$\gamma + \delta = 0''',001$, also $0''',001 \cdot \sin 11^\circ 24' = 0''',000197$, gleich der Wellenlänge des indigofarbenen Strahls. Die Platte kostet 5 Thlr.

Barth in Pommern, im Juli 1851.

VIII. *Ueber eine Glasplatte mit Theilungen zur Bestimmung der Wellenlänge und relativen Geschwindigkeit des Lichts in der Luft und im Glase; von F. A. Nobert.*

Wenn man die im vorigen Aufsatze beschriebene Platte umkehrt, so daß das Deckplättchen nach unten zu liegen kommt, die Anordnung der Farben, von der Rechten zur Linken, aber dieselbe wie bei dem ersten Versuche geblieben ist, so bemerkt man keinerlei Veränderung an den farbigen Streifen. Diefs war mir zuerst paradox: denn in dem einen Fall findet die Interferenzbildung in der Luftschicht zwischen Hauptplatte und Deckplättchen statt und der Neigungswinkel des vom Spiegel kommenden Strahls mit dem auf der Gitterebene errichteten Einfallslothe, ist dem bei der Construction der Theilung vorausgesetzten Winkel gleich, während bei umgekehrter Platte, die Interferenzbildung in der Glasmasse selbst erfolgt und der dem Neigungswinkel o analoge $o' = \arcsin \frac{\sin o}{n}$ sich ergibt, wenn wir mit n den Brechungsindex des Glases bezeichnen, worauf die Theilung geschnitten ist. Der Gangunterschied der Strahlen, welche zwei benachbarte Züge desselben Gitters treffen, ist also unter den obigen Umständen

$$\text{in der Luft} = (\gamma + \delta) \sin o$$

$$\text{im Glase} = (\gamma + \delta) \frac{\sin o}{n},$$

also ihr Verhältniß $1 : \frac{1}{n} =$ dem Brechungsverhältniß. Also gerade die gleiche Farbenentwicklung der Platte in beiden

Lagen beweist, daß die Undulationslänge im Glase, im Verhältniß des Brechungsindex von Luft in Glas, abgekürzt ist, genau so wie es die Wellentheorie fordert.

Obgleich also die beschriebene Platte, wie so viele andere Erscheinungen, die verkürzte Wellenlänge in dem stärker brechenden Körper darthut, so ist doch der Beweis nicht sogleich einleuchtend, und der Wunsch dieß unmittelbar zu zeigen, führte zur Erfindung der folgenden Platte, die dieß nicht bloß mit höchster Evidenz veranschaulicht, sondern auch zugleich mit großer Genauigkeit auf einem höchst einfachen Wege die Undulationslängen der verschiedenen Farben des Spectrums finden lehrt.

Auf der Fläche ab , einer 2'' dicken, 20'' langen und 10'' breiten Glasplatte, deren eine Längenkante bc unter a b einem Winkel von nahe 75° angeschliffen und polirt ist, befinden sich parallel zur c Längendimension und in der Nähe des spitzen Winkels abc , eine Reihe in Gruppen geordneter und in letzterer Hinsicht mit $A, B \dots P$ bezeichneter Parallellinien. Die Abstände der Linien in den einzelnen Gruppen oder die numerischen Werthe der Größen $\gamma + \delta_a, \gamma + \delta_b \dots \gamma + \delta_p$ sind mit großer Genauigkeit in Pariser Linien ausgedrückt, und um jede Verwechselung unmöglich zu machen, auf der Platte selbst mit dem Diamant notirt. Um die Platte auch als Prüfungsmittel des Mikroskops benutzen zu können, ist die Theilung so angeordnet, daß an *dieser* Platte die Intervalle der 1., 2., 3., 4., 5., 6., 7., 8 und 9. Abtheilung, genau mit den Intervallen der 7., 8., 9., 10., 11., 12., 13., 14 und 15. Gruppe der von mir früher construirten und sehr verbreiteten Prüfungsplatte für Mikroskope übereinstimmen. Die Größen $\gamma + \delta_a, \gamma + \delta_b \dots \gamma + \delta_p$ haben folgende absolute Werthe:

für A , 0'',000400	für I , 0'',000200
B , 0,000350	K , 0,000188
C , 0,000300	L , 0,000175
D , 0,000275	M , 0,000163
E , 0,000250	N , 0,000150
F , 0,000237	O , 0,000138
G , 0,000225	P , 0,000125
H , 0,000212	

Bei den Beobachtungen, welche an dieser Platte zur Bestimmung der Undulationslängen der verschiedenen Farben in der Luft und im Glase gemacht werden sollen, ist der Besitz eines größern zusammengesetzten Mikroskops mit 40- bis 50facher Vergrößerung nothwendig. Der Spiegel des Mikroskops wird, um alles nachtheilige von unten kommende Licht abzuhalten, mit einer tief schwarzen Ueberlage, z. B. schwarzem Sammet, bedeckt, und die Objectivöffnung, ähnlich wie bei Beobachtung der zuerst beschriebenen Platte, bis auf 0",7 im Durchmesser verkleinert. Man bringt dann, bei einer Sonnenhöhe von 10° bis 20°, die Platte, *das Deckplättchen nach oben* und die polirte Seitenkante der Sonne zugewandt, auf den horizontal gestellten Objecttisch des Mikroskops, dreht die Platte, gleichzeitig ins Mikroskop sehend, ein wenig im Azimut, wobei, wenn die Ebene der Beleuchtung senkrecht auf den Linien der Theilungen steht, die Farbenentwicklung der Gitter äußerst lebhaft ist, und von der Gruppe *B* bis zu derjenigen *L* sich die wichtigsten Farben des Spectrums dargestellt finden. In der ersten Zeit nach der Construction dieser Platte, habe ich, aus der mittleren, auf astronomischem Wege bestimmten Zeit jeder einzelnen Beobachtung, die wahre Sonnenzeit, den Stundenwinkel und die scheinbare Höhe des Sonnenmittelpunkts abgeleitet, später aber es viel bequemer gefunden, zwischen Sonne und Mikroskop, in einer Entfernung 8" bis 10" von letzterem, einen Schirm mit *horizontalem* 6" langen und 0",3 breitem Einschnitt, durch welchen die Sonnenstrahlen auf das Gitter fallen, aufzustellen. Wird dieser Schirm in verticaler, zu dem Einschnitt normaler Richtung, mit einer Theilung in Zolle und Linien versehen, deren Anfangspunkt in der Mitte des Einschnitts liegt, die verlängerte Ebene des Objecttisches aber diese Theilung in einem Punkte schneidet, dessen Angabe bei einer Beobachtung $= r$ ist, während die Entfernung des beobachteten Gitters von dem Punkte *r* der Theilung $= q$ sich ergibt, die Dicke der Glasplatte

(auf der oberen Fläche derselben befindet sich die Theilung) aber $= d$ gesetzt wird, so ergibt sich

$$\text{tang } h = \frac{r-d}{g},$$

wenn wir mit h den Erhebungswinkel des Einschnitts zur Gitterebene bezeichnen. Ist dann in irgend einer Gitterabtheilung eine bestimmte Farbe erschienen, so ist die Wellenlänge dieser Farbe, oder was hier gleichbedeutend ist, der Gangunterschied zweier Strahlen, welche zwei benachbarte Züge desselben Gitters treffen

$$= (\gamma + \delta) \cos h.$$

Da bei Höhenwinkeln von 10° bis 20° sich die Cosinusse nur wenig ändern, so erfolgt auch die Farbenänderung nur langsam und die Bestimmung der Undulationslänge kann mit großer Genauigkeit vollzogen werden.

Diese Formel setzt voraus, daß die optische Axe des Mikroskops senkrecht auf der Gitterebene stehe und daß die Beobachtung in die Richtung dieser Axe falle. Die erste Bedingung ist bei den mehrsten unserer Mikroskope ziemlich nahe erreicht und man kann sie in dem Grade, wie dies hier erforderlich ist, erfüllen, wenn man sämtliche Linsen aus dem Mikroskoprohr entfernt und auf den Objecttisch einen Planspiegel, mit der Belegung die Tischebene berührend, legt. Sieht man jetzt am Ocularende durch ein centrisch angebrachtes Löchelchen und die Objectivöffnung des Rohrs nach dem Spiegel, so muß das Bild der letztern Oeffnung concentrisch in ihr selbst erscheinen; widrigenfalls die Spiegel- oder Tischebene corrigirt werden muß. Auch unterlasse ich nicht zu erinnern, daß da die Randstrahlen des durch das verengte Objectiv gehenden Lichtkegels, symmetrisch um die Axe desselben liegen und nur kleine Winkel mit ihr einschließen, ihre Zusammenwirkung im Bilde des Mikroskops, dieselbe Farbe hervorruft, welche durch die Axenstrahlen erzeugt wird. Endlich möge noch beiläufig bemerkt seyn, daß sich die Farbenentwicklung fast noch schöner im zer-

streuten weißen Lichte, wie solches von intensiv erleuchteten weißen Wolken erhalten wird, zeigt.

Die bisherige Darstellung betraf die Erscheinungen, welche die Interferenzbildung an den Gittern in der *Luftschicht* zwischen Hauptplatte und Deckplättchen hervorruft und welche ich, im Gegensatze zum gleich zu beschreibenden Glasspectrum, Luftspectrum nennen will. Man kehre die Platte um, so daß Theilung und Deckplättchen nach unten zu liegen kommen, die polirte Seitenkante aber wie bisher, der Lichtquelle zugewandt bleibe. In dieser Lage fällt das Licht fast senkrecht und also nahe ungebrochen durch die polirte Seitenkante und das Innere des Glases auf die Gitter, wird von diesen (im Innern der Glasmasse) reflectirt, um später die obere Glasfläche in der Richtung des Einfallslotthes verlassend, im Mikroskop die farbigen Bilder der Liniensysteme, ganz analog denen des Luftspectrums, zur Anschauung zu bringen. Die Interferenzbildung erfolgt also jetzt in der *Glasmasse*, und wenn, der Undulationstheorie gemäß, die Wellenlänge sich im Verhältnisse des Brechungsindex abkürzt, so muß die Farbe, welche im Luftspectrum an dem Gitter mit den Intervallen $\gamma + \delta$ erschien, im Glasspectrum durch dasjenige Gitter erzeugt werden, dessen Linien den Abstand $\frac{\gamma + \delta}{n}$ haben, wenn wir mit n den Brechungsindex des Glases der Platte bezeichnen. Die Erfahrung bestätigt dieß vollkommen, indem z. B. im Luftspectrum die Gittersysteme *B*, *D*, *I* respective tief roth, gelb und violett erscheinen, während nach Umkehrung der Platte, im Glasspectrum, *H*, *L* und *P* die ebengenannten Farben ziemlich nahe angenommen haben. Es müssen also:

$$\frac{(\gamma + \delta)_s}{n} = (\gamma + \delta)_a \text{ oder } \frac{(\gamma + \delta)_s}{(\gamma + \delta)_a} = n$$

$$\frac{(\gamma + \delta)_a}{n} = (\gamma + \delta)_i \text{ oder } \frac{(\gamma + \delta)_a}{(\gamma + \delta)_i} = n$$

$$\frac{(\gamma + \delta)_i}{n} = (\gamma + \delta)_p \text{ oder } \frac{(\gamma + \delta)_i}{(\gamma + \delta)_p} = n.$$

Die Werthe von n sollten eigentlich etwas wachsend, wegen der stärkern Brechbarkeit der nach dem violetten Ende des Spectrums hin liegenden Strahlen, ausfallen; allein die Beobachtung einer völlig gleichen Farbe in beiden Lagen der Platte dürfte merklich unsicherer seyn, als wie eine, nicht um die Gröfse der Dispersion dn fehlerhafte Bestimmung von n , dieß fordert.

Durch die Beobachtungen an dieser Platte wird also unmittelbar die Verkürzung der Wellenlänge im stärker brechenden Körper bewiesen, und da eine Gröfse, wie der Längenunterschied der verschiedenen Lichtwellen es ist, erst in neuester Zeit durch das Mikroskop erkennbar ward, so kann auch selbst in dem günstigen Falle an dieser Platte, wo nicht allein die Gitterebene senkrecht zur Sehe-
linie steht und als eigentliches Object betrachtet wird, sondern auch die Richtung des auffallenden Lichtes und also auch der Gangunterschied der Strahlen, mit der Gitterebene beinahe zusammenfällt, für das blofse Auge, die Erkennung der Farbe durch die ungleiche Wellenlänge, nicht möglich seyn. Es kann daher, wie schon lange die Wellentheorie postulirt, nur allein die Zeitdauer der Undulation, oder was dasselbe ist, die Zahl der Wellenschläge in der Zeiteinheit, in unserem Auge die Farbe bestimmen. Wenn nun, wie an dieser Platte im Luft- und Glasspectrum, durch zwei Gitter, deren Intervalle sich wie $n:1$ verhalten, dieselbe Farbe und also auch die gleiche Zeitdauer der Undulation erzeugt wird, so muß die longitudinale oder Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Lichts in jedem der beiden Körper im directen Verhältnisse der Gitterintervalle stehen, welche respective in dem einen oder andern Körper dieselbe Farbe (und gleiche Schwingungszeit) hervorrufen und sich verhalten in

$$\text{Luft : Glas} = n : 1,$$

wie es die Wellentheorie verlangt.

Um einen, auf dem neuen Wege gewonnenen Beitrag für die Bestimmung der Wellenlänge der verschiedenen

Farben, zugleich aber auch eine genauere Darstellung der Erscheinungen, welche die Platte zeigt, zu geben, setze ich folgende tabellarisch geordnete Angaben her, und bemerke, daß die erste verticale Columne die Buchstaben der Liniensysteme enthält. Dann folgt die erste verticale Hauptabtheilung, welche die Erscheinungen und Angaben des Luftspectrums enthält und sich in vier verticale Unterabtheilungen spaltet, von welchen die erste, die an der entsprechenden Gruppe beobachtete Farbe; die zweite den numerischen Werth der Gröfse $\gamma + \delta$ für dieselbe Gruppe; die dritte den Neigungswinkel des auffallenden Lichts mit der Gitterebene; die vierte endlich, die aus den beiden vorigen Elementen abgeleitete Wellenlänge der Farbe dieser Columne in der Luft, in Pariser Linien ausgedrückt, enthält. Die Angaben der zweiten Hauptabtheilung enthalten das Analoge für das Glasspectrum; doch sind die Beobachtungen dieser Abtheilung in viel kürzerer Zeit wie die der ersten gemacht und können deshalb nicht als so genau und sicher wie jene bezeichnet werden. In der That ist der Zweck der Beobachtungen des Glasspectrums auch nur gewesen, die verkürzte Wellenlänge und verminderte Lichtgeschwindigkeit zu zeigen.

Das Violett der Gruppe *A* im Luftspectrum fällt mit dem von *I* genau zusammen und ist eine Farbe zweiter Ordnung, da $(\gamma + \delta)_a = 2(\gamma + \delta)_i$ ist. Die Wellenlängen in der Luft, welche sich durch die Gruppe *B*, *C*, *D*, *E*, *F*, *G*, *H*, *I* und *K* für die aufgeführten Farben ergeben, zeigen sogleich, daß wir am rothen Ende des Spectrums noch beträchtlich größere Werthe für λ erhalten, als bisher angenommen sind, eine Erfahrung, die um so weniger auffallen wird, als Brewster in neuester Zeit das rothe Ende des Spectrums sich so stark ausdehnen sah, und die messenden Beobachtungen Fraunhofer's sich nur von der Linie *B* bis zu derjenigen *H* der von ihm entdeckten festen Linien des Spectrums erstrecken. Die letzten fünf Gruppen *L*, *M*, *N*, *O* und *P* geben, wenn alles fremdartige Seitenlicht gehörig ausgeschlossen ist, keine Farben und bestätigen also ebenfalls die Folgerungen der Wellentheorie, welche diese Erscheinung voraussagte, sobald der Werth $(\gamma + \delta) \cosh$ kleiner als die kleinste Wellenlänge in der Luft wird.

Im Glasspectrum entspricht das Roth der Gruppe *A* genau demjenigen von *I* und ist, wie man sogleich sieht, eine Farbe zweiter Ordnung, obwohl ihm noch ein Violett dritter Ordnung beigemischt seyn sollte; doch scheint das letztere gänzlich unterdrückt zu seyn. Das Gelb von *B* ist ebenfalls zweiter Ordnung und mit dem von *L* zusammenfallend. Das Grün zweiter Ordnung in *C* stimmt mit dem in *N* genau zusammen, und ebenso ist das Indigo derselben Ordnung in *D* dasselbe welches sich in *O* zeigt, Das Violett in *E* kann nur eine Farbe zweiter Ordnung seyn, doch spielt es ungleich stärker ins Bläuliche wie das Violett in *P*. Endlich ist das Violett zweiter Ordnung in *F* etwas röthlicher wie dasjenige in *P*. Das Ansehen der Gruppe *G* ist zweifelhaft, indem ich selbst sie für röthlich halten möchte, während Andere, denen ich ein genaueres Farben-Unterscheidungsvermögen wie mir selbst zutraue, sie für grau, also farblos erklären, welches andeuten würde, daß λ im Glase sich nicht bis zu dieser

Gröfse erhöhe, wogegen aber der analoge Werth derselben Farbe in der Luft zu sprechen scheint. Die Farben der Gruppen *H*, *I*, *K*, *L*, *M*, *N*, *O* und *P* sind sämtlich Farben erster Ordnung und sie geben die in der Tafel aufgeführten Werthe von λ im Glase.

Die Ausführung der Theilungen dieser Platte ist sehr schwierig, theils wegen der grofsen Feinheit der Züge, theils wegen der unerläfslich nöthigen Aequidistanz derselben in jeder einzelnen Gruppe, welche, wenn sie nicht stattfindet, Streifen von anderer Farbe hervorruft. In den Gruppen *N* und *O* zum Beispiel ist die Gröfse $(\gamma + \delta)_\lambda - (\gamma + \delta)_\lambda = \frac{1}{1000} \frac{1}{1000} \frac{1}{1000}$ Pariser Linien, wodurch die Farbe von dem Grün zum Indigo übergeht. Obgleich bei so kleinen Gröfsen sich wenig mit voller Sicherheit sagen läfst, so berechtigen doch andere Beobachtungen, am Theilungsinstrumente selbst gemacht, zu dem Schlusse, dafs wenn nicht aufsergewöhnliche Störungen, wie Temperaturveränderung und Erschütterungen bei dem Theilungsgeschäfte einwirken, der wahrscheinliche Fehler der einzelnen Intervalle noch weniger als $0''',000001$ betrage. Die Platte kostet 20 Tblr. ¹⁾.

Barth in Pommern, im October 1851.

- 1) In einem bald folgenden Aufsätze »Ueber die Prüfungsscale und die Wirkungen eines neuen mikroskopischen Objectivsystems« werde ich die Wichtigkeit der eben beschriebenen Platte für das *Mikroskop* zeigen. Es erhellt sogleich, dafs wie wir hier, in genauer Uebereinstimmung mit früheren Beobachtungen, aus dem Abstände der Linien in den verschiedenen Gruppen die Undulationslänge der verschiedenen Farben in der Luft und im Glase ermittelt haben, so auch umgekehrt aus der *Farbe* der Gruppen (bei bestimmtem Neigungswinkel des auffällenden Lichtes) nicht blofs das Vorhandenseyn der Linien, sondern auch, je nach der verschiedenen Farbe, ihr gegenseitiger Abstand im absoluten Maafse folge. Die Angaben des Dr. Unger in Wien über die Zahl der Linien in den feineren Gruppen (Poggendorff's Ann. Bd. 79, S. 331) weichen von der Wahrheit so stark ab, dafs man zweifellaft werden kann, ob die Linien wirklich gesehen worden sind. Schon in der 10. Gruppe der Prüfungsscale für Mikroskope kommen 21 Linien vor, wovon man sich, auch ohne sie gezählt und gesehen zu haben, mittelbar überzeugen kann, wenn man die Breite der Gruppe (wie der genannte Gelehrte gethan hat)