I. Ueber die Doppelbrechung der strahlenden
Wärme; von H. Knoblauch.

(Vorgetragen in der physikalischen Gesellschaft zu Berlin, am 23. Juli 1847.)

Bei den Untersuchungen, welche Bérard über die Temperatur der verschiedenen Theile des Sonnenspectrums anstellte, fand er, daß die Wärmeverhältnisse in den beiden Bildern, welche ein Kalkspathprisma erzeugt, dieselben wären, woraus er schloß, daß die Wärmestrahlen, eben sowohl wie die Lichtstrahlen, der Doppelbrechung unterworfen seyn ¹⁾).

Mehr als zwanzig Jahre später sind Forbes ²⁾ und Meloni ³⁾ auf einem indirecteren Wege wieder auf diese Erscheinung durch die Beobachtung geführt worden, daß optisch doppelbrechende Körper, z. B. ein Glimmerblatt, die Polarisation der Wärmestrahlen in einem gewissen Sinne aufzuheben vermöchten.

Im vergangenen Sommer, 1847, habe ich selbst in Bezug auf die Doppelbrechung der Wärmestrahlen einige neue Versuche angestellt, welche mir zur vollständigen Kenntniss derselben nicht unwichtig zu seyn schienen.

Es kam mir zunächst darauf an, sie auf die einfachste Weise darzustellen, und ich untersuchte daher, ob es möglich seyn würde, durch einen Kalkspath in seiner natürli-

1) 1812. *Mém. de phys. et de chim. de la société d'Arcueil*, T. III, p. 24. — *Gilb. Ann.*, Bd. 46, S. 382, 383.

2) 1835. *Lond. and Edinb. philos. Magaz. and Journ. of Sc.* Vol. VI, p. 289, 371 (Vol. VIII, p. 428), Vol. XIII, p. 106. — *Poggendorff's Annalen*, Bd. 35, S. 556; Bd. 45, S. 75.

3) 1837. *Annal. de chim. et de phys.*, T. LXV, p. 50. — 1838. *Poggendorff's Annalen*, Bd. 43, S. 270 ff.

chen Gestalt die von einer Wärmequelle ausgehenden Strahlen so zu zerlegen, dafs ein hinter dem Krystall vorübergeführtes Thermoskop zwei vollkommen von einander getrennte Wärmewirkungen anzeigte.

Nachdem weder ein weifsglühender Platindraht, noch andere irdische Wärmequellen in einer Form, wie sie für den gedachten Zweck geeignet zu seyn schienen, zu dem gewünschten Resultate geführt hatten, bediente ich mich der Sonnenwärme, welche den doppelten Vortheil einer gröfseren Intensität und des Parallelismus ihrer Strahlen darbot.

Sowohl bei den vorliegenden, als bei den später mitzutheilenden Beobachtungen war es unumgänglich, die Wärmestrahlen stets in derselben Richtung zu erhalten, und der störende Einflufs des veränderten Standes der Sonne wurde daher durch Anwendung eines August'schen Heliostaten ¹⁾ aufgehoben. Dieses Instrument, welches sich durch seine Einfachheit empfiehlt, besteht, dem Princip nach, in einem Spiegel, welcher sich in 48 Stunden einmal um seine Axe, die der Erdaxe parallel ist, dreht. Zu seiner Aufstellung ist also nur erforderlich, die Axe des Spiegels in die Ebene des astronomischen Meridians zu bringen, und ihr in dieser die von der geographischen Breite des Ortes abhängige Lage, z. B. für Berlin eine Neigung von $52^{\circ},5$ gegen den Horizont zu geben. Die Drehung geschieht alsdann vermittelt eines Uhrwerkes, auf welches die Axe aufgesetzt ist.

Gegen Erschütterungen und andere fremde Einflüsse war das Instrument dadurch möglichst gesichert, dafs es auf einer Marmorplatte ruhte, welche an der Mauer des Hauses befestigt war. — Um seine Einstellung mit hinreichender Genauigkeit ausführen zu können, hatte ich an den betreffenden Stellen Mikrometerschrauben anbringen lassen. Ueberhaupt waren alle Theile dieses Apparats, welcher meines Wissens bisher nur in unvollkommenen Modellen existirt

1) E. G. Fischer's Lehrbuch der mechanischen Naturlehre; neu bearbeitet von E. F. August. Vierte Auflage. Berlin 1840. Bd. 2, S. 340.

hat, mit großer Sorgfalt in der Werkstatt der HH. Bötticher und Halske in Berlin angefertigt worden ¹⁾).

Die vom Heliostatenspiegel reflectirten Wärmestrahlen traten 1,5 Fufs von diesem, durch ein Paar paralleler Stahlschneiden von 3^{cm},2 Länge in ein dunkles Zimmer, wo sie durch einen zweiten Spalt gleicher Art hindurchgingen, welcher, 10 Zoll von dem ersteren entfernt, ebenfalls vertical und jenem vollkommen parallel aufgestellt war. 0,5 Zoll hinter dem zweiten Schnitt befand sich ein 2^{cm},05 dicker Kalkspath, auf dessen natürliche Rhombenfläche von 3^{cm},2 und 2^{cm},75 Seite die Wärmestrahlen auffielen. — Der Zweck der Stahlschneiden war, den zum Krystall gelangenden Strahlen eine so geringe horizontale Ausdehnung zu geben, daß sie nach ihrem Durchgange durch denselben zwei, von einander völlig getrennte Strahlengruppen bildeten. Durch einen Spalt wäre dieß, bei der Ausdehnung der Sonnenscheibe, nur sehr unvollkommen zu erreichen gewesen. Außerdem erforderte die Sicherheit des Versuchs, alle Theile des Apparats durch Metallschirme gegen fremdartige Einflüsse zu schützen, was bei einem Zusammendrängen derselben, namentlich gegen das Fenster hin, kaum möglich gewesen wäre.

Zur Messung der Wärmewirkungen hinter dem Kalkspath diente eine aus 15 Paaren von Wismuth- und Antimonstäben bestehende *Thermosäule*, deren 2^{cm},9 lange und 1^{mm} dicke Elemente in einer verticalen Ebene aneinandergefügt und so zugeschrägt sind, daß die aus der Messingfassung hervorragenden Enden eine einzige, 2^{cm},7 lange, gerade Linie von 0^{mm},26 Breite darstellen. Nur diese Kante ist mit Ruß überzogen, und bildet (da alles Uebrige sorgfältig verdeckt ist) den einzig wirksamen Theil des Instruments.

Der mit der Säule verbundene *Multiplicator*, dessen

- 1) Von den Dimensionen des Instruments wird man ungefähr eine Vorstellung erhalten, wenn ich anführe, daß die Höhe des ganzen Heliostaten etwa 23^{cm},5 betrug, und daß die Oberfläche des 2^{mm} dicken Stahlspiegels ein Rechteck von 6^{cm},06 und 2^{cm},9 Seite bildete.

äußere Einrichtung bereits früher ¹⁾ beschrieben ist, enthält 200, etwa 9^{cm} lange Windungen von galvanisch niedergeschlagenem, 1^{mm},15 dickem und 38^{mm},98 langem Kupferdraht. Die astatische, durch einen feinen Silberfaden verbundene Doppelnadel hat, um hinreichend leicht zu seyn, bei einem mittleren Durchmesser von 0^{mm},9, nur 4^{cm},2 Länge, und schwingt nicht, wie bei früheren Versuchen, über einer Metallplatte, sondern über einer, mit der Gradtheilung versehenen Papierscheibe, auf deren Nullpunkt sie sich mit Genauigkeit einstellen läßt. Der von der Thermosäule ausgehende elektrische Strom wurde so geleitet, daß er einfach die ganze Länge des Drahtes durchlief, eine Anordnung, welche unter den gedachten Verhältnissen das Maximum der Wirkung hervorbrachte. — Die Sicherheit der Angaben wurde dadurch erhöht, daß man (neben den früher mitgetheilten Vorsichtsmaßregeln) das Galvanometer mit einem cylindrischen Pappschirm umgab, welcher den störenden Einfluß der Nähe des Beobachters aufhob, während sein verschiebbarer horizontaler Schlitz das Ablesen der Stellung der Nadel gestattete. Das Instrument war von oben durch eine Argand'sche Lampe beleuchtet.

Wurde nun die lineare Thermokette, 1,5 Zoll hinter dem Kalkspath, auf den die Wärmestrahlen in bezeichneter Weise senkrecht auffielen, in horizontaler Richtung mittelst einer Mikrometerschraube langsam vorübergerückt, so zeigte sich eine Ablenkung der Multiplikatornadel um 20°,5, darauf ein Rückgang derselben auf 5°, und sodann ein abermaliges Abweichen um 20°,75. Das Instrument gab also zwei, durch eine Temperaturerniedrigung getrennte Wärmewirkungen an.

Dieselbe Erscheinung wiederholte sich, so oft ich den Versuch anstellen mochte. *Die Doppelbrechung der Wärme war also in ihrer einfachsten Form auf eine unzweideutige Weise dargethan.*

Es fragte sich, wie sich die beiden so eben nachgewiesenen »Wärmebilder« — um mich, der Kürze wegen, die-
1) 1846. Poggendorff's Annalen, Bd. 70, S. 207 ff.

ses der Optik entlehnten Ausdrucks zu bedienen — bei einer Drehung des Kalkspaths in ihrer Stellung zu einander verhalten würden.

Ich versah daher den Krystall mit einer Vorrichtung, durch welche er sich in einer, gegen die Wärmestrahlen senkrechten Ebene umdrehen liefs, und brachte eine Kreistheilung an, um den Werth dieser Drehung bestimmen zu können.

Aenderte sich nun die Entfernung der Bilder von einander, so mußte diefs an dem Abstände ihrer äufsersten Gränzen erkannt werden können. Diese zu bestimmen, liefs ich das lineare Thermoskop durch die Mikrometerschraube behutsam in die Wärmestrahlen einrücken, während ich selbst die Galvanometernadel beobachtete. In demselben Augenblick, in welchem diese ihre Gleichgewichtslage verliels, war die Säule in die Wärmewirkung eingetreten. Ich bemerkte ihren Standpunkt an einer horizontalen Theilung. Er bezeichnete mir die äufserste Gränze des einen Wärmebildes. So sicher der Augenblick zu bestimmen ist, in welchem die Nadel sich zu bewegen beginnt, so unsicher ist ihr Uebergang aus der Bewegung in Ruhe. Ich verfuhr daher zur Ermittlung der entgegengesetzten Gränze des andern Bildes so, dafs ich die Thermosäule durch die ganze Ausbreitung der Wärmestrahlen hindurchrückte, und sie erst, nachdem die Multiplicatornadel ihre ursprüngliche Stellung wieder eingenommen hatte, von der andern Seite in die Wärmestrahlen einfuhrte. Die Nadel wurde alsdann aufs Neue abgelenkt, und man beobachtete abermals die Stellung der Säule, bei der diese Abweichung eintrat. Die Entfernung der im ersten und zweiten Falle bezeichneten Punkte mafs den Abstand der äufsersten Gränzen der beiden Wärmebilder. Da seine Werthe zur Beantwortung der aufgestellten Frage hinreichten, so war man unbekümmert, um wie viel sich die inneren Gränzen jener Bilder gegen einander verschoben, und ob sie in gewissen Fällen übereinander fielen.

Die Beobachtung ergab in der That eine *Verschieden-*

heit des bezeichneten Abstandes. Er betrug z. B. bei einer Breite des ersten Spalts von 3 Linien und des zweiten von 0,5 Linie unter den gedachten Umständen: 1,23 Linie, wenn der Nullpunkt der Krystallfassung auf 10° stand, und 2,55 Linien, wenn derselbe auf 100° eingestellt, d. h. der Krystall um 90° weiter gedreht worden war.¹

Die folgende Tabelle enthält aufer den angegebenen, auch die bei anderen Stellungen des Kalkspaths ausgeführten Messungen.

Winkel, um welchen der Krystall gedreht wor- den ist:	0°	10°	20°	40°	70°	90°	100°	110°
Abstand der äußersten Gränzen der beiden Wärmebilder:	1",48	1",23	1",60	1",90	2",18	2",30	2",55	2",20

Ein Vergleich dieser Zahlen läßt überdißs deutlich erkennen, daß diejenige Stellung des Krystalls, welcher das Maximum entspricht, um eine Drehung von 90° von derjenigen absteht, welcher das Minimum angehört, oder mit anderen Worten, daß man den Kalkspath 90° drehen muß, um nach der größten Annäherung der beiden Wärmebilder das weiteste Auseinandertreten derselben herbeizuführen.

Bei einer näheren Untersuchung derselben zeigt sich, daß das eine Bild bei jeder Drehung des Krystalls eine unveränderte Lage behält, während sich das andere über das feststehende hinwegbewegt. Hat es nämlich bei einer gewissen Stellung auf der einen Seite des unveränderlichen Wärmebildes seine größte Entfernung von diesem erlangt, so fällt es in Folge einer Drehung des Krystalls von 90° mit dem feststehenden in eine verticale Ebene zusammen ¹⁾, und eine weitere Drehung von 90° läßt es auf der entgegengesetzten Seite desselben in eine gleiche Entfernung treten, wie es zuvor auf der andern Seite gehabt hat. Dreht man den Doppelspath noch um 90° , so findet abermals eine Coïncidenz in dem vorigen Sinne statt, und

1) Und zwar in dem Falle, in welchem der durch die stumpfen Winkel gehende Hauptschnitt des Kalkspaths vertical ist.

eine weitere Umdrehung von 90° , welche den Krystall (nach einer Gesamtumdrehung von 360°) wieder in seine ursprüngliche Lage versetzt, führt natürlich auch das bewegliche Wärmebild in seine anfängliche Stellung zurück.

Die Wärmestrahlen werden also durch die Doppelbrechung in eine feststehende („ordentliche“) und eine bewegliche („außerordentliche“) Strahlengruppe zerlegt.

Um die Intensität der Wärmebilder mit Sicherheit vergleichen zu können, ist es nothwendig, statt des linearen Thermoskops, das nur von einem Theile der Wärmestrahlen getroffen wird, ein solches anzuwenden, welches die ganze Summe der einem Bilde angehörenden Strahlen umfaßt. — Zu dem Ende versah ich meine quadratische, früher ¹⁾ beschriebene Thermosäule mit einem Rahmen, an dessen beiden Seiten metallene Deckel angebracht waren, welche, an verticalen Charnieren beweglich, so gestellt werden konnten, daß sie die eine Strahlengruppe zurückhielten, die andere aber in ihrer ganzen Ausdehnung zum Instrument gelangen ließen.

Hierbei zeigte sich, daß jedes der beiden Wärmebilder eine Ablenkung von $9^\circ,5$ am Thermomultiplicator hervorbrachte, ein Beweis, daß beide eine völlig gleiche Intensität hatten.

Liefs man sie gleichzeitig auf die Säule einwirken, so erhielt man eine Abweichung der Galvanometernadel auf 19° , also, wie sie erwarten liefs, einen doppelten Werth ²⁾ wie zuvor. Diese Angabe blieb innerhalb der Beobachtungs-

1) 1846. Poggendorff's Annalen, Bd. 70, S. 206.

2) Eine specielle Untersuchung meines Thermomultiplicators nach dem Melloni'schen Verfahren *) überzeugte mich, daß die Ablenkungen der Galvanometernadel bis auf 35° den sie hervorbringenden Kräften proportional gesetzt werden konnten, ein Umstand, welcher wahrscheinlich der verhältnißmäßigen Kleinheit der Nadeln gegen die Länge der Drahtwindungen zuzuschreiben war.

*) 1834. *Bibl. univ.*, LV, p. 11, 12. — *Ann. de chim. et de phys.*, LIII, p. 23 bis 30. — *Mém. de l'Acad. des Scienc.*, T. XIV, p. 445 ff. — Poggendorff's Annalen, Bd. 35, S. 128 bis 134, Bd. 38, S. 12 (Bd. 56, S. 326).

fehler (in diesem Falle nur Viertelgrade) *constant*, welche Lage auch die beiden Bilder gegen einander haben, d. h. wie man auch den Kalkspath auf die vorerwähnte Weise drehen mochte.

Alle Erscheinungen der Doppelbrechung finden nicht statt, wenn man die Wärmestrahlen, anstatt sie auf die Rhombenfläche des Kalkspaths auffallen zu lassen, in einer der krystallographischen Axe parallelen Richtung durch denselben hindurchgehen läßt.

Vertauscht man nämlich den Krystall, welcher seine natürlichen Flächen behalten hatte, mit einem solchen, welcher senkrecht gegen die Axe geschnitten ist, und läßt die Strahlen unter einem rechten Winkel auf die angeschliffenen Flächen gelangen, so nimmt man mit dem linearen Thermoskop nur eine einzige Gruppe von Wärmestrahlen wahr, deren äußerste Gränzen einen unveränderten Abstand von einander haben. Die Ablenkung, welche ich bei einem Krystall der letzteren Art, ebenfalls von 2^{cm},05 Dicke, wie der zuerst beschriebene, an jenem Instrumente erhielt, betrug 36°. Die Ausbreitung der Wärmestrahlen, welche bei jeder Drehung des Kalkspaths um seine Axe dieselbe blieb, belief sich auf 1,18 bis 1,23 Linien.

Die Gesammtheit der den Krystall durchdringenden Strahlen brachte, bei Anwendung der quadratischen Thermosäule, eine Abweichung der Galvanometernadel auf 19° hervor, also eine Angabe, welche der *Wirkung der beiden Wärmebilder* im ersten Falle gleich kam.

Es hat sich also aus den mitgetheilten Untersuchungen ergeben:

1) Dafs sich die Doppelbrechung der Wärmestrahlen an einem Kalkspath mit natürlichen Krystallflächen auf die einfachste Weise und zwar so darstellen läßt, dafs man zwei vollkommen von einander getrennte Strahlengruppen wahrnimmt, von denen die eine, bei der Drehung des Doppelpaths, eine unveränderte Stellung behält, während sich die andere um sie herumbewegt.

2) Dafs diese Erscheinungen bei einem senkrecht gegen

die Axe geschnittenen Krystall für diejenigen Strahlen, welche der Axe parallel sind, nicht stattfinden.

3) Dafs die Intensität der beiden, im ersten Falle auftretenden Strahlengruppen dieselbe und ihre Summe gleich der Intensität der Wärmestrahlen ist, welche aus dem senkrecht gegen die Axe geschnittenen Kalkspath von gleicher Dicke auf die bezeichnete Weise austreten.

Bei Gelegenheit der Polarisation der Wärmestrahlen werden wir Veranlassung haben, auf diese Erscheinungen noch einmal zurückzukommen.

II. Ueber die Beugung der strahlenden Wärme; von H. Knoblauch.

Die Beugung der Wärmestrahlen ist zuerst durch die Beobachtungen *direct* nachgewiesen worden, welche ich im August des Jahres 1846 ¹⁾ veröffentlicht habe.

Eine genauere Untersuchung der dabei stattfindenden *Gesetze* wurde von mir im October 1847 ²⁾ mitgetheilt.

Außer einem Experiment von Matteucci ³⁾ in Betreff der Wärmeinterferenz, welches nach dem Urtheile der mit diesen Untersuchungen vertrauten Physiker keinen Glauben verdient, war bis zum Jahre 1846 selbst keine Beobachtung bekannt, aus der man *indirect* einen Schluß auf die gedachte Erscheinung hätte ziehen können.

1) Die Fortschritte der Physik, dargestellt von der physikal. Gesellschaft zu Berlin. Bericht v. J. 1846. S. 311.

2) Monatsberichte der Berlin. Academie, 1847, October. S. 391 bis 395.

3) 1831. *Biblioth. univers.*, T. L, p. 1. — 1834. T. LVII, 74, — Poggendorff's Annalen, Bd. 27, S. 462. Bd. 35, S. 558.