

## II. *Untersuchungen über das Wärmespectrum des Sonnen- und Kalklichtes; von S. Lamansky.*

---

Seit der berühmten Entdeckung von Sir William Herschel<sup>1)</sup>, daß die Wärmewirkung des Sonnenspectrums nicht im Roth aufhört, sondern im Gegentheil erst jenseits des letzteren ihr Maximum erreicht, sind mehrere Untersuchungen über die Vertheilung der Wärme im Sonnenspectrum veröffentlicht worden. Der größte Theil dieser Arbeiten ist sogar mit viel feineren Untersuchungsmitteln ausgeführt worden, als jenem berühmten Astronomen zu Gebote standen, wir müssen jedoch anerkennen, daß trotzdem seit dieser Herschel'schen Entdeckung unsere Kenntnisse über den ultrarother Theil des Sonnenspectrums noch sehr wenig erweitert sind, und daß von allen drei Theilen des Sonnenspectrums der ultrarother uns gerade am wenigstens bekannt ist.

Sämmtliche Forscher, welche gleich nach W. Herschel das Wärmespectrum der Sonne zum Gegenstand ihrer Untersuchung gemacht haben, waren hauptsächlich bemüht, die Lage des Maximums der Wärmewirkung im Sonnenspectrum und ihre Abhängigkeit von der Substanz (Seebeck)<sup>2)</sup> und der Dicke (Melloni)<sup>3)</sup> der durchstrahlten Prismenschicht zu ermitteln. So wurde von Melloni, der zuerst das Sonnenlicht mittelst eines Steinsalzprismas und mit einem Thermomultiplicator untersucht hat, der ultrarother Theil des Sonnenspectrums in sechs, mit den sechs Farben oberhalb Roth, seiner Meinung nach isothermen Zonen getheilt, und sodann in einer jeden derselben die Wärmewirkung beobachtet. Spätere Forscher

1) Herschel, *Philosophical Transaction* 1800.

2) Seebeck, *Schweigger's Jahrbuch der Chemie u. Physik*. Bd. 13.

3) Melloni, *Pogg. Ann.* Bde. 34, 35.

(Masson und Jamin<sup>1)</sup>, Franz<sup>2)</sup>, J. Müller<sup>3)</sup> und Knoblauch<sup>4)</sup> haben sich gleichfalls begnügt, bei ihren Untersuchungen der Wärmevertheilung im Sonnenspectrum die Wärmewirkung des ultrarothten Theiles nur auf einigen Stellen zu prüfen, indem sie ihre lineare Thermokette längs des ganzen ultrarothten Theiles nur 4 bis 6 Mal verschoben und die betreffenden Ablenkungen am Thermomultiplicator abgelesen haben. Es ist noch sehr wichtig hervorzuheben, daß in allen Versuchen der genannten Forscher, wie es wenigstens aus ihren eigenen Angaben zu schliessen ist, das Spectrum nicht rein war, da sie mit verhältnißmäßig breitem Spalt gearbeitet haben. Die genannten Forscher kamen in ihren Untersuchungen, abgesehen von der verschiedenen Lage des Maximums der Wärmewirkung, übereinstimmend zu dem Resultate, daß die Wärmewirkung des Sonnenspectrums von der Gränze des Ueberganges des Indigo in Violett, allmählig gegen Roth zunimmt, bis sie jenseits des letzteren ihr Maximum erreicht, dann wieder allmählig abnimmt. Diese Forscher kamen somit zu demselben Resultate, zu welchem bereits vor 70 Jahren Sir W. Herschel in seinen Versuchen mit dem Glasprisma und Thermometer gelangt war.

Außerdem haben einige Physiker die Wärmewirkung an verschiedenen Stellen des Sonnenspectrums sowohl mit durchsichtigen Körpern (Masson und Jamin, Knoblauch), als auch mit farbigen Flüssigkeiten (Franz) und Gläsern, (Masson und Jamin) untersucht, und sollen zu dem Resultate gelangt seyn, daß die Wärmestrahlen innerhalb des leuchtenden Theils, von dem durchsichtigen Körper gleich gut durchgelassen werden. Ferner soll den genannten französischen Physikern eine, in Bezug auf die Absorption des Lichtes und der leuchtenden Wärme mit farbigen Gläsern vorgenommene quantitative Messung,

1) *Masson et Jamin. Compt. rendus, T. 35. p. 14.*

2) *Franz, Pogg. Ann. Bd. 101, S. 46 und Bd. 115, S. 278.*

3) *J. Müller, Pogg. Ann. Bd. 105.*

4) *Knoblauch, Pogg. Ann. Bd. 120, S. 122.*

völlige Uebereinstimmung zwischen dem Lichte und der im leuchtenden Theile des Spectrums vorhandenen Wärme ergeben haben. Da aber diese Physiker keine Angaben über die photometrische Methode, deren sie sich bei diesen Untersuchungen bedient haben, gemacht, so möchte ich doch sehr bezweifeln, ob solche Versuche mit farbigen Gläsern, die doch keine homogene Strahlen durchlassen, überhaupt zu einem sicheren Resultate führen können. — Meines Wissens existirt bis jetzt noch keine photometrische Methode, mittelst deren es möglich wäre, die Absorption der einzelnen homogenen Lichtstrahlen genau zu messen.

Wohl besitzen wir eine große Reihe schöner Untersuchungen über die Absorption der dunklen und leuchtenden Wärme von Gasen, Flüssigkeiten und festen Körpern, ausgeführt von bekannten Physikern wie Melloni, Desains und Provostaye, Knoblauch, Magnus und Tyndall, welche dem Studium dieses Gebietes der Physik sich speciell gewidmet haben, aber ich glaube kaum, ob es noch einen anderen Theil der Physik giebt, wo in den Resultaten der einzelnen Forscher so viel Controversen sich befänden, als es gerade hier der Fall ist. Der Grund dieser sich so oft widersprechenden Resultate liegt, wie es mir scheint, nicht nur allein in den Schwierigkeiten, mit welchen der Forscher hier zu kämpfen hat, sondern auch noch in einem Uebelstande, mit welchem fast alle diese Untersuchungen behaftet waren, daß nämlich sämtliche genannten Forscher bei ihren Versuchen meist nur solche Wärmequellen benutzt haben, in welchen die dunklen Wärmestrahlen von den leuchtenden nicht getrennt waren. Als Quelle für die leuchtende Wärme wurde gewöhnlich das Lampenlicht oder der glühende Platindraht und als Quelle für dunkle Wärme entweder ein Metallcylinder mit heißem Wasser, oder eine bis zu einer gewissen Temperatur erwärmte Kupferplatte gewählt. Allein das Licht jeder Lampe oder des glühenden Platindrahtes enthält nicht nur leuchtende, sondern auch eine große Menge von dunklen Strahlen. Ferner sind die von

einem bis zu einer gewissen Temperatur erwärmten Körper ausgesandten dunklen Strahlen nicht von bestimmter, sondern von verschiedener Wellenlänge. Da nun die Wärmestrahlen von verschiedener Wellenlänge von einem und demselben Körper in so ungleichem Maasse absorbiert werden, so ist es wohl zu begreifen, daß die in dieser Weise von verschiedenen Forschern über die Absorption der dunklen und leuchtenden Wärme angestellten Versuche bei einem und demselben Körper zu ganz verschiedenen, einander sich widersprechenden Resultaten führen können.

Vor einigen Jahren wurde von Tyndall<sup>1)</sup> eine Lösung von Jod in Schwefelkohlenstoff als Trennungsmittel der leuchtenden Strahlen von den dunkeln vorgeschlagen, die von ihm und anderen Physikern zu vielen Versuchen über die strahlende Wärme angewandt wurde. Allein wenn durch diese Tyndall'sche Flüssigkeit alle leuchtenden Strahlen unbestreitbar abgehalten werden, so ist doch keineswegs möglich zu behaupten, daß andererseits alle dunklen Strahlen durch dieselbe vollständig durchgelassen werden; wir können somit auch mittelst dieser Flüssigkeit nicht die ganze, von einem leuchtenden Körper ausgesandte Menge der dunklen Wärme erhalten<sup>2)</sup>.

Als einziges und richtiges Verfahren für die Trennung der dunklen Strahlen von den leuchtenden, muß jedoch die Zerlegung des Lichtes mittelst Prisma hingestellt bleiben, und nur die Untersuchung der Wärmewirkung der einzelnen homogenen Strahlen kann uns sichere Resultate versprechen. In den vorliegenden Untersuchungen wurden neue Methoden in Anwendung gebracht, die einerseits den Zweck hatten, ein reines und zugleich seiner Wärmewirkung nach sehr starkes Spectrum darzustellen

1) Tyndall, *Philosophical Transactions*, 1866.

2) Neulich suchte Prof. Garibaldi (*Il nuovo Cimento*, 1870, 3. Serie S. 251) mit der Tyndall'schen Flüssigkeit das Verhältniß zwischen leuchtender und dunkler Wärme in der Weise zu ermitteln, daß er die Wärmewirkung eines durch den galvanischen Strom zum Glühen gebrachten Platindrahtes nach und vor Einschalten der Tyndall'schen Flüssigkeit mit einander verglich.

und andererseits eine genaue Untersuchung der thermischen Wirkung der homogenen Strahlen möglich zu machen. Dank diesen, von meinem hochverehrten Lehrer Hrn. Prof. H. Helmholtz vorgeschlagenen Methoden, ist es mir gelungen, einige neue Thatsachen zu ermitteln, auf die ich mir hier erlaube aufmerksam zu machen.

Bevor ich jedoch zur Auseinandersetzung der von mir gewonnenen Resultate selbst schreiten werde, will ich die Untersuchungsmethode näher beschreiben.

#### Untersuchungsmethode.

Bei der Darstellung eines Spectrums zur Untersuchung der thermischen Wirkung, war vor allem wünschenswerth einen möglichst großen Lichtkegel mittelst eines Prisma zu zerlegen. Zu diesem Behufe wurde folgende Versuchsanordnung getroffen (Fig. 1, Taf. V). Die von dem Helio-statenspiegel ( $H$ ) in horizontaler Richtung reflectirten Sonnenstrahlen, werden mittelst einer Linse ( $L_1$ ) von 3 Zoll Apertur und 25 Zoll Brennweite gesammelt. Im Brennpunkt dieser Linse ist ein  $10^{\text{mm}}$  langer Spalt ( $S_1$ ) eingestellt, dessen Breite mittelst einer Mikrometerschraube variirt werden konnte. Die ausgetretenen Strahlen wurden mittelst eines Flintglasprisma von 2 Zoll Apertur und  $60^\circ 7' 5''$  brechenden Winkel zerlegt, wobei das Prisma so aufgestellt wurde, daß ihre Fläche vollständig von den Strahlen beschienen war. Die so zerlegten Strahlen wurden sodann mittelst einer achromatischen, auf ihre doppelte Brennweite, sowohl von dem Spalt  $S_1$  als auch von dem Spalt  $S_2$  eingestellte Linse ( $L_2$ ) wieder gesammelt. Das so entstandene reine prismatische Sonnenbild war 3 bis 4 Ctm. breit. Bei den Versuchen mit Glasapparaten war die Breite beider Spalten  $\frac{1}{2}^{\text{mm}}$ ; bei den Versuchen mit Steinsalzapparaten dagegen hat dieselbe nur  $\frac{1}{4}^{\text{mm}}$  betragen.

Zum Zwecke der Compensation der Temperatur der Thermokette wurde die letztere in einem Blechkasten eingeschlossen, in dem sich noch ein zweiter kleiner Blechkasten befand, zu welchem das warme Wasser tropfen-

weise zugeführt werden konnte. Der ganze Blechkasten war auf Glasplatten aufgestellt und konnte längs einer Millimeterscala millimeterweise verschoben werden.

Die Thermokette wurde durch dicke Drähte mit einem feinen Thermomultiplicator nach Magnus<sup>1)</sup> verbunden. Dieser Thermomultiplicator ist bekanntlich so eingerichtet, daß ein astatisches Nadelpaar mit einem leichten versilberten Glasspiegel in einer mit sehr starker Dämpfung versehenen Drahtrolle schwingt. Die Ablesung der Ablenkungen geschah mittelst Fernrohr und Scala, welche letztere von dem Spiegel auf 1500<sup>mm</sup> entfernt war.

In allen Versuchen, von welchen weiter unten die Rede seyn wird, wurde eine und dieselbe Anordnung getroffen; — nur in Versuchen mit Kalklicht war die Scala auf 2500<sup>mm</sup> von dem Spiegel entfernt. —

Um einen Begriff von der Empfindlichkeit meines Thermomultiplicators zu geben, führe ich an, daß ein einfacher Bunsen'scher Brenner auf 55<sup>cm</sup> Entfernung von dem  $\frac{1}{2}$ <sup>mm</sup> breiten Spalt der Thermokette, eine Ablenkung der Magnetnadel auf 68 Scalentheile bewirkt hatte. Ich will noch hervorheben, daß die Glasapparate von Hrn. Steinheil in München verfertigt und die Steinsalzapparate in denselben Dimensionen, wie die Glasapparate aus ganz durchsichtigem *Staßfurth* Salz von Hrn. W. Steeg in Homburg (Bad) geschliffen wurden.

Die Steinsalzapparate wurden in einem mit Schwefelsäure getrockneten Raume unter einer Glasglocke aufbewahrt und fast vor jedem Versuche von mir frisch aufpolirt. Werden nun die nöthigen Vorsichtsmafsregeln beim Aufpoliren getroffen, so behalten sie längere Zeit ihr vollständig durchsichtiges und klares Aussehen und haben eine täuschende Aehnlichkeit mit den Glasapparaten.

Bei der Untersuchung der Wärmewirkung in den einzelnen Theilen des Spectrums verfuhr ich in folgender Weise. Zuerst habe ich den Spalt der Thermokette auf Linie *D* eingestellt; dann stellte ich zwischen dem ersten

1) Magnus, Pogg. Ann. Bd. 124, S. 479 bis 481.

Spalt und Prisma einen Pappschild auf, und richtete das Sonnenbildchen mittelst des Heliostatenspiegels auf den Spalt. Nunmehr wurde der Schild weggenommen und die Ablenkung abgelesen; dann wurde der Schild wieder auf seine Stelle gestellt und die Thermokette auf 1<sup>mm</sup> weiter verschoben und die Ablesung in derselben Weise ausgeführt. So verfuhr ich, bis die Wärmewirkung im Spectrum sehr schwach geworden, oder ganz aufgehört hatte. Für jede Stellung der Thermokette im Spectrum wurden zwei Beobachtungen gemacht und das Mittel genommen. Nach dem Verlauf des Versuches kehrte ich wieder zur Linie *D* zurück. Auf diese Weise war es mir möglich, die Schwankung der Intensität der Wärmewirkung während des Versuches zu ermitteln.

#### Vertheilung der Wärme im Sonnenspectrum.

In der oben beschriebenen Weise habe ich das Wärmespectrum der Sonne, sowohl mit Flintglas- und Schwefelkohlenstoffprismen, als auch mit Steinsalzapparaten untersucht. Diese Versuche wurden in der Vormittagszeit im Sommer und Herbst des Jahres 1870 und 1871 angestellt. Die Spectren von allen drei Prismen waren immer so rein, daß ich alle *Fraunhofer'schen* Hauptlinien deutlich sehen konnte. Wie bereits oben angedeutet, diente mir bei den Beobachtungen der Wärmewirkung der einzelnen Theile des Spectrums die Linie *D* als Ausgangspunkt; dem zu Folge werde ich die Entfernung der Lage der Wärmewirkung nicht, wie es bisher zu geschehen pflegte von dem Ende des sichtbaren Roth, sondern von der Linie *D* angeben — und zwar aus dem Grunde, daß das Ende des sichtbaren Roth für verschiedene Augen bekanntlich ganz verschieden ausfällt. — Zuerst habe ich das Wärmespectrum mit Flintglasprisma untersucht, und indem ich die Wärmewirkung von der Linie *D* ins ultra-rothe Ende Schritt vor Schritt verfolgt, sah ich, daß die Wärmewirkung, resp. die Ablenkungen allmählig immer größer wurde, bis sie ein gewisses Maximum erreicht ha-

ben, sodann trat plötzlich auf einer Stelle eine bedeutende Abnahme ein, worauf bei weiterem Fortrücken der Thermokette wieder eine Zunahme sich zeigte, — das wiederholte sich vier Mal. Wir sehen hier also eine discontinuirliche Vertheilung der Wärme im Sonnenspectrum: — die ultrarothten Strahlen werden nämlich an drei Stellen durch Lücken oder Streifen unterbrochen. Als Beispiel will ich einen von mir am 6. October 1870 angestellten Versuch hier anführen.

Vertheilung der Wärme im Flintglasspectrum der Sonne.

Der ultrarothte Theil:

	Abstand der Thermo- säule von der Linie D. in mm	Ablenkung in Scalentheilen.
	<i>D</i> . . . . .	75,0
	1 <sup>mm</sup> . . . . .	85,0
	2 . . . . .	92,0
	3 . . . . .	100,0
Ende des sicht- baren Roth.	4 . . . . .	110,5
	5 . . . . .	113,0
	6 . . . . .	119,0
	7 . . . . .	131,0
	8 . . . . .	140,0
	9 . . . . .	144,0
	10 . . . . .	109,0
	11 . . . . .	145,0
	12 . . . . .	97,0
	13 . . . . .	110,0
	14 . . . . .	97,0
	15 . . . . .	36,0
	16 . . . . .	57,0
	17 . . . . .	97,0
	18 . . . . .	71,0
	19 . . . . .	14,0
	20 . . . . .	8,0.



Ich habe mehrere solche Versuche mit Flintglasprismen angestellt und jedesmal kamen diese Absorptionsstreifen zum Vorschein und zwar stets an einer und derselben Stelle im Spectrum. Die zwei ersten Lücken waren von nahezu gleicher Breite, während die dritte immer etwas breiter erschien. Oft habe ich an der Stelle im Spectrum, wo die Lücken zum Vorschein kamen, die Thermokette mehrmals hin und zurück verschoben, erhielt aber stets dieselben übereinstimmenden Resultate. Außerdem sehen wir noch an dem eben angeführten Versuche, daß hinter dem letzten Maximum die Wärmewirkung plötzlich stark abnahm und bei weiterem Fortrücken der Thermokette sehr schwach geworden ist.

Was die Lage des Maximums der Wärmewirkung des Flintglasspectrums betrifft, so fand ich dasselbe bei den im Sommer angestellten Versuchen stets *vor*, dagegen im Herbst *hinter* der ersten Lücke. Wir werden weiter unten sehen, daß die Lage des Maximums nicht nur zu verschiedenen Jahreszeiten, sondern selbst zu verschiedenen Stunden eines und desselben Vormittags verschieden ausfällt. In unseren Versuchen sehen wir also das Maximum der Wärmewirkung im Flintglasspectrum jenseits Roth, was mit den älteren Angaben der beiden (William und John) Herschel und den neueren von Knoblauch, J. Müller (für Crown Glas) übereinstimmt; mit den Angaben von Franz aber, der das Maximum der Wärmewirkung im sichtbaren Roth gefunden zu haben glaubt, scheinbar im Widerspruch steht. Dieser Unterschied wird indeß wohl seine Erklärung in dem Umstande finden, daß für das verhältnißmäßig schmale Spectrum ( $18^{\text{mm}}$ ), wie solches Franz gehabt, seine Verschiebung der Thermokette nicht fein genug ( $3^{\text{mm}}$ ) war, um ihm eine genaue Bestimmung der Lage des Maximums möglich zu machen. In meinen Versuchen war die Breite des leuchtenden Theiles des Spectrums doppelt so groß, als wie in den Versuchen von Franz und es ist deutlich zu sehen, daß das Maximum der Wärmewirkung nur  $5^{\text{mm}}$  von der Gränze des sichtbaren Roth war. Man kann demnach annehmen, daß in

den Versuchen von Franz das Maximum der Wärmewirkung gerade in einer Abtheilung ( $3^{\text{mm}}$ ) zwischen zwei nach einander folgenden Stellungen der Thermokette im Roth und jenseits des letzteren gelegen hat.

Während ich in der beschriebenen Weise die Wärmewirkung von der Linie *D* aus in den leuchtenden Theil verfolgte, fand ich, daß die Ablenkungen allmählig abnehmen, bis sie zwischen den Linien *G* und *H* (näher zu *H*) schon kaum bemerkbar geworden sind. Ich führe hier einen solchen Versuch als Beispiel an.

Der leuchtende Theil des Flintglasspectrums der Sonne.

Vers. am 16. Juli 1870.

Abstand der Thermo- säule von der Linie <i>D</i> .		Ablenkung in Scalentheilen.
in mm		
	<i>D</i>	110,5
<i>E</i> —	4	85,0
	5	82,0
	6	75,0
	7	67,0
	8	62,0
	9	59,0
	10	53,0
<i>F</i> —	10,5	52,0
	11,0	52,0
	12,0	49,5
	13,0	48,0
	14	44,0
	15	40,5
	16	34,0
	17	31,5
	18	26,0
	19	23,0
	20	19,0
<i>G</i> —	21	17,0
	22	16,0
	24	10,0
	26	10,0
	29	4,0
	31	3,0.

Aus diesem angeführten Versuche geht deutlich hervor, daß die ziemlich verbreitete Meinung, welche zuerst von Franz ausgesprochen wurde, nachher von J. Müller <sup>1)</sup> in Freiburg als vollkommen richtig bestätigt wurde, doch nicht stichhaltig ist. Die beiden Forscher glauben nämlich behaupten zu können, daß in einem Spectrum, welches rein genug ist, um die Fraunhofer'schen Linien zu zeigen, *die thermischen Wirkungen* so gering sind, daß an Messungen nicht zu denken ist. In meinen Versuchen wurden sehr große Lichtkegel mittelst Prisma zerlegt, wodurch mir, wie die oben angeführten Zahlen zeigen, die Messung der Wärmewirkungen in ganz reinen Spectren wohl möglich war.

Ich lege hier eine Wärmecurve für Flintglasspectrum der Sonne bei (Fig. 2, Taf. V). In allen solchen Curven habe ich die Ablenkung des Maximums der Wärmewirkung für 100 angenommen und die anderen auf sie reducirt. An solchen Curven läßt sich am besten die erwähnte discontinuirliche Vertheilung der Wärme übersehen. Dieser Mangel an Continuität wurde schon früher mittelst einer ganz besonderen Methode von Sir John Herschel <sup>2)</sup> constatirt. Er entwarf nämlich mittelst eines Flintglasprisma ein Sonnenspectrum auf ein berufstes Papier, welches mit Alkohol befeuchtet wurde und bestimmte durch die Zeit des Austrocknens die Wärmewirkung des Sonnenspectrums. Er beobachtete dabei, daß die feuchte Oberfläche des Papiers in einer Reihe von vier, von einander deutlich getrennten Flecken (*spots*) trocknete. Herschel interessirte sich indeß hauptsächlich nur für die Bedingungen, unter welchen diese Flecke zum Vorschein kamen. Er beobachtete ferner, daß diese Flecke im Spectrum des Crownglasprisma weniger deutlich von einander getrennt und daß bei der Untersuchung des Sonnenspectrums mit einem Wasserprisma nur sehr

1) J. Müller, Pogg. Ann. Bd. 105, S. 339.

2) John Herschel, *Philosoph. Trans.* 1840, p. 52 bis 59. Forriep's Notizen aus dem Gebiete der Heil- und Naturkunde Bd. 14, S. 129 bis 139. *Bibliothèque univ. de Genève* Bd. 26, p. 397.

schwach ausgedrückt waren. Er konnte allerdings aus seinen Versuchen noch keinen richtigen Schluß über den Ursprung dieser Unterbrechungen im Sonnenspectrum ziehen, nur war er sehr geneigt zu glauben, daß diese Erscheinung auf der ungleichen Absorption des Glases beruhe. Diese Untersuchung von Herschel hat Melloni<sup>1)</sup> einer sehr scharfen Kritik unterworfen, ohne übrigens die Angaben von Herschel experimentell zu prüfen. Melloni sah in der Entstehung dieser Unterbrechungen der Wärmewirkung eine Bestätigung seiner Theorie über die *Diathermansie* oder *Wärmefärbung* des Glases. Er meinte, daß diese Unterbrechungen in keiner Weise irgend eine Aehnlichkeit mit den dunkeln Linien von Fraunhofer hätten, sondern wohl den im Sonnenspectrum beim Anschauen durch farbige Gläser zum Vorschein kommenden dunkeln Linien ähnlich seyen. Er sagt ferner, daß das Wärmespectrum von Herschel nichts anders, als ein unvollständiges Spectrum gewesen sey, gleich einem Lichtspectrum, welches statt einem Prisma aus farbloser Substanz, mit einem Prisma aus sehr gefärbtem Glase entworfen wird. Melloni wirft deshalb Herschel vor, warum er seine Versuche nicht mit Steinsalzprisma ausgeführt hätte, in welchem Falle, seiner Ansicht nach, die genannten Unterbrechungen wegbleiben würden. Wir werden weiter unten sehen, daß diese hervorragende Autorität in diesem Gebiete der Physik mit seiner Behauptung doch nicht Recht gehabt. Einige Jahre später bemerkten Fizeau und Foucault<sup>2)</sup> bei Gelegenheit ihrer berühmten Untersuchungen über die Interferenz der Wärmestrahlen gleichfalls diese Ungleichheiten der Intensität der ultrarothern Strahlen des Sonnenspectrums. Auch Ed. Becquerel<sup>3)</sup> hat bei der Untersuchung der fluorescirenden

1) Melloni, *Comp. rend. T. XI.* Pogg. Ann. 1840, S. 81.

2) Fizeau und Foucault, *Comp. rend. T. 25*, Pogg. Ann. Bd. 73, S. 462.

3) Ed. Becquerel, *La lumière, ses causes et ses effets.* Paris 1867, p. 144.

Substanzen gleichfalls die in Rede stehenden Absorptionsstreifen jenseits Roth beobachtet, konnte aber, wie er es erklärt, da ihm die dazu nöthigen Steinsalzapparate fehlten, über den Ursprung der Streifen keinen Aufschluss geben. Ueberhaupt hat diese Herschel'sche Beobachtung der Unterbrechungen der Wärmewirkung, resp. der Absorptionsstreifen in dem ultrarothem Theile des Sonnenspectrums in sehr unbedeutendem Mafse die Aufmerksamkeit der Physiker auf sich gezogen, was sehr erklärlich ist, wenn man bedenkt, daß zur Zeit, als Herschel seine Versuche angestellt hat, die Absorptionsstreifen in dem leuchtenden Theile des Sonnenspectrums nicht die große Bedeutung gehabt hatten, welche ihnen in unserer Zeit durch die epochemachende Untersuchung von Bunsen und Kirchhoff verliehen worden ist. Es scheint sogar, daß diese Beobachtung von Herschel den späteren Forschern, welche die Wärmevertheilung im Sonnenspectrum sowohl mit Glasprismen, als auch mit Steinsalzapparaten untersucht haben, ganz unbekannt geblieben ist, wenigstens finden wir bei ihnen keine Erwähnung darüber.

Nachdem ich die Existenz dieser Absorptionsstreifen im Sonnenspectrum mittelst eines Flintglasprisma festgestellt, unternahm ich die Untersuchung des Wärmespectrums des Kalklichtes mit Flintglasprisma, die ich weiter unten näher zu besprechen mir vorbehalte. Hier will ich nur hervorheben, daß diese Versuche mir deutlich gezeigt haben, daß die in Rede stehenden Absorptionsstreifen von der Absorption des Glases entschieden nicht herrühren, da ich solche im Wärmespectrum des Kalklichtes nicht vorfand, was doch sonst der Fall seyn müßte. Dieses negative Resultat veranlaßte mich, das Wärmespectrum der Sonne mit Steinsalzapparaten genauer zu untersuchen. Ich entwarf mit Hülfe eines Steinsalzprisma ein sehr reines Spectrum und untersuchte die Wärmevertheilung in derselben Weise, wie mit Flintglasprisma und wurde überrascht, eine continuirliche Vertheilung der Wärme zu finden. Die einfache Ueberlegung führte mich aber bald

zu der Vermuthung, daß die Verschiebung der Thermokette längs des Spectrums, welche ausreichend war für die Beobachtung der Absorptionsstreifen im Flintglasspectrum, für die Nachweisung jener Streifen im Spectrum des Steinsalzprisma, dessen Dispersionskraft bedeutend geringer ist, als die des Flintglases, wohl nicht fein genug seyn könnte. Ich suchte zunächst diese Vermuthung dadurch zu begründen, daß ich ein Spectrum von zwei großen Steinsalzprismen entwarf, und die Wärmevertheilung in demselben untersuchte. In diesem Falle konnte ich die Existenz der Absorptionsstreifen schon durch meine verhältnißmäßig gröbere Verschiebung der Thermokette entdecken. Um nun deutlicher zu zeigen, daß die Absorptionsstreifen des ultrarothern Spectrums in Prismen von größerer Dispersionskraft breiter sind und in Folge desseu weit leichter beobachten lassen, untersuchte ich das Wärmespectrum der Sonne mittelst eines Schwefelkohlenstoffprisma. Ich führe hier einen solchen Versuch an, welchen ich am 1. Juni des vorigen Jahres angestellt und in dem ich meine Beobachtungen von der Linie *B* begonnen habe.

Der ultrarother Theil des Sonnenspectrums.

Abstand der Thermo- säule von der Linie <i>B</i> . in mm	Ablenkung in Scalentheilen.
<i>B</i> . . . . .	35,0
1 <sup>mm</sup> . . . . .	37,5
2 . . . . .	40,0
3 . . . . .	41,0
4 . . . . .	50,0
5 . . . . .	51,5
6 . . . . .	54,0
7 . . . . .	56,0
8 . . . . .	63,0
9 . . . . .	63,0

Abstand der Thermo- säule von der Linie <i>B</i> . in mm	Ablenkung in Scalentheilen.
10 . . . . .	<u>66,0</u>
11,0 . . . . .	60,0
11,5 . . . . .	58,5
12,0 . . . . .	58,0
12,5 . . . . .	54,5
13,0 . . . . .	54,0
13,5 . . . . .	59,0
14,0 . . . . .	67,5
14,5 . . . . .	<u>73,0</u>
15,0 . . . . .	71,5
16,0 . . . . .	69,5
16,5 . . . . .	68,0
17,0 . . . . .	63,0
17,5 . . . . .	59,5
18,0 . . . . .	63,5
18,5 . . . . .	<u>64,5</u>
19,0 . . . . .	61,5
20,0 . . . . .	58,0
20,5 . . . . .	45,0
21,0 . . . . .	52,0
22,0 . . . . .	<u>59,5</u>
22,5 . . . . .	57,0
23,0 . . . . .	50,0
23,5 . . . . .	35,0
24,0 . . . . .	21,0
24,5 . . . . .	18,0
25,0 . . . . .	17,5.

Bemerkung: Die Breite der beiden Spalten betrug  $\frac{1}{4}$  mm.

Dieser Versuch zeigt, daß die Absorptionsstreifen ihrer Lage nach, den Absorptionsstreifen im Spectrum des Flintglasprisma vollkommen entsprechen; sie sind nur breiter, als die letzteren. Hier sehen wir ferner, daß nach dem letzten Maximum der Wärmewirkung der ultrarothten Strahlen eine starke Abnahme der Intensität dieser Strahlen

eintritt — eine Erscheinung, der wir stets begegneten und welche sich noch deutlicher zeigen wird, bei den Versuchen mit Steinsalzapparaten, zu welchen ich nunmehr übergehen will.

Das schöne Wetter, welches wir in Heidelberg Ende August und fast den ganzen September hindurch gehabt hatten, gab mir die Gelegenheit, viele Versuche mit Steinsalzapparaten anzustellen. Um diese Zeit konnte ich das Wärmespectrum der Sonne zwischen 7 bis 1 Uhr untersuchen, und fast an jedem Vormittage stellte ich zwei parallele Versuche an, nämlich den einen zwischen 7 bis 10 Uhr, den anderen zwischen 10 bis 1 Uhr. Für diese Versuche liefs ich, aus dem oben erwähnten Grunde, eine besondere Vorrichtung bauen, die mir es möglich machte, nach Belieben die feinste Verschiebung der Thermokette auszuführen. Es wurde nämlich die Thermokette hinter dem Spalt einer sehr dicken Messingplatte angebracht, welche mittelst einer Mikrometerschraube verschoben werden konnte (Fig. 3, Taf. V). Eine Umdrehung dieser Schraube betrug  $0,469^{\text{mm}}$  und der Schraubenkopf wurde in 100 Theile getheilt. In jedem solchen Versuche wurde, wie in den früheren, die Wärmewirkung von der Linie *D* aus in's ultraroth Ende hinein verfolgt, bis die Wärmewirkung der ultraroth Strahlen ganz aufhörte oder sehr schwach geworden war. Ich besitze eine große Reihe von solchen zu verschiedenen Stunden des Vormittags mit Steinsalzapparaten angestellten Versuchen, aus welchen ich hier die folgenden anführen will.

Der ultraroth Theil des Sonnenspectrums am 6. September 1871.

Abstand der Thermosäule von der Linie <i>D</i> in Umdrehungen der Mikrometerschraube angegeben.	I. Versuch von 8 <sup>h</sup> 11' bis 10 <sup>h</sup> 5'	II. Versuch von 10 <sup>h</sup> 44' bis 12 <sup>h</sup> 48'
Ablenkung in Scalentheilen.	Ablenkung in Scalentheilen.	Ablenkung in Scalentheilen.
<i>D</i> . . .	24,5 . . .	41,0
1 . . .	29,0 . . .	44,0
2 . . .	29,0 . . .	45,0



	Abstand der Thermo- säule von der Linie <i>D</i> in Umdrehungen der Mikrometerschraube angegeben.	I. Versuch		II. Versuch	
		von 8 <sup>b</sup> 11' bis 10 <sup>b</sup> 5'		von 10 <sup>b</sup> 44' bis 12 <sup>b</sup> 48'	
		Ablenkung in Scalentheilen.		Ablenkung in Scalentheilen.	
	3 . . .	29,5	. . .	50,0	
	4 . . .	32,0	. . .	51,0	
	5 . . .	35,0	. . .	51,0	
Gränze des sicht- baren Roth.	6 . . .	37,0	. . .	51,0	
	7 . . .	37,0	. . .	51,0	
	8 . . .	40,0	. . .	55,5	
	9 . . .	41,0	. . .	57,5	
	10 . . .	50,0	. . .	67,0	
	11 . . .	52,5	. . .	70,5	
	12 . . .	54,0	. . .	70,5	
	13 . . .	57,0	. . .	76,0	
	14 . . .	<u>59,0</u>	. . .	<u>76,5</u>	
	15 . . .	45,0	. . .	54,0	
	15,5 . .		. . .	57,0	
	16,0 . .	41,5	. . .	62,0	
	17,0 . .	57,0	. . .	<u>93,0</u>	
	17,5 . .		. . .	92,0	
	18,0 . .	<u>71,5</u>	. . .	81,0	
	18,5 . .		. . .	75,0	
	19,0 . .	61,0	. . .	75,5	
	19,5 . .		. . .	79,0	
	20,0 . .	59,5	. . .	79,0	
	20,5 . .	57,0	. . .	<u>82,5</u>	
	21,0 . .	<u>65,0</u>	. . .	<u>76,5</u>	
	22,0 . .	<u>54,0</u>	. . .	54,5	
	22,5 . .	47,5	. . .		
	23,0 . .	51,5	. . .	92,0	
	23,5 . .	56,0	. . .	<u>93,5</u>	
	24,0 . .	<u>69,5</u>	. . .	<u>80,0</u>	
	25,0 . .	<u>56,0</u>	. . .	46,5	
	26,0 . .	39,5	. . .	35,0	
	27,0 . .	39,5	. . .	22,5.	

Bemerkung. Die relative Feuchtigkeit um 7 Uhr Morgens 0,86  
und 2 Uhr 0,59.

Sämmtliche Versuche dieser Art zeigten deutlich die Anwesenheit der Absorptionsstreifen in dem ultrarothem Theile des Sonnenspectrums. Die Streifen hatten auch hier die ganz entsprechende Lage im Spectrum, wie in den früheren Versuchen mit Flintglas- und Schwefelkohlenstoffprismen und unterschieden sich nur dadurch, daß sie hier etwas schmaler und tiefer waren, als in den Spectren der genannten Prismen. Durch diesen Versuchen ist somit ganz außer Zweifel gesetzt, daß die Absorptionsstreifen der ultrarothem Strahlen nicht, wie es Melloni behauptete, in der ungleichen Absorption des Glases ihren Ursprung haben.

Allerdings sind diese drei Streifen viel breiter als die dicksten Fraunhofer'schen Linien, allein wir können annehmen, daß die drei Streifen drei Gruppen von vielen Linien darstellen, welche vielleicht durch verbesserte Untersuchungsmittel auseinander gehalten werden können. Für diese letztere Annahme spricht nämlich die Thatsache, daß die Streifen in Prismen von größerer Dispersionskraft, nur breiter, aber nicht tiefer erscheinen.

In allen solchen parallelen Versuchen sieht man, wie es die hier beigelegte Curve (Fig. 4, Taf. V), welche zwei entsprechende Versuche von einem Vormittage darstellen, deutlich zeigen, daß die Absorptionsstreifen in den Morgenversuchen etwas breiter und tiefer waren. Auch konnte ich beobachten, daß sie an den Tagen, welche auf Regentage folgten, gleichfalls verhältnißmäßig etwas tiefer lagen, als an trockenen, kühlen Tagen. Aber diese letzteren Beobachtungen sind noch nicht ausreichend genug, um die Absorptionsstreifen des ultrarothem Spectrums direct für die atmosphärischen Linien erklären zu lassen, welche zuerst von Sir D. Brewster in dem leuchtenden Theile und später von Cooke<sup>1)</sup>, Secchi<sup>2)</sup>, und besonders von Janssen<sup>3)</sup> näher untersucht worden sind. Aus den Ver-

1) Cooke, Pogg. Ann. 1866.

2) Secchi, Pogg. Ann. 1865. *Comp. rend. T. 59.*

3) Janssen, *Comp. rend. T. 56, 57.* Pogg. Ann. 1865. *Ann. de chimie et physique (4. Serie), T. 23, p. 274.*

suchen der genannten Forscher ist uns nämlich bekannt, daß diese Linien besonders zahlreich in dem wenig brechbaren Theile des Sonnenspectrums vertreten sind, daß sie um so stärker und deutlicher hervortreten, je mehr die Sonne sich dem Horizonte nähert. Ferner ausserdem hat Janssen auf dem *Faulhorn* im Berner Oberlande eine allgemeine starke Abnahme aller Gruppen der atmosphärischen Linien beobachtet. Diesem französischen Physiker ist auch noch gelungen durch einen Versuch, welchen er am Genfer See, zwischen *Nion* und *Genf* angestellt hatte, diese irdischen Linien im Spectrum einer Flamme künstlich hervorzurufen.

Alle diese Beobachtungen stellen wenigstens die That-  
sache fest, daß die wenig brechbaren Strahlen vom Wasserdampf absorbirt werden, so daß hier jedenfalls die Frage berechtigt erscheint, ob nicht auch die von uns beschriebenen Absorptionsstreifen ihren Ursprung in der Absorption des Wasserdampfes haben? Um die Frage zu beantworten ist es nöthig, die Versuche über das Wärmespectrum an verschiedenen Tages- und Jahreszeiten anzustellen; aber besonders wichtig wäre, das Wärmespectrum der Sonne auf hohen Gebirgen zu untersuchen. Solche Untersuchungen werden uns nicht allein die Natur dieser Absorptionsstreifen erklären, sondern auch viele Erscheinungen, welche wir im ultrarothem Spectrum beobachtet haben, dabei schärfer und deutlicher heraustreten lassen, da der störende Einfluß der feuchten Atmosphäre unserer Regionen hier fast ausgeschlossen seyn würde. Dieser Einfluß der feuchten Atmosphäre auf die Wärmewirkung der ultrarothem Strahlen ist sehr deutlich aus den eben erwähnten parallelen Versuchen zu ersehen, denn wir finden fast in allen diesen Versuchen, daß des Morgens, wo die Sonnenstrahlen durch eine viel größere Schicht unserer feuchten Atmosphäre ihren Weg zurückzulegen haben, die Intensität der Wärmewirkung der ultrarothem Strahlen bedeutend geringer war als des Mittags, wo die Sonne einen höheren Stand angenommen hat.

Wenn wir unsere Aufmerksamkeit auf die relative Feuchtigkeit der Luft wenden, so finden wir, daß an den Tagen, wo die Schwankung der relativen Feuchtigkeit zwischen Morgens und Mittags verhältnißmäßig sehr gering war, auch die Differenz in den Ablenkungen resp. in den Wärmewirkungen der ultrarothten Strahlen zwischen den Morgens- und Mittagsversuchen viel geringer ausfiel. Folgender Versuch wurde von mir an einem kühlen Vormittage angestellt, als die relative Feuchtigkeit nach den Angaben der Heidelberger meteorologischen Station um 7 Uhr 0,58 und 2 Uhr 0,54 betrug:

Der ultrarothte Theil des Sonnenspectrums am 11. September 1871.

Abstand der Thermo- säule von der Linie <i>D</i> in Umdrehungen der Mikrometerschraube.	I. Versuch		II. Versuch	
	von 7 <sup>h</sup> 25' bis 9 <sup>h</sup> 39' Ablenkung.		von 11 <sup>h</sup> 10' bis 12 <sup>h</sup> 54' Ablenkung.	
<i>D</i> . . . .	43,0	. . . .	50,0	
1 . . . .	46,0	. . . .	52,5	
2 . . . .	50,0	. . . .	53,0	
3 . . . .	54,0	. . . .	57,0	
4 . . . .	59,0	. . . .	60,5	
5 . . . .	63,0	. . . .	64,0	
6 . . . .	67,0	. . . .	67,0	
<u>7</u> . . . .	69,0	. . . .	67,5	
8 . . . .	71,0	. . . .	75,0	
9 . . . .	74,5	. . . .	75,0	
10 . . . .	78,0	. . . .	79,0	
11 . . . .	81,0	. . . .	81,0	
12 . . . .	83,5	. . . .	83,0	
12,5 . . . .	84,0	. . . .	84,0	
13,0 . . . .	87,5	. . . .	87,5	
13,5 . . . .	90,0	. . . .	89,5	
14,0 . . . .	90,5	. . . .	92,0	
14,5 . . . .	<u>93,5</u>	. . . .	<u>96,0</u>	
15,0 . . . .	<u>90,0</u>	. . . .	<u>92,5</u>	
15,5 . . . .	90,5	. . . .	86,5	
16,0 . . . .	84,5	. . . .	77,5	

Abstand der Thermo- säule von der Linie <i>D</i> in Umdrehungen der Mikrometerschraube.	I. Versuch von 7 <sup>h</sup> 25' bis 9 <sup>h</sup> 39' Ablenkung.	II. Versuch von 10 <sup>h</sup> 11' bis 12 <sup>h</sup> 54 Ablenkung.
16,5 . . . . .	82,0 . . . . .	80,0
17,0 . . . . .	83,0 . . . . .	89,0
17,5 . . . . .	91,0 . . . . .	101,5
18,0 . . . . .	100,0 . . . . .	<u>112,0</u>
18,5 . . . . .	104,5 . . . . .	110,5
19,0 . . . . .	<u>106,0</u> . . . . .	102,0
19,5 . . . . .	103,0 . . . . .	99,5
20,0 . . . . .	101,0 . . . . .	96,0
20,5 . . . . .	102,0 . . . . .	99,0
21,0 . . . . .	98,0 . . . . .	<u>105,0</u>
21,5 . . . . .	95,0 . . . . .	102,5
22,0 . . . . .	94,0 . . . . .	92,0
22,5 . . . . .	89,0 . . . . .	87,0
23,0 . . . . .	86,0 . . . . .	77,0
23,5 . . . . .	88,5 . . . . .	90,0
24,0 . . . . .	89,0 . . . . .	102,0
24,5 . . . . .	<u>93,0</u> . . . . .	<u>10,60</u>
25,0 . . . . .	85,0 . . . . .	87
25,5 . . . . .	81,0 . . . . .	56,0
26,0 . . . . .	43,5 . . . . .	42,0
27,0 . . . . .	30,0 . . . . .	34,0.

Bemerkung: Im 1. Versuche erschien die zweite und die dritte Lücke als eine breite gemeinschaftliche Lücke, oder mit anderen Worten, das dritte Maximum ist nicht zum Vorschein gekommen, was wahrscheinlich darin liegt, daß das Maximum gerade zwischen zwei benachbarten Stellungen der Thermosäule fiel.

Dagegen die meisten Versuche, welche an Tagen angestellt waren, wo der Unterschied in der relativen Feuchtigkeit der Luft Morgens und Mittags sehr groß war, zeigten (siehe Vers. S. 215) deutlich, daß eine starke Absorption der ultrarothten Strahlen stattfindet, und zwar in der Weise, daß je kleiner ihre Brechbarkeit ist, desto mehr von der Atmosphäre absorbirt werden. Die Frage über die Absorption der Wärmestrahlen durch Wasserdampf

ist bekanntlich noch immer Gegenstand der Discussion. Zwei ausgezeichnete Forscher, Magnus und Tyndall, welche darüber so viele Untersuchungen angestellt haben, kamen bekanntlich in ihren Versuchen zu widersprechenden Resultaten. Aber die Versuche von Wild<sup>1)</sup> und Garibaldi<sup>2)</sup> bestätigen doch die Tyndall'schen Angaben. Außerdem liegen viele einzelne Beobachtungen von verschiedenen Forschern vor, die auch für die starke Absorption der Wärmestrahlen durch Wasserdampf sprechen. Ich erinnere hier an die Beobachtung von Pater Secchi<sup>3)</sup>, daß bei gleicher Höhe der Sonne und bei heiterem Himmel das der Sonne ausgesetzte Thermometer im Winter fast doppelt so hoch steigt, als im Sommer, was nur durch die in dieser letzteren Jahreszeit vorhandene Menge von Wasserdampf erklärlich ist. Es wäre deshalb sehr wünschenswerth die Frage über die Absorption des Wasserdampfes durch die Versuche mit Spectralwärme zu prüfen, da in diesem Falle bei weitem sicherere Resultate zu erwarten sind.

In dieser starken Absorption der ultrarothten Strahlen durch unsere Atmosphäre liegt auch der Grund, weshalb das Maximum der Wärmewirkung im Spectrum seine Lage mit der Elevation der Sonne verändert. In allen Versuchen, welche zwischen 7 — 10 Uhr angestellt wurden, lag das Maximum hinter dem ersten Absorptionsstreifen und war von der Linie *D* fast ebenso weit entfernt, als diese von der Linie *F*. Dagegen war in vielen der gegen Mittag angestellten Versuche die Wärmewirkung hinter der letzten Lücke eben so groß, wie jenes Maximum, oder übertraf sogar dasselbe, was besonders deutlich in einem Versuche an einem kühlen Octobertage zu beobachten war. Man muß also annehmen, daß hier hinter der letzten Lücke eigentlich die Stelle ist, wo die Wärmewirkung im Sonnenspectrum erst ihr Maximum erreicht. Diese Stelle ist im

1) H. Wild, Pogg. Ann. Bd. 129.

2) P. Garibaldi. *Il nuovo Cimento*. 1870. p. 241—243.

3) Pater Secchi, *Compt. rend. T.* 58., p. 29.

Steinsalzspectrum eben so weit von der Linie *D* entfernt, wie die letztere von *G*.

Von den vier verschiedenen Maximis der Wärmewirkung, welche wir im Sonnenspectrum beobachteten, behielt in den meisten unserer Versuche nur das erste seine Lage, während die anderen drei Maxima sich mit der Elevation der Sonne gegen Roth zu verschoben, dem zu Folge die erste Lücke in den Versuchen gegen Mittag schmaler, als in Morgenversuchen erschien. Es ist sehr wahrscheinlich, daß die Verrückung dieser Maxima von einer Veränderung der Brechbarkeit des Steinsalzprisma bedingt wurde, indem diese Veränderung möglicher Weise durch eine starke Erwärmung des Prisma bei den Versuchen gegen Mittag stattgefunden haben konnte. Um diese Vermuthung zu prüfen bestimmte ich nachträglich das Minimum der Ablenkung für Linie *D* bei einer Zimmertemperatur von  $5^{\circ}$  und  $16^{\circ}$  und fand, daß für Steinsalzprisma von  $60^{\circ} 18'$  brechenden Winkel die Ablenkung bei  $16^{\circ}$  um  $2'$  größer, als bei  $5^{\circ}$  C. Die Verrückung der Maxima in meinen Versuchen ist etwas kleiner als  $\frac{1}{2}^{\text{mm}}$ , was einem Winkel entspricht, der durch Erwärmung des Steinsalzprisma um  $10^{\circ}$  C. gewonnen werden kann, und eine solche Erwärmung konnte sehr leicht bei meinen Versuchen gegen Mittag stattfinden, da die Temperatur des Arbeitszimmers um diese Zeit sehr hoch war.

Die Veränderng der Brechbarkeit der festen Körper durch die Wärme ist schon längst bekannte Thatsache und von Fizeau <sup>1)</sup> speciel untersucht und sogar für einige Körper festgestellt.

Wir haben bereits oben angeführt, daß in allen Versuchen, welche mit den oben genannten Prismen über das Wärmespectrum zu verschiedenen Stunden des Vormittags und zu verschiedenen Jahreszeiten angestellt wurden, man sehr deutlich sah, daß die Wärmewirkung der ultrarother Strahlen des Sonnenspectrums, nachdem sie ihr letztes Maximum hinter der letzten Lücke erreicht hat, plötzlich

1) Fizeau, *Ann. de chimie et physique* (3) T. 66, Pogg. Ann. Bd. 119.

abnimmt. — Besonders deutlich war dies zu sehen in den Versuchen mit Steinsalzapparaten, welche gegen Mittag angestellt wurden. Es ist hier die Frage berechtigt, ob nicht an der Stelle, wo die Wärmewirkung des Sonnenspectrums ihr letztes Maximum erreicht, die Gränze der Brechbarkeit sey und ob nicht die Wärmewirkung, welche wir hier hinter diesem Maximum beobachteten, von diffus reflectirter Wärme herrühre? Um diese Frage zu lösen, ist es nöthig die Versuche darüber in der Weise anzustellen, daß die Wirkung der diffusen Wärme ganz ausgeschlossen wäre. Dies kann nur dadurch erreicht werden, wenn wir dasselbe Verfahren einschlagen, welches zur Darstellung des homogenen Lichtes benutzt wird, nämlich die Methode mit zwei Prismen, mit welcher bekanntlich Helmholtz <sup>1)</sup> die ultravioletten Strahlen dem Auge unmittelbar sichtbar gemacht hat, indem er das diffuse Licht ausschloß. Diese Methode mit zwei Prismen wurde von mir in diesen Untersuchungen öfters benutzt; besonders in den Fällen, wo es nöthig war die dunkele von der leuchtenden Wärme zu trennen. Leider konnte ich die mit dieser Methode angefangenen Versuche über die Gränze der Brechbarkeit wegen ungünstigen Wetters nicht zum Abschluß bringen, so daß ich gegenwärtig für die von mir hier ausgesprochene Vermuthung noch keine direkte Beweise anführen kann; glaube jedoch aus folgendem Grunde dieselbe als sehr wahrscheinlich hinzustellen. In den Versuchen mit Steinsalzapparaten nämlich, wo ich mit sehr schmalen Spalten gearbeitet habe, und wo die Verschiebung der Thermokette sehr fein war, nahmen die Ablenkungen respective die Wärmewirkung schon nach einer Verschiebung von etwas kleiner als  $\frac{1}{2}^{\text{mm}}$  um die Hälfte ab.

Ich will noch hervorheben, daß ich aus der Dispersionsformel von Cauchy,  $n = a + \frac{b}{\lambda^2}$ , den Grenzwert des Brechungsindex für die ultrarothten Strahlen für Stein-

1) Helmholtz, Pogg. Ann. Bd. 94, S. 205.



salz berechnet habe und fand ihn  $= 1,5258$ . Dann bestimmte ich den Brechungsindex aus meinen Versuchen und zwar in folgender Weise: da die plötzliche Abnahme der Wärmewirkung, resp. die vermuthliche Gränze der Brechbarkeit von der Linie *D* ebenso weit entfernt ist, als diese letztere von *G*, so nahm ich den Brechungsindex der Linie *D* als arithmetisches Mittel aus den Indices für *G* und den äußersten ultrarothern Strahlen und bekam 1,5274. Hier findet also eine Uebereinstimmung zwischen dem berechneten und dem ermittelten Werthe des Brechungsindex der äußersten ultrarothern Strahlen, so daß dadurch die Vermuthung, daß die von uns beobachtete plötzliche Abnahme der Wärmewirkung im Spectrum wirklich der Gränze der Brechbarkeit entsprechen könne, hiedurch noch mehr an Boden gewonnen hat. Ganz in derselben Weise verfuhr J. Müller in seinen schon mehrmals hier erwähnten Untersuchungen über die thermische Wirkung des Sonnenspectrums bei der Bestimmung des Brechungsindex der äußersten ultrarothern Strahlen für Crown Glas, und fand ihn gleich  $1,506$ , während nach der Dispersionsformel von Cauchy derselbe gleich 1,5155 ist. Dieser Unterschied, scheint mir, wie es schon Fr. Eisenlohr<sup>1)</sup> vermuthet hat, liegt nur darin, daß Müller die Lage der Gränze des Spectrums weiter angenommen hat, als sie in der Wirklichkeit ist. Die Wärmewirkung, welche Müller am Ende des Spectrums beobachtet hatte, rührte aller Wahrscheinlichkeit nach, nur von diffuser Wärme her. Wenn wir also gemäß dieser Vermuthung annehmen, daß im Crown Glasspectrum auch die Gränze der Brechbarkeit ebenso weit von der Linie *D* entfernt ist, wie die letztere von *G*, so werden wir den Brechungsindex der äußersten ultrarothern Strahlen gleich 1,5175 finden, was mit dem aus der Dispersionsformel berechneten Werthe sehr gut übereinstimmt. J. Müller fand, daß der von ihm ermittelte Werth des Brechungsindex der äußersten ultra-

1) Fr. Eisenlohr, Pogg. Annal. Bd. 109, S. 239. Vergl. auch Christoffel, Pogg. Ann. Bd. 117, S. 44.

rothen Strahlen mit dem aus Dispersionsformel von Redtenbacher berechneten Werthe sehr gut übereinstimmte, allein von allen Dispersionsformeln ist geradezu die Redtenbacher'sche die am wenigsten den Beobachtungen genügende, wie es auch deutlich aus den Untersuchungen von Mascart<sup>1)</sup> hervorgeht. Mascart verglich seine genau ermittelten Werthe des Brechungsindicis für Kalkspath mit den Werthen, welche er aus drei Dispersionsformeln von Cauchy, Christoffel und Redtenbacher berechnet hatte und fand eben, daß die aus der Redtenbacher'schen Formel berechneten Werthe weit mehr, als die aus den anderen abwichen.

Was die Wärmewirkung in dem leuchtenden Theil des Steinsalzspectrums betrifft, so konnte ich ebenso wie im Flintglasspectrum die Wärmewirkung noch hinter der Linie *G* beobachten, und um mich zu überzeugen, daß diese Wärmewirkung nicht möglicherweise von der diffusen dunkeln Wärme herrührte, stellte ich folgenden Versuch mit der erwähnten Methode der zwei Prismen an: Mittelst eines sehr schmalen Spaltes isolirte ich die blaue Farbe aus dem Steinsalzspectrum und liefs die Strahlen durch das zweite Steinsalzprisma gehen; diese Strahlen wurden mittelst einer Steinsalzlense vereinigt und auf den Spalt der Thermosäule geworfen. In den in dieser Weise angestellten Versuchen, konnte ich die schwache Wärmewirkung noch hinter Linie *G* verfolgen. Dies war um so nothwendiger zu constatiren, da, wie wir aus den hier folgenden Versuchen über das Wärmespectrum des Kalklichtes sehen werden, in jedem Spectrum sich über dem leuchtenden Theile auch noch die dunkle diffuse Wärme verbreitet. Ich lege hier eine Curve bei, welche die Wärmevertheilung im Steinsalzspectrum darstellt (Fig. 5, Taf. V.).

1) Mascart, *Note sur les formules de dispersion. Annales de l'école normale. Tome I, p. 262.*

Vertheilung der Wärme im Spectrum des Kalklichtes.

Bei der Untersuchung des Wärmespectrums des Kalklichtes wurde ganz dieselbe Versuchsanordnung getroffen, wie beim Sonnenspectrum. Zwischen dem glühenden Kalkcylinder und dem ersten Spalt wurde eine Linse von kurzer Brennweite eingestellt. Diese Linse war auf ihre doppelte Brennweite, sowohl von dem glühenden Kalkcylinder, als auch von dem Spalt entfernt.

Bei der Darstellung des Kalklichtes verfuhr ich in folgender Weise. Ich füllte ein Gasometer von 8,000 CC. Volumen mit Sauerstoff, den ich in einer eisernen Retorte aus einer Mischung von chlorsaurem Kali und Braunstein dargestellt. Das Gasometer wurde so eingerichtet, wie in den Leuchtgasfabriken und das Gas wurde durch ein aufgelegtes Gewicht herausgetrieben. Als Flamme diente mir die Leuchtgasflamme; die beiden Gase Sauerstoff und Leuchtgas wurden einem Knallgasbrenner zugeführt, welcher vor dem Kalkstift eingestellt worden war. Die Kalkstifte habe ich aus gewöhnlichem ungelöschten Kalk mit einer Feile ausgeschnitten. Das so dargestellte Kalklicht war sehr stark und gab ein sehr schönes Spectrum. Mit 8,000 CC. Sauerstoff konnte ich ohne Unterbrechung sehr gut  $1\frac{1}{2}$  — 2 Stunden arbeiten —, Zeit genug, um in einem Versuche die Wärmevertheilung im Kalklichtspectrum, ganz in derselben Weise, wie es beim Wärmespectrum der Sonne gehandhabt wurde, zu untersuchen. Die Darstellung des Kalklichtes in der angeführten Weise ist jedenfalls mit weniger Umständen verbunden, als die Darstellung der anderen künstlichen starken Lichtquellen, und kann außerdem mit großem Vortheile zu vielen optischen Untersuchungen angewandt werden. Ich will hier noch erwähnen, daß das so dargestellte Kalklicht stark genug war, um die Messung der Krümmung der Krystalllinse des menschlichen Auges mittelst des Ophthalmometers möglich zu machen —, wozu bekanntlich gewöhnlich nur das Sonnenlicht angewandt wurde.

Das Wärmespectrum wurde ebenfalls sowohl mit Flintglasprisma, als auch mit Steinsalzapparaten untersucht. In den Versuchen mit Glasapparaten konnte ich mit feinem Spalt doch nicht arbeiten und habe den ersten Spalt 2<sup>mm</sup> breit gemacht. Im leuchtenden Theile des Flintglasspectrum des Kalklichtes konnte ich die schwache Wärmewirkung nur im Gelb constatiren und von da aus verschob ich allmählig die Thermokette in's ultraroth Ende hinein. Es ergab sich aus solchen Versuchen, daß die Vertheilung der Wärme im Kalklichtspectrum, wie folgender Versuch auch zeigt, ganz continuirlich ist.

Der ultraroth Theil des Flintglasspectrum des Kalklichtes.

Abstand der Thermo- säule vom sichtbaren Roth in mm	Ablenkung
Ende des sichtbaren Roth . . .	20,0
1 . . . . .	24,5
2 . . . . .	27,0
3 . . . . .	29,5
4 . . . . .	31,0
5 . . . . .	31,5
6 . . . . .	31,5
7 . . . . .	33,0
8 . . . . .	32,5
9 . . . . .	31,0
10 . . . . .	30,0
11 . . . . .	30,0
12 . . . . .	28,0
13 . . . . .	27,0
14 . . . . .	22,0
15 . . . . .	18,0
16 . . . . .	14,5
17 . . . . .	13,0
18 . . . . .	8,5.

Ganz zu denselben Resultaten kam auch Tyndall<sup>1)</sup> bei der Untersuchung des Wärmespectrums des electrischen

1) Tyndall, *Philosophical Transactions*. 1866.

Lichtes und des durch galvanischen Strom zum Glühen gebrachten Platindrahts. Diese Versuche sprechen schon allein, daß die discontinuirliche Vertheilung der Wärme, welche zuerst Sir John Herschel im Flintglasspectrum der Sonne beobachtet, nicht der Absorption des Glases zugeschrieben werden kann.

Im Flintglasspectrum des Kalklichtes konnte ich nicht am Ende des Spectrums eine plötzliche Abnahme der Wärmewirkung constatiren, wie wir es in den Versuchen mit dem Sonnenspectrum stets gesehen haben, was, wie mir scheint, wohl darin seinen Grund hat, daß in diesen Versuchen der Spalt ziemlich breit war.

Vergleichen wir die Lage des Maximums der Wärmewirkung im Flintglasspectrum des Kalklichtes mit der Lage des Maximum der Wärmewirkung im Sonnenspectrum, so finden wir, daß sie im ersten Spectrum viel weiter entfernt ist, als in dem letztern, mit anderen Worten: bei den schwächeren Wärmequellen erreicht die Intensität der Wärmewirkung ihr *Maximum bei den* Strahlen von größerer Wellenlänge, als es bei den stärkeren Wärmequellen der Fall ist.

Aus der Untersuchung des Kalklichtes mit Steinsalzapparaten ergibt sich, daß im Kalklichtspectrum die Intensität der Wärmewirkung jenseits Roth, wie der folgende Versuch zeigt, viel stärker, als es im Sonnenspectrum der Fall ist; und kann auch hier hinter dem Maximum die Stelle angezeigt werden, wo die Wärme sehr stark abnimmt; die plötzliche Abnahme der Wärmewirkung aber konnte ich hier nicht so deutlich, wie im Sonnenspectrum, constatiren, weil ich zur Zeit, als ich diese Versuche mit dem Kalklicht angestellt, die oben beschriebene Vorrichtung für die feinere Verschiebung der Thermokette noch nicht in meinem Besitze hatte.

## Der ultraroth Theil des Steinsalz spectrum des Kalklichtes.

Abstand der Thermosäule vom Ende des sichtbaren Roth in mm	Ablenkung
Ende des sichtbaren Roth . . .	90,0
1 . . . . .	144,5
2 . . . . .	204,0
3 . . . . .	282,0
4 . . . . .	306,0
5 . . . . .	355,0
6 . . . . .	344,5
7 . . . . .	305,0
8 . . . . .	328,0
9 . . . . .	187,0
10 . . . . .	106,0
11 . . . . .	73,0.

Bei der Untersuchung des Wärmespectrum des Kalklichtes mit Steinsalzapparaten habe ich viele Versuche über die Absorption durch verschiedene Körper: Wasser, Glas, Glimmer, Kalkspath, Quarz untersucht. Bei diesen Versuchen verfuhr ich in der Weise, daß ich die Wärmewirkung vom Anfange Roth bis sie ganz aufhörte oder sehr schwach wurde, nach und vor dem Einschalten des genannten Körpers verglichen habe.

Aus solchen Versuchen stellte sich für alle oben erwähnten Körper folgendes heraus, was schon früher von Melloni<sup>1)</sup> für Wasser gefunden wurde, *daß nämlich die ultrarothten Strahlen bei ihrem Durchgange durch durchsichtige Körper einen desto größeren Verlust erleiden, je geringer ihre Brechbarkeit ist.* Ich führe hier einen Versuch für planparallele Flintglasplatte von 4<sup>mm</sup> Dicke als Beispiel an.

1) Melloni, Pogg. Ann. Bd. 35.

Abstand der Thermosäule von dem Ende des sichtbaren Roth in mm	Ablenkung		
	nach Einschalten	und der	vor Platte
1 mm . . . .	26,0	. . .	27,0
2 . . . .	85,0	. . .	99,0
3 . . . .	145,0	. . .	169,0
4 . . . .	166,5	. . .	321,5
5 . . . .	123,0	. . .	269,0
6 . . . .	56,5	. . .	183,5
7 . . . .	18,5	. . .	118,0
8 . . . .	9,0	. . .	86,0
9 . . . .	5,0	. . .	56,0
10 . . . .	—	. . .	40,0
11 . . . .	—	. . .	28,0

Wie der angeführte Versuch zeigt, hat hier nach Einschaltung der Flintglasplatte keine Verrückung des Maximum der Wärmewirkung statt gefunden, wurde aber anstatt dieser Flintglasplatte ein Satz von vier mittelst Canada-balsam mit einander zusammen gekitteten, dicken Glasplatten eingeschaltet, so trat diese Verrückung nach dem Roth deutlicher hervor.

Ich will hier noch auf eine Erscheinung aufmerksam machen, welche übrigens schon von Melloni vermuthet, aber nicht näher untersucht wurde, daß nämlich über dem leuchtenden Theil eines jeden Spectrum sich eine gewisse Menge der diffusen dunkelen Wärme verbreitet. Ich habe oben erwähnt, daß im Flintglasspectrum des Kalklichtes die Wärmewirkung nur im Roth und Orange constatirt werden konnte; wurde aber dasselbe Kalklicht mit einem Steinsalzprisma zerlegt und die Wärmewirkung dieses Spectrum untersucht, so konnte man die Wärmewirkung selbst noch im Blau wahrnehmen, trotzdem dieses Spectrum nicht heller war, als das des Flintglases. Dieses Resultat, welches, wenn es richtig wäre, zeigen würde, daß die leuchtende Wärme von den durchsichtigen Körpern nicht in derselben Masse wie das Licht absorbirt wird, veranlaßte mich, die Absorption der leuchtenden Wärme durch

Flintglas genauer zu untersuchen und bediente ich mich zu diesem Zwecke der oben erwähnten Methode mit zwei Steinsalzprismen. Nachdem mit Hülfe dieser Methode bestimmte homogene Strahlen des Sonnenspectrums ausgesondert waren, verglich ich die Wärmewirkung derselben vor und nach dem Einschalten einer planparallelen Flintglasplatte, die so eingestellt wurde, daß die Strahlen auf sie senkrecht fielen.

Solche Versuche sind für alle Farben des Sonnenspectrums angestellt worden und betrug die Wärmeabsorption

für Roth	12 Proc.
„ Orange	12 „
„ Gelb	7 „
„ Grün	6 „
„ Blau	5 „

Von dieser Menge der absorbirten Wärme ist noch nöthig die Menge der senkrecht reflectirten Wärme, welche für eine Flintglasplatte 5 Proc. der ganzen einfallenden Wärme beträgt, in Abzug zu bringen.

Nach diesen Versuchen muß also angenommen werden, daß die starke Wärmewirkung, welche in den oben erwähnten Versuchen in dem leuchtenden Theil des Kalklichtspectrums beobachtet wurde, hauptsächlich von Wärmestrahlen, die durch diffuse Reflexion in den Steinsalzprismen, wie in trüben Medien abgelenkt waren, herrührte.

Allerdings steht dieses Resultat im Widerspruch mit den Angaben der früheren Forscher, namentlich Masson und Jamin, welche im Steinsalzspectrum des Sonnenlichtes, unter Anwendung der farbigen Gläser, die durchgelassenen Licht- und Wärmemengen numerisch zu vergleichen suchten; da aber diese Forscher ihre photometrischen Methoden nicht beschrieben haben, so läßt sich ihre Angabe nicht näher beurtheilen.

Es wäre deshalb sehr wünschenswerth mittelst einer genauen photometrischen Methode die Absorption der homogenen Lichtstrahlen von durchsichtigen Körpern zu-



untersuchen und einen genauen Vergleich mit der Absorption der leuchtenden Wärme des Spectrums anzustellen.

Berlin, im Februar 1872.

### III. *Versuche über Fluorescenz; von E. Hagenbach.*

(Fortsetzung von S. 89.)

#### 6. Kienrufsatzug.

**O**sann <sup>1)</sup> hat darauf aufmerksam gemacht, daß ein weingeistiger Auszug aus gewöhnlichem Kienruß sehr schön blaugrün fluorescirt; auch wird seither, so viel mir bekannt, diese sehr leicht und wohlfeil herzustellende Flüssigkeit häufig zum Füllen der Geißler'schen Röhren verwandt.

Ich habe vier Auszüge von Kienruß, die alle sehr stark fluoresciren, der Untersuchung unterzogen, nämlich die Auszüge mit Terpentinöl, Aether, Alkohol und Schwefelkohlenstoff; da sich dieselben in einigen Punkten verschiedenen verhalten, so werde ich dieselben besonders besprechen.

#### Auszug mit Terpentinöl.

Der Auszug mit Terpentinöl fluorescirt sehr stark. Fällt der Strahlenkegel einer Sammellinse darauf, so sieht man eine sehr schöne blaugrüne Fluorescenz und bemerkt leicht, daß an der Oberfläche das blaue Fluorescenzlicht vorherrscht, während das grüne Licht tiefer eindringt.

Wird das Spectrum auf die Oberfläche projicirt, so sieht man fünf Maxima der Fluorescenz.

Dieselbe beginnt schwach mit gelbrothem Licht bei 185 (49), ein erstes nicht stark ausgeprägtes Maximum

1) Pogg. Ann. XCVII. S. 329.

Fig. 2.

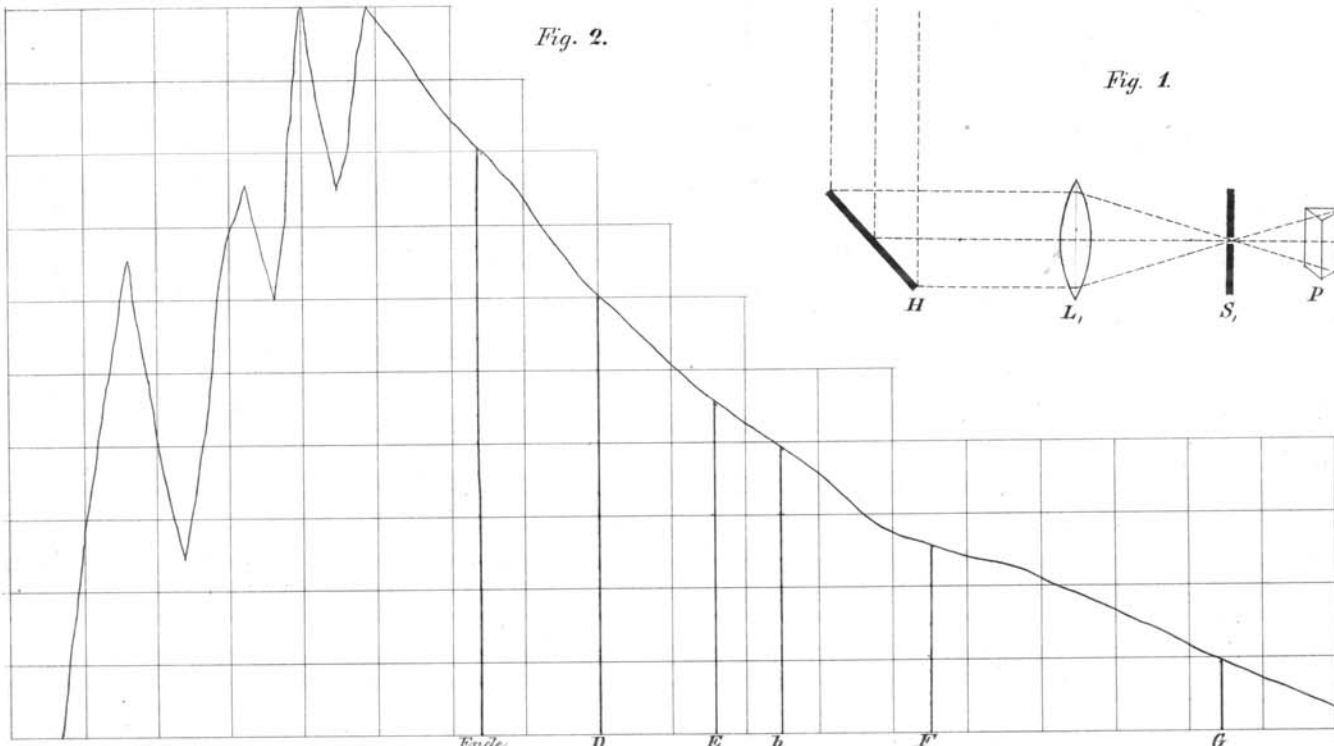


Fig. 1.

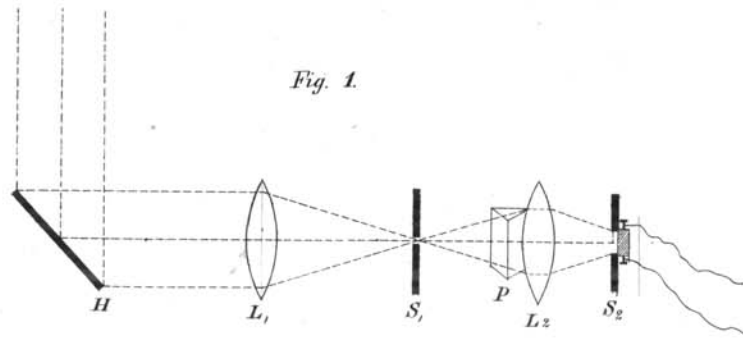


Fig. 3.

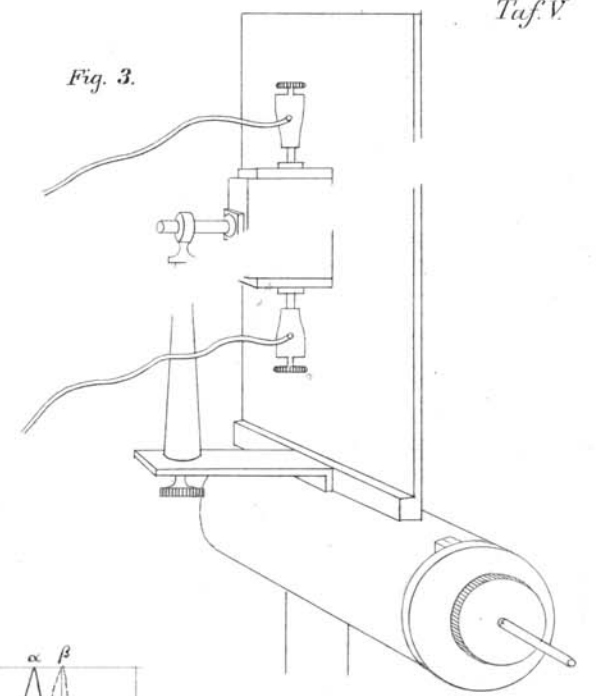


Fig. 4.

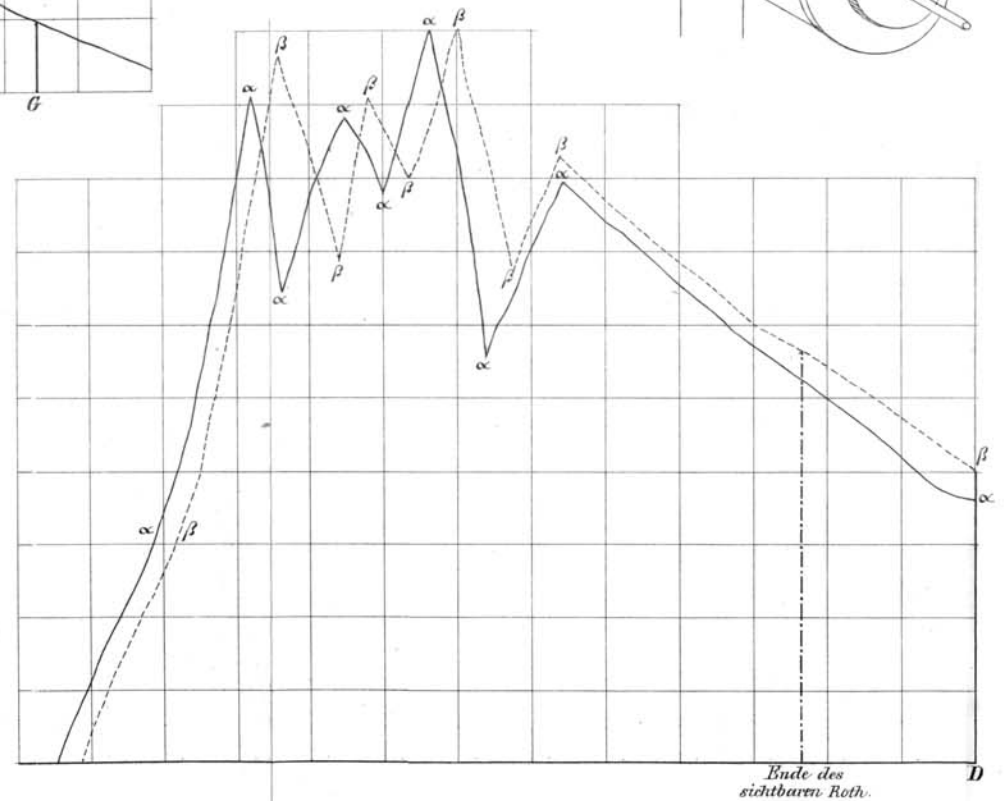


Fig. 5.

