DER PHYSIK UND CHEMIE.

NEUE FOLGE. BAND I.

I. Ueber die Reflexion der Wärmestrahlen von Metallen; von H. Knoblauch.

(Vorgetragen in der naturforschenden Gesellschaft zu Halle
am 4. November 1876 ¹⁾).

Die vorliegenden Untersuchungen schliessen sich an diejenigen an, welche von dem Verfasser in den Jahren 1848 (Pogg. Ann. LXXIV, p. 161 ff.) und 1857 (Pogg. Ann. CI, p. 201 ff.) veröffentlicht worden sind. Andere, auf die jetzt von ihm behandelte Frage bezügliche, Vorarbeiten sind nicht vorhanden.

Zunächst wurde die *Intensität der unter wachsendem Einfallswinkel* (zwischen Strahl und Normale auf die Platte gemessen) *zurückgeworfenen Strahlen* ermittelt. Wegen des dabei wesentlichen Einflusses der *Polarisation* war vorgesehen, dass die Wärmestrahlen bereits vor ihrer Reflexion in einer, der Reflexionsebene parallelen oder auf dieser senkrechten, endlich in einer unter 45° dagegen geneigten Ebene polarisirt werden konnten. Die letztere Polarisation liess Resultate erwarten, welche in dem gegebenen Falle denen der nicht polarisirten Wärme vergleichbar sein würden.

Zu dem Ende wurden die durch einen Heliostat in unveränderter Richtung horizontal in das verfinsterte Zimmer gelangenden Sonnenstrahlen (welche ihres Paralle-

1) Die erste Mittheilung geschah am 22. September 1876 in der physikalischen Section der Naturforscher-Versammlung zu Hamburg. Eine Veröffentlichung durch den Druck unterblieb damals, weil der, dem Secretair der Section übergebene Bericht in dessen Händen verloren ging.

lismus und ihrer Intensität wegen gewählt waren) schon bei ihrem Eintritt durch ein, in der Fensterlade angebrachtes, Nicol'sches Prisma hindurchgelassen, dessen Hauptschnitt vertical, horizontal oder unter 45° gestellt war. Sodann fielen sie, durch eine runde Oeffnung in einem Schirm — nach Umständen von 4^{mm} bis 9^{mm} Durchmesser — begrenzt, auf die vertical stehende und um eine verticale Axe drehbare spiegelnde Metallplatte, und von dieser, nach Feststellung des Einfallswinkels, in horizontaler Ebene zurückgeworfen, auf eine mit einem Multiplikator verbundene Thermosäule, welche sie vollständig auffing.

Als Maass ihrer Intensität sind die folgenden Ablenkungen der Multiplikatornadel zu betrachten. Die bisher untersuchten Metalle sind Stahl, Nickel, Zink, Neusilber, Kupfer, Gold, Silber und Messing. Eine gemeinsame Tabelle enthält die an diesen allen gewonnenen Resultate, wenn zwar nur die einem und demselben Metall zugehörigen Zahlen unter sich vergleichbar sind. Als ein in seinem Verhalten bereits bekannter Körper ist ihnen Glas ¹⁾ zum Anhalt hinzugefügt worden.

Intensität der von den Platten reflectirten Wärmestrahlen:

		Einfallswinkel:	15°	25°	35°	45°	55°	65°	70°	73°	75°	85°
		Hauptschnitt des Nicol										
Stahl	{	vertical	3.75	4.00	4.00	4.25	4.50	4.75	—	5.00	6.00	
		45°	3.62	3.69	3.75	3.94	4.25	4.44	—	4.62	5.00	
	{	horizontal	3.25	3.00	3.00	2.75	2.50	2.25	—	2.00	2.75	
Nickel	{	vertical	3.90	4.00	4.12	4.25	4.50	4.65	—	4.80	5.00	
		45°	3.65	3.65	3.75	3.87	4.00	4.12	—	4.25	4.50	
	{	horizontal	3.40	3.40	3.27	2.90	2.77	2.40	—	2.02	3.15	
Zink	{	vertical	5.00	5.25	5.50	6.00	6.18	7.00	72.5° 7.50	7.50	7.75	
		45°	4.63	4.88	5.25	5.25	5.43	5.57	5.62	5.87	6.19	
	{	horizontal	4.50	4.50	4.25	4.00	4.00	3.25	3.00	3.25	4.25	
Neusilber	{	vertical	4.25	4.35	4.50	4.75	5.00	5.25	70° 5.50	5.75	6.25	
		45°	4.20	4.20	4.20	4.35	4.50	4.50	4.75	4.87	5.12	
	{	horizontal	4.00	4.00	3.95	3.85	3.70	3.45	3.20	3.20	4.45	

1) Pogg. Ann. Jubelband, p. 285. 1874.

Einfallswinkel:		15°	25°	35°	45°	55°	65°	70°—73°	75°	85°
		Hauptschnitt des Nicol								
Kupfer	vertical	4.90	5.00	5.00	5.00	5.50	5.50	70° 5.85	6.25	6.50
	45°	4.70	4.70	4.70	4.80	5.12	5.12	5.31	5.50	6.00
	horizontal	4.30	4.25	4.15	4.00	4.00	3.50	3.00	3.25	4.00
Gold	vertical	4.75	4.75	4.75	4.75	4.75	5.00	5.00	5.25	5.62
	45°	4.60	4.65	4.65	4.65	4.65	4.65	4.65	4.65	4.90
	horizontal	4.50	4.50	4.50	4.50	4.50	3.62	73° 3.37	3.62	4.37
Silber	vertical	5.25	5.25	5.25	5.25	5.50	5.60	5.75	5.75	6.00
	45°	5.25	5.25	5.25	5.25	5.37	5.37	5.37	5.50	5.75
	horizontal	5.25	5.25	5.25	5.25	5.25	5.00	4.85	5.20	5.75
Messing	vertical	5.25	5.25	5.37	5.50	5.50	5.65	70° 5.75	5.75	6.58
	45°	5.25	5.25	5.35	5.50	5.75	5.75	5.75	5.75	6.62
	horizontal	5.37	5.50	5.50	5.50	5.50	5.75	5.75	5.75	6.65
farbloses Glas	vertical	1.05	1.25	1.56	2.12	3.55	5.54	—	8.70	12.25
	45°	0.85	0.95	1.12	1.50	2.14	3.37	—	6.19	10.09
	horizontal	0.50	0.45	0.37	0.15	0.00	0.73	—	2.42	7.17

Aus diesen Werthen geht unverkennbar hervor, dass

1) die durch das Nicol'sche Prisma bei verticalem Hauptschnitt desselben hindurchgegangenen, d. h. in einer, der horizontalen *Reflexionsebene gleichgerichteten Ebene polarisirten Wärmestrahlen mit desto grösserer Intensität zurückgeworfen werden, je grösser ihr Einfallswinkel gegen die Normale der reflectirenden Flächen ist;*

2) *diese Intensitätszunahme bei den, unter 45° gegen die Reflexionsebene polarisirten Strahlen zwar auch durchweg, aber in geringerem Maasse als in dem ersteren Falle stattfindet;*

3) die durch das Nicol'sche Prisma bei horizontalem Hauptschnitt eingetretenen, d. h. in einer gegen die Reflexionsebene senkrechten Ebene polarisirten Wärmestrahlen anfangs mit desto geringerer Intensität reflectirt werden, je grösser der Einfallswinkel wird, bis derselbe einen bestimmten, für die verschiedenen Metalle unterschiedenen Werth, den des sogenannten Polarisationswinkels, angenommen hat, worauf eine um so stärkere Intensitätszunahme der zurückgeworfenen Strahlen bei ferner wachsendem Incidenzwinkel erfolgt;

4) die bei einem und demselben Winkel reflectirten Strahlen, bei gleicher Intensität der zu dem Spiegel gelangenden Wärme, im ersten Falle die grösste, im zweiten eine geringere, im dritten die geringste Intensität besitzen.

Ein Vergleich der verschiedenen Metalle ergiebt weiter, dass die bezeichneten Steigerungen, wie sie bei verticalem und unter 45° gestelltem Hauptschnitt in der ganzen horizontalen Zahlenreihe, bei horizontalem Hauptschnitt des Nicol im letzten Theile derselben auftreten, ferner die Verminderungen, welche bei horizontalem Hauptschnitt im ersten Theile der horizontalen Reihe und bei allen Einfallswinkeln in der verticalen Columnne ersichtlich sind, dem Grade nach sehr ungleich sind. Die beobachteten, schwierig festzustellenden Werthe, welche noch mancher Verbesserung bedürfen werden, lassen die betreffenden Unterschiede beim Stahl am grössten erscheinen, geringer bei Nickel und Zink, noch geringer bei Neusilber und Kupfer, erheblicher vermindert bei Gold und Silber, zum Theil verschwunden beim Messing. Bei dem letzteren findet sich kein über die Beobachtungsfehler hinausgehender Unterschied mehr in der Reflexion der bei verticalem und der bei 45° gedrehtem Hauptschnitt polarisirten Strahlen. Die Intensität der bei horizontalem Hauptschnitt des Nicol hindurchgegangenen Wärme sinkt nicht bei der Reflexion vom Messing unter wachsendem Einfallswinkel in jener charakteristischen, durch den Polarisationswinkel begrenzten Weise herab. Es zeigt sich vielmehr eine, den beiden vorigen Fällen ganz identische, continuirlich fortdauernde Steigerung, so dass die, bei einem und demselben Winkel sonst sich geltend machende Ungleichheit in der verticalen Zahlenreihe hier völlig bis innerhalb der Grenze unvermeidlicher Fehler verschwindet.

Die Reflexion der Wärme vom Messing bildet demnach einen interessanten Grenzfall, dem auf der anderen Seite die Reflexion vom Glase extrem gegenüber steht.

Unter dem gleichzeitigen Einfluss der reflectirenden Substanz und der durch die Polarisation bedingten Eigen-

thümlichkeit der *Strahlen* steigert sich am *Glase* bei zusammenfallender ursprünglicher Polarisations- und Reflexions-Ebene die Intensität der reflectirten Wärme vom Einfallswinkel 15° bis 85° um etwa das Zwölfwache; bei rechtwinklig gekreuzten Polarisations- und Reflexions-Ebenen sinkt sie beim Polarisationswinkel auf Null herab, entsprechend vermindert sich die Intensität für einen und denselben Einfallswinkel bei dem Uebergange von jenem Polarisationsfalle (bei verticalem Nicolhauptschnitt) in diesen (bei horizontalem Hauptschnitt).

Beim *Messing* ist unter ganz denselben Bedingungen kein Einfluss der *Polarisation* erkennbar. Es bleibt ausschliesslich der Einfluss der reflectirenden Substanz wirksam, den man — wie in keinem andern bisher bekannten Falle — zum ersten Male von jenem getrennt findet, und der sich nun als ein, die Intensität der reflectirten Wärme ganz allmählich, erst bei sehr flach auffallenden Strahlen in höherem Grade steigender direct nachweisen lässt.

Ihn unterstützt in den übrigen Fällen die Eigenthümlichkeit der Strahlen von der Incidenz 0° bis zum Polarisationswinkel beim Parallelismus der Polarisations- und Reflexions-Ebenen und vom Polarisationswinkel bis 90° bei Kreuzung dieser Ebenen. Ihm wirkt sie entgegen bei Incidenzen von 0° bis zum Polarisationswinkel für gekreuzte und vom Polarisationswinkel bis 90° für gleichgerichtete Ebenen der Polarisation und Reflexion.

Zwischen dem Glase und dem Messing stehen hinsichtlich der Reflexion polarisirter Wärmestrahlen die übrigen der Untersuchung unterworfenen Metalle.

Zur Erkennung des gesammten Vorgangs kam es ferner darauf an zu ermitteln, wie sich die Metalle gegen die natürliche (nicht polarisirt einfallende) Wärme verhalten, welche polarisirende Wirkung die blosse Reflexion an ihnen hervorbringen würde.

Da die Nothwendigkeit, die Strahlen während des Versuchs in constanter, wo möglich horizontaler Richtung

zu behalten, die unmittelbare Benutzung der directen Sonnenstrahlen nicht zuließ, der Heliostat demnach nicht zu entbehren war, so wurde, um die folgenden Messungen dem störenden Einfluss jenes zu entziehen, das Nicol'sche Prisma mit seinem Hauptschnitt dauernd auf 45° eingestellt. Es war anzunehmen, dass für eine Analyse in verticaler und horizontaler Ebene der wie bisher reflectirten Strahlen eine solche Vorkehrung zu demselben Ergebniss führen würde, als habe man wirklich unpolarisirte Strahlen zu den Metallspiegeln gelangen lassen.

Von diesen zurückgeworfen, fielen die Strahlen auf ein zweites (analysirendes) Nicol'sches Prisma, dessen Hauptschnitt vertical oder horizontal gestellt wurde und hinter dem die Säule des Thermomultipliers die Wärmestrahlen aufnahm.

Aus früheren Untersuchungen war bekannt, dass, im Falle des erwarteten Intensitäts-Unterschiedes, das Maximum bei verticalem Hauptschnitt des analysirenden Nicols, das Minimum bei horizontaler Stellung desselben auftreten musste.

Beide wurden an dem mit der Thermosäule verbundenen Galvanometer abgelesen, dessen Grade innerhalb der hier erfolgenden Ablenkungen der Wärme proportional betrachtet werden konnten. Zur Beantwortung der vorliegenden Frage erschien es am einfachsten, das *Verhältniss* dieses jedesmaligen *Maximums* und *Minimums* für die verschiedenen Einfallswinkel zu bilden.

Die folgende Uebersicht stellt diese, bei den genannten Metallen und dem Glase erhaltenen Verhältnisse dar.

Einfallswinkel:	15°	25°	35°	45°	55°	65°	70°	72,5°	75°	85°
Stahl	1.06	1.19	1.53	1.72	2.17	2.78	—	—	3.49*	2.37
Nickel	1.09	1.12	1.25	1.38	1.50	2.20	—	—	3.24*	1.44
Zink	1.10	1.20	1.23	1.30	1.62	2.14	2.35	2.50*	2.20	1.63
Neusilber	1.00	1.14	1.23	1.34	1.43	1.67	2.00	2.00*	2.00	1.33
Kupfer	1.20	1.22	1.22	1.28	1.28	1.40	1.67	1.70*	1.52	1.10
Gold	1.00	1.00	1.00	1.00	1.08	1.17	1.25*	—	1.17	1.00
								73°		
Silber	1.00	1.00	1.00	1.00	1.08	1.11	—	1.13*	1.07	1.00

Einfallswinkel:	15°	25°	35°	45°	55°	65°	70°	72.5°	75°	85°
Messing	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Glas (farblos)	—	1.61	3.44	10.80	2.56	10.42	—	—	3.21	1.37
					0*					

Der Werth dieses Verhältnisses wächst demnach mit der Vergrößerung des Einfallswinkels, bis dieser den, jedem Metall eigenthümlichen, Polarisationswinkel erreicht hat, um sodann bei fernerer Zunahme des Incidenzwinkels wieder abzunehmen.

Um diesen Wendepunkt in der horizontalen Zahlenreihe leichter erkennbar zu machen, ist dem betreffenden grössten Werthe ein Stern hinzugefügt worden.

Vergleicht man bei einem und demselben Metall die, in gleichem Winkelabstande von diesem Maximalwerth auf beiden Seiten gefundenen Zahlen, so ergiebt sich, dass die dem kleineren Winkel angehörige stets die des grösseren übertrifft. So ist beim Stahl, dessen Polarisationswinkel 75° beträgt, das Verhältniss von Maximum und Minimum für 65°: 2.78, für 85° nur 2.37. Beim Zink, dessen Polarisationswinkel 72.5°, beläuft sich dasselbe einerseits

bei 70° auf 2.35, andererseits bei 75° auf nur 2.20;

„ 60° „ 2.00, „ „ 85° „ „ 1.63.

Beim Kupfer fällt der betreffende Maximalwerth 1.70 ebenfalls auf 72.5°. Diesseits des Polarisationswinkels beträgt das in Rede stehende Verhältniss

bei 70°: 1.67, jenseits desselben bei 75°: 1.52;

„ 65°: 1.40, „ „ „ 80°: 1.20;

„ 60°: 1.36, „ „ „ 85°: 1.10.

Auch bei der Reflexion vom Glase bestätigt sich, dass das Verhältniss von Maximum und Minimum, wie dieselben hinter dem analysirenden Nicol auftreten, wenn dessen Hauptschnitt ein Mal auf der Reflexionsebene senkrecht steht, das andere Mal mit derselben zusammenfällt, grösser ist bei einem Einfallswinkel, der kleiner als der Polarisationswinkel ist als bei einem, um eine gleiche Winkeldifferenz grösseren.

Diese Erscheinung erklärt sich dadurch, dass Maximum und Minimum bei 0° und 90° Incidenz einen gleichen Werth annehmen, ihr Quotient also gleich 1 wird, das Herabsteigen von dem Maximalwerth des Polarisationswinkels: 70° bis 75° bei den Metallen, 55° bei dem Glase, aber auf der längeren Strecke von diesem Winkel bis 0° allmählicher sich vollzieht, als auf dem kürzeren bis 90° .

Wie ungleich die polarisirende Wirkung der Reflexion bei den verschiedenen Metallen sich geltend macht, ergibt am deutlichsten die Vergleichung der obigen, mit einem Stern versehenen Maximalwerthe, zu denen das Verhältniss von Maximum und Minimum an den einzelnen Metallen sich erhebt. Dieser Werth beträgt beim Stahl 3.49, beim Nickel 3.24, Zink 2.50, Neusilber 2.00, Kupfer 1.70, Gold 1.25, Silber 1.13, Messing 1. Die verhältnissmässig grössten Unterschiede in den zwei auf einander senkrechten Richtungen zeigt demnach der Stahl, die übrigen Metalle liefern geringere, der Reihe nach, immer kleiner werdende Ungleichheiten, beim Messing verschwinden sie gänzlich. Hier tritt keine Steigerung mit dem Einfallswinkel, keine Abnahme nach Ueberschreitung des Polarisationswinkels, welcher sich bei diesem Vorgange überhaupt gar nicht am Messing bemerkbar macht, ein. In völliger Gleichheit verharren von 0° bis 90° Incidenz die Wärmeantheile, welche so charakteristisch verschieden bei den anderen Metallen und in extremster Weise bei dem Glase sich hervorthun, an welchem das Minimum auf Null herabsinkt.

Alle diese Thatfachen führen dahin, dass *bei den meisten Metallen, gegenüber der linearen beim Glase, die elliptische, beim Messing die circulare Polarisation eintritt.*

Es war von Interesse, durch eingehendere Prüfung zu erfahren, ob den in ihrer Brechbarkeit, resp. ihrer Wellenlänge *verschiedenen Wärmestrahlen* ungleiche Polarisationswinkel zugehörten.

Zu dem Ende wurden die *Eigenschaften*, z. B. die Durch-

gangsfähigkeit, diathermanen Platten gegenüber, der strahlenden Wärme unter sonst gleichen Verhältnissen, z. B. bei gekreuzten Polarisations-Ebenen der reflectirten Strahlen und des analysirenden Nicols vor der Thermosäule, bei Einfallswinkeln kleiner und grösser als der bisher bekannt gewordene mittlere Polarisationswinkel (70° bis 75°), untersucht.

Bei dieser Gelegenheit zeigte sich, dass die unter 65° beim Stahl, unter 55° beim Messing zurückgeworfene Wärme fähig war, durch ein unmittelbar vor der Thermosäule eingeschaltetes rothes Glas in einem Antheil 21.1, resp. 20 von 100 auf die Vorderfläche des Glases auffallender Menge hindurchzustrahlen, während die unter 85° reflectirte Wärme dieselbe Glasplatte reichlicher durchdrang, nämlich beim Stahl in dem Verhältniss 31.7, beim Messing 29.2 von gleicher, zum rothen Glase gelangender Menge 100.

Die nachstehende Tafel stellt ausser diesen Beobachtungen noch die an einem blauen und einem orangefarbenen Glase gemachten dar in dem jedesmaligen Verhältniss der Wärmemenge, welche auf die diathermanen Körper auffällt, und derjenigen, welche durch dieselben hindurch geht.

Eingeschaltete Gläser: Einfallsw.: 65°	Reflexion von		Messing.	
	Stahl.			
	85°		55°	85°
roth	100:21.1	100:31.7	100:20.0	100:29.2
blau	100:36.7	100:15.8	100:33.2	100:16.0
orange	100:32.2	100:50.0	100:30.0	100:48.1

Hiernach sind unter den bezeichneten Umständen die vor Erreichung des mittleren Polarisationswinkels von dem Metall zurückgeworfenen Wärmestrahlen fähiger ein blaues, dagegen weniger fähig, ein rothes oder ein orangefarbenes Glas zu durchdringen, als caeteris paribus die nach Ueberschreitung jenes mittleren Polarisationswinkels reflectirten. Indem diese qualitative Verschiedenheit der Strahlen vor und nach dem gedachten Winkel in gleichem Sinne bei Stahl und Messing stattfindet, ist zugleich jedes Bedenken

darüber beseitigt, ob dieser Vorgang auch von einer etwaigen auswählenden Absorption der Wärmestrahlen an den Metallen unabhängig sei. Denn beim Stahl findet eine solche überhaupt nicht statt, während sie beim Messing vorhanden ist ¹⁾. Aehnliches wie beim Stahl und Messing zeigt sich bei den anderen Metallen.

Es ergibt sich daraus die zweifellose Thatsache, dass der *Polarisationswinkel der verschiedenen „Wärmefarben“ bei der Reflexion von den Metallen ein verschiedener ist.*

Die bisher vorliegenden Beobachtungen scheinen für die Wärme den von Brewster ²⁾ für das Licht ausgesprochenen Satz zu bestätigen, dass bei den Metallen der Polarisationswinkel (φ) der am violetten Ende des Spectrums befindlichen Strahlen kleiner als der Polarisationswinkel der dem rothen Ende zugehörigen ist, was in Verbindung mit der Beziehung des Brechungsverhältnisses (n) zum Polarisationswinkel: $n = \operatorname{tg} \varphi$ zu seltsamen Anomalien auf dem Gebiete der Brechung führt.

Deutete schon der eben beschriebene Vorgang darauf hin, dass *bei dem circular polarisirenden Messing* der vorher der Wahrnehmung entzogene *Polarisationswinkel* zwischen 55° und 85° , also wahrscheinlich an ähnlicher Stelle wie bei den andern Metallen zu suchen sei, so war es doch von Werth, ihn noch näher kennen zu lernen.

Zu diesem Behuf wurde das analysirende Nicol'sche Prisma, dessen Stellung bei der obigen Versuchsreihe nur auf die verticale und horizontale Ebene bezogen war, nunmehr so gedreht, dass sein Hauptschnitt ein Mal auf 45° , das andere Mal auf -45° stand, beide Stellungen also um 90° von einander unterschieden waren. Die Intensität der vom Messing reflectirten und durch den Analysator hindurchgegangenen Wärme bewirkte jetzt bei 65° Inci-

1) Pogg. Ann. CI. p. 179 ff. besonders 188; p. 195 ff. bes. 199, 201, 212, 213. 1857.

2) Phil. Trans. 1830. pt. II. p. 287 ff. Pogg. Ann. XXI, p. 266, 273. 1831.

denz im ersten Falle 5° , im letzteren 2° Ablenkung am Thermomultiplicator; bei 70° : 3.87° und 3.37° ; bei 72.5° gleiche Werthe von 3.5° ; bei 75° wieder unterschiedene 3.25° und 4° . Hiernach erscheint 72.5° als Polarisationswinkel des Messings.

Eine weiter gehende Bedeutung erhält diese Wahrnehmung des *Gleichwerdens der Intensitäten beim Polarisationswinkel unter den gegebenen Bedingungen* dadurch, dass sie dem obigen Verfahren, aus der grössten Verschiedenheit von Maximum und Minimum bei verticalem und horizontalem Hauptschnitt des analysirenden Nicols den Polarisationswinkel zu entnehmen, eine *zweite*, auch für circulare Polarisation anwendbare, *Methode zu dessen Bestimmung* hinzufügt, und dass es in dieser Weise auf thermischem Wege gelingt, den Polarisationswinkel der Metalle bei einmaliger Reflexion zu ermitteln, was auf optischem unmöglich ist.

Es wird die Aufgabe fernerer Versuche sein, durch Anwendung beider Methoden, diesen Winkel bei einzelnen Metallen noch genauer festzustellen und alsdann für diesen revidirten die Maximalwerthe des Verhältnisses von Maximum und Minimum der Intensität innerhalb der Reflexionsebene und senkrecht darauf wiederum zu prüfen.

Das *Axenverhältniss der Ellipsen*, in denen die Wärmestrahlung in Folge der Reflexion von den Metallen sich vollzieht, kann daher durch die obigen Zahlen nur annähernd bestimmt werden. Dasselbe würde für den jedesmaligen Polarisationswinkel betragen¹⁾:

beim Stahl	10: 18.681
„ Nickel	10: 18.000
„ Zink	10: 15.811
„ Neusilber	10: 14.142
„ Kupfer	10: 13.038

1) Indem man aus dessen Maximalwerth des Verhältnisses von Maximum und Minimum die Quadratwurzel zieht, z. B. beim Stahl

$$\frac{\sqrt{349}}{\sqrt{100}} = \frac{18.681}{10}.$$

beim Gold	10: 11.180
„ Silber	10: 10.630
„ Messing	10: 10.000.

Die circulare Polarisation des letzteren (nur beim Polarisationswinkel) wurde noch dadurch direct nachgewiesen, dass während einer ganzen Drehung um 360° (resp. der ausreichenden um 180°) des analysirenden Nicols die durch ihn hindurchgehende Wärmeintensität 3.5° am Thermomultiplicator constant blieb.

Nimmt man hierzu die mit Hülfe des analysirenden Nicols weiter gemachte Erfahrung, dass die, durch das Nicol'sche Prisma in der Fensterlade, unter 45° gerichtete Polarisationsebene bei der Reflexion vom Glase wie von den meisten Metallen beim Wachsen des Einfallswinkels in dem Maasse gedreht wird, dass sie beim Polarisationswinkel mit der Reflexionsebene zusammenfällt und alsdann bei fernerer Zunahme der Incidenz vom Polarisationswinkel bis 90° sich um noch 45° weiter dreht, um schliesslich zu der linearen, gegen die ursprüngliche aber um 90° gedrehten Polarisation zurückzukehren, ferner dass bei der Zurückwerfung vom Messing vor dem Polarisationswinkel die Polarisationsebene in der Lage von 45° , nach demselben auf -45° unverändert sich erhält, so gelangt man zu dem Schlusse, dass bei der Reflexion der unter 45° linear polarisirten Wärme während der wachsenden Incidenz

entweder *keine Aenderung der Schwingungsform* eintritt, wohl aber eine *Drehung der stets linear bleibenden Schwingung* um 45° während des Ueberganges der Incidenz von 0° bis zum Polarisationswinkel und eine weitere Drehung um 45° in eine gegen die anfängliche Schwingungsebene gekreuzte während des Ueberganges vom Polarisationswinkel bis auf 90° , so beim Glase;

oder eine *Umwandlung der linearen Schwingung in eine elliptische*, welche durch gleichzeitige Abnahme der langen und Zunahme der kurzen Axe in die dem Polarisationswinkel zugehörige Form übergeht, *verbunden mit einer Drehung dieser elliptischen Schwingung* um 45° für das Wach-

sen des Einfallswinkels von 0° bis zum Polarisationswinkel¹⁾ und eine um so schnellere Rückbildung der Ellipse in die lineare Bahn und beschleunigte Weiterdrehung in eine auf der ursprünglichen senkrechte Richtung für das Wachsen des Einfallswinkels vom Polarisationswinkel bis 90° , wie bei den meisten Metallen;

oder nur ein *Uebergang der gegebenen linearen Schwingung durch* kürzer und breiter werdende *Ellipsen in die* dem Polarisationswinkel eigenthümliche *kreisförmige Bahn, ohne irgend welche Drehung der Schwingung* für die Incidenzen 0° bis zum Polarisationswinkel und Rückbildung in die lineare Schwingung für die Incidenzen vom Polarisationswinkel bis 90° , wiederum unter Festhalten einer constanten gegen die erste rechtwinkligen Lage der diesen Uebergang vermittelnden Ellipse, so beim Messing.

Sind die einfallenden Wärmestrahlen unpolarisirt, so ist das Hauptergebniss beim Polarisationswinkel das nämliche, nur bereitet sich dasselbe nicht auf dem eben beschriebenen, sondern auf directerem Wege vor, indem die im natürlichen Strahl nach allen Richtungen vorausgesetzten linearen Schwingungen sich zu einer elliptischen gestalten, deren eine Axe sofort mit der Reflexionsebene zusammenfällt, die andere darauf senkrecht steht, und in dieser Stellung verharrend bei den verschiedenen Einfallswinkeln nur ihr Axenverhältniss entsprechend ändert.

1) Bei welchem, der Fresnel'schen Theorie entsprechend, wie bei der linearen Polarisation die lineare Schwingung, so hier die lange Axe der Ellipse senkrecht zur Reflexionsebene, in der vorliegenden Versuchsreihe also vertical bei horizontal gegebener Reflexionsebene sich stellen würde.