9, S. 747).

Die Idee, ein Skalenphotometer hinter die Visierscheibe einer Kamera anzubringen und dadurch die Helligkeit des Visierscheibenbildes zu ermitteln, ist alt.

Brice suchte mittels einer Art Skalenphotometer die Empfindlichkeit der photographischen Präparate zu erproben, indem er in der Kamera das Bild irgend eines Gegenstandes aufnahm, aber hierbei unmittelbar vor die sensibilisierte Platte ein Skalenphotometer brachte. Dasselbe bestand darin, daß eine Glasplatte mit ringförmig konzentrischen, allmählich gegen den Rand zu undurchsichtiger werdenden transparenten Medien belegt war, in der Mitte aber eine runde Öffnung unbedeckt blieb. Das erzeugte Negativ wurde gegen den Rand zu immer schwächer oder verschwand ganz; je empfindlicher nun das photographische Präparat, desto weiter gegen den Rand hinaus erschien das Bild. Brice nahm im August 1876 sogar hierauf ein Patent[1]).

VI. Absorptionsgesetze zur Bestimmung des Skalenwertes von Papierskalenphotometern.

Konstruiert man ein terrassenförmiges Streifensystem von transparentem Papier in nachstehender Form:



auf welches Licht von der Intensität = 1 fällt, so wird die Lichtintensität

1) Abridgements of Specifications relating to Photography, 1867—1876, S. 168.

unter dem ersten Streifen $= \frac{1}{c}$, unter dem zweiten Streifen $= \frac{1}{c^2}$, unter dem dritten Streifen $= \frac{1}{c^3}$, unter dem vierten Streifen $= \frac{1}{c^4}$, unter dem x^{ten} Streifen $= \frac{1}{c^x}$ sein.

Die Lichtintensitäten unter diesem terrassenförmigen Streifensystem bilden demnach eine geometrische Reihe, in deren Glieder die Schichtenzahlen die Potenz-Exponenten sind.

Der Skalenwert der stufenförmig aufsteigenden Papierskala hängt von der Transparenz des Papierwertes ab; je größer n (die Lichtschwächung, die Absorptionskonstante) ist, desto rascher steigen die Skalenwerte an.

Um die Konstante n eines derartigen Skalenphotometers zu bestimmen, belichtet man eine Bromsilbergelatineplatte bei einem völlig konstanten Lichte, z. B. einer Amylacetat-Normallampe entweder verschieden lange Zeit oder in verschiedenen Abständen, so daß man die bei Versuchen wirkenden Lichtintensitäten J und i genau kennt; dann entwickelt man beide Platten unter völlig gleichen Bedingungen. Nehmen wir an bei der stärkeren Lichtwirkung J wirkt das Licht durch m Schichten von Papier, bei der schwächeren aber nur durch n Schichten, so findet man die Konstante c nach der Gleichung:

$$c = \sqrt[m-n]{\frac{J}{i}}.$$

Z. B. war bei einem von Dr. Stolze geprüften Skalenphotometer eine darunter befindliche Platte bei konstantem Lichte durch dieselbe Zeit einmal in $^1/_2$ m und dann in 6,0 m Abstand belichtet worden.

Für sein Photometer erhielt er die Zahl 18, resp. 8, daher das Verhältnis der Lichtintensitäten wie 144 : 1 und

$$c = \sqrt[18-8]{144} = \sqrt[10]{144} = 1{,}644.$$

Hat man auf solche Weise die Konstante x festgestellt, so ist es leicht, sich mit Hilfe von Logarithmen eine Tabelle für die Werte c, c^2, c^3 ..... c^n zu berechnen, welche dann zu den durch die Potenzexponenten bezeichneten Feldern des Photometers die verhältnismäßigen Lichtintensitäten ergeben. Hat man nun einmal diese sehr sorgfältig vorzunehmende Arbeit gemacht, so ist es später leicht, mit Hilfe einer einfachen Vergleichsbestimmung die Konstante jedes anderen sorgfältig gearbeiteten Skalenphotometers zu finden. Kommt nämlich an dem bereits untersuchten Instrument die Zahl p, an dem anderen die Zahl q heraus, und hat entweder die Konstante c, das zweite c_1, so gilt die Gleichung:

$$c^p = c_1{}^q,$$

woraus

$$c_1 = c^{\frac{p}{q}}.$$

Für das Warnerkesche Sensitometer (s. u.), welches Dr. Stolze mit seinem Photometer zugleich und in gleichem Abstand von der Lichtquelle belichtete, erhielt er:

bei der Hauptskala . . . . . die Zahl 15
„ seinem (Stolzes) Photometer . . . . „ „ 9.

Es ergab sich demnach als Konstante (y) für das Warnerkesche Sensitometer:

$$c_1 = \sqrt[15]{c^9} = 1{,}3474.$$

Schwankungen der Skalenwerte von Papierskalenphotometern unter dem Einflusse verschiedener Lichtarten wurden von P. v. Schrott nachgewiesen[1]), welcher genaue aktinometrische Messungen an Seidenpapierphotometern (Vogel-Photometer) vornahm und von folgenden Erwägungen ausging:

In der photographischen Praxis nimmt man an, daß die Skalenwerte derartiger Seidenpapierphotometer für verschiedenartige Lichtquellen konstant sind, und man begnügt sich, ein Chlorsilber- oder Chromatnormalpapier in bestimmtem Abstand und während einer bestimmten Zeitdauer der Wirkung einer bestimmten Lichtquelle auszusetzen, die letzten Kopiergrade abzulesen und daraus den Aktinismus der verschiedenen Lichtquellen zu bestimmen. Die Berechnung beruht auf der Annahme, daß einem gerade noch wahrnehmbaren photographischen Effekte (Schwärzung) eine bestimmte Lichtmenge entspreche.

Ist die ungeschwächte Lichtstärke J, so wird durch n Schichten Seidenpapier von der Absorptionskonstanten c die Lichtmenge $\frac{J}{c^n}$ durchdringen. Eine Lichtmenge J' wird den Kopiergrad m deutlich machen, und es besteht die Relation:

$$\frac{J}{c^n} = \frac{J'}{c^m};\ J' = J c^{m-n}.$$

Wenn man nach dieser Methode verschiedene Kopierlampen sehr verschiedenartiger Färbung untersucht, kann man die Beobachtung machen, daß bei Verwendung einer elektrischen Glühlampe einerseits, einer elektrischen Bogenlampe oder einer Quecksilberdampflampe andererseits die Absorptionskonstanten für jede dieser Lichtquellen andere waren, weil augenscheinlich das kurzwellige violette Licht in höherem Maße vom Seidenpapier absorbiert wird, als das Licht von größerer Wellenlänge.

Die von Schrott verwendeten Seidenpapierphotometer besaßen für eine Scheinersche Benzinlampe, bei Verwendung von Bromsilbergelatine mit Hervorrufung, die Absorptionskonstante 1,283.

Da bei der Prüfung der praktischen Verwendbarkeit von Kopierlampen mit einer Benzin- oder Amylazetatlampe keine genügend starke, für Messungszwecke brauchbare Schwärzung von Auskopierpapieren zu

1) Eders Jahrb. f. Phot. 1910, S. 114; Zeitschr. f. wissensch. Phot. 1909, Bd. 8, S. 25.

erzielen war, so wählte Schrott eine 110voltige Metallfadenlampe von 40,25 H. K. Helligkeit bei einer Beanspruchung von 1,2 Watt pro 1 H. K.

Diese sekundäre Lichteinheit ist genügend aktinisch, um Chlorsilber- und Bichomatpapiere in entsprechend kurzer Zeit grau resp. braun zu färben. Für eine derartige Lichtquelle hatte das Seidenpapier-Skalenphotometer, unter Anwendung von Chlorsilber-Normalpapier, die Absorptionskonstante 1,36. Für eine Bogenlampe mit rotleuchtender Effektkohle oder für eine gewöhnliche Bogenlampe 1,486; für weiße oder gelbe Effektkohlen 1,583. Für eine Quecksilberlampe 1,74.

Wie man sieht, steigt die Absorptionskonstante und somit der Skalenwert einer Ziffer des Seidenpapierphotometers wesentlich an, wenn man photographische Kopierlampen benutzt, die reich an intensiven violetten und ultravioletten Strahlen sind. Bei allen diesen Versuchen war das Skalenphotometer mit einer sehr dünnen, farblosen Glasplatte bedeckt, wie es in der photographischen Praxis üblich ist. Die Absorption derartiger Gläser setzt ungefähr bei der Wellenlänge λ 3000 ein und absorbiert von da an praktisch vollkommen die ultravioletten Strahlen kürzerer Wellenlänge. Die ultraviolette Strahlung der Quecksilberdampflampe, sowie der elektrischen Bogenlampe, welche reich an Strahlen kürzerer Wellenlänge sind, kommt somit in der photographischen Praxis nicht in Betracht. Ja, die dickeren Spiegelscheiben gewöhnlicher Kopierrahmen lassen noch viel weniger ultraviolettes Licht durch. Immerhin ist die große Helligkeit der Quecksilberdampflampe und des Bogenlichtes im ultravioletten Teile so beträchtlich, daß dies bei der Berechnung des Skalenwertes des photographischen Seidenpapier-Skalenphotometers einen Einfluß nimmt, der bei praktischen Arbeiten nicht übersehen werden darf.

Öfters wurde die transparente Skala auch aus gefärbten Stoffen erzeugt:

Die „Heliotyp-Company“[1]) verwendete für ihr eigentümliches Lichdruckverfahren ein Skalenphotometer aus dünnem gelben Wachstaffet (12 Schichten) und als sensibles Papier Chromgelatine.

J. A. Spencers[2]) Aktinometer für den Pigmentdruck hatte bis 12 Schichten blau-rot gefärbte Kollodiumhäutchen.

Fleury-Hermagis schlug 1876 für photometrische Zwecke ein Prisma von gelbem Glas, geteilt in neun Bande von wachsender Dicke, vor[3]).

VII. Erzeugung von Skalen auf photographischem Wege.

Die Erzeugung der Photometerskala von abnehmender Transparenz wurde mehrfach auf photographischem Wege versucht.

1) Phot. Archiv 1876, S. 55; aus Abneys „Instruction in Photography“.
2) Phot. Archiv 1870, S. 333; 1871, S. 13 (daselbst Abbildung).
3) Bull. Soc. franç. Phot. Juli 1876; Phot. Corresp. 1876.

Burton[1]) erzeugte eine Skala, indem er Pigmentpapier (mittels flüssiger Tusche tingiert) verschieden lange belichtete und zwar nahm er für jeden späteren Grad eine so lange Exposition, als die Summe der Exposition für alle vorhergehenden zusammen und der Exposition für Grad 1 (dieser wurde also zweimal summiert) betrug. Die Exposition war somit:

für Grad	Exposition	für Grad	Exposition
1	1	6	32
2	2	7	64
3	4	8	128
4	8	9	256
5	16	10	516

Sternfeld exponierte Pigmentpapier im Sonnenlichte durch ruckweises Verschieben von darüber gelegtem Karton im Sonnenlichte je 10 und 10 Sekunden, so daß am Schlusse der Operation das Papier in parallelen Streifen 10, 20, 30 usw. Sekunden belichtet war[2]). Stefanowski bemerkte mit Recht, daß dieser Vorschlag sehr praktisch wäre, wenn nicht die große Schwierigkeit mit verschiedenen Präparaten und zu verschiedenen Zeiten gleichartige Skalen auf diesem Wege zu erhalten, die Herstellung gleichartiger Photometer unmöglich machen würde[3]).

Es ist notwendig zu bemerken, daß ein 2, 3, 4 mal länger als ein anderes belichtetes Pigmentpapier durchaus keine 2, 3, 4 mal undurchsichtigere Schicht gibt (!), daß somit die Skalen von Burton und Sternfeld in keiner regelmäßigen Reihenfolge undurchsichtiger werden und daß sie mithin die Regelmäßigkeit des Vogelschen Instrumentes vermissen lassen.

Abney empfahl als transparentes Medium, welches alle Strahlen des Spektrums gleichmäßig absorbiert, ein mit Platinchlorid (0,6 g pro Liter Wasser nebst etwas Salpetersäure) verstärktes Silbernegativ, welches durch Photographie eines in der Mitte sternförmig durchstochenen schwarzen Kartons erhalten wurde. Durch Drehen dieses Bildes wurde ein darunter gelegtes sensibles Papier in Form eines Kreises verschieden intensiv beleuchtet. (Phot. New 1876, S. 909; Bull Soc. Belg Phot., Bd. 2, S. 374.)

Auch die Form des „Sawyerschen Skalenphotometers", welches die Autotyp-Company verkaufte, enthält eine allmählich undurchsichtig werdende Skala mittels Pigmentdruck. Da beim Pigmentverfahren ebensowenig wie bei Silberkopier-Verfahren die Undurchsichtigkeit der Bildschicht der Länge der Lichtwirkung proportional ist, sondern in variablem Zusammenhange steht, so kann der „Lichtwert" der einzelnen Grade nicht allgemein gültig abgeleitet werden. Dasselbe gilt von Burtons Photometer, welches gleichfalls unter die Klasse der Skalenphotometer gehört, jedoch besteht die „Skala" aus einer Reihe von kleinen Negativen (Miniatur-Halbton-Porträte) von allmählich steigernder Dichte; man kann dann den Kopiergrad darnach bestimmen, ob das eine oder das andere dieser Miniaturbildchen auf einem darunter gelegten empfindlichen Papiere auskopiert ist.

Es läßt sich in Anbetracht dieser Versuche nicht leugnen, daß noch immer das alte Vogelsche Photometer mit der Seidenpapier-Skala oder das demselben seinerzeit nachgebildete ältere Sawyersche Skalenphotometer empfehlenswerter sind. (Eders Jahrb. f. Phot. 1894, S. 364.)

1) S. Johnstons Bericht Phot. News 1874, S. 604.
2) Phot. Korresp. 1876, S. 126.
3) Ibid. 1877, S. 267.

Auch Bromsilbergelatinestreifen, welche im Scheiner-Sensitometer belichtet, entwickelt, fixiert und bezüglich ihrer Schwärzung photometrisch gemessen sind, können als Photometerskalen dienen.

VIII. Durch Druckverfahren hergestellte Photometerskalen.

Ein originelles Verfahren der Herstellung von Photometer- und Sensitometerskalen führte Warnerke behufs Konstruktion seines (allerdings nunmehr veralteten) Sensitometers im Jahre 1881 aus.

Warnerke stellte die transparente Skala dadurch her, daß feines (0,03 mm dickes) Papier stufenweise von 1 bis 25 Lagen auf einer quadratischen Glasplatte mit Eiweiß aufgeklebt wurde. Nach dem Trocknen machte Warnerke einen Abguß von Spences Metalle davon und nun wurden von dieser Form in einer besonderen Presse (nach Art des Woodburydruckes) mit Gelatinefarbe von rein schwarzem Ton die Abdrücke auf Glasplatten gefertigt. Dann wurden die auf Papier durch Buchdruck hergestellten Zahlen darauf abgeklatscht und, um sie undurchsichtiger zu machen, bronziert. Die nun gefirnißte Platte ist das Sensitometer, wie es dann in den Handel kam.

Die mittlere Undurchsichtigkeit der einzelnen Nummern geht aus der folgenden Tabelle hervor; es sei bemerkt, daß dieselben Ziffern die jeweilige relative Lichtempfindlichkeit der Plattensorten angeben.

Sensitometer-Nummern	Mittl. Undurchsichtigkeit der einzelnen Felder (Nummern)	Sensitometer-Nummern	Mittl. Undurchsichtigkeit der einzelnen Felder (Nummern)
1	1	14	36
2	$1^1/_3$	15	48
3	$1^3/_4$	16	63
4	$2^1/_3$	17	84
5	3	18	110
6	4	19	145
7	5	20	192
8	7	21	253
9	9	22	334
10	12	23	440
11	16	24	580
12	21	25	765
13	27		

Wie man sieht, ist der Skalenwert der Warnerke-Skala sehr ähnlich der Vogelschen, jedoch das Material ein anderes. Die Anwendung dieser Skala zu Zwecken des Sensitometers siehe unten.

Auch Chapman Jones benutzte diesen Weg zur Gewinnung der Skala für sein Sensitometer, wobei er allerdings eine rascher ansteigende Undurchsichtigkeit erzielte (jedes Feld besitzt die doppelte Undurchsichtigkeit des vorhergehenden) s. u.

IX. Kombinierte Skalen- und Normalfarbenphotometer.

Kombination der vorhergehenden Methoden.

Es wurde auch vorgeschlagen, das Skalenphotometer mit einer Normalschwärzungsskala zu kombinieren. Dabei ist die Möglichkeit geboten, am direkten Lichte 10 oder mehrere Normalfärbungsgrade auf Chlorsilberpapier zu erzeugen, dann aber ferner noch ähnliche Färbungsgrade mittels absichtlich geschwächten Lichtes zu erzielen.

Namentlich Vidal arbeitete in dieser Richtung am weitesten.

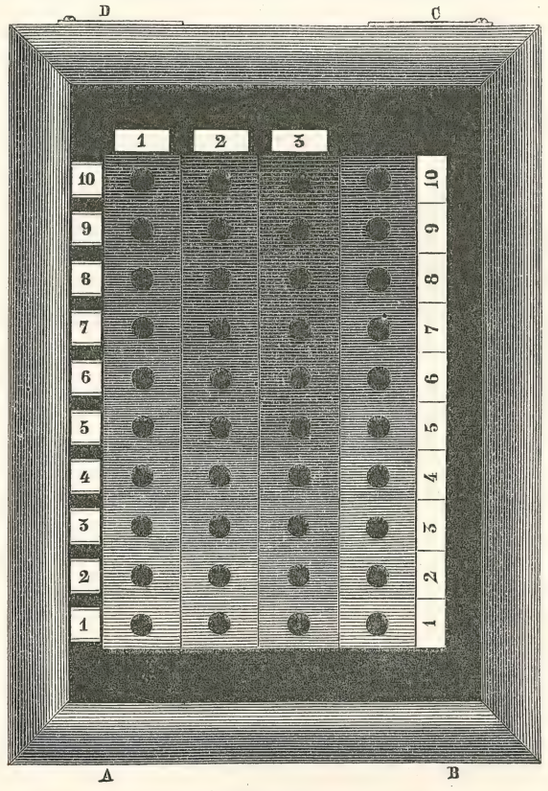


Fig. 95. Vidals Photometer.

Vidals Photometer (für Pigmentdruck, Vergrößerungen in der Kamera usw.) ist in seiner neuesten Form folgendermaßen konstruiert[1]): Es besteht aus drei Reihen (Skalen) von Farbenabstufungen, wovon jede mit einer Anzahl von Glimmerblättern bedeckt ist, derartig, daß der Grad der Durchsichtigkeit einer jeden Glimmerschicht zu der anderen in einem gewissen Zusammenhang steht (siehe Fig. 95). Ein gelbes Glas kann zwischen den Rahmen der Büchse (*AB*, *CD*) geschoben werden, so daß es der Reihe nach eine jede der Skalen 1, 2 und 3 bedecken kann, wodurch die Durchlässigkeit der Glimmerschichten für chemische Strahlen vermindert werden kann.

1) Vidal, Traité pratique de Photogr. au charbon 1877, S. 31 Auch Bull. Soc. franç. 1872, S. 232.

Jede der Farbennuancen der drei Reihen hat in der Mitte ein rundes Loch und der gesuchte Grad ist erhalten, wenn ein Stück darunter gelegtes Chlorsilberpapier dieselbe Färbung, wie ein Färbungsgrad der Skala, erhalten hat. — Um die Grade des Vidalschen Photometers zu bestimmen, wählt man einen hellen Sommertag zwischen 11 und 1 Uhr und exponiert ein Stück Chlorsilberpapier unter dem Photometer in der Sonne genau 5 Sekunden; die so erhaltene Färbung gibt den Grad 2 der Skala 1 (1/2). Ein neues Papier wird nun 10 Sekunden exponiert; dieses gibt Grad 4 (1/4). Man erhält die ganze Skala durch folgende Expositionen:

	Grad
— Min. 5 Sek.	1/2
— „ 10 „	1/4
— „ 15 „	1/6
— „ 20 „	1/7
— „ 25 „	1/8
— „ 30 „	1/9
— „ 40 „	1/10
— „ 50 „	2/8
1 „ — „	3/4
1 „ 10 „	3/5
1 „ 20 „	3/6
1 „ 30 „	3/7
1 „ 45 „	3/8
2 „ — „	3/9
2 „ 15 „	3/9
2 „ 30 „	3/10
3 „ — „	1/3 mit gelbem Glas

	Grad
3 Min. 30 Sek.	2/2 mit gelbem Glas
4 „ — „	1/4 „ „ „
5 „ — „	1/5 „ „ „
6 „ — „	1/6 „ „ „
7 „ — „	1/7 „ „ „
8 „ — „	3/2 „ „ „
9 „ — „	2/5 „ „ „
10 „ — „	1/8 „ „ „
12 „ — „	2/6 „ „ „
15 „ — „	2/7 „ „ „
20 „ — „	2/8 „ „ „
25 „ — „	3/5 „ „ „
30 „ — „	3/6 „ „ „
40 „ — „	3/7 „ „ „
50 „ — „	2/9 „ „ „
60 „ — „	3/8 „ „ „

Es erscheint als eine Vereinfachung dieses Apparates, denselben in einzelne getrennte Teile zu zerlegen, wovon ein jeder einen gewissen Skalenteil vorstellt (s. Fig. 96).

Wenn man mittels des Photometers Negative kopieren will (nach dem Pigmentverfahren) so ermittelt man den Grad, bis zu welchem man kopieren muß und kopiert nach diesem alle Abdrücke.

Als empfindliches Papier benutzt Vidal haltbares sensibilisiertes Albuminpapier von stets gleicher Darstellungsweise.

Um für Kopierverfahren mit Chromsalzen mit seinem Photometer ganz genaue Angaben zu bekommen, vergleicht Vidal die Wirkung des Lichtes auf sein Photometer-Silberpapier mit jener auf Chrompapier, welches auf derselben Chromlösung sensibilisiert ist, wie die jeweiligen Pigmentpapiere. Dieses Instrument nennt er „Graduateur des rapports“ (s. Fig. 97). Es besteht aus einem Stück Glas, über welches man, mit Ausnahme eines runden Loches in der Mitte, ein Stück bräunliches Papier geklebt hat, welches eine Farbe besitzt, wie sie beim Exponieren eines weißen, mit Kaliumbichromat gebadeten Papieres nach 2 Minuten Exposition im zerstreuten Tageslicht erhalten wird. Man exponiert nun zu gleicher Zeit ein Stück Chrompapier[1]) hinter dem „Graduateur“ und Chlorsilberpapier im Photometer und ermittelt nun, bis zu welchem Grade das Chlorsilberpapier exponiert werden muß, damit zu gleicher Zeit das Chrompapier die Normalfärbung erhält.

1) Man kann auch Papier gelatinieren (mit 15 % Lösung), in der Chromlösung baden und als Vergleichspapier wählen.

Nehmen wir an, einmal zeige das Silberpapier im Photometer Grad 3/4 bis das Chrompapier die Normalbräunung annimmt, ein anderes Mal aber (z. B. im Winter, mit schwachen Chrombädern) Grad 3/9, so geht aus der oben gegebenen Tabelle hervor, daß das letztere eine doppelt so lange Exposition braucht. Durch dieses Mittel ist die Möglichkeit geboten, zwischen Chrom- und Silberpapier annähernd vergleichbare Zahlen zu erhalten.

Monckhoven[1]) gab ein Photometer an, welches eine Modifikation des englischen Photometers ist. Auch er kopiert auf eine bestimmte Farbennuance des Chlorsilberpapieres, kann aber den Lichtzutritt zum Papier vermehren oder vermindern und beobachtet, welches Lichtquantum notwendig ist, diesen Effekt zu erzielen.

Eine Büchse von Holz (s. Fig. 98) FGE von ungefähr 8 cm im Quadrat ist mit einem Deckel GF versehen, in welchem ein viereckiges Stückchen Glas eingefügt

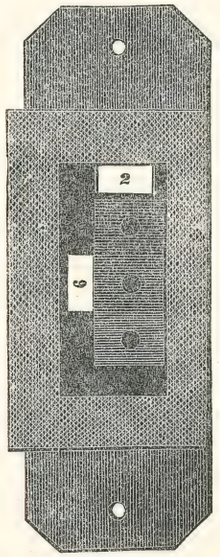


Fig. 96.
Vidals vereinfachtes Photometer.

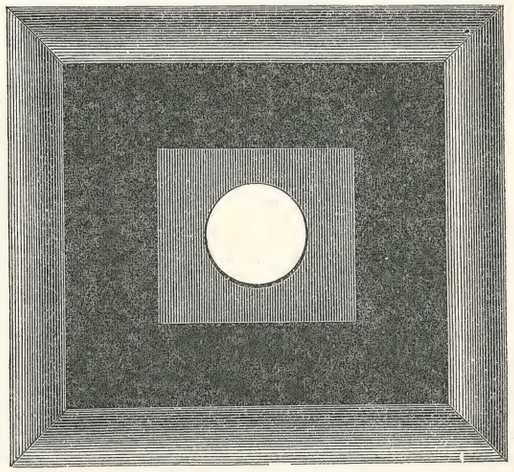


Fig. 97. Vidals Graduateur.

ist; dieses ist innen mit einem schwarzen Papier beklebt, in dessen Mitte man eine kleine Öffnung von 5 mm $\times$ 1 cm ausschneidet. In der Büchse befindet sich eine sensibilisierte Papierrolle von 1 cm Breite und 50 cm Länge. Das Ende dieser Rolle wird nun durch eine kleine Öffnung, die von außen an der Büchse angebracht ist, herausgezogen und durch ein auf ein Stückchen Holz geklebtes Stückchen Sammet gegen das Glas des Deckels festgedrückt. Wenn man nun das Ende der Rolle J weiter herauszieht, verschiebt man die vom Lichte gefärbte Stelle. Das Photometer ist bis dahin dem englischen Photometer (s. S. 146) identisch, nur daß es kein angestrichenes Glas hat. Auf diese Büchse jedoch setzt man die zweite AG, welche man leicht wegheben kann. Diese zweite Büchse ist oben mit einem matten Glase versehen, über welches ein Messingdeckel H geschoben wird, der den Apparat schließt.

1) Monckhoven, Prakt. Behandlung der Kohlenphotographie 1876, S. 36.

Man teilt die obere Partie der zweiten Büchse in zehn Teile, so daß man den Messingdeckel immer an bestimmte Punkte schieben kann. Schieben wir z. B. den Deckel auf Nr. 5, wäre dies mit der Hälfte der Öffnung des matten Glases übereinstimmend. Indem man nun das Photometer dem Lichte aussetzt, erhält man einen Ton, welcher beinahe dem gleichkommt, welchen man braucht, um ein mittleres Negativ auf Kohlepapier zu kopieren; es ist klar, daß, wenn man ein härteres Negativ hat, man nur den Messingdeckel etwas mehr schließen darf, oder aber, wenn man ein weicheres Negativ zu machen hat, man den Deckel etwas mehr aufzieht.

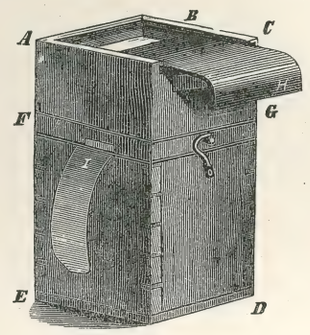


Fig. 98. Monckhovens Photometer.

Hierher gehört die Kopieruhr „Fernande“, welche hinter einer stufenweise dunkler gelb gefärbten Skala ein Normalgrau und daneben das sensible Papier enthält.

Dieses Photometer wird seit dem Jahre 1909 in etwas abgeänderter Form als „Photometer Leutner“ wieder in den Handel gebracht (s. Fig. 99).

Ein Kopierphotometer unter dem Namen „The Akuret-Print-Meter“ bringt die Firma The Portable Studio Manufacturing Co. in Brettell Lane, Stourbridge,

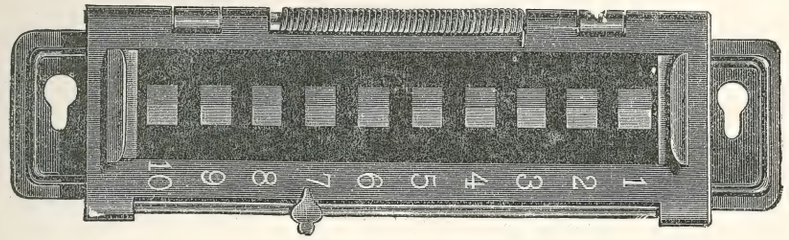


Fig. 99. Kopieruhr „Fernande“.

England, in den Handel (s. Fig. 100). Dasselbe ist eine Kombination von Normalfarbenphotometer und Skalenphotometer. Grauviolette Streifen von Normalfarbe sind

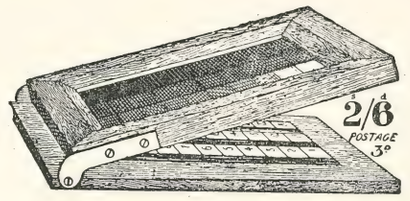


Fig. 100. „The Akuret-Print-Meter“.

unter eine allmählich undurchsichtiger werdende Skala (Pigmentverfahren) gelegt; als Maß dient die Erreichung der Normalfarbe auf Silberkopierpapier unter einem bestimmten Felde der abgetönten braunschwarzen Pigmentskala. (Eder, Jahrb. f. Phot. 1902, S. 494.)

X. Photometer mit vorbeigezogenen Schlitzen oder rotierenden Scheiben.

Den ersten Versuch eine photographische Platte durch regelmäßiges Vorbeiziehen verschieden langer Schlitze stufenweise mehr und mehr zu belichten und hiermit den Aktinismus der Lichtquellen oder die Empfindlichkeit photographischer Platten zu messen, rührt von Claudet 1848 her[1]). Er nannte sein Photometer dieser Art „Photographometer".

Er brachte die zu prüfende Daguerreotypplatte unter eine dünne Metallplatte, die mit kreisförmigen Löchern versehen war (*F* in Fig. 101 und 102). Über die durchlöcherte Platte ging rasch aber gleichmäßig eine Metallplatte *AB*, welche mit Öffnungen von verschiedener Länge, die eine geometrische Progression befolgen, versehen ist. Während des Vorübergleitens wird die empfindliche Fläche vom Lichte an allen Stellen getroffen, welche die runden Löcher ausgesetzt lassen. Je länger die Spaltöffnungen der oberen Platte sind, desto länger wirkt das Licht

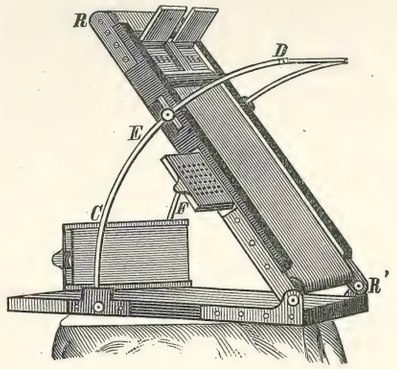


Fig. 101. Claudets Photographometer.

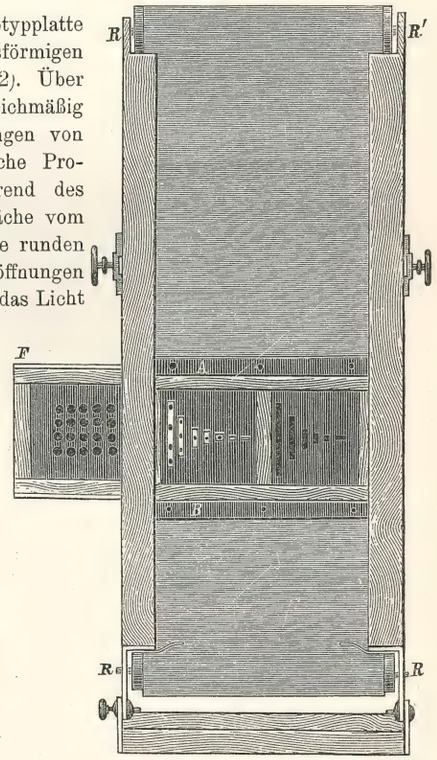


Fig. 102. Claudets Photographometer.

auf die empfindliche Platte ein. Die Geschwindigkeit des Falles kann vergrößert oder vermindert werden, je nachdem man den ganzen Apparat mehr oder weniger stark neigt; denselben Zweck kann man auch durch Veränderung der Fallhöhe oder des Gewichtes der beweglichen Platte erreichen. Die Öffnungen der beweglichen Platte sind parallel und sieben an der Zahl. Die erste mißt 1 mm, die zweite 2, die dritte 4, die vierte 8, die fünfte 16, die sechste 32 und die siebente 64 mm. Es ist daher jede halb so groß als die folgende, und zweimal so groß als die vorhergehende.

1) Philos. Magaz. 1898, S. 329; Dinglers Polytechn. Journ., Bd. III, S. 42.

Man hat folglich nach der Operation sieben besondere Bilder, deren verschiedene Intensitäten die Einwirkung des Lichtes während Zeitabschnitten in der geometrischen Progression — 1 : 2 : 4 : 8 : 16 : 32 : 64 darstellen. Diese Anzahl ist zu den Beobachtungen im allgemeinen vollkommen hinreichend; die Effekte können durch zwei-, dreimaliges oder öfteres Fallenlassen der Platte vervielfältigt werden.

Zwei nebeneinander angebrachte derartige Vorrichtungen gestatteten die gleichzeitige Prüfung verschiedenartiger Platten.

Janssen wendete 1881 ein ähnliches Prinzip an: Wenn man in eine Kassette eine photographische Platte legt, sie gleichmäßig durch eine Lichtquelle beleuchtet und einen senkrechten Spalt mit großer Geschwindigkeit durch Federdruck oder mit geringerer durch ein Uhrwerk davor in horizontaler Richtung vorübergleiten läßt, so wird beim Hervorrufen die ganze Platte gleichmäßig gefärbt erscheinen, wenn der Spalt oblong war; hatte er aber die Form eines Dreiecks, so wird die Platte ganz allmählich vom dunkelsten bis zum hellsten Ton und in Weiß übergehen und zwar wird die Dunkelheit um so intensiver sein, je größer die Basis des Dreiecks war. — Man kann nun sogleich konstatieren, daß die Wirkung des Lichtes nicht genau proportional der Intensität wächst; denn wenn man zwei mit demselben Dreieck gemachte Platten entgegengesetzt übereinander legt, erhält man keine gleichmäßige dunkle Schicht: sie ist in der Mitte intensiver, d. h. die Intensität nimmt langsamer zu, als die Intensität des Lichtes selbst. Um die Empfindlichkeit zweier photographischer Platten zu vergleichen, hat man nur nötig, sie nacheinander mit demselben Dreieck zu belichten; die Punkte gleicher photographischer Wirkung werden dann gesucht und bestimmt, wie breit an dieser Stelle das Dreieck war (Photogr. Wachenbl. 1881, S. 211).

Diese Photometer Claudets und Janssens sind außer Gebrauch gekommen.

Dagegen stehen die Photometer mit rotierenden Scheiben häufig in Verwendung. Diese Art der Photometer wird hauptsächlich in der Sensitometrie verwendet und auf S. 166 beschrieben. Hierbei tritt intermittierende Beleuchtung auf, welche bei gleicher Lichtmenge nicht ganz denselben photographischen Effekt wie kontinuierliche Beleuchtung ergibt, deren Gesetze aber bekannt sind.

Bunsen und Roscoe (1862), dann E. Mach[1]) haben darauf hingewiesen, daß rotierende Scheiben mit ihren leicht herstellbaren Helligkeitsabstufungen ein vorzügliches Hilfsmittel abgeben, um strukturlose abschattierte Flächen für photographische Zwecke herzustellen. Im Jahre 1893 beschrieb Mach die Herstellung einer solchen rotierenden, weißen, partiell schwarz bestrichenen Scheibe als Hilfsmittel zur raschen Ermittlung der richtigen Expositionszeit. Er zeichnete auf eine Scheibe fünf konzentrierte Kreise und etwa vier radiale Sektoren. Diese vier Sektoren bemalte er so mit Tusche, daß der äußere Ring ganz weiß blieb, der nächste zur Hälfte, der nächstfolgende zu $^1/_4$, $^1/_8$ weiß blieb. Man denke sich die rotierende Scheibe ganz durch einen schwarzen Schirm gedeckt. Legt man dann einen Kreisausschnitt von etwa $^1/_8$ der Scheibe

1) Sitzungsber. d. k. Akad. d. Wiss., Wien 1865, Bd. 52 und 1866, Bd. 54.

durch einen Ruck frei, erweitert denselben nach einer bestimmten Zeit (z. B. 8 Sekunden) auf $^2/_8$ und sukzessive auf $^3/_8$ usw., so gibt die Scheibe bei der Photographie auf einem Bild fünf verschiedene Helligkeiten in z. B. acht verschiedenen Expositionszeiten (Eders Jahrb. f. Phot. 1894, S. 154, mit Figur).

Während Mach im reflektierten Lichte einer weiß-schwarzen Papierscheibe arbeitete, bedienten sich andere des durch eine durchbrochene rotierende Scheibe hindurchfallenden Lichtes (Sensitometer von Hurter-Driffield, Scheiner).

Wird eine Scheibe, welche einen sektorförmigen Ausschnitt enthält, in schnelle Rotation versetzt, so wird das hindurchgehende Licht im Verhältnisse der Sektoröffnung zum ganzen Kreise geschwächt. Bezeichnet man mit α die Winkelöffnung des Sektors (in Graden) und mit J_0 die Intensitüt des auf die Scheibe fallenden Lichtes, so ist die Intensität J nach dem Durchtritte des Lichtes:

$$J = J_0 \frac{\alpha}{360}.$$

Gibt man der Öffnung in der Scheibe eine andere Form, so ist die Lichtschwächung nicht mehr an allen Teilen der Scheibe eine konstante, sondern sie wird eine Funktion des Abstandes vom Mittelpunkte; durch geeignete Wahl der Form des Ausschnittes kann man also eine Lichtverteilung nach jedem beliebigen Gesetze erhalten.

1. Hurter und Driffields Photometer mit rotierender Scheibe.

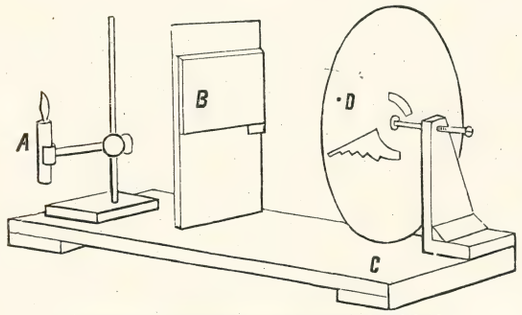


Fig. 103. Photometer von Hurter und Driffield.

Im Jahre 1893 empfahlen Hurter und Driffield[1]) in England ein Photometer mit rotierender Scheibe, welche sie insbesondere zur Prüfung der Lichtempfindlichkeit von photographischen Platten verwendeten (s. Sensitometrie).

Fig. 103 zeigt die von Hurter und Driffield angewendete Form des Apparates. A ist die Kerze, B ist die Kassette, welche den Streifen

1) Eders Jahrb. f. Phot. 1894, S. 157; ferner V. C. Driffield „The Hurter and Driffield System“ (Phote Miniature von Tennout, Nov. 1903, Bd. V, Nr. 56).

der Platte, deren charakteristische Kurve wir bestimmen wollen, enthält; C gibt die Stellung der Kassette während der Exposition an, und D endlich ist die rotierende Scheibe, mittels deren die verschieden langen Expositionen gegeben werden.

Die Scheibe (Fig. 104) hat 11 englische Zoll Durchmesser und ist mit Ausschnitten versehen, welche neun verschiedene Belichtungen geben, so zwar, daß in diesem Belichtungsreif jedes Feld die doppelte Lichtmenge des vorhergehenden erhält. Dies wird dadurch erreicht, daß der innerste ausgeschnittene Teil einem Winkel von 180°, der nächste 90°, 45° usw. entspricht.

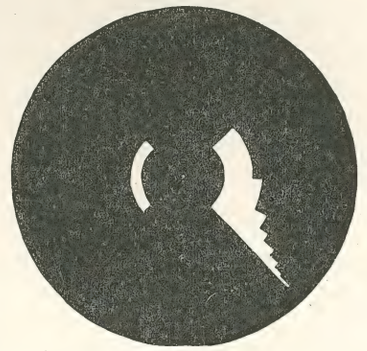


Fig. 104.
Scheibe von Hurter und Driffields Photometer.

Handelt es sich darum, die beste Reihe von Expositionen anzuwenden für Platten, über deren Empfindlichkeit man nichts weiß, so tut man gut, eine Reihe anzuwenden, die mit 80 SMK anfängt[1]) und bis zu 0,312 SMK heruntergeht. Es zeigt sich

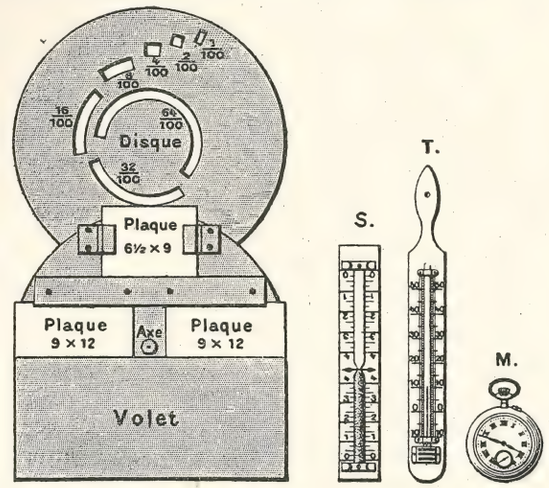


Fig. 105. Houdailles Sensitometer.

dann, daß diese Reihe für die Mehrzahl der im Handel gangbaren Platten von der charakteristischen Kurve so viel umfaßt, als man zu einer Bestimmung der Lichtempfindlichkeit gebraucht.

1) D. i. eine Belichtung von 160 Sekunden bei 1 m Lichtabstand, weil die Scheibe an der hellsten Stelle nur zur Hälfte offen ist.

In der Regel stellt man die Normalkerze in 1 m Abstand von der photographischen Platte auf; wünscht man doppelte Helligkeit, so nähert man die Kerze auf 707 mm. Die belichtete photographische Schicht wird dann entwickelt und zeigt um so schwächere Lichteindrücke an, je empfindlicher sie ist.

Für vergleichende Versuche verschiedener photographischer Platten oder dergleichen müssen Entwickler von konstanter Zusammensetzung (Eisenoxalat, Pyrogallol-Soda, s. Sensitometrie) bei konstanter Temperatur (Hurter und Driffield wählen 65° F) benutzt werden.

Houdaille benutzte gleichfalls als Sensitometer eine rotierende mit verschiedenen Ausschnitten versehene, durch Uhrwerk getriebene Scheibe, wobei jede Öffnung doppelt so groß als die vorhergehende ist [Fig. 105] (Bull. Soc. franç. Phot. 1903, S. 450; Eders Jahrb. f. Phot. 1904, S. 399). Es ist also dieselbe Abstufung gegeben, wie bei Hurter und Driffields Plattenprüfer. Eine Sanduhr (S), Thermometer (T) und Stoppuhr (M) sind beigegeben.

2. Scheiners Sensitometer.

Das Hurter-Driffieldsche Photometer mit rotierender Scheibe hat den Nachteil eines allzu raschen Ansteigens der Photometergrade (1 : 2 : 4), was genauere Messungen nicht gestattet; ferner ist die englische Normalkerze eine wenig verläßliche Lichteinheit.

Scheiner[1]) in Potsdam konstruierte deshalb ein genaueres Photometer (Sensitometer) gleichfalls nach dem Prinzip der rotierenden Scheibe, jedoch mit einer wesentlich langsamer ansteigenden Helligkeitsskala, so daß die erzielbare Genauigkeit drei- bis viermal größer als bei Hurter-Driffields Photometer ist; ferner wendete er eine weit verläßlichere, konstante Lichtquelle (Scheiners Benzinkerze, s. S. 90) an.

Für die Zwecke eines Sensitometers hat Scheiner nach einer Reihe von Versuchen als praktischste Art der Lichtverteilung eine solche gefunden, daß einer gegebenen Strecke auf jeder Stelle des Radius das gleiche Intensitätsverhältnis entspricht; d. h. bezeichnet man mit a das verlangte Intensitätsintervall für die Länge des Ausschnittes, mit n die Anzahl der äquidistanten Punkte des Radius, für welche man die konstanten Intensitätsunterschiede $\triangle$ zur Wahrnehmung bringen will, so muß sein: $$n lg \triangle = lg a.$$
Im vorliegenden Falle hat er genommen: $n = 19$ (die Intensitätsskala wird von 1 bis 20 numeriert), $a = 100$ und dementsprechend $\triangle = 1{,}27$. Es steigt also die Helligkeit von einem Sensitometerfeld zum anderen um das 1,27fache.

Fig. 106 zeigt die ursprüngliche Form des Scheiner-Sensitometers. Als Lichtquelle dient die Benzinlampe B mit dem Flammenmaß d

1) Zeitschr. f. Instrumentenkunde, Juni 1894.

und dem horizontalen 1 mm breiten Spalt s. Der rote Glaszylinder Z hat vorne in der Höhe des Spaltes einen runden Ausschnitt; nach dem Aufsetzen des Zylinders brennt die Flamme heller und ruhig. Die rotierende Scheibe S mit dem Ausschnitte a wird durch das Kurbelrad K gedreht. 1 bis 2 Umdrehungen in der Sekunde an der Kurbel drehen die Scheibe mit 400 bis 800 Rotationen in der Minute. Kleine Schwankungen der Rotationsgeschwindigkeit sind ohne Einfluß auf das Resultat. Hinter der Scheibe war bei der ursprünglichen Scheinerschen Einrichtung die Kassette angebracht, welche bei o auf die Länge des Scheibenausschnittes 20 äquidistante rechteckige Öffnungen o enthält. Unmittelbar hinter dieser durchbrochenen Scheibe folgte eine dünne Platte aus Gelatine, auf welche ein alle Rechtecke durchquerender undurchsichtiger Strich gezogen war und sodann die Zahlen von 1 bis 20 zur Numerierung der Rechtecke eingetragen wurde.

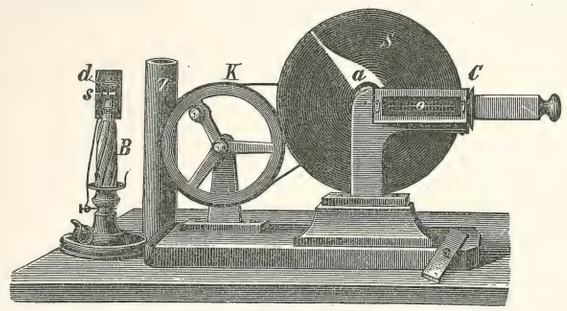


Fig. 106. Ältere Form von Scheiners Sensitometer.

Direkt auf die Gelatine wurde die photographische Platte (Format 3×9) mit der empfindlichen Schicht aufgelegt. Wird nun der Apparat in Tätigkeit gesetzt, so erhält das Rechteck Nr. 1 nur den hundertsten Teil des Lichtes, welches auf Rechteck Nr. 20 fällt. Für die dazwischen liegenden Rechtecke ist das Licht in dem Verhältnis von 1,27 von Rechteck zu Rechteck verteilt. Die Distanz der Flamme von der empfindlichen Platte beträgt 1 m.

Bei diesen Versuchen resultierten Plattenstreifen, welche allmählich gegen die lichtschwächere Seite abschattiert und rechteckig in Felder geteilt waren (Fig. 107); jene Platte, welche unter sonst gleichen Umständen höhere Sensitometergrade zeigt, ist die empfindlichere (s. unten).

Die Nachteile dieses Apparats waren 1. die Einschaltung einer Gelatinefolie zwischen Licht und Platte, wodurch Schwächung des Normallichtes bewirkt wird.

2. Ungleichmäßige Belichtung jedes einzelnen Sensitometerfeldes, was die Folge des kontinuierlich verlaufenden Kurvenausschnittes ist.

Solche keilförmige Beleuchtungen sind mitunter erwünscht, für präzise Photometermessungen erweist sich die völlig gleichmäßige Beleuchtung jedes einzelnen Feldes als weit günstiger. Auch erweist sich die Skala zu kurz.

Eder änderte deshalb die Scheinersche ursprüngliche Form in diesen Punkten, beseitigte die Gelatinefolie in den Kassetten[1]), schnitt (1898) die Kurve zackig aus (Fig. 108), um gleichmäßige Belichtung jedes Feldes zu erreichen; für genauere Arbeiten schlug er größere Scheiben vor (großes Scheinersches Sensitometer) und gab diesem Sensitometer die jetzt allgemein gebräuchliche Form und bestimmte hierfür alle optischen Konstanten des Apparates.

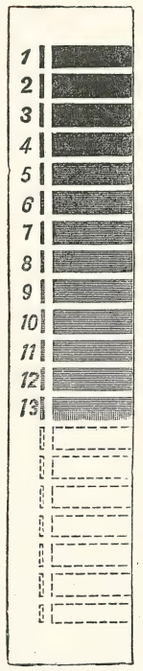
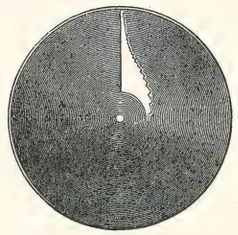


Fig. 107.

Die Felder der resultierenden photographischen Probeplatten sind dann nunmehr gleichmäßig beleuchtet und stoßen unmittelbar aneinander (Fig. 109).

Durch diese Anordnung kann man ungemein deutlich erkennen, bei welcher Intensität des einwirkenden Lichtes die einzelnen Felder sich noch unterscheiden und es wird die Schwärzungsmessung erleichtert. Durch alle diese Verbesserungen wurde der Apparat


Fig. 108.
Sensitometerscheibe.

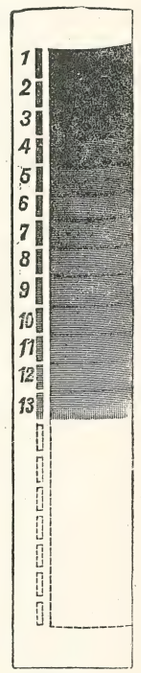


Fig. 109.
Schwärzungsskala.

besser geeignet für Zwecke der exakten Sensitometer, und Eder legte die von ihm durchgeführte Abänderung des Scheiner-Sensitometers seinem System der Sensitometrie zugrunde; er schlug das so modifizierte Scheiner-Sensitometer dem III. Internat. Kongreß f. angewandte Photographie 1898 als Normalinstrument vor[2]).

1) Phot. Korresp. 1894, S. 433.

2) Phot. Korresp. 1898. Siehe insbesondere J. M. Eder, System der Sensitometrie photographischer Platten (Sitzungsber. d. k. Akad. d. Wissensch. Wien, Nov. 1899, Bd. 108, Abt. IIa, S. 1408).

Das große neuere Modell von Scheiners Sensitometer hat demzufolge nunmehr das in Fig. 110 abgebildete Aussehen; hierbei wurden erweiterte Ausschnitte *a*, *b*, *c* angebracht, so daß das Instrument Lichtintensitätsunterschiede von 1 zu 200 anzeigt. Der Ausschnitt von Nr. 1 hat 100° Winkelöffnung. Die anderen Nummern geben Intensitätsunterschiede = 1 : 1,27 an.

Das Scheinersche Sensitometer wird in dieser Form von Mechaniker O. Töpfer in Potsdam ausgeführt und in den Handel gebracht. Für exaktere Arbeiten ist nur das große Modell dieses Sensitometers brauchbar.

Für größere Versuchsreihen empfiehlt es sich, den Sensitometer mittels eines kleinen Elektromotors in Bewegung zu setzen (solche Einrichtungen macht Töpfer in Potsdam); auch ein Uhrwerk kann verwendet werden.

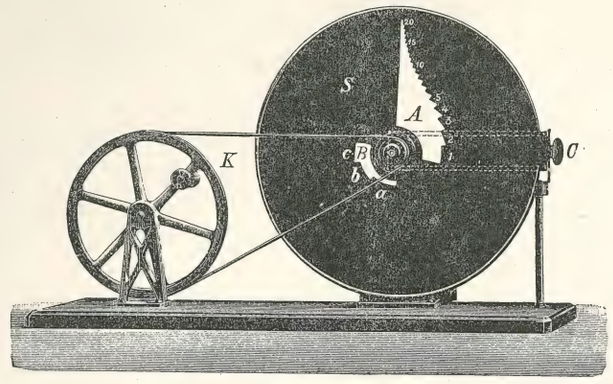


Fig. 110. Neue Form von Scheiners Sensitometer.

Gebrauchsanweisung:

Die Benzinlampe ist bereits auf S. 90 und 168 beschrieben.

Die Flammendistanz der Benzinlampe von der rotierenden Scheibe ist = 1 m, die Anzahl der Umdrehungen der letzteren 400 bis 800 pro Minute, die Belichtungsdauer = 1 Minute. — Nach Eder ist die chemische Helligkeit (für Bromsilbergelatine) der abgeblendeten Scheinerschen Benzinlampe = 0,076 ($= {}^{1}/_{13,2}$) der Hefnerschen Amylacetatlampe, wobei die erstere mit Petroleumbenzin des Handels[1]) vom spezifischen Gewichte 0,704 bei 15° C mit einer Siedegrenze von 60—100° C benutzt wurde[2]).

1) Gewöhnliches Petroleumbenzin für „Ligroinlampen“, bezogen von der Petroleumraffinerie Gerson Böhm und Rosenthal in Wien.

2) Über den Einfluß verschiedener Benzinsorten siehe Eders Abhandlung (Phot. Korresp. 1899, S. 714).

Mittels dieser Zahlen ist eine Reduktion dieser Werte und Umrechnung der Wirkung auf „Sekundenmeterkerzen“ leicht möglich.

Aus der Verhältniszahl 1 Scheinersche Benzinkerze = $^1/_{13,2}$ Hefnerkerzen resultiert für die erste Nummer des Scheinerschen Sensitometers bei der Normalexpositionszeit von 60 Sekunden eine Lichtwirkung von 1,263 Sekundenmeterkerzen. Zur Bestimmung des Schwellenwertes oder der Empfindlichkeitszahl werden die entwickelten, fixierten und getrockneten Platten mit der Schichtseite auf weißes Schreibpapier gedrückt und die letzten (schwächsten) Nummern derart abgelesen; bei Beurteilung kräftigerer Niederschläge betrachtet man die Platten gegen den hellen Himmel in der Durchsicht.

Mitunter benötigt man größere Lichtintensitäten, z. B. um intensivere Schwärzungen der zu prüfenden Platten beim Entwickeln zu erzielen (namentlich bei unempfindlichen Plattensorten). Die Vermehrung der Lichtintensität (unter Beibehaltung derselben Benzinkerze) kann man durch Nähern der Lichtquelle erreichen.

Während bei normaler Anwendung des Scheinerschen Sensitometers der Lichtabstand = 1 m ist, pflegt Eder zur Vermehrung der Lichtintensität die Benzinkerze = $^1/_{2,94}$ m zu nähern. Es entspricht dann Nummer 1 der normalen Anordnung nach der Rechnung genau Nummer 10 bei genäherter Lichtquelle[1]).

Nr. *c* bei genäherter Lichtquelle (wir wollen kurz rund von $^1/_3$ m sprechen) erhält 8,84mal mehr Licht als Nr. *c* bei normaler Distanz der Lichtquelle (1 m). Bei Vornahme zweier Sensitometerbestimmungen im Scheinerschen Sensitometer — einmal mit dem Lichtabstand = 1 m, das zweitemal $^1/_3$ m Abstand (genauer = $^1/_{2,94}$ m) — können also die Wirkungen von Intensitätsunterschieden von 1 bis 1830 zur Wahrnehmung bringen, was bei den Bromsilbergelatine-Trockenplatten vollkommen ausreicht, um ihre Empfindlichkeit und die Zunahme der Schwärzung von der ersten wahrnehmbaren Bildspur bis zur tiefsten Schwärzung zu verfolgen.

Eine weitere Näherung der Lichtquelle ist nicht gut tunlich, weshalb man bei besonders unempfindlichen photographischen Platten zur Verlängerung der Belichtungszeit greifen muß.

1) Bei der Rechnung der Distanz $^1/_{2,94}$ ist berücksichtigt, daß bei genäherter Lichtquelle ein um so größerer Teil der Flammen von einem Punkte der Platte durch das Diaphragma hindurch sichtbar wird. Genaue Korrektionstabellen für beliebige Näherung der Lichtquelle beim Scheinerschen Sensitometer gab Schwarzschild (Publikationen der Kuffnerschen Sternwarte in Wien, Bd. 5, 1900; C. S. 20. Auch Eders Jahrb. f. Phot., 14. Jahrg.).

Nummer *a* bei normalem Lichtabstande (1 m) und der normalen Belichtungszeit (1 Minute) entspricht derselben berechneten Lichtmenge wie Nr. 20 bei $^1/_{2,94}$ m Lichtabstand und einer Exposition von 14 Minuten 24 Sekunden.

Tabelle I.

Nummer des Scheiner-Sensitometers			Relative Lichtmenge	Logarithmus der Lichtmenge	Lichtintensität in Sekundenmeterkerzen	Relative Lichtempfindlichkeit der Platten
		20	1	0,00	0,013	100
		19	1,27	0,10	0,016	78,5
		18	1,62	0,21	0,021	61,6
		17	2,07	0,32	0,026	48,3
		16	2,64	0,42	0,033	37,9
		15	3,36	0,53	0,042	29,8
		14	4,28	0,63	0,054	23,4
		13	5,45	0,74	0,069	18,3
		12	6,95	0,84	0,088	14,4
	20	11	8,86	0,95	0,112	11,3
	19	10	11,3	1,05	0,143	8,9[1])
	18	9	14,4	1,16	0,182	7,0
	17	8	18,3	1,26	0,232	5,5
	16	7	23,4	1,37	0,295	4,3
	15	6	29,8	1,47	0,376	3,4
	14	5	37,9	1,58	0,478	2,6
	13	4	48,3	1,68	0,610	2,1
	12	3	61,6	1,79	0,779	1,6
	11	2	78,5	1,89	0,994	1,3
	10	1	100,0	2,00	1,263	1,00
20	9	*a*	127	2,10	1,604	0,79
19	8	*b*	162	2,21	2,046	0,62
18	7	*c*	207	2,32	2,614	0,48
17	6		264	2,42	3,3	0,38
16	5		336	2,53	4,2	0,30
15	4		428	2,63	5,4	0,23
14	3		545	2,74	6,9	0,18
13	2		695	2,84	8,8	0,14
12	1		886	2,96	11,2	0,11
11	*a*		1130	3,07	14,3	0,089
10	*b*		1440	3,17	18,2	0,070
9	*c*		1830	3,29	23,2	0,055
8			2340	3,37	29,5	0,043
7			2980	3,47	37,6	0,034
6			3790	3,58	47,8	0,026
5			4830	3,68	61,0	0,021
4			6160	3,79	77,9	0,016
3			7850	3,89	99,4	0,013
2			10000	4,00	126	0,010
1			12700	4,10	160	0,0079
a			16200	4,21	205	0,0062
b			20700	4,32	261	0,0048
c			26400	4,42	330	0,0038

Lichtabstand $^1/_{2,94}$ m, Exposition 14 Min. 24 Sek.

Lichtabstand 1 m, Exposition 1 Minute

1) Mittlere Empfindlichkeit von Bromsilbergelatineplatten.

Nach diesen Voraussetzungen berechnete Eder vorstehende Tabelle I einer sehr ausgedehnten Skala abgestufter Lichtwirkungen, welche den Lichtmengen 1 bis 26400 entsprechen.

Um sensitometrische Bestimmungen leicht durchführen und auf das Normalmaß von Sekundenmeterkerzen (d. s. Hefnerkerzen) zurückführen zu können, sind die betreffenden Werte in die vorstehende Tabelle I aufgenommen. Darnach erhält man auf Grund weniger (höchstens drei) Sensitometerproben alle notwendigen Daten bequemer, als es bisher möglich war.

Setzt man die schwächste Lichtmenge in diesem Systeme = 1, so ergibt die zweite Rubrik der Tabelle I die relativen Lichtmengen, welche den betreffenden Sensitometernummern entsprechen. Da man zur Konstruktion der charakteristischen Schwärzungskurve (s. unten) den Logarithmus dieser relativen Lichtmengen braucht, so sind die entsprechenden Logarithmen der relativen Maßzahlen der Lichtmengen in der dritten Rubrik dieser Tabelle beigegeben. Die Bestimmung der Schwellenwerte ersieht man am besten in Sekundenmeterkerzen (Hefnereinheiten), welche Werte nach Eders Bestimmungen in der vierten Rubrik angeschlossen sind. Die relative Lichtempfindlichkeit einer Platte kann aus der fünften Rukrik entnommen werden (reziproker Wert der Lichtmengen, die größte Empfindlichkeit = 100 gesetzt); liegt z. B. die schwächste, eben sichtbare Sensitometernummer (Schwelle einer Plattensorte bei 0,143 Sekundenmeterkerzen (= 10° Scheiner), dagegen bei einer anderen Sorte bei 0,013 Sekundenmeterkerze (= 20° Scheiner), so ist letztere Plattensorte im Verhältnis von $\frac{100}{8,9}$ lichtempfindlicher als erstere.

Das Scheinersche Sensitometer gestattet beim Ablesen der letzten eben noch sichtbaren Sensitometernummer eine Genauigkeit von $\pm 1°$ Scheiner. Bestimmt man aber die Lichtabsorption der betreffenden Schwärzungen an der photographischen Platte ziffernmäßig, so kann man durch Interpolation Bruchteile eines Sensitometergrades mit großer Genauigkeit bestimmen[1]).

Einfluß der verschiedenen Kerzendistanz auf die Genauigkeit der Sensitometeranzeigen. — Wirkung der intermittierenden Beleuchtung.

Unter der Voraussetzung der strengen Gültigkeit der Reziprozitätsregel sind in vorstehender Tabelle auf S. 173 drei korrespondierende Beobachtungsreihen beim Scheinerschen Sensitometer angegeben und

1) Vgl. Eder, System der Sensitometrie photographischer Platten, II. Abhandlung (Sitzungsber. d. k. Akad. d. Wissensch. in Wien, Dez. 1900, Bd. 109, Abt. IIa).

die bei 1 m, ferner die bei $^1/_3$ m Lichtabstand mit 60 Sekunden Expositionszeit und bei $^1/_3$ m Lichtabstand und 14 Minuten 24 Sekunden Expositionszeit erhaltenen gleichwertigen[1]) Sensitometernummern gegenübergestellt.

Bei sehr exakten Messungen fand aber der Verfasser[2]) keineswegs eine völlige Übereinstimmung, sondern nur eine ziemliche Annäherung der bei 1 m Lichtabstand und $^1/_3$ m Abstand korrespondierenden (gleichen Lichtmengen entsprechenden) Sensitometernummern.

Aus diesen Beobachtungen geht hervor, daß beim Scheinerschen Sensitometer es nicht ganz einerlei ist, ob man die Bestimmung der Empfindlichkeit oder der Schwärzungskurve bei 1 m Lichtabstand und 1 Minute Expositionszeit oder wesentlich größeren oder kleineren Lichtabstand und entsprechend kürzerer oder längerer Expositionszeit vornimmt. Es stellen sich mitunter Differenzen von ungefähr 1° Scheiner (in einzelnen Fällen 2° Scheiner) ein.

Um denselben Betrag differieren auch die berechneten Sensitometerangaben bei $^1/_3$ m Abstand und 1 Minute Expositionszeit (verglichen mit den korrespondierenden Sensitometerzahlen bei 1 m Abstand und 1 Minute Exposition). Nach der Rechnung soll 1° Scheiner bei 1 m Abstand und 1 Minute Exposition mit 10° Scheiner bei $^1/_{2,94}$ m Abstand und 1 Minute Exposition übereinstimmen. Bei des Verfassers Experimenten traf dieser Fall bei Rapidplatten annähernd ein, aber in mehreren Fällen blieb die Sensitometerangabe bei $^1/_{2,94}$ m Abstand um eine Nummer des Scheinerschen Sensitometers zurück.

Immerhin wird es für die Praxis vollkommen genügen, wenn man die bei $^1/_{2,94}$ m Abstand und 1 Minute Expositionszeit im Scheinerschen Sensitometer ermittelte Schwärzungskurve als normale gelten läßt und die absolute Empfindlichkeit oder der Schwellenwert (letzte sichtbare Nummer in der Periode der Unterexposition) in der Distanz von 1 m Lichtabstand und 1 Minute Expositionszeit bestimmt.

Für wissenschaftliche Untersuchungen, bei welchen größtmögliche Genauigkeit verlangt wird, sind diese Abweichungen zu berücksichtigen. Sie haben ihren Grund darin, daß die Reziprozitätsregel nicht strenge gültig ist (s. S. 75), und auch das Verhalten photographischer Platten gegen intermittierende Belichtung spielt hierbei eine Rolle.

Die Wirkung intermittierender Beleuchtung auf Bromsilbergelatine ist stets etwas geringer als die Wirkung derselben

1) Das sind die derselben berechneten Lichtmenge entsprechenden Sensitometernummern.

2) Sitzungsber. d. k. Akad. d. Wissensch , Wien 1899.

Lichtmenge bei kontinuierlicher Beleuchtung. Diese Tatsache beobachtete Abney, dann R. Englisch und wurde in neuerer Zeit von K. Schwarzschild[1]) genau studiert.

Nach Schwarzschilds[2]) eingehenden Untersuchungen hängt die Wirkung des Intermittierens bei der Belichtung von Bromsilberplatten von zwei Größen ab:

1. Von dem Verhältnisse der Pause zur Dauer der Einzelbelichtung, je länger im Verhältnisse die Pause, um so stärker die Abschwächung;

2. von der Lichtmenge, welche die Einzelbelichtung auf die Platte sendet. Ein bestimmtes Verhältnis der Pause zur Dauer der Einzelbelichtung schwächt um so mehr, je weiter diese Lichtmenge unter dem Schwellenwerte liegt. Von geringem Einflusse ist hingegen der Grad der Schwärzung und die absolute Größe der Belichtungszeit oder der Lichtintensität für sich genommen.

Der Unterschied in der Wirkung kontinuierlicher und intermittierender Belichtung hat aber noch zur Folge, daß mit der rotierenden Scheibe dieses Sensitometers nicht ganz die ursprüngliche Absicht erreicht wird, eine genaue Skala der Expositionszeiten bei konstanter Lichtintensität zu bilden. Die höheren Nummern sind durch die relativ längeren Belichtungspausen zu sehr geschwächt. Wenn man aber statt einer Skala der Expositionszeiten eine Skala der Intensitäten durch Schwächung des Lichtes in bestimmten Verhältnissen, wie z. B. beim

1) Phot. Korresp. 1899, S. 111.

2) K. Schwarzschild (Phot. Korresp. 1899, S. 171) variierte die intermittierende Belichtung von Bromsilbergelatineplatten durch Änderung:

1. des Verhältnisses der Pausenlänge zur Dauer der Einzelbelichtung q;

2. der Dauer von Einzelbelichtung und darauffolgender Pause zusammengenommen t;

3. der wirksamen Lichtintensität J;

4. der Gesamtversuchsdauer von der ersten bis zur letzten Belichtung T.

Mit diesen vier Größen, die aus Gründen der Darstellung gerade so gewählt wurden, sind auch alle anderen gegeben, die eventuell interessieren können, z. B. die

Dauer der Einzelbelichtung: $t_1 = \frac{t}{1+q}$,

die Dauer der Pause: $t_2 = \frac{t \cdot q}{1+q}$,

die Summe der Belichtungszeit: $T_1 = \frac{T}{1+q}$,

die Zahl der Unterbrechungen: $u = \frac{T}{t}$.

Die Wirkung des Intermittierens wird aber nicht von den vier genannten Größen, sondern nur von dem sub 1 genannten Verhältnisse und von der Lichtmenge, welche die Einzelbelichtung auf die Platte sendet, abhängen.

Vogelschen Papierskalenphotometer oder Warnerkeschen Sensitometer herstellen würde, so würde dieselbe im gleichen Sinne von der genauen Skala der Expositionszeiten abweichen, wie die Skala des Scheinerschen Sensitometers. Denn infolge der früher nachgewiesenen Abweichungen vom Reziprozitätsgesetze wird eine Verringerung der Intensität eine geringere Schwärzung erzeugen als eine Verkürzung der Expositionszeit im selben Verhältnis, und die höheren Nummern der Intensitätsskala würden wieder schwächer als die der genauen Zeitskala ausfallen.

Es wurde durch Eders Versuche die Schwarzschildsche Ansicht bestätigt, daß für die Praxis der Photographie sich am besten ein Mittelding zwischen Zeitskala und Intensitätsskala eigne, da man es hier weder mit konstanten Intensitäten, noch konstanten Expositionszeiten zu tun hat und z. B. hochempfindliche Platten bald für Momentaufnahmen heller Gegenstände, bald für Daueraufnahmen lichtschwacher Objekte sucht. Das Scheinersche Sensitometer wird daher gerade durch sein Hinneigen von der Zeitskala zur Intensitätsskala, das die intermittierende Belichtung bewirkt, im allgemeinen für die Praxis geeignete Empfindlichkeitsangaben liefern.

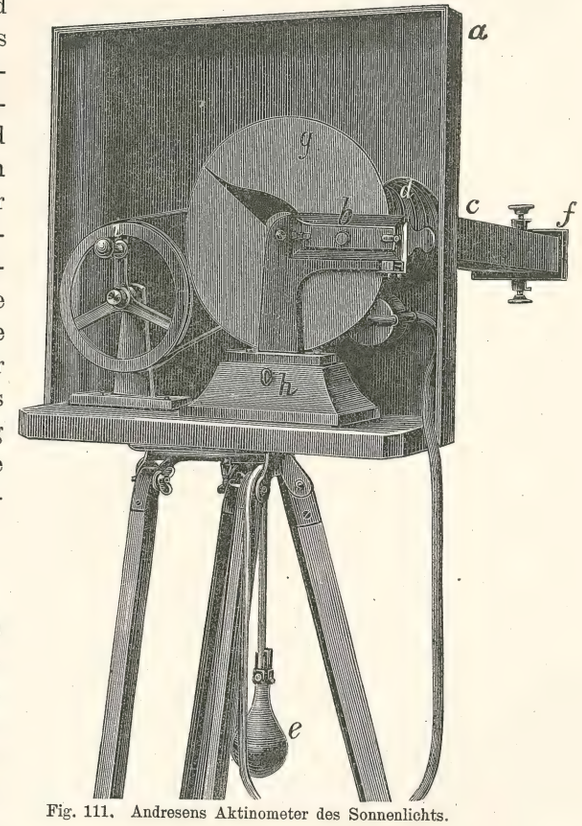


Fig. 111. Andresens Aktinometer des Sonnenlichts.

M. Andresen benutzt das Scheinersche Sensitometer in besonderer Anordnung zur Aktinometrie des Sonnenlichts. Das Sensitometer ist in ein Gehäuse a (Fig. 111) eingebaut; bei b ist die Kassette; gegenüber ist ein Ansatz c, welcher 50 cm lang, innen mit schwarzem Samt gefüttert ist und viereckige Blenden enthält. Der Apparat wird gegen die Sonne gerichtet. Auf diese Weise bestimmte Andresen den Extraktionskoeffizienten der Atmosphäre (Eders Jahrb. f. Phot. 1899, S. 147).

3. Rotierende Scheiben mit farbigen Sektoren.

Schätzung der Leuchtkraft farbiger Flächen im Zusammenhange mit der orthochromatischen Photographie.

Bei der photographischen Aufnahme farbiger Naturobjekte, Gemälde usw. mittels orthochromatischer Platten kommt die relative Helligkeit der kolorierten Flächen in Betracht. Von der relativen Helligkeit der farbigen Flächen, oder sozusagen von ihrer Leuchtkraft ist die photographische Reproduktion abhängig.

Es ist daher von Interesse, die optische Helligkeit von farbigen Pigmentschichten im reflektierten Licht kennen zu lernen und daran anknüpfend den photographischen Effekt bei ihrer Reproduktion mittels orthochromatischer Platten (eventuell unter Heranziehung von farbigen Lichtfiltern) zu untersuchen.

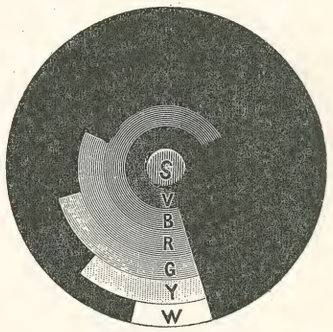


Fig. 112.

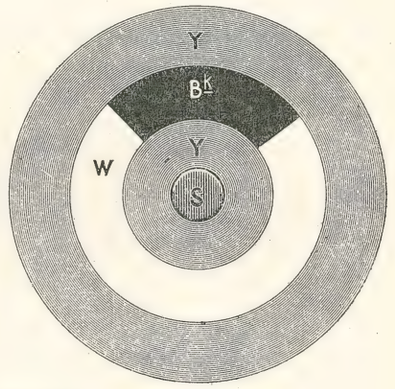


Fig. 113.

Rotierende Farbenscheiben.

S = Achsenmutter.
V = violette Scheibe (Methylviolett).
B = Teil eines blauen Ringes (Französisch-Ultramarin).
R = Teil eines roten Ringes (Scharlachrot).
G = ,, ,, grünen Ringes (Smaragdgrün).
Y = ,, ,, gelben Ringes (Chromgelb).
W = ,, ,, weißen Ringes.

YY = gelbe Scheiben.
W = weiße Scheibe.
B^k = schwarze Scheibe.
S = Achsenmutter.

Eine einfache Methode zur Schätzung der Helligkeit von gefärbten Flächen mittels rotierender Scheiben gab Abney.[1])

Es machte sich das Bedürfnis nach einem Verfahren geltend, welches ermöglicht, Ringen von verschiedener Farbe im gewöhnlichen Tageslicht gleiche Leuchtkraft zu verleihen dadurch, daß man sie, durchsetzt mit dem gehörigen Betrag von schwarzen Abschnitten, rotieren läßt. Die Ringe sind konzentrisch und rotieren als Scheibe (Fig. 112 und 113); die Schwierigkeit, welche zu überwinden ist, besteht in der Feststellung des in jeden Ring einzusetzenden schwarzen Stückes.

In der Abhandlung von Abney und Festing über Colour Photometry, Teil III (Phil. Trans. A, 1892) ist nachgewiesen, daß nur ein Strahl des Spektrums, nämlich ein grünlichgelber, hinsichtlich der Zunahme und Abnahme der Leuchtkraft sich genau wie weißes Licht verhält, d. h. wird ein Teil eines weißen Schirmes durch Licht

1) The Photographic Journal, Juni 1900. Bd. XXIV, S. 319.

solcher Farbe, ein anderer Teil dagegen mittels weißen Lichtes beleuchtet, so daß die Leuchtkräfte z. B. einer Kerzenstärke gleichkommen, so bleiben sie hinsichtlich der Leuchtkraft, wenn die beiden Strahlen gleichmäßig abgeschwächt werden, doch einander gleich, bis das Licht so schwach wird, daß es aufhört einen Reiz auf die Netzhaut auszuüben. Andere diesem Strahl naheliegende Strahlen, sowohl nach dem Rot, wie nach dem Grün hin, ergeben praktisch das gleiche Resultat. Wird jedoch Rot mit Weiß verglichen bei ursprünglich gleicher Leuchtkraft von z. B. einer Kerzenstärke, so bringt eine gleichmäßige Abschwächung der Strahlen eine Verschiedenheit der Leuchtkräfte hervor, indem das Rot rascher an Leuchtkraft verliert als das Weiß. Hinsichtlich des Blaugrün, des Blau und des Violett ist das Umgekehrte der Fall, indem beim Abschwächen der Strahlen das Weiß rascher dunkler wird als die Farbe[1]).

Abney erbrachte den Nachweis, daß die Farbe von allen Strahlen des Spektrums mit Ausnahme des reinen Rot lange vor dem Erlöschen ihres Lichtes verschwindet, was eine Folge des schwachen auf die Netzhaut ausgeübten Reizes ist. Naturgemäß läßt sich Gleichheit der Leuchtkraft des fraglichen Strahles mit derjenigen von Weiß um so leichter herstellen, in dem Maße wie die Farbe verschwindet. Diese Tatsachen ermöglichten die Aufstellung folgender handlichen Methode. Zur Feststellung der Leuchtkraft jeder beliebigen Farbe geht Abney auf diese Art vor. Man nimmt zwei chromgelbe Scheiben, von denen z. B. eine 8 Zoll, die andere 4 Zoll Durchmesser hat und bringt zwischen sie zwei sich nur teilweise deckende Scheiben von schwarzer und weißer Farbe von 6 Zoll Durchmesser und setzt dann alle vier Scheiben auf einer Rotationsmaschine so rasch in Drehung, daß das Weiß und Schwarz ohne Flimmern ein Grau ergeben, welches dann durch Abänderung des Verhältnisses zwischen dem Weiß und dem Schwarz so gestaltet werden kann, daß es an Leuchtkraft genau dem Gelb gleichkommt. Eine sehr genaue Übereinstimmung kann man dadurch erzielen, daß man die Scheiben durch ein schwarzes durchsichtiges Medium betrachtet, wie es z. B. das Schwarz auf einer mittels Metol- oder Amidol-Entwickler entwickelten photographischen Platte ist. Der Niederschlag kann so dicht sein, daß die gelbe Farbe praktisch verschwindet; die beiden stumpfen Grau lassen sich dann leicht hinsichtlich der Leuchtkraft in Übereinstimmung bringen. Die Leuchtkraft des Gelb ausgedrückt in Bruchteilen derjenigen von Weiß wird durch den Winkel des freiliegenden Weiß, vermehrt um den kleineren vom schwarzen Ring reflektierten Bruchteil von Weiß angegeben. In gleicher Weise kann man hinsichtlich einer grünen Farbe und ihrer Leuchtkraft die Untersuchung ausführen. Ratsam ist es, für jede Farbe vier oder fünf solcher Beobachtungen anzustellen, wenn man möglichste Genauigkeit zu erzielen wünscht.

Ist die Leuchtkraft dieser beiden Farben bestimmt, so kann man 4 Zoll Durchmesser haltende, sie aufweisende Scheiben zwischen eine blaue und ein graue Scheibe bringen, welche letztere hinsichtlich ihrer Leuchtkraft mit derjenigen eines nach der oben angegebenen Methode aus Weiß und Schwarz gebildeten Grau übereinstimmt. Aus den Winkeln der freiliegenden farbigen und der verminderten weißen und schwarzen Sektoren kann man dann die Leuchtkraft des Blau berechnen. Wenn dies geschehen ist, so kann man zwischen die grüne und die blaue Scheibe eine rote einschieben und die Leuchtkraft dieser letzteren berechnen. Zur Nachprüfung kann man

1) Vergleiche die Abhandlung E. Alberts, Über die Änderung des Farbentones von Spektralfarben und Pigmenten bei abnehmender Lichtstärke (Annal. d. Phys. u. Chem. 1882, neue Folge, Bd. XVI). — Ferner: Betzhold, Farbenlehre 1874.

eine teilweise schwarze, teilweise gelbe Scheibe einschieben und mit der Farbe vergleichen, welche man mittels der eingeschobenen teilweise freiliegendeu roten und grünen Scheiben erhält, von denen natürlich das eine Paar einen größeren Durchmesser haben muß.

Wie die Bestimmung des Grades der erzielten Genauigkeit ausgeführt wird, mögen folgende Angaben über einen einschlägigen Versuch zeigen, bei welchem mit Bogenlicht gearbeitet und die Messungen so, wie oben angegeben, ausgeführt wurden.

Es wurde festgestellt, daß das Schwarz 3,33 Proz. weißes Licht reflektierte und daß bei gleicher Leuchtkraft des Gelb und der Einheit der eingeschobenen schwarzen und weißen Scheiben vom Schwarz 82 Grad, vom Weiß 278 Grad des Ringes ausgefüllt waren. Daraus ergibt sich für das Gelb eine Leuchtkraft von 78, wenn diejenige des Weiß gleich 100 gesetzt wird. In ähnlicher Weise wurde für Smaragdgrün die Leuchtkraft 43 gefunden. Zwischen die gelbe und die smaragdgrüne Scheibe wurde eine dunkelblaue und eine graue Scheibe eingeschoben, welche einem aus Schwarz und Weiß gebildeten Grau an Leuchtkraft entsprach. Es ergab sich folgende Gleichung:

$$\begin{array}{cccccccc} \text{Gelb} & \text{Grün} & \text{Blau} & & \text{Weiß} & \text{Schwarz} & \text{Weiß} \\ 118 & + 71 & + 171 & = & 122 & + 238 & = 130. \end{array}$$

Für Gelb ist die Leuchtkraft von 118 Grad $= \frac{118}{360} \cdot 78 = 25{,}6.$

„ Grün „ „ „ „ 71 „ $= \frac{71}{360} \cdot 43 = 8{,}5.$

„ Weiß „ „ „ „ 130 „ $= \frac{130}{360} \cdot 100 = 36{,}1.$

Blau. Die Leuchtkraft von 171 Grad wird deshalb durch folgende Gleichung ausgedrückt:

$$36{,}1 - (25{,}6 + 8{,}5) = 2$$

und es ist daher die Leuchtkraft des blauen Farbstoffes

$$\frac{360}{171} \cdot 2 = 4{,}2.$$

Die Leuchtkräfte der drei Farbstoffe wurden dann mit derjenigen von Weiß nach der in Teil II der Colour Photometry angegebenen Methode verglichen und ergaben sich wie folgt:

Gelb	77,7.
Grün	43,2.
Blau	4,1.

Es weicht also dieser Befund der Leuchtkraft des Blau von dem nach der neuen Methode gefundenen Ergebnis nur um 0,1 ab, so daß die Annäherung eine sehr befriedigende ist.

Wenn man die Leuchtkräfte der drei Grundfarben bestimmt hat, so kann man diejenigen irgend welcher anderen Farben berechnen, indem man eine der Grundfarbenscheiben durch eine Scheibe mit der betreffenden, zu prüfenden Farbe ersetzt und außerdem eine graue Scheibe herstellt, welche einem aus Weiß und Schwarz gebildeten Grau entspricht.

Als wesentlicher Vorteil dieser Methode fällt ins Gewicht, daß dieselbe bei der Benutzung der verschiedensten Lichtquellen: Kerzenlicht, elektrischem Licht oder

Tageslicht anwendbar ist; natürlich wechselt jedoch die Leuchtkraft der Farben nach der Qualität und Art des verwendeten Lichtes.

Sind die Leuchtkräfte der Farben bestimmt, so läßt sich die Winkelausdehnung für die Sektoren in Fig. 112 und 113 berechnen, indem man die Leuchtkraft des verwendeten Schwarz mit in Rechnung zieht. Wird die Scheibe um S zum Rotieren gebracht, so muß jede Farbe die gleiche Leuchtkraft zeigen und wenn durch Verwendung eines geeigneten, vor der Linse aufgestellten Farbenfilters auf der photographischen Platte ein Negativbild der Scheibe erzeugt wird, welches in allen seinen Teilen nach der Entwicklung gleiche Dichtigkeit aufweist, so werden sich mittels eines solchen Farbenfilters auf ähnlichen Platten alle aufgenommenen Objekte ohne Rücksicht auf ihre Farben in den richtigen Licht- und Schattenabstufungen wiedergeben lassen.

Herstellung von Sensitometern mit Farbenfiltern für Dreifarbenphotographie von Sir W. Abney („Phot. Journ.“ 1906, S. 3).

In erster Linie ist ein gutes Sensitometer zur Bestimmung der Absorptionskurven und der Belichtungszeiten notwendig.

Abney[1]) benutzt ein Sensitometer, das aus rotierenden mit Pigmenten in Sektoren gefärbten Scheiben besteht (Abney, Phot. Journ. 1905, S. 319).

Zur Bestimmung des Expositionsverhältnisses hinter den drei Filtern dienen transparent abgestufte Skalen.

Bei der Herstellung von Sensitometern zur Anfertigung genauer Lichtfilter für die Dreifarbenphotographie ist es nach W. Abneys Angaben wünschenswert, daß man bei Benutzung dieser Sensitometer nicht auf künstliche Lichtquellen angewiesen ist, da diese sehr wenig blaue Strahlen enthalten, sondern daß dieselben ohne besondere physikalische Apparate und ohne Anwendung der gewöhnlichen gefärbten Gläser, unter Benutzung des gewöhnlichen Tageslichtes vor der Kamera aufgestellt werden können. Zu diesem Zwecke ist die Anwendung von Pigmenten (Farbstoffen) empfehlenswert. Diese müssen alle dieselben Farbenhelligkeitswerte besitzen, da nur mit einem richtig gewählten Filter die den Pigmenten entsprechenden Teilnegative die gleiche Intensität (Deckung) erhalten können. Bekanntlich kann jeder Farbstoff in einen, zwei oder drei seiner Bestandteile zerlegt werden, und das für das Auge weiße Licht kann aus einem bestimmten Prozentsatz von Spektralrot, Blau und Grün, ein rotes Pigment aus einer Mischung von zwei dieser Grundfarben (Rot und Grün) zusammengesetzt werden, während Gelb alle drei Grundfarben erfordert. Da nun alle Pigmentfarben auf eine Farbe des Spektrums, welcher ein gewisser Prozentsatz weißes Licht zugesetzt wird, zurückgeführt werden können und die Zusammensetzung jeder Spektralfarbe durch die Bestimmung einer oder mehrerer der drei Grundfarben ermittelt werden kann, so kann man jede Pigmentfarbe durch eine bestimmte Mischung der drei Grundfarben ausdrücken. Wenn man z. B. Weiß mit Rot hinsichtlich ihres Helligkeitswertes vergleicht, so ergibt sich aus der dabei von Abney angestellten Berechnung, daß die Helligkeit des Weiß 7,5 mal größer ist als die des Rot; sollen diese Werte zur Erlangung von Lichtfiltern zur Herstellung von Negativen gleicher Intensität gleich werden, so muß die Helligkeit des Weiß durch Zusatz von Schwarz reduziert werden. Dazu dient eine schwarze, um ein rotes

1) Vgl. Abney, Über orthochromatische Photographie und Farbensensitometrie (Eder, Jahrb. f. Phot. 1896, S. 128); ferner The Phot. Journal 1900, Bd. 24, S. 319; Proc. Phys. Soc., 22. April 1904; Phot. Journal 1905, S. 39, 1909, S. 42.

Zentrum drehbare Scheibe (Fig. 114). Wird auf dieser Scheibe das Schwarz teilweise durch Weiß ersetzt, so daß dieses $^1/_{7,5}$ der Peripherie derselben beträgt und die Scheibe schnell gedreht, so reflektiert die rote Farbe und die weiß-schwarze Peripherie denselben Betrag von roten Strahlen. Dieser Effekt kann beliebig geändert werden, je nach dem Verhältnis des Schwarz zum Weiß. Ebenso kann man, wenn zwei Farben zur Ermittlung der Farbenempfindlichkeit der Platten nicht genügen, mit anderen Farben verfahren, um mittels dieser Methode korrekte Lichtfilter herzustellen, und es ist, wenn mittels des Farbenmessungsapparates die Bestandteile der einzelnen Farbstoffe prozentual festgestellt sind, durchaus nicht schwer, eine Anzahl solcher Ringscheiben herzustellen. Will man nun Aufnahmen machen, durch welche man die den verschiedenen Farben entsprechenden Negative von gleicher Intensität erhält, so braucht man diese Ringscheiben nur aus den entsprechend mit Pigmenten gefärbten, transparenten Materialien (Glas oder Gelatinefolien) in den bestimmten Verhältnissen zusammenzusetzen, und wenn man dann während der Rotation dieser Ringscheiben gefärbtes Spektrallicht und die verschiedenen orangen, grünen und blauen Zonen eines Spektrums auf diese Scheiben fallen läßt, so erhalten dieselben

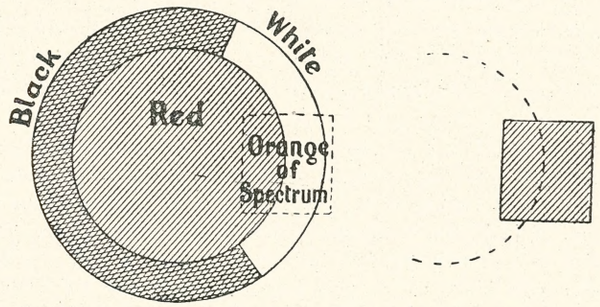


Fig. 114. Aussehen von Rot und Weiß auf der rotierenden Scheibe, wenn beide von orangem Spektrallicht getroffen werden.

alle die gleichen Helligkeitswerte, wodurch einerseits jede farbenempfindliche Platte auf ihre Farbenempfindlichkeit geprüft werden kann, anderseits aber die Herstellung von Teilnegativen gleicher Deckung möglich wird. (Eder, Jahrb. f. Phot. 1907, S. 425.)

Über die Veränderungen der Farben des Spektrums durch Vermischen mit weißem Licht berichtet W. de W. Abney in „Proc. Royal Soc. London“ 1909, Serie A, Bd. 83, S. 120. Die Farben des Spektrums verändern sich, wenn weißes Licht auf sie fällt. Abney beschreibt einen Apparat, der gestattet, die Farbenänderungen, die beim Mischen mit Weiß eintreten, quantitativ zu verfolgen. Zwei Spektra von gleicher Intensität werden nebeneinander auf eine weiße Oberfläche geworfen, die zu untersuchenden Teile des Spektrums durch Schlitze abgegrenzt und auf gleiche Nuance gebracht. Durch eine geeignete Vorrichtung kann auf einen der beiden Farbflecke weißes Licht geworfen und die dadurch erzeugte Farbdifferenz gemessen werden. Die Resultate werden tabellarisch eingeteilt (Eder, Jahrb. f. Phot. 1910, S. 402).

XI. Röhrenphotometer.

Taylor[1]) umging die Skala des transparenten Mediums von zunehmender Undurchsichtigkeit und deren Fehler (s. S. 150) durch ein

1) Phot. News 1869, S. 19. Phot. Mitt., Bd. 5, S. 284 und Bd. 18, S. 267.

System von zylindrischen Röhren, welche verschiedene Lichtquantitäten durchließen.

Er nahm ein rechteckiges Holzbrettchen (Fig. 115) von 124 mm Länge, 58 mm Breite, und 30 mm Dicke und durchbohrte dasselbe 12 mal, so daß zylindrische Öffnungen von 20 mm Durchmesser und 30 mm Tiefe entstanden. Diese Bohrungen wurden mit dünnen Metallplatten geschlossen, welche eine verschiedene Anzahl von kleinen Löchern von je 2 mm Durchmesser trugen.

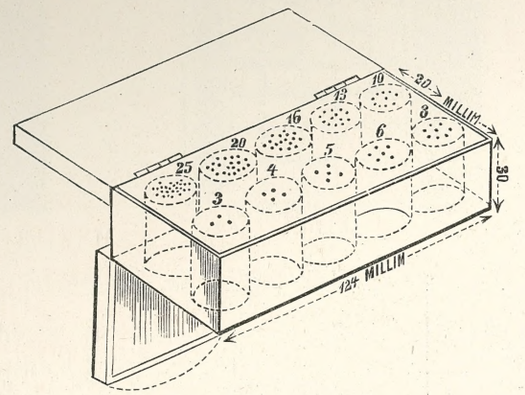


Fig. 115. Taylors Röhrenphotometer.

Unter diesem Brettchen befand sich ein sensibilisiertes Papier, auf welches das Licht mit einer der Zahl der Bohrungen proportionalen Intensität wirkte. Um die geübte Lichtwirkung sicher zu messen, wurde das gedunkelte Papier mit einer abgestuften Normalskala von Färbungsgraden verglichen. Die Normalskala kann durch Belichten von Chlorsilberpapier an einem klaren Julitage zur Mittagsstunde angefertigt werden.

Einen ähnlichen Weg hatte Roscoë eingeschlagen (s. S. 138).

Im Jahre 1881 kamen Mucklow und Spurge auf das Prinzip des Taylorschen Photometers zurück[1]). Ihr Instrument enthält eine Anzahl von Röhren oder Kammern (Fig. 116). Die obere Seite dieser Röhren ist durch eine undurchsichtige Platte verschlossen, in welche Löcher von verschiedenem Durchmesser gebohrt sind, so daß über jedes Röhrenende eine runde Öffnung kommt (Fig. 116). In den Führungen a' und a' (Fig. 117) gleitet ein Schieber (Fig. 118), welcher den Verschluß der Öffnungen gestattet. An der entgegengesetzten Seite des Kästchens befindet sich eine Platte mit Ziffern, welche die Reihenfolge der Röhren bezeichnen. Zum Gebrauche legt man eine empfindliche Platte mit Zifferneinteilung des Kästchens (Fig. 119) unter, verschließt es dann, kehrt die mit der durchlöcherten Platte versehene Seite gegen das diffuse Licht, öffnet den Schieber und exponiert bestimmte Zeit. Die Lichtintensitäten am Ende der Röhren verhalten sich wie die Quadrate

1) The photogr. Journal 1881, S. 44.

der Halbmesser der runden Löcher. (Natürlich muß man sich möglichst gegen Reflexe im Innern des Apparates schützen.)

H. W. Vogel verbesserte das Röhrenphotometer von Taylor, indem er 1 bis 24 kleine Löcher von $^3/_4$ mm Durchmesser am Ende der Röhren

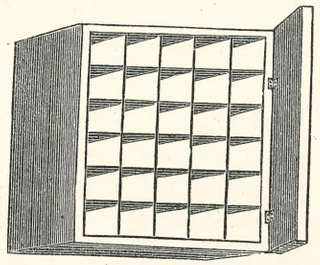


Fig. 116.

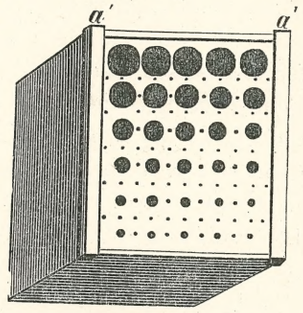


Fig. 117.

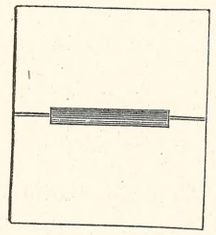


Fig. 118.

1	2	3	4	5
10	9	8	7	6
11	12	13	14	15
20	19	18	17	16
21	22	23	24	25
30	29	28	27	26

Fig. 119.

Photometer von Mucklow und Spurge.

anbrachte, wodurch das Licht besser verteilt wurde. Vogel bringt zwei Photometer nebeneinander an, so daß das Doppelinstrument durch eine Klappe geöffnet und geschlossen werden kann (s. Fig. 120). Es werden nun die zu vergleichenden empfindlichen Platten in den Apparat gelegt und auf eine gleichmäßig erhellte Fläche exponiert. Der Himmel erscheint aber bei Bewölkung nicht gleichmäßig hell; außerdem ist dieses Licht für Bromsilbergelatineplatten zu intensiv und Dämpfung durch matte Scheiben erweist sich als unpraktisch, weil letztere nicht gleichmäßig herzustellen sind. Vogel wählte deshalb einen mit weißem photographischem Rohpapier überzogenen Reflektorschirm. Er stellte

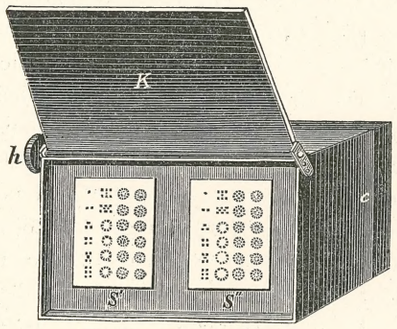


Fig. 120. Vogels Sensitometer.

denselben (S) in hinreichender Entfernung einem nach dem freien Himmel sich öffnenden Fenster (F) gegenüber (Fig. 121).

Nun hängt die Wirkung eines solchen Schirmes auf das Sensitometer sehr wesentlich von der Entfernung beider ab. Vogel stellt den weißen Reflektorschirm von 40 cm Quadrat auf einem Bodenbrett L (Fig. 122) in einer Distanz = 1 m vom Sensitometer auf. Der hintere Teil des Sensitometers ist analog der Kassette konstruiert. Die runden

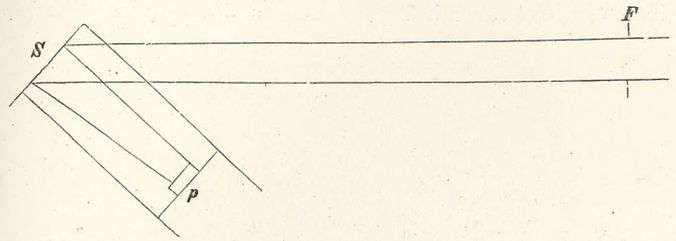


Fig. 121. Beleuchtung des Reflektorschirmes.

Röhren vor dem Kassettenteile sind mit einer Kupferplatte gedeckt, in welcher Zahlen eingeschnitten sind, welche die Anzahl der darüber befindlichen Löcher angeben. Man exponiert nun beide zu prüfenden Platten gleichzeitig durch einige Sekunden, entwickelt und fixiert sie zugleich. Die Empfindlichkeit der Platten verhält sich direkt wie die erschienenen Zahlen. Z. B. ist eine Platte, auf welcher die Zahl 6 erscheint, zweimal empfindlicher als eine andere, auf welcher 3 erscheint.

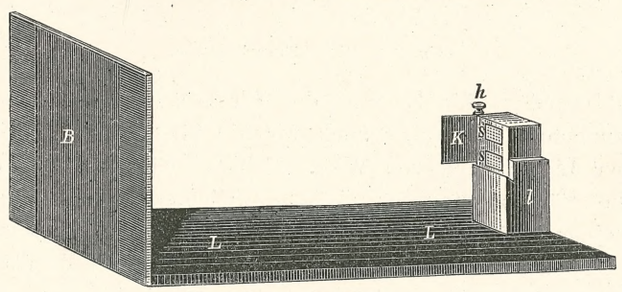


Fig. 122. Vogels Sensitometer.

Vogel benutzt dieses Instrument auch zur Messung der chemischen Intensität des Lichtes, Vergleichung verschiedener Lichtarten, Bestimmung der Helligkeit im Atelier usw.

Das Vogelsche Röhrenphotometer hat den großen Nachteil, daß es zu wenig Spielraum in der Belichtung (1 bis 24) gestattet und die Skalenwerte in einer arithmetischen Progression ansteigen, was die Konstruktion der Schwärzungskurve erschwert.

Eders Röhrenphotometer.

Eder hat deshalb das Röhrenphotometer nach den Prinzipien der modernen Sensitometrie wesentlich anders konstuiert, indem er den Bohrlöchern solche Dimensionen gab, daß sie von einer Nummer zur nächsten nach der Progression des Scheinerschen Sensitometers, d. i. um 1,27, ansteigen.

Hierdurch werden die Angaben von Eders Röhrensensitometer unmittelbar vergleichbar mit dem Anzeiger des Scheiner-Sensitometers.

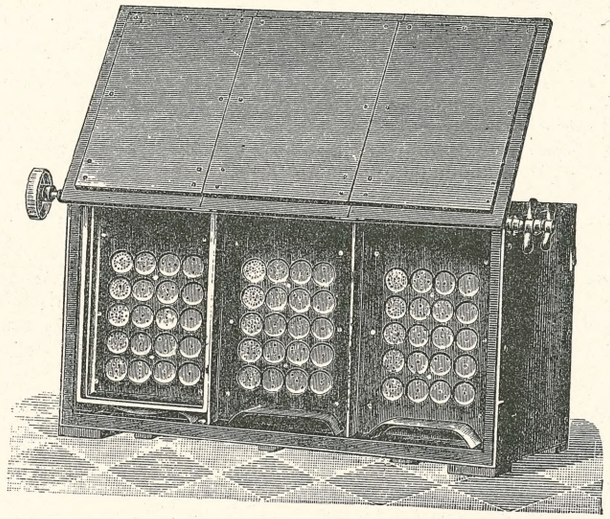


Fig. 123. Eders Röhrenphotometer.

Dies ist besonders für Zwecke der Photometrie (Sensitometrie) für Dreifarbenphotographie, aber auch für die Photometrie (Aktinometrie) künstlicher Lichtquellen von Wert. Selbstverständlich muß das Licht für solche Röhrenphotometer diffus einfallen, was man durch Vorschalten einer genügenden Anzahl matter Gläser, oder Milchglas, oder durch Reflexion von rein weißem Zeichenpapier (nach Vogels Vorgang) erzielen kann.

Um das Röhrenphotometer für Dreifarbenphotographie verwenden zu können, ist es dreiteilig gebaut (s. Fig. 123).

Bei diesem Röhrenphotometer wird die geringste Helligkeit durch ein Bohrloch von 0,5 mm Durchmesser am Ende einer 10 cm langen Röhre erzeugt, während die hellste Röhre 25 Löcher à 1 mm aufweist.[1]) Die Helligkeitsgrenzen liegen also zwischen 1 bis 100.

1) Eder, Phot. Korresp. 1903, S. 426.

Vor die Löcher können auch gut anschließende Flüssigkeitsfilter von 1 cm Schichtendicke oder z. B. rote, grüne, blaue Dreifarbenlichtfilter angebracht werden. Man kann alle drei Teile je nach Bedarf, einzeln oder gleichzeitig belichten. Auf diese Weise läßt sich die relative Empfindlickeit von farbenempfindlichen Platten gegen die drei Grundfarben, ferner von orthochromatischen und gewöhnlichen Platten bei Tageslicht, elektrischem Licht usw. prüfen.

Auch W. Scheffer gab eine Ausführungsform des Röhrenphotometers für Versuchs- und Lehrzwecke an, bei welcher die Lichtdiffusion durch eine Milchglasplatte erfolgt; die Helligkeit der Felder wächst wie 1:2:4:8 usw. (Eder, Jahrb. f. Phot. 1910, S. 97).

Stolzes Photometer (Sensitometer).

Stolze stellte 1881 einen Empfindlichkeitsmesser (Sensitometer) nach folgendem Prinzipe her[1]) (Fig. 124):

Man denke sich eine Trockenplatte *abcd* von 10 cm Länge und 2 cm Breite, deren eine Hälfte *cdfe* lichtdicht durch eine Metallplatte verdeckt ist. Genau parallel zur Seite *ad* und 1 cm senkrecht über ihr ist ein 2 cm langer, 0,1 mm dicker Platindraht *gh* ausgespannt. Man denke sich nun diese Vorrichtung in einen dunklen mit schwarzem Samt gefütterten Kasten eingeschlossen und bringt dann den Platindraht mit einer Leydener Flasche in Verbindung, so daß er, wenn daselbst ein Funken überspringt, glühend wird. Die Lichtintensitäten verhalten sich nun umgekehrt wie die Quadrate der Abstände von der Platte; außerdem fällt der Lichtstrahl um so schräger, je weiter die Lichtquelle entfernt ist. Die Formel $T = \left(\frac{1}{\sqrt{s^2+1}}\right)^3$ gibt die Intensitäten für jeden Punkt der Platte, wenn man die Intensität für die Fläche bei a durch 1, bei t durch T bezeichnet und die Strecke von $at = s$ ist.

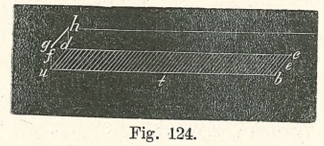


Fig. 124.
Stolzes Empfindlichkeitsmesser.

Werden z. B. zwei Emulsionsplatten nacheinander im Apparate belichtet und entwickelt, so geht die Wirkung bei der empfindlicheren weiter nach *bc* zu; die eine Hälfte *efdc* wird ganz ohne Lichtwirkung sein. Die Empfindlichkeiten verhalten sich umgekehrt wie die Intensitäten.

Wächter erklärt es als nicht genau, als Normallichtquelle sich eines durch den elektrischen Funken eines Konduktors glühend gemachten Platindrahtes zu bedienen, da 1. die statische Elektrizität äußerst abhängig ist von dem Feuchtigkeitszustande der Atmosphäre, 2. die Schlagweite des Funkens wohl ein Maß für die Spannung, aber nicht für den Wärmeeffekt sei, welcher sehr variiere, und 3. keine leichten Mittel vorhanden sind, sich von dem guten Zustande des Apparates zu überzeugen.

Der Apparat hat nirgends praktische Verwendung gefunden.

1) Phot. Wochenbl. 1881, S. 77 und 92.