**5. Das Absorptionsvermögen einiger Gläser im photographisch wirksamsten Teile des Spektrums;
von A. Pflüger.**

Für die Konstruktion photographischer Fernrohrobjektive ist die Kenntnis des Absorptionsvermögens der benutzten Glasarten von höchster Wichtigkeit. Will man nämlich die Lichtstärke des Objectives durch Vergrößerung seines Durchmessers möglichst groß machen, so entsteht die Frage, wie weit dieser Gewinn durch die Absorption der mit größerem Durchmesser auch dickeren Glasmasse der Linse wieder kompensiert wird. Da über diesen Punkt nur wenige¹⁾, und nicht genaue Messungen vorliegen, habe ich mir die Aufgabe gestellt, das Absorptionsvermögen einiger wichtiger Glassorten, die mir die Firma Schott & Genossen freundlichst zur Verfügung stellte, möglichst sorgfältig zu bestimmen.

Als Strahlungsmesser diente die Thermosäule. Die Versuchsanordnung ist die folgende. Im Brennpunkt einer achromatischen Linse L_1 befindet sich die Lichtquelle J . Das aus der Linse L_1 austretende parallele Strahlenbündel wird durch eine zweite ebensolche Linse L_2 zu einem scharfen Bilde der Lichtquelle auf dem Spalt s eines Spektrometers vereinigt (vgl. Fig. 1). Im Okular des letzteren ist eine Rubenssche Thermosäule angebracht. Der Teilkreis des Apparates ist in der üblichen Weise auf Wellenlängen geeicht. Die verschiedenen Spektralpartien werden durch Drehung des Fernrohres mit der Thermosäule zur Deckung gebracht, wobei das Prisma automatisch im Minimum der Ab-

Fig. 1.

1) Vgl. besonders H. C. Vogel, Sitzungsber. d. k. Akad. d. Wissensch. zu Berlin II. p. 1219. 1896.

lenkung erhalten wird, und ein vor der Thermosäule befindlicher, $\frac{1}{2}$ mm breiter Spalt die betreffende Partie des Spektrums ausblendet. Eine Reihe von Blenden im Kollimator- und Fernrohre mindert den Einfluß der diffusen Strahlung herab. Die Messung des Thermostromes erfolgt vermittelt eines du Bois-Rubensschen Panzergalvanometers.

Das zu untersuchende Glas wird in Form einer, mehrere Zentimeter dicken Platte P in den parallelen Strahlengang zwischen die Linsen gebracht, und zwar senkrecht zur Richtung der Strahlen. Hauptbedingung ist bei dieser Anordnung, daß die Platte genügend planparallel geschliffen ist, um den Strahlengang nicht merklich zu stören. Wir messen nun die Intensität der Strahlung innerhalb eines bestimmten Spektralgebietes einmal ohne, ein zweites Mal mit eingeschalteter, also absorbierend wirkender Platte. Die erstere Größe heiße J_e , die zweite J_a .

Wir müssen dann weiter den Betrag der an den Oberflächen der Platte reflektierten Intensität kennen. Für senkrechten Auffall des Lichtes und für den Brechungsindex ν des Glases berechnet sich für *eine* Fläche der Betrag der reflektierten Intensität R aus der bekannten Formel:

$$R = \left(\frac{\nu - 1}{\nu + 1} \right)^2.$$

Es tritt also in die Glasplatte ein die Intensität:

$$J_e(1 - R).$$

Auf dem Wege durch die Platte unterliegt nun die Strahlung der Absorption. Bezeichnen wir mit A das prozentische Absorptionsvermögen, mit d die Dicke der Platte in Zentimetern, so gelangt an die Hinterfläche die Intensität:

$$J_e(1 - R)(1 - A)^d.$$

An der Hinterfläche wird wiederum ein Teil reflektiert, sodaß die aus dem Glase austretende, zu messende Intensität gegeben ist durch den Ausdruck:

$$J_a = J_e(1 - R)^2(1 - A)^d,$$

woraus A berechnet werden kann. Den Einfluß der weiteren Reflexionen, bei mehrfachem Hin- und Hergang des Lichtes durch die Platte, lassen wir außer acht, da er den Versuchsfehlern gegenüber zu geringfügig ist.

Zu der Versuchsanordnung ist folgendes zu bemerken. Als Lichtquelle diente für die Messungen im sichtbaren Spektrum ein großer Nernstscher Glühkörper für ein Ampère Stromstärke. Der Glühfaden desselben ist ca. 1 mm dick; sein Bild ist also erheblich breiter als das des Kollimatorspaltes, der im höchsten Falle auf 0,5 mm erweitert wurde. Bei der großen Lichtstärke der, weiter unten noch zu beschreibenden, Spektralanordnung, und der hohen Empfindlichkeit des Galvanometers reichte die Intensität der Strahlung vollkommen aus, um noch bei $\lambda = 415 \mu\mu$ mit 0,1 mm Breite des Kollimatorspaltes 30 Skt. Ausschlag zu erhalten. Bei der Wellenlänge $\lambda = 388 \mu\mu$ muß indessen der Spalt auf etwa 0.5 mm verbreitert werden, wenn man einen ebensolchen Ausschlag erhalten will. Dadurch wird aber das Spektrum unrein, und es können bei solchen Glassorten, deren Absorptionsvermögen in dieser Region schnell abfällt, erhebliche Messungsfehler entstehen. Denn bei der geringen Dispersion des verwendeten Quarzprismas treffen dann sehr verschiedene, verschieden stark absorbierte Strahlen auf die Thermosäule. Von diesen überwiegen die langwelligeren, an sich schon intensiveren, aber auch schwächer absorbierten den Einfluß der kurzwelligeren so sehr, daß der Wellenlängenschwerpunkt zu weit nach längeren Wellen verschoben wird.

Infolgedessen wurde der Nernstbrenner bis zur Wellenlänge 388 nur für solche Glassorten verwandt, deren Absorption in dieser Spektralregion relativ gering ist, und wenig mit der Wellenlänge variiert. Im übrigen diente als Lichtquelle eine Siemensche Kontaktbogenlampe mit festem Brennpunkt. Der Lichtbogen zeigt bei der Wellenlänge 388 eine sehr starke, bei 357 eine schwächere Bande, deren Wärmewirkung sehr beträchtlich¹⁾ ist. Bei meiner Anordnung genügt für

1) H. Kayser u. C. Runge, Wied. Ann. 38. p. 90. 1889; B. W. Snow, Wied. Ann. 47. p. 227. 1892; E. Hagen u. H. Rubens, Ann. d. Phys. 8. p. 1. 1902.

$\lambda = 388 \mu\mu$ eine Spaltbreite von $\frac{1}{100}$ mm, um einen Ausschlag von 50 Skt. zu erzielen. Bei $\lambda = 357 \mu\mu$ muß indessen der Spalt auf 0,5 mm verbreitert werden. Aus den eben erwähnten Gründen sind daher, insbesondere für die stärker absorbierenden Glassorten, die gemessenen Absorptionsvermögen bei $\lambda = 357 \mu\mu$ etwas zu klein. Da die photographische Wirkung dieser Region schon gering, und das Absorptionsvermögen der meisten Gläser hier sehr groß ist, kommt diese Region praktisch nicht so sehr in Betracht, und ich habe daher auf eine Bestimmung von ähnlicher Exaktheit wie für die übrigen Wellenlängen verzichtet. Ich hätte dazu die Glaslinsen des Apparates vermeiden, und sie durch achromatische Quarz-Flußspatlinsen oder große Hohlspiegel ersetzen müssen, die mir nicht zur Verfügung standen.

Die Bogenlampe hat gegenüber dem Nernstbrenner den großen Nachteil, daß ihre Strahlung inkonstant ist. Indessen lassen sich unter Beachtung geeigneter Vorsichtsmaßregeln, wie ich schon früher gefunden habe ¹⁾, ganz brauchbare Resultate erzielen. Als Elektroden zeichnen sich A-Kohlen von Gebr. Siemens, Charlottenburg, durch besondere Ruhe des Lichtes aus.²⁾ Die Kontaktlampe hat ein Uhrwerk, das je nach der Stärke des Stromes, etwa jede Minute den Abstand der Kohlen reguliert, und diesen Zeitpunkt durch ein gut hörbares Schnurren der Zahnräder anzeigt. Beobachtet man den Galvanometerausschlag, so zeigt sich, daß ungefähr während der ersten Hälfte der Pause zwischen zwei Regulierungen die Intensität konstant bleibt, oder nur wenig nach einer Richtung sich verändert. Diese Zeit genügt, um drei Ablesungen — die erste und dritte ohne, die zweite mit eingeschalteter Platte — zu machen. Aus 1 und 3 wird dann das Mittel genommen; sie differieren gewöhnlich nur um wenige Prozent.

Zum Abblenden der Strahlen diene für die Messungen vom Grün bis zum Ultraviolett eine rote Glasscheibe³⁾, für das Rot und Gelb ein Metallschirm. Das rote Glas läßt den Einfluß der sehr intensiven roten, diffusen Strahlung auch

1) A. Pflüger, Wied. Ann. **65**, p. 190. 1898.

2) E. Hagen u. H. Rubens, Ann. d. Phys. **8**, p. 1. 1902.

3) l. c.

nach der Abblendung der zu messenden Strahlen bestehen. Der Nullpunkt bezieht sich also auf diesen stationären Zustand, und die aus dem Einfluß der diffusen Strahlung entstehenden Fehler werden erheblich verringert. Die ultrarote Strahlung wird durch ein planparalleles, mehrere Zentimeter dickes Wassergefäß unschädlich gemacht.

Wie schon erwähnt, bestehen die vier Linsen der Anordnung aus Glas. Es sind Steinheilsche Objekte von 6 cm Durchmesser und 28 cm Brennweite, also von sehr großer Lichtstärke. Ein großes Flintglasprisma, welches diese Linsen auszunützen gestattet hätte, erwies sich im Ultraviolett als zu stark absorbierend. Ich ersetzte es daher durch Quarz. Hr. Hans Hauswaldt in Magdeburg stellte mir zwei vorzügliche gleichseitige Cornusche Prismen zur Verfügung, wofür ich ihm auch an dieser Stelle meinen besten Dank ausspreche. Ein drittes, von gleichem Winkel, aber nicht gleicher Güte, befand sich in der Sammlung des Instituts. Die drei Prismen wurden auf dem Tischchen des Spektrometers übereinander aufgebaut, und so justiert, daß sie die Strahlung um denselben Winkel ablenkten. Dies ließ sich mit genügender Genauigkeit, innerhalb der Grenzen der übrigen Versuchsfehler, machen, und es gelang so, etwa $\frac{2}{3}$ des Linsenquerschnittes auszunützen.

Im Panzergalvanometer wurde das leichtere Magnetgehänge benutzt. Die gewöhnlich benutzte Empfindlichkeit betrug (bei 2,30 m Skalenabstand, 2,7 Ohm Spulenwiderstand) 1 Skt. pro $1 \cdot 10^{-10}$ Amp.

Leider machte sich bei den Messungen die schlechte Beschaffenheit des physikalischen Instituts in sehr unangenehmer Weise bemerkbar. Das Galvanometer hing zwar an einer Juliusschen Aufhängung, und war zum Schutz gegen Luftzug in ein bis zur Decke des Zimmer reichendes Gehäuse eingebaut. Es gelang auf diese Weise aber nicht, die Erschütterungen so herabzumindern, daß man $\frac{1}{10}$ mm hätte ablesen können. $\frac{1}{2} - \frac{1}{3}$ mm war das Höchsterreichbare, immerhin eine in Anbetracht der großen Ausschläge ausreichende Genauigkeit. Am schlimmsten erwiesen sich die Störungen durch windiges Wetter. Die Solidität des Baues ist so mangelhaft, daß die Skala bei mittlerem Winde um 2—3, bei einigermaßen heftigen Windstößen um 10 Skt., verursacht durch Schwan-

kungen der Mauern, ausschlägt. Da der verflossene Winter reich an Stürmen war, mußten darum die Beobachtungen mitunter wochenlang ausgesetzt werden.

Die Zuleitung von der Thermosäule zum Galvanometer bestand aus einer weichen, doppelten, gedrehten Schnur, wie sie zu Klingelleitungen verwandt werden. Sie war in Glasröhren verlegt, und durch dicke Watteverpackung geschützt. Ein Stromschlüssel, vollständig aus Kupfer gearbeitet, war eingeschaltet, und ebenfalls dicht eingehüllt. Bei dieser Anordnung habe ich niemals unter Störungen durch Thomsonströme zu leiden gehabt, trotz des geringen Widerstandes der ganzen Leitung, nämlich etwa 7 Ohm (2,7 Ohm der Spulen, 3,8 Ohm der Thermosäule, 0,5 Ohm der Drahtleitung). Solche Störungen traten sofort ein, wenn die Enden der Drahtleitung in Quecksilbernäpfe, aufgestellt auf dem Tragbrett des Galvanometers, frei endigten. Der Schutz, den die letztere Anordnung gegen die Übertragung von Bodenerschütterungen durch die Zuleitung bietet, wird durch die Störungen an den offenen Quecksilber-Kupferkontakten völlig kompensiert. Übrigens habe ich solche Übertragungen von Bodenerschütterungen durch die weiche Schnur kaum bemerkt. Wenigstens verschwanden sie vollständig gegen die Erschütterungen, die von den Mauern des Gebäudes durch die Drähte der Aufhängung auf das System übertragen wurden. Diese konnten bei Vorbeifahrt eines Lastwagens, oder Eisenbahnzuges sehr erheblich werden.

Wie schon bemerkt, setzt die Methode genügende Planparallelität der Glasplatten voraus, da sonst beim Einschieben der Platte in den Strahlengang durch prismatische Ablenkung eine geringe Verschiebung des Bildes erfolgt, und dadurch andere Partien der Lichtquelle mit dem Spalt zur Deckung kommen. Vorsichtshalber wurden die Messungen im sichtbaren Spektrum durch Messungen mittels des Lummer-Brodhunschen Photometers kontrolliert. Bei dieser Art der Messung kommt es ja auf Planparallelität der Platten nicht so sehr an, solange man nicht ein Bild der Lichtquelle auf den Spalt entwirft. Es zeigte sich innerhalb der Versuchsfehler genügende Übereinstimmung. Die photometrische Methode, die ja nahe liegt, habe ich bei dieser Arbeit im sichtbaren Spektrum nicht angewandt, da sie sehr viel anstrengender,

subjektiven Störungen ausgesetzt, und nicht viel genauer ist. Ich ziehe die hier beschriebene Messungsart unter allen Umständen vor.

Selbstverständlich wurden auch die Messungen mit Nernstbrenner und Bogenlampe dadurch verglichen, daß die letzte Messung des Nernstbrenners im äußersten Violett mittels der Bogenlampe wiederholt wurde. Auch hier zeigte sich genügende Übereinstimmung.

Zur Beurteilung der Genauigkeit gebe ich in Tab. 1 eine Messungsreihe von mittlerer Güte wieder.

Tabelle 1.

Galvanometerausschläge J_e und J_d für Glas O. 3192.

Die mit einem * versehenen Werte sind mit der Bogenlampe, die übrigen mit dem Nernstbrenner gewonnen.

Wellenlänge in $\mu\mu$	Spaltbreite in mm	J_e				Mittel	J_d				Mittel	$\frac{J_d}{J_e}$
357*	0,50	22	21	22		21,7	7	7	7		7	0,32
388*	0,02	66,5	68	68,7		66,7	46	48	47		47	0,705
388	0,50	27,5	28	28		27,8	20,3	19,8	20,5		20,2	0,725
415	0,20	55	54	55		54,4	42,2	44	42,5		43	0,79
			53,8					43				
442	0,20	106	104	106		105,3	86,5	86,7	86,7		86,7	0,82
			105,3					87				
500	0,05	91	90	91,7	91,5	91	76,5	77	76,3	77	76,7	0,84
640	0,01	89	89	89		89	76,5	76,7	76,3		76,5	0,86

Wie man sieht, betragen bei Verwendung des Nernstbrenners die Fehler der einzelnen Beobachtung bei größeren Ausschlägen etwa 1 Proz. Dieser Fehler ist hauptsächlich auf das Konto der Erschütterungen zu setzen. Bei vollkommen ruhiger Lage des Galvanometers wird er sich erheblich vermindern lassen. Die Methode ist also großer Genauigkeit fähig.

Tab. 2 gibt die Resultate der Messungen. Das Reflexionsvermögen wurde nur für eine mittlere Wellenlänge, nämlich $\lambda = 434$, berechnet und eingesetzt. Die Zahlen für $\lambda = 640$, wo wegen der geringen Absorption das Reflexionsvermögen

eine große Rolle spielt, sind darum nicht als exakt zu bezeichnen. Sie sollen nur einen ungefähren Anhalt geben.

Tabelle 2.

Das Absorptionsvermögen A verschiedener Glassorten.

Die Zahlen bedeuten die pro 1 cm Glasdicke absorbierte Strahlung in Prozenten.

Wellenlänge in $\mu\mu$	357	388	415	442	500	640
1. Borosilikatkron O. 2831 (144)	4,7	2,5	1,2	—	0,7	0,5
2. Kalksilikatcron O. 3309 (60)	3,4	2,5	1,8	1,4	0,5	0,3
3. Schwerstes Barytkron O. 3192 (1209)	35	9,8	5,2	3,4	2,5	1,6
4. Fernrohrflint O. 3083 (2001)	49	30	12	3,6	0,7	0,7
5. Baryt-Leichtflint O. 2717 (602)	9	6	2,7	—	1,6	—
6. Baryt-Leichtflint O. 3131 (578)	18	8,6	2,5	2,1	0,9	0,5
7. Gew. Silikatflint O. 3234 (103)	28	9,6	4,1	—	0,0	0,0
8. Schweres Silikatflint O. 3096 (102)	41	28	6,9	—	0,9	0,5

Fig. 2.

Das Absorptionsvermögen einiger Glassorten. Die Nummern der Kurven entsprechen denen der Tab. 2.

Die Zahlen der Tabelle und die beistehende Kurventafel (Fig. 2) bedürfen wohl keiner Erläuterung. Sie zeigen die bekannte Tatsache, daß die Krongläser weniger absorbieren wie die Flintgläser, und daß bei letzteren die Absorption bei größeren Wellenlängen plötzlich einsetzt. Für die schwersten Gläser 4 und 8 ist aus den oben angegebenen Gründen das Absorptionsvermögen zu gering gefunden. In dem Knick der Kurven bei 388 macht sich dies deutlich bemerkbar.

Bonn, Physik. Inst. d. Univ., 20. März 1903.

(Eingegangen 24. März 1903.)