

(Aus dem Physiologischen Institut zu Freiburg i. B.)

## Neue Bestimmungen über die Vertheilung der Dämmerungswerthe im Dispersionsspectrum des Gas- und des Sonnenlichts.

Von

Dr. M. SCHATERNIKOFF aus Moskau.

(Mit 4 Fig.)

Die Abhängigkeit der Dämmerungswerthe von der Wellenlänge des Lichtes oder die Helligkeitsvertheilung in einem (bei geringer absoluter Lichtstärke und gut dunkeladaptirtem Auge) farblos gesehenen Spectrum ist schon mehrmals systematisch untersucht worden. Erneute Beobachtungen in dieser Richtung erschienen aber gleichwohl nicht überflüssig, vor Allem, weil die neuerdings ausgebildeten Methoden eine erheblich gröfsere Genauigkeit gestatten als sie in den älteren Versuchen von NAGEL<sup>1</sup> und STARK<sup>2</sup> erreicht werden konnte. Das von STEGMANN<sup>3</sup> benutzte Verfahren hatte vor den früheren hauptsächlich zwei Momente voraus: 1. die Anordnung der zu vergleichenden Felder nach der Methode des Flecks, d. h. Einschließung des einen in das andere, wodurch eine gröfsere Sicherheit der einzelnen Einstellung erzielt wird; 2. die Erleuchtung beider Felder durch dieselbe Lichtquelle, wodurch die Störungen und Schwierigkeiten fortfallen, die beim HELMHOLTZ'schen Farbenmischapparat durch die unvollkommene Constanz der Lichtquellen herbeigeführt werden. Ueberdies war dann auch zu berücksichtigen, daß, wie STEGMANN fand, die Vertheilung der Dämmerungswerthe, wenn auch nur wenig, doch deutlich vom Grade der Adaptation

<sup>1</sup> *Diese Zeitschrift* 12, S. 12.

<sup>2</sup> H. STARK. Diss. Freiburg 1898.

<sup>3</sup> Beschrieben bei v. KRIES, *diese Zeitschrift* 25, S. 225.

abhängen, weshalb es sich empfahl, neuen Ermittlungen von vornherein die Bedingung maximaler Dunkeladaptation zu stellen. Die nachstehend beschriebenen Versuche in dieser Richtung habe ich auf Anregung von Herrn Professor v. KRIES unter seiner sowie des Herrn Professor NAGEL freundlicher Leitung und Berathung ausgeführt.

Das von STEGMANN benutzte Verfahren bedurfte für meine Zwecke einer Ergänzung insofern, als ich die Wellenlänge des den Fleck erleuchtenden homogenen Lichtes systematisch variiren mußte. Es wäre das einfachste gewesen, zu diesem Zwecke das Collimatorrohr des verwendeten gradrichtigen Spektralapparates zu verschieben. Indessen ist diese Methode nur dann zulässig, wenn die Beleuchtung des Spaltes dabei sicher keine Aenderung erfährt. In unserem Falle mußte die Lichtquelle, schon weil sie auch das den Fleck umgebende Feld beleuchten sollte, seitlich vom Collimator und fest aufgestellt werden. Demgemäß hätte eine Verschiebung des Collimators leicht erhebliche Fehler bedingen können und ich habe daher vorgezogen, den Ocularspalt verschiebbar zu machen. — Da für die sehr umfangreichen ins Spiel kommenden Unterschiede die bloße Variirung der Spaltbreiten jedenfalls nicht ausreichend war, so habe ich in die Versuchseinrichtung noch einen Episkotister aufgenommen. Die ganze Anordnung gestaltete sich hiernach folgendermaassen (Fig. 1).

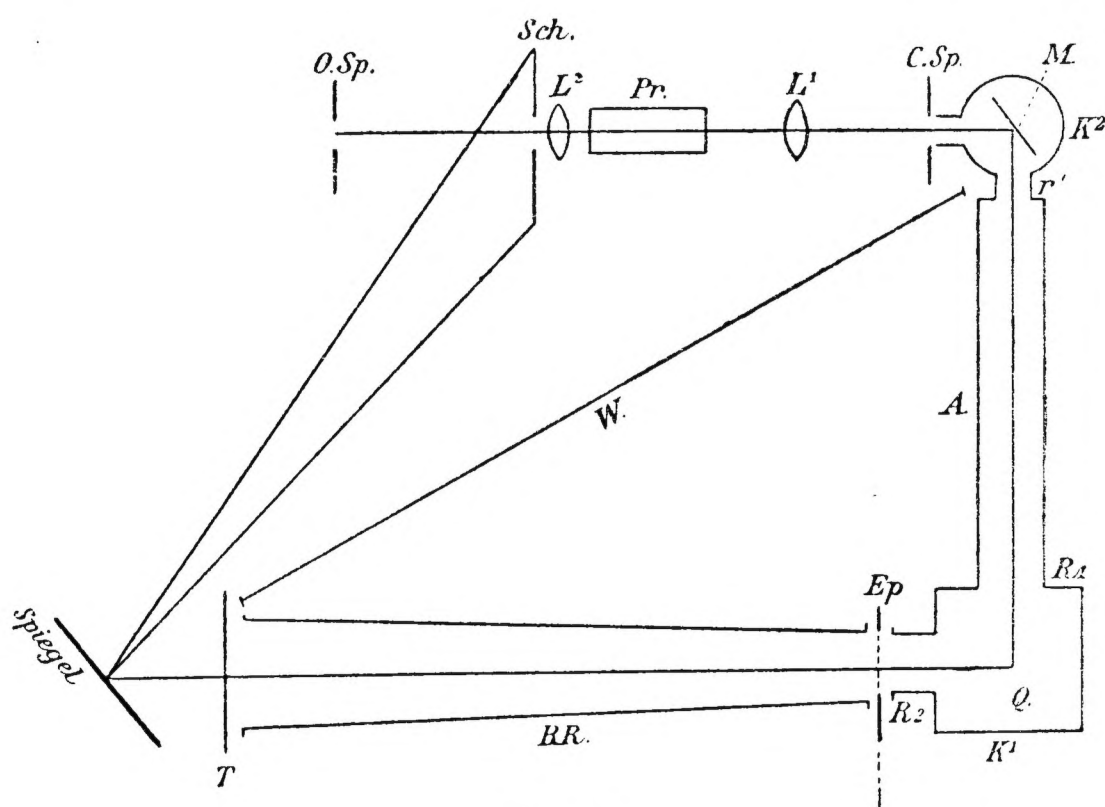


Fig. 1.

Schema der Versuchsanordnung für Gaslicht.  
(Erklärung im Text.)

Als gemeinsame Lichtquelle diente eine kleine Gaslampe (sogen. Puls Lampe) ( $Q$ ), welche in einer Blechlaterne ( $K^1$ ) aufgestellt war, so dass Lichtaustritt nur nach zwei gegen einander senkrechten Richtungen durch entsprechende Röhren ( $R_1$  resp.  $R_2$ ) möglich war.

Wir wollen zuerst den Lichtweg zum Spectralapparat verfolgen. Das Licht von der Lichtquelle aus gelangte durch ein lichtdichtes Rohrsystem ( $R_1$ ,  $A$  und  $r_1$ ) an eine Magnesiumoxydfläche ( $M$ ), welche in einer lichtdichten Metalldose ( $K_2$ ) so aufgestellt wurde, daß das auf sie fallende Licht durch Rohr  $r_2$  in der Richtung nach dem Collimatorspalt ( $CSp$ ) des Spectralapparates hin reflectirt wurde. Ich sehe dabei von der Beschreibung des vielfach schon beschriebenen geradsichtigen Spectralapparates ab, füge nur hinzu, daß in der Figur 1  $L^1$  die Collimatorlinse,  $Pr$  das geradsichtige Prisma,  $L^2$  Objectivlinse und  $OSp$  Ocularspalt bedeuten. Die Fläche der Linse  $L^2$  erscheint dem Beobachter, welcher durch den Ocularspalt hindurch diese Fläche betrachtet, von einem oder anderen homogenen Lichte je nach Einstellung des Ocularspaltes erleuchtet. Vor der Linse  $L^2$  wurde ein weißes Cartonblatt ( $Sch$ ), das in der Mitte eine kreisrunde Oeffnung hatte, angebracht. In dieser Weise hatte man also das Feld mit einem in der Mitte des Feldes sich befindenden Flecke, welcher von einem zu vergleichenden Lichte beleuchtet werden konnte, wobei die Intensität dieses Lichtes durch entsprechende Verengerung und Erweiterung des Collimatorspaltes, mit Hülfe eines Schnurlaufes sehr bequem variirt werden konnte. Die Spaltweiten wurden an einer von einem elektrischen Lämpchen nach Bedarf zu beleuchtenden Trommeltheilung abgelesen. Die Zahlen konnten durch eine passend aufgestellte Linse vom Beobachtungsplatze aus gesehen werden. Ich komme nunmehr zu der Beleuchtung des Feldes mit dem Vergleichslichte. Zu diesem Zwecke war der Spiegel ( $Spieg$ ) so aufgestellt, daß er das Licht der Lichtquelle direct auf das Cartonblatt ( $Sch$ ) reflectirte. Es wurde, um alles unnöthige Licht von dem Beobachter fernzuhalten, auf der Verlängerung des Ansatzrohres  $R_2$  der Laterne ein lichtdichtes Blechrohr ( $BR$ ) aufgesetzt, dessen eine dem Spiegel zugewandte Oeffnung mit schwarzem Sammt ( $T$ ) bedeckt worden war und nur während einer Einstellung selbst geöffnet wurde. Zwischen den Röhren  $R_2$  und  $BR$  befand sich der Episkotister ( $Ep$ ) aufgestellt, so daß man durch Variirung des Aus-



schnittes der Episkotisterscheibe die Intensität des auf den Spiegel fallenden Lichtes bequem reguliren konnte. Es bleibt nur übrig, zu erwähnen, daß der Beobachter durch den Sammtvorhang (*W*) vollständig gegen störendes Licht geschützt worden war.

Die Aufgabe des Beobachters bestand darin nach mindestens 1 Stunde langer Dunkeladaptation, genaue Gleichungen zwischen den farblos gesehenen homogenen Lichtern verschiedener Wellenlänge und dem Lichte der Pulslampe, welches als Vergleichslicht gewählt worden war, einzustellen. Bei diesen Versuchen wäre es wohl wünschenswerth gewesen, eine und dieselbe Spaltweite des Collimators während einer das ganze Spectrum umfassenden Beobachtungsreihe beizubehalten und nur die Intensität des Vergleichslichtes entsprechend zu variiren. Die in dieser Weise gemachten Bestimmungen der Intensität des Vergleichslichtes könnten ohne Weiteres in eine „Curve der Helligkeitswerthe“ zusammengestellt werden. Es ist aber leicht zu sehen, daß man in diesem Falle bei sehr ungleicher Helligkeit der spectralen Lichter die Intensität des Vergleichslichtes in weiten Grenzen und sehr fein variiren müßte, was praktisch, besonders ohne dabei die Kraft der Lichtquelle selbst zu ändern, sehr schwer zu erreichen ist.

Es wurde deshalb die Beleuchtung des Cartonblattes (*Sch*) während der Beobachtungsreihe so geändert, daß man stets möglichst wenig von einander abweichende Spaltweite des Collimators benutzte. Wurde also beim Uebergang zu dunkleren Theilen des Spectrums der Spalt zu breit, so ging man zu einer Scheibe des Episkotisters mit kleinerem Ausschnitt, beim Uebergang zu helleren Theilen des Spectrums ging man zu einer Scheibe mit größerem Ausschnitt oder ließ man den Episkotister ganz fort. Dadurch gelang es, sich in den Grenzen zwischen 15 und 30 der Mikrometertheilung zu halten und nur bei Lichtern von der Wellenlänge über  $650\ \mu\mu$  war es nothwendig zu noch größeren Spaltweiten, bis 50—70, überzugehen, obwohl dabei die Episkotisterscheibe nur mit dem Sector von  $3^\circ$  angewandt wurde.

Bei gegebenen Episkotistereinstellungen und Spaltweiten war es nachher leicht, die gleichwerthigen Spaltbreiten und daraus die Helligkeitswerthe der betreffenden Lichter zu berechnen.

Es muß noch, ehe ich zu der Mittheilung der Resultate selbst übergehe, hinzugefügt werden, daß die Graduirung des

Spectralapparates in üblicher Weise durch die Aufsuchung der Lage der Li, Na, Tl, Sr und Hg(407  $\mu\mu$ )-Linien geschah. Die Bestimmung der Hg-Linie wurde mit Hülfe der ARONS-schen Quecksilberbogenlampe ausgeführt. Aus der Lage der eben genannten Linien war nach dem Vorgange von KÖNIG und DIETERICI<sup>1</sup> eine Tabelle für die den Theilstrichen der Scala entsprechenden Wellenlängen auf Grund der CAUCHY'schen Dispersionsformel ausgerechnet. Es versteht sich von selbst, daß vor und nach jeder Beobachtungsreihe die Lage der Na-Linie controlirt wurde. Die Beobachtung selbst wurde so ausgeführt, daß man nach eine Stunde langer Dunkeladaptation die Gleichungen für alle in nächstfolgender Tabelle angeführte Spectrallichter successive einstellte. Jede einzelne Gleichung wurde immer zweimal eingestellt, indem man einmal von hellerem Feld und dunklerem Fleck, sodann von dunklerem Feld und hellerem Fleck ausging. Die Mittelzahl aus diesen zwei Einstellungen wurde als erstes Resultat angenommen. Dann nach  $\frac{1}{2}$  stündiger Ruhepause (ohne natürlich dabei die Dunkeladaptation zu unterbrechen) wiederholte man die Bestimmungsreihe von Neuem und die mittleren Zahlen aus den Resultaten zweier Bestimmungsreihen galten als endgültiges Resultat der Beobachtungsreihe.

In der Tabelle I sind die mittleren Zahlen der fünf Beobachtungsreihen zusammengestellt. In der ersten Columne ist der spectrale Ort der homogenen Lichter, in der zweiten sind die diesen Lichtern entsprechende Dämmerungswerthe aufgeführt.

Von älteren Versuchsergebnisse ähnlicher Art, die zum Vergleich mit den meinigen herangezogen werden konnten, kamen hauptsächlich diejenigen in Betracht, die v. KRIES und NAGEL mitgetheilt haben. Diese geben (a. a. O. S. 12) eine Curve, die einer von ihnen für vorzugsweise zuverlässig gehaltenen Versuchsreihe angehört, außerdem sind noch durch Kreuze „die mittleren Ergebnisse zahlreicher älterer Bestimmungen“ angegeben. In der graphischen Darstellung (Fig. 2) giebt die ausgezogene Linie meine Ergebnisse; dieser sind zum Vergleich die beiden eben erwähnten Zusammenstellungen von v. KRIES und NAGEL hinzugefügt (unterbrochene Curve und Kreuze). Meine Resultate stimmen, wie man sieht, mit den letzteren fast genau zusammen,

<sup>1</sup> A. KÖNIG und C. DIETERICI. Die Grundempfindungen in normalen und anormalen Farbensystemen und ihre Intensitätsvertheilung im Spectrum. *Diese Zeitschrift* 4, S. 246.

Tabelle I.

Spectraler Ort der homogenen Lichter $Li_{\alpha} = 0$		Dämme- rungs- werthe	Spectraler Ort der homogenen Lichter $Li_{\alpha} = 0$		Dämme- rungs- werthe
0	(670,8 $\mu u$ )	18,0	11	(529,3 $\mu u$ )	2736,0
1	(651,8)	36,5	12	(522,3)	2532,3
2	(634,3)	83,3	13	(515,4)	2219,3
3	(618,1)	216,9	14	(508,7)	1944,0
4	(603,1)	423,2	15	(502,2)	1475,8
5	(589,3)	881,7	17	(490,0)	1016,0
6	(577,1)	1424,9	19	(478,6)	633,0
7	(566,4)	2110,7	21	(468,0)	364,5
8	(556,0)	2609,7	23	(458,7)	208,8
9	(546,0)	2899,0	25	(451,1)	111,2
10	(537,2)	3000,0	27	(443,9)	69,6

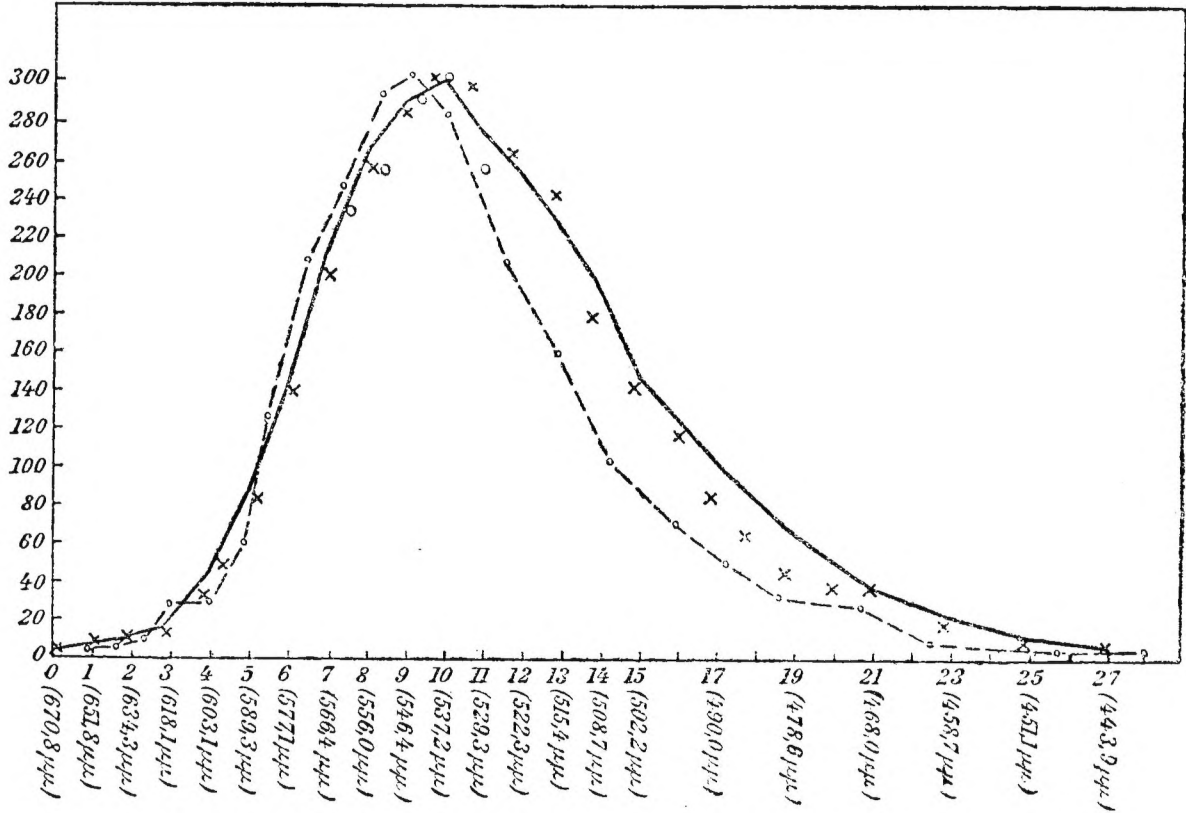


Fig. 2.

Vertheilung der Dämmerungswerthe im Dispersionsspectrum  
des Gaslichts.

———— meine Beobachtungen, ..... Beobachtungen von  
W. NAGEL, ×××××××× und oooooooooo andere Beobachtungen von  
W. NAGEL. (s. Text.)

während sie von den ersteren ein wenig differiren. Im Ganzen  
aber darf die Uebereinstimmung wohl eine sehr gute genannt  
werden und man wird hierin eine Bestätigung dafür erblicken  
dürfen, dafs auch die früher benutzten umständlicheren und mit  
manchen Schwierigkeiten behafteten Methoden bei sorgsamem  
Verfahren recht gute Resultate geben konnten. Von einer Er-  
örterung der Gründe auf die die kleinen sich herausstellenden



Abweichungen, namentlich die bei mir etwas mehr nach rechts geschobene Lage des Curvengipfels etwa zurückzuführen sein mögen, glaube ich umsomehr absehen zu dürfen als spätere speciell auf die Gegend des Gipfels erstreckte Versuche<sup>1</sup> auch Herrn NAGEL Werthe lieferten, die mit den meinigen fast vollkommen übereinstimmen. Ich habe diese Werthe in der Fig. 2 durch kleine Nullen angedeutet.

Mangelhaft ist die Uebereinstimmung in den Endstrecken des Spectrums, und ich möchte bemerken, daß ich hier auch für meine Werthe keine unbedingte Zuverlässigkeit mehr in Anspruch nehmen kann. Die für die Zerlegung des Lichtes unentbehrlichen optischen Hülfsmittel geben nämlich unter allen Umständen eine gewisse Menge diffusen Lichtes, welches sich überall dem zu untersuchenden spectralen beimischt und für die schon sehr lichtschwachen Endstrecken des Spectrums gröfsere Fehler bedingen kann.

Im Anschluß an die Untersuchung des Gaslichtsspectrums habe ich nach derselben Methode auch das Dispersionsspectrum des Sonnen- resp. Tageslichtes untersucht. Die Versuchsanordnung ist in der Fig. 3 schematisch abgebildet.

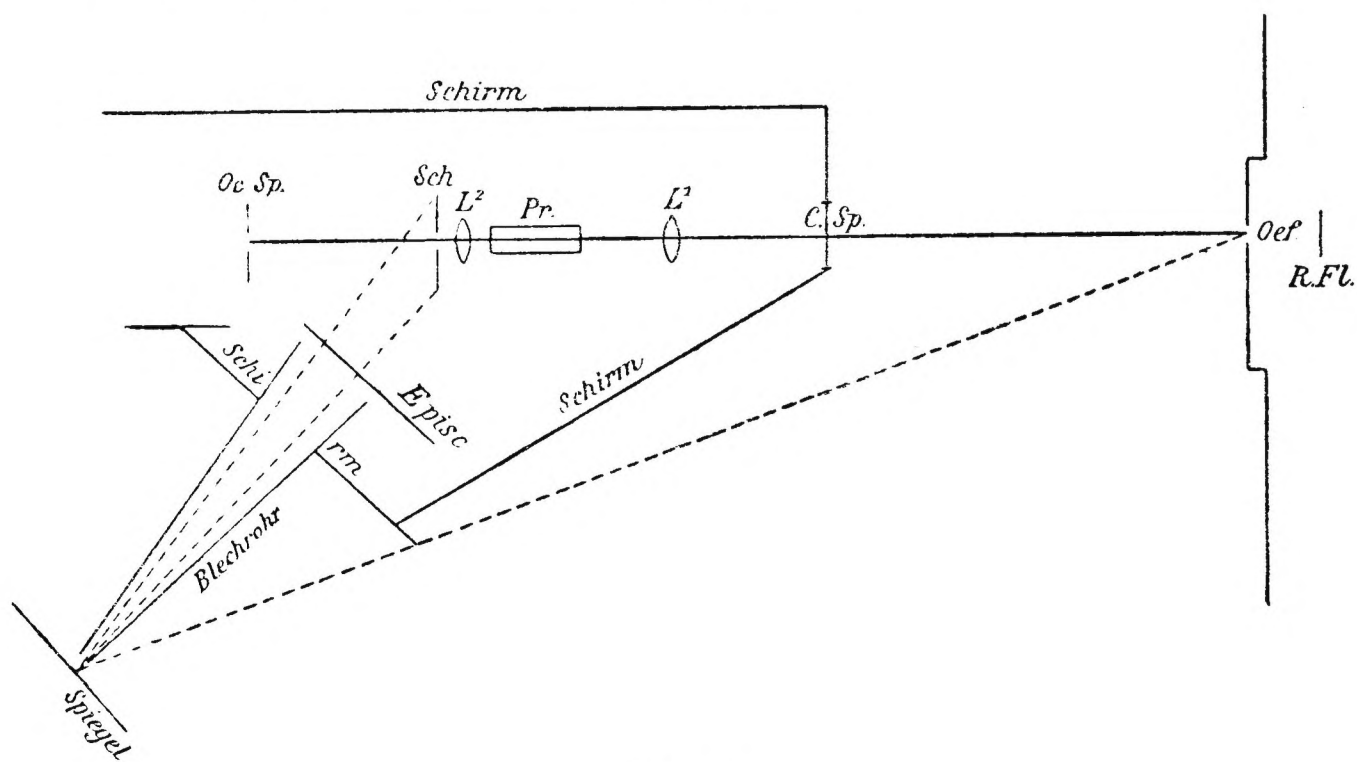


Fig. 3.

Schema der Versuchsanordnung für Tages- resp. Sonnenlicht.  
(Erklärung im Text.)

Eine Magnesiumoxydfläche (*R Fl*) war aussen auf dem Fenstergesims aufgestellt und reflectirte das Licht durch eine im Fenster-

<sup>1</sup> Mitgetheilt bei STARK a. a. O. S. 21.

laden sich befindende und mit Irisdiaphragma versehene kreisrunde Oeffnung (*Oef*) in das Beobachtungszimmer. Die Oeffnung war mit Mattscheibe bedeckt und diente in dieser Weise als Lichtquelle. Die ganze übrige Versuchsanordnung ist aus der Fig. 3 leicht zu ersehen. Es ist kaum nöthig zu erwähnen, daß der Beobachter durch entsprechend aufgestellte Schirme und Vorhänge gegen das Einfallen des Lichtes aufs sorgfältigste geschützt war.

Es wurden zwei Reihen der Beobachtungen ausgeführt: in der ersten wurde die Magnesiumoxydfläche nur vom blauen Himmelslicht, in der zweiten direct von der Sonne beleuchtet.

Die mittleren Zahlen dieser Versuchsreihen nebst Angaben des spectralen Ortes des betreffenden Lichtes sind in der Tabelle II zusammengestellt.

Tabelle II.

Spectraler Ort der homogenen Lichter $Li_{\alpha} = 0$	Dämmerungswerthe	
	Blaues Himmels- licht	Directes Sonnenlicht
0 (670,8 $\mu\mu$ )	7,7	5,9
1 (651,8)	12,5	10,5
2 (634,3)	22,2	33,3
3 (618,1)	70,7	86,3
4 (603,1)	189,0	214,4
5 (589,3)	411,0	459,0
6 (577,1)	725,0	752,0
7 (566,4)	1369,0	1535,0
8 (556,0)	2019,0	1933,0
9 (546,0)	2578,0	2546,0
10 (537,2)	3000,0	3000,0
11 (529,3)	3213,0	3353,0
12 (522,3)	3060,0	3067,0
13 (515,4)	2959,0	2833,0
15 (502,2)	2758,0	2460,0
17 (490,0)	2067,0	1935,0
19 (478,6)	1497,5	1205,0
21 (468,0)	1224,0	945,0
23 (458,7)	830,0	658,0
25 (451,1)	580,0	399,0
27 (443,8)	299,0	212,0
29 (437,0)	160,0	112,0
31 (430,4)	69,0	46,0



Figur 4 giebt eine graphische Veranschaulichung der in der Tabelle II dargestellten Resultate.

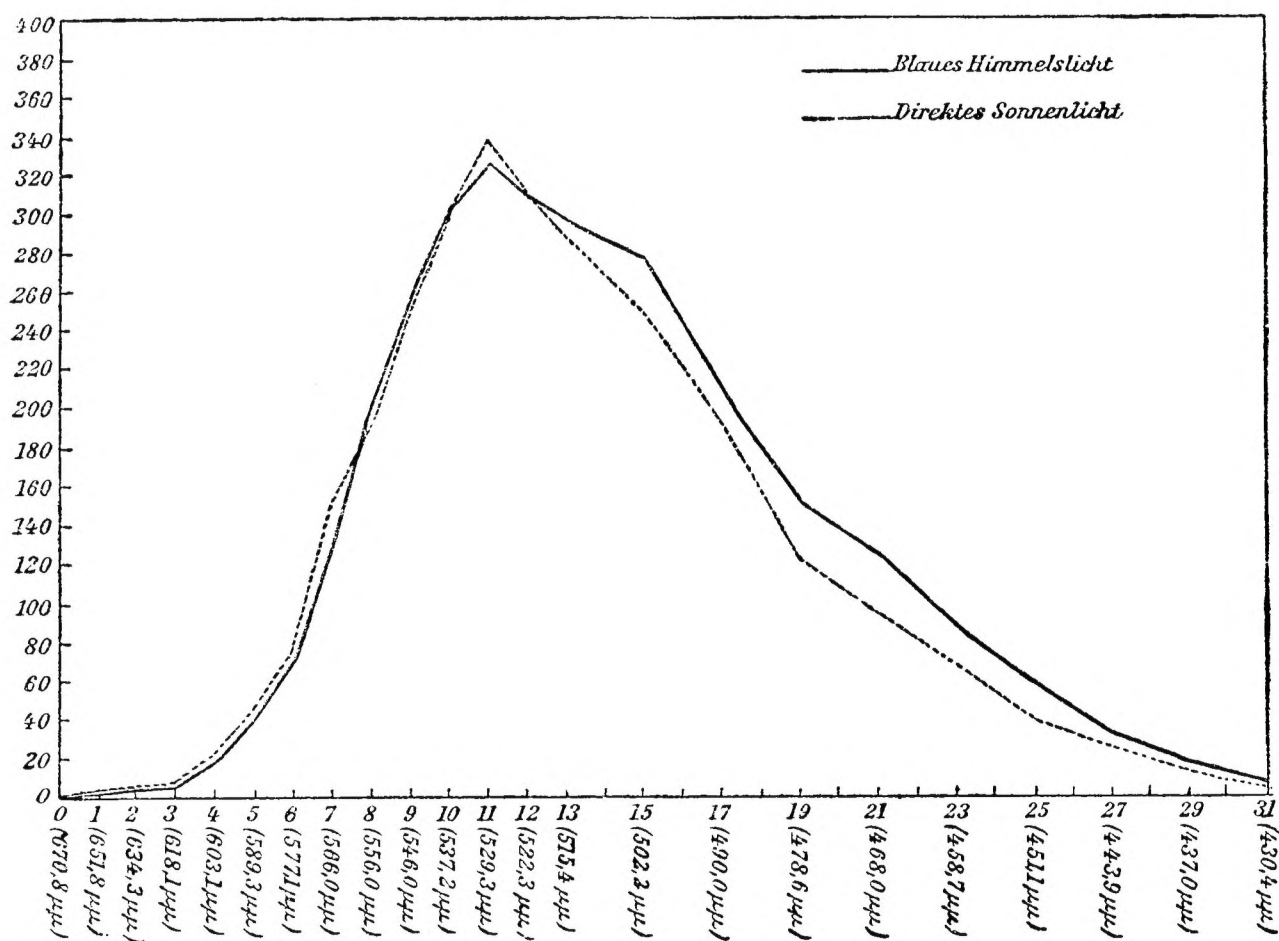


Fig. 4.

Vertheilung der Dämmerungswerthe im Dispersionsspectrum des Sonnen- (resp. Tages-) Lichtes.

————— Magnesiumoxydfläche von blauem Himmelslicht bestrahlt,  
 ..... desgl., direct von der Sonne beschienen.

Wie der Vergleich der Curven zeigt, ist deren Gang in der linken Hälfte fast der gleiche, in der rechten dagegen weicht er auseinander derart, daß die dem directen Sonnenlichte zugehörige Curve steiler abfällt, als die des blauen Himmelslichtes.

Bei dem Vergleich der Curve der Fig. 2 mit denen der Fig. 4 sieht man, daß das Maximum der letzten erheblich nach rechts verschoben ist und bei dem Lichte von 529,3  $\mu\mu$  Wellenlänge liegt, worin der bekannte Unterschied des Gas- und des Sonnenlichtes sich ausdrückt.

(Eingegangen am 8. Juni 1902.)