X. Beiträge zur meteorologischen Optik; von Hrn. Babinet.

(Compt. rend. 1837, I, p. 638. — Vom Verfasser selbst gemachter Auszug aus drei Abhandlungen.)

I. Ueber den horizontalen Kreis bei Nebensonnen.

Die Beschaffenheit der Atmosphäre, welche um Sonne und Mond zu den Ringen von 22° und 46° Halbmessers Anlaß giebt, erzeugt auch zuweilen einen weissen, mit dem Horizonte parallelen Kreis, der gleiche Breite mit dem leuchtenden Gestirn besitzt, und, was bemerkenswerth ist, durch dasselbe geht, während die Höfe, Ringe und Regenbögen dieses Gestirn oder einen demselben gegenüberliegenden Punkt des Himmelsgewölbes zum Mittelpunkt haben.

Auf diesem Kreise und etwas ausserhalb der Ringe befinden sich die glänzenden Nebensonnen, welche aus der schiefen Minimum-Brechung an senkrechten Eisprismen entstehen. Daher wird denn auch dieser Kreis recht bezeichnend der *weisse*, der *horizontale* oder der *Nebensonnenkreis* (*cercle parhelique*) genannt, wodurch er von allen übrigen zugleich vorkommenden Erscheinungen unterschieden ist. Aus den in academischen Denkschriften niedergelegten Beschreibungen von Nebensonnen ersieht man, daß dasjenige Stück dieses Kreises, welches innerhalb des Ringes von 22° liegt, weit matter ist als der äussere Theil, d. h. als der, welcher weiter als 22° vom leuchtenden Gestirne absteht.

Endlich zeigt sich manchmal eine senkrechte Säule von weissem Licht, welche ebenfalls durch das Gestirn geht, und welche mit dem innerhalb des ersten Ringes liegenden Stück des Horizontalkreises, wenn dasselbe
sicht-

sichtbar ist, ein weißes Kreuz bildet, das von jenem Ringe umschlossen wird. Dießs Kreuz kann, wie Theorie und Erfahrung lehren, auch ohne den Ring vorkommen. In dem neuerlich erschienenen Reisewerk des Kapt. Back findet man eine solche am Mond gesehene Erscheinung abgebildet, einen Ring von 22° , ein von ihm umschlossenes weißes Kreuz und an den Endpunkten dieses Kreuzes vier Nebenmonde ¹).

Um diese Erscheinungen zu begreifen, muß man sich erinnern, daßs, zufolge der Theorie, im Augenblick der Bildung von Höfen und Ringen, Eisknadeln in allen Richtungen in der Atmosphäre herumschwimmen. Die Durchmesser der Ringe (*halos*) stimmen überein mit der Erklärung von Mariotte, welcher annimmt, daßs sie durch eine Minimum-Brechung an Eiskristallen von 60° (d. h. von regelmäfsig dreiseitiger Grundfläche *P.*) erzeugt werden. Und wirklich haben sie, wie die durch Brechung entstehenden Farben, das Roth nach innen, während bei den Höfen (*couronnes*), deren Durchmesser übrigens veränderlich ist, das Roth nach außen liegt, entsprechend den Farben-Erscheinungen, welche durch Beugung entstehen. Endlich hat Hr. Arago, der Mariotte's Erklärung aus der Vergessenheit zog, dieselbe auch bestätigt, indem er mittelst des Polariskops, welches ihm die chromatische Polarisation lieferte, bewies, daßs das Licht der Ringe durch Brechung polarisirt ist, d. h. polarisirt in einer Ebene senkrecht auf der Linie, welche das Gestirn mit dem betrachteten Punkt des Ringes verbindet.

Das Daseyn der seitlichen Nebensonnen und deren äußere Entfernung von dem Ringe von 22° , welche um so gröfser ist als das Gestirn höher über dem Horizonte steht (was von einer schiefen und folglich gröfseren Minimum-Brechung in den senkrechten Prismen herrührt),

1) Eine ähnliche Erscheinung *S. Ann. Bd. XIII S. 370.*

Poggendorff's Annal. Bd. XXXI.

beweist überdies, daß Eisprismen in senkrechter Stellung, und zwar in dieser mehr als in irgend einer andern, vorhanden sind.

Hat man das Daseyn solcher Prismen einmal angenommen, so sieht man leicht, daß diese Prismen, bei einiger Dauer der Erscheinung, wenn sie in dem oberen Theil einer dicken Wolke gebildet sind, und beim Durchsinken des Innern der Wolke nicht zu rasch schmelzen, beim weiteren Herabfallen durch die Luft sich gemäß dem Gesetz des kleinsten Widerstandes richten, d. h. wenn sie in Richtung ihrer Axe die größte Dimension haben, so, daß diese ihre Axe und ihre Seitenflächen senkrecht, also ihre beiden Grundflächen wagrecht zu stehen kommen, daß sie dagegen, wenn ihre Axe sehr kurz ist, und sie also drei- oder sechsseitige Tafeln bilden, die beiden Grundflächen vertical, also die Axe horizontal stellen.

Die verticalen Seitenflächen der Prismen, welche in der ersteren Stellung sind, und die gleichfalls verticalen Grundflächen derjenigen, welche sich in der zweiten Stellung befinden, können als eben so viele verticale Spiegel betrachtet werden, welche dem Auge des Beobachters das Licht des leuchtenden Gestirnes zusenden, und ihm ein Bild in gleicher Höhe mit dem Gestirne und in einem Winkelabstand, doppelt so groß als der Winkel des einfallenden Strahls mit der Fläche des Spiegels, darbieten. Eine verticale ebene Fläche, deren Azimuth gegen das Gestirn 45° beträgt, reflectirt das auf sie fallende Licht in einem Winkel von 90° vom Gestirn, und da in allen möglichen Azimuthen verticale Flächen vorhanden sind, so bildet sich ein horizontaler Lichtring von gleicher Breite mit dem leuchtenden Gestirn, und zwar farblos, weil er durch Reflexion entsteht. Dieser weißse Kreis muß überdies, in den gehörigen Winkelabständen von Sonne und Mond, vollständig polarisirt seyn, was zwar an dem in der Natur vorkommenden noch nicht

beobachtet ist, was ich jedoch an den künstlichen, die weiterhin beschrieben werden sollen, nachgeholt habe.

Der horizontale Kreis muß durch das leuchtende Gestirn gehen, weil die verticalen spiegelnden Flächen der Prismen, welche ihn erzeugen, ein diesem Gestirn sehr nahe liegendes Bild geben, wenn sie einen sehr kleinen Winkel mit dem einfallenden Strahl machen. Wenn dieser Winkel Null ist, fällt das Bild mit dem Gestirn zusammen, ohne jedoch dessen Licht zu verstärken, weil dann die Projection der Prismenfläche in Richtung des einfallenden Strahles Null ist.

Der geringere Glanz des horizontalen Kreises im Innern des Ringes von 22° Radius erklärt sich sehr gut, wenn man erwägt, daß im Innern dieses Ringes (der aus einer Minimum-Ablenkung oder -Brechung entsteht) kein Prisma etwas durch Refraction zur Helligkeit des horizontalen Kreises hinzufügen kann, wogegen außerhalb jenes Ringes, oder, strenger genommen, außerhalb der Nebensonnen, die Prismen zu dem von ihren verticalen Flächen (*horizontalement*) reflectirten Licht noch (*horizontalement*) gebrochenes Licht hinzufügen.

Um die Theorie aller farblosen Erscheinungen, welche die Nebensonnen begleiten, zu vervollständigen, bleibt noch zu bemerken, daß die senkrechte Lichtsäule, welche in nördlichen Gegenden dem Aufgang der Sonne vorangeht, und sich auch, wenn sie über dem Horizonte steht, unterhalb derselben zeigt (so wie unter gleichen Verhältnissen beim Untergang der Sonne. *P.*) an Flächen von Prismen entspringt, die eine horizontale Lage haben, eine Lage, welche diejenigen beim Fallen durch die Luft annehmen müssen, deren Axe im Vergleich mit den Dimensionen der Base sehr kurz ist. Die Flächen derjenigen Prismen, deren horizontale Axe zugleich rechtwinklich gegen die durch den Beobachter und das Gestirn gehende Vertical-Ebene liegt, müssen, und können nur allein, in dieser Ebene eine Reihe Bilder zu-

rückwerfen, die durch die Sonne und sowohl oberhalb als unterhalb derselben sich erstreckend, eine senkrechte Lichtsäule bilden. Der Grund, warum diese Erscheinung und andere derselben Art unvollständig sind, liegt in der grossen Entfernung der Wolken, welche an ihrem oberen Theile durch Erkaltung Eisnadeln erzeugen, (eine Entfernung, die so gross ist, dafs oft andere Wolken, durch Winde getrieben, zwischen dem Beobachter und den Ringen vorüberziehen) und in der grossen Winkelausdehnung dieser Erscheinungen, denn der horizontale Kreis läuft oft rings um den ganzen Horizont. Es folgt daraus, dafs eine grosse Ausdehnung der Wolkenfläche mit zu ihrer Bildung beiträgt, und dafs ein Mangel an Gleichförmigkeit in der Beschaffenheit der Atmosphäre sogleich entsprechende Abänderungen in den Erscheinungen hervorruft. Diefs wird noch deutlicher, wenn man studirt, welche Stufen diese Erscheinungen bei ihrer Entwicklung und ihrem Erlöschen durchlaufen.

Versuchen wir jetzt den horizontalen Kreis künstlich nachzubilden. Faserige Krystalle, senkrecht auf ihre Axe durchschnitten, wie *Sapphir*, *Topas*, *Turmalin*, *Aquamarin*, *Katzenauge* (Quarz, der mit Asbestfäden durchzogen ist), faseriger *Quarz*, faseriger *Gyps*, *Arragonit*, faseriger *Kalkspath*, gesternter *Granat* (geschnitten in allen Richtungen senkrecht gegen die Fasern, welche den vier- und den sechsstrahligen Stern geben), *Disthen*, *Diopsid*, *Wütherit*, ferner eine grosse Zahl von Krystallen, die entweder, wie der *Gyps*, in einer einzigen Richtung faserig sind, oder in mehreren Richtungen, die ich immer den Durchschnitten von Ebenen parallel mit Krystallflächen, die Spaltbarkeit haben oder nicht (was ein wichtiges mineralogisches Kennzeichen ist, wie der *Sapphir*, *Granat*, *Smaragd*, *Zirkon*), entsprechend gefunden habe; — alle diese Krystalle geben, senkrecht gegen ihre Fasern zerschnitten, einen die Sonne, den Mond oder die Lichtflamme durchschneidenden Kreis,

wenn man sie durch dieselben betrachtet. Die Ebene dieses Kreises ist rechtwinklich gegen die Richtung der Fasern, und der Durchmesser desselben verändert sich, so wie man die Neigung zwischen der Richtung der Axe oder der Fasern des Krystalls und den einfallenden Strahlen vermehrt. Wenn man diese spiegelnden Fasern senkrecht stellt, wie die Eisnadeln, welche den weissen Kreis bei Nebensonnen erzeugen, so erhält man künstlich einen farblosen horizontalen Kreis, der durch die Sonne, den Mond oder die Lichtflamme geht und *gehörig polarisirt* ist ¹⁾).

Betrachtet man mittelst eines schönen Exemplars von fasrigem Krystall, z. B. von Aquamarin oder Turmalin, das farbige Sonnenbild, welches durch ein vor dem Krystall aufgestelltes Flintglasprisma erzeugt worden ist, so erhält man eine der schönsten Erscheinungen in der Optik. Die einzelnen Farben entfalten sich dann zu concentrischen Kreisen, analog den glänzendsten Regenbogen, und man kann, mittelst einer leichten Verschie-

- 1) Zu wünschen wäre, dafs diese *Polarisation* auch an dem in der Natur vorkommenden horizontalen Kreis nachgewiesen würde. So lange diefs nicht geschehen, bleibt die von Hrn. Babinet angenommene und bekanntlich von Huyghens zuerst aufgestellte Erklärung dieses Kreises durch *Reflexion* an verticalen Eisnadeln unvollständig, indem die Annahme einer *Diffraction* des Lichts durch *ungleich grosse* Zwischenräume irgend welcher Körperchen die Entstehung desselben bis dahin eben so genügend erklärt. Die letztere Theorie hat Fraunhofer aufgestellt (im dritten Hefte von »Schumacher's *Astronomischen Abhandlungen*,« das Hrn. Babinet scheint unbekannt geblieben zu seyn), ohne indess die Gründe zur Verwerfung der Huyghens'schen zu nennen. Nur das Daseyn oder die Abwesenheit der *Polarisation* kann über die Richtigkeit beider Theorien entscheiden, da, so viel wir wissen, bei der *Diffraction* keine *Polarisation* eintritt, schwerlich auch eine eintreten kann, es sey denn etwa eine *circulare* oder *elliptische*. Uebrigens wäre es wohl nicht unmöglich, dafs der horizontale Kreis zugleich durch *Diffraction* und *Reflexion* entstände.

P.

bung der Axe des Krystalls, nach Belieben das Roth oder das Violett innerhalb der kreisrunden Zone bringen, und die Anordnung, welche dem ersten Regenbogen angehört, in die dem zweiten eigenthümliche (mit dem Roth nach innen) übergehend machen.

Fängt man einen Theil der Farbenstrahlen des Spectrums auf, so kann man die übrigen hernach durch dieses sehr einfache Verfahren mischen, und hält man z. B. vor einer Lichtflamme ein gelbes Glas und vor einer zweiten Flamme ein blaues Glas, und stellt darauf den Krystall so, daß die beiden daraus entspringenden Kreise einander decken, so erhält man einen grünen Kreis, entstanden aus der Mischung des Blauen und Grünen.

Endlich muß ich noch hinzufügen, daß die Möglichkeit, zugleich mit dem horizontalen Nebensonnen-Kreis auch beliebige Gegenstände mit großer Deutlichkeit durch den Krystall zu sehen, mir erlaubt hat, einige Abstände und Halonen zu messen, durch Messung der Neigung (*déplacement*) der Axe des Krystalls, welche stets gleich ist dem Halbmesser des Nebensonnen-Kreises ¹⁾. Ohne dieser Beobachtung einen größeren Werth als den der künstlichen Nachbildung einer Natur-Erscheinung beilegen zu wollen, bemerke ich nur, daß dieser Nebensonnen-Kreis ein sehr allgemeines mineralogisches Kennzeichen abgiebt, daß zur Erkennung anderweitig unwahrnehmbarer Fasern dienen kann, die den Durchschnitten der Krystallflächen parallel liegen ²⁾.

1) Um sich zu überzeugen, daß der Durchmesser des Nebensonnen-Kreises stets doppelt so groß ist als der Winkel zwischen der Axe oder den Fasern des Krystalls und dem leuchtenden Punkt, stelle man drei Lichtflammen in gleichen Abständen auf. Im Augenblick, wo der Nebensonnen-Kreis der mittleren Flamme sich auf einen Punkt reducirt, weil die Axe auf diese Flamme gerichtet ist, fallen die Nebensonnen-Kreise der beiden äußeren Flammen auf einander.

2) Siehe S. 119.

II. Ueber die Höfe.

Die Höfe (*couronnes*) sind concentrische farbige Kreise um Sonne und Mond von einem für die inneren Höfe von $1^{\circ},5$ bis 4° schwankenden Halbmesser. Zuweilen sind ihrer drei oder vier da, und, wie alle Diffractions-Phänomene, haben sie das Roth nach außen, das Violett nach innen, ähnlich der Farben-Ordnung im Haupt-Regenbogen. Sie entstehen durch Wasserkügelchen, die sämmtlich oder der Mehrzahl nach einen gleich großen Durchmesser haben. Die Erscheinung ist desto schärfer, je mehr gleich große Kügelchen vorhanden sind, und je weniger von einem anderen Durchmesser.

Newton scheint auf die Entdeckung des Gesetzes dieser Erscheinung viel Werth gelegt zu haben, das aufzufinden indeß vor der Kenntniß der Interferenzen unmöglich war. Young kam der Wahrheit weit näher, indem er sagte, daß die einzelnen concentrischen Farbenringe (mit Ausnahme des ersten, was noch ein Irrthum ist) Durchmesser besitzen, die wie die Zahlen 1, 2, 3, 4 u. s. w. wachsen. Dieß ist neuerlich durch die Beobachtungen des Hrn. Delézenne, zu Lille, mittelst der Combination bichromatischer farbiger Gläser bestätigt. Ich selbst habe das Gesetz, welches ich hier vorlegen will, in Vorlesungen, die ich i. J. 1832 für Hrn. Ampère am Collège de France gehalten, aufgestellt; allein ich zweifelte später an der Richtigkeit desselben, obwohl es geradezu von der Theorie an die Hand gegeben wird, weil der Durchmesser der ersten Farben-Ordnung, die im weißen Lichte stattfindet, sehr ausgedehnt ist. Seit den Beobachtungen des Hrn. Delézenne habe ich mit dem monochromatischen Licht des gesalzenen Alkohols und mit Pulvern und Kügelchen von recht gleichmäßigem Durchmesser das Gesetz der successiven Durchmesser der Ringe, welches genau das der Zahlen 1, 2, 3... ist, bestätigt ¹⁾.

1) Vergl. indeß Fraunhofer a. a. O.

Das vollständige Gesetz läßt sich so ausdrücken:
 — Das Product aus dem Durchmesser eines jeden Wasserkügelchens in dem Winkel-Durchmesser des Hofes ist gleich der durch Versuche gegebenen Wellenlänge (*l'intervalle fondamental des interférences*). Letztere beträgt, nach meinen Messungen mittelst Gitter, für das Licht des gesalzenen Alkohols $= 0,000588$ Millimeter.

Betrachtet man die Sonne, den Mond oder die Flamme einer Lampe oder einer Kerze durch ein mit Lycopodium bestreutes Glas (wie es übrigens Th. Young zuerst gethan), so erblickt man drei oder vier vortreffliche Höfe, welche eine vollkommnere Nachahmung der in der Natur vorkommenden Erscheinung darbieten, als es bei anderen Versuchen der Fall ist. Statt des Lycopodiums kann man auch anwenden den Samen von Lycopodon Bovista, Blutkügelchen, Amylumkügelchen, oder rechtwinklich gekreuzte Drähte von gleichförmigem Durchmesser.

Der optische, anscheinend sehr paradoxe Grundsatz, welcher den Schlüssel zu diesen Erscheinungen giebt, läßt sich folgendermaßen ausdrücken: Wenn ein Lichtpunkt sein gewöhnliches Bild auf dem Grunde des Auges erzeugt, und man außerhalb, aber dicht neben der Lichtlinie, welche diesen Punkt mit dem Auge verbindet, einen kleinen dunkeln Gegenstand anbringt, so ist die Wirkung desselben genau die nämliche, wie die einer ganz gleichen, von dem einfallenden Licht beleuchteten Oeffnung, so daß in Wirklichkeit eben so viel Helligkeit erzeugt wird als das Körperchen Dunkelheit scheint hervorbringen zu müssen.

Dieses Paradoxon findet in der Wellentheorie leicht seine Erklärung. Denn aus den Interferenzen folgt, daß der wirksame Theil einer Welle sich auf einen kleinen Kreis von solcher Größe reducirt, daß zwischen dem directen Strahl, welcher aus der Mitte dieses Kreises kommt, und demjenigen, welcher von dem Umfang des-

selben herstammt, ein Unterschied von einer Viertelwelle besteht. Der ganze Rest der Welle kann als gegenseitig zerstört durch die Wirkung der Interferenzen angesehen werden. Wenn man aber durch Dazwischensetzung eines Kügelchens einen Theil dieser zur Zerstörung der dem Kügelchen benachbarten Elementarwellen erforderlichen Welle fortnimmt, so stellt man diejenigen, welche der fortgenommene Theil zerstörte, wieder her, und man kommt auf den obigen Satz zurück, daß das dazwischengesetzte Körperchen so viel Licht erzeugt als es scheint auslöschen zu müssen. Das Quadrat des Integrals der kleinen derivirten Bewegungen sagt dann, in welcher Lage und in welchem Winkelabstand diese Beleuchtung wirksam sey, und welche Intensität dieses Licht in allen Winkelabständen von den benachbarten Körperchen besitze.

Ohne in alle Anwendungen dieses sehr fruchtbaren Satzes einzugehen, will ich nur an eine sehr merkwürdige, von Hrn. Necker, in Genf, beschriebene Erscheinung erinnern ¹⁾. Wenn die Sonne hinter einem mit Bäumen und Gesträuch bedeckten Hügel aufgeht, erblickt der Beobachter, welcher sich im Schatten des Hügels und nahe bei den ihn bald erreichenden Sonnenstrahlen befindet, alle kleinen auf den Himmel projecirten Zweige nicht opak und schwarz, sondern im Gegentheil silberweifs und glänzend, wie wenn die ganze Vegetation aus dem allerschönsten matten Silber gearbeitet wäre, und diefs bis zu einer Höhe von einigen Füssen über dem Hügel. Ich habe nicht nöthig zu sagen, daß ohne die Anwesenheit der kleinen Zweige die directen Wellen des intensiven Sonnenlichts unwirksam für den Beobachter über den Horizont hinweggehen würden, daß aber diese kleinen undurchsichtigen Gegenstände, nach dem obigen Theorem, eben so viele leuchtende Theilchen werden, welche dem Beobachter das helle und glänzende

1) Annalen, Bd. XXVII S. 497.

Bild der schwarzen und opaken Gegenstände zusenden, welche eben so viele derivirte wirksame Strahlen erzeugen, als sie aulöschende Strahlen vernichten.

Die mathematische Theorie erklärt auch die Farben der Staubtheile, die in einem, in ein dunkles Zimmer eindringenden Sonnenstrahl herumschwimmen, die Farben der Spinngewebe, der dünnen Metalldrähte u. s. w., und zwar in allen diesen Fällen für eine gegebene Farbe, deren Wellenlänge, oder wenn man, wie es Hr. Arago wohl weislich immer gethan, unabhängig von aller Theorie sprechen will, deren Fundamental-Interferenz-Abstand gleich λ ist. Das Product des Durchmessers vom Faden oder Kügelchen in das Doppelte des Sinus vom Winkel zwischen dem directen Strahl und der Linie vom Auge zum Faden oder Körperchen ist gleich der Gröfse λ .

Nachschrift. Ich spreche nicht von den Farben, die ein Beobachter durch Reflexion oder vielmehr durch retrograde Transmission erblickt, wenn er so gestellt ist, dafs der Schatten seines Kopfes auf eine benachbarte Wolke fällt, Farben, welche zuerst von Bouguer auf seiner Reise in Peru, und neuerlich von Hrn. Lamar-tine auf seiner Reise im Libanon gesehen worden sind.

Analoge Farben beobachtete ich in Pulverfabriken auf einer im Sonnenschein ausgebreiteten Schicht Pulver, wenn mein Kopf seinen Schatten auf diese Schicht warf; ich sah sie auch in den Landes auf einer sehr tief liegenden Nebelschicht, und auf den Kügelchen, die in dem Wasser einiger französischen Flüsse von mittlerer Gröfse herumschwimmen. Indefs weifs Jedermann den Uebergang zu machen von den Phänomenen der Transmission oder Transparenz zu denen der Reflexion und retrograden Illumination, und es finden dabei dieselben Interferenzformeln mit denselben Unterschieden der durchlaufenen Wege ihre Anwendung.

III. Ueber den Regenbogen und dessen überzählige Bogen.

I. Decartes's Erklärung des Haupt- und Neben-Regenbogens durch ein Maximum oder Minimum der Ablenkung der Strahlen, und Newton's Theorie von der Entstehung der Farben durch ungleiche Brechbarkeit lassen nichts zu wünschen übrig.

II. Die Intensität des Regenbogens ist desto größer, als die denselben erzeugenden Regentropfen, vorausgesetzt sie seyen kugelrund, größer sind. Daher die Unmöglichkeit den dritten und vierten Regenbogen beim Regen und an sehr dünnen cylindrischen Wasserflächen zu erblicken. Auf dem Mont d'Or und dem Canigou, unter den günstigsten Umständen, wo ich vor mir die untergehende Sonne hatte, und unter mir, im Schatten, einen Fichtenwald, der einen vollkommen schwarzen Grund darbot, habe ich vergebens nach dem dritten Regenbogen gesucht, welcher hätte 41° von der Sonne abstehen müssen.

III. Die Formel für den Regenbogen ist in keinem Werke gegeben. Man berechnet die Einfalls- und Brechungswinkel für das Maximum oder Minimum der Ablenkungen, und macht dieses darauf folgwiese gleich $4r - 2i$, oder $6r - 2i$, oder $8r - 2i$, oder $10r - 2i$ u. s. w. (i ist der Einfalls- und r der Brechungswinkel. P). Man kann indeß i und r eliminiren, und so die Ablenkung oder den Halbmesser δ des Regenbogens durch folgende Gleichungen erhalten:

den des ersten, durch:

$$\sin^2 \frac{\delta}{2} = \frac{(4 - m^2)^3}{27 m^4},$$

den des zweiten, durch:

$$\sin^2 \frac{\delta}{2} = \frac{m^4 + 18m^2 - 27}{8m^3},$$

statt letzterer kann man auch die für logarithmische Rechnung bequemere nehmen:

$$\cos^2 \frac{\delta}{2} = \frac{(m^2 - 1)(9 - m^2)^3}{64 m^6}.$$

Die erstere dieser Formeln, wenn man darin (das Brechungsverhältniß für Wasser und Luft. *P.*) $m = \frac{4}{3}$ setzt, giebt $\delta = 22^\circ 2'$ den bekannten Winkel des ersten Regenbogens; die beiden andern geben für denselben Werth von m den bekannten Winkel des zweiten Regenbogens $\delta = 50^\circ 59'$.

So wie diese Gleichungen δ mittelst des Brechungsverhältnisses m geben, so liefern sie umgekehrt auch leicht den Werth von m aus zwei oder höchstens drei successive Beobachtungen von δ .

IV. Man nehme einen Glasylinder von 10 Millimeter Durchmesser, und schaue, gegenüber der Sonne, dem Monde oder einer Lichtflamme, 20 Grade abwärts (nicht 40° , wie beim Wasser), so erblickt man den ersten Regenbogen von sehr guter Beschaffenheit. Der zweite liegt gegen $90''$. Mit ein wenig Uebung und mit vieler Geduld, wie Fresnel sagte, erblickt man darauf *vierzehn* Regenbogen, sieben auf jeder Seite. Man merke sich den dritten, welcher nach Seite der Lichtquelle und wenig entfernt von ihr liegt. Man messe den Winkelabstand dieses dritten Regenbogens, was am bequemsten geschieht, wenn man erst den Abstand des Cylinders vom leuchtenden Punkt, und darauf den Winkelabstand dieses Bogenstücks zur Rechten und zur Linken mißt; dann hat man eine Bestimmung von δ , aus welcher man das Brechungsverhältniß mit Genauigkeit ableiten kann.

V. Man lasse Wasser, Alkohol, Schwefelsäure, Aether oder Salzwasser durch ein in einer Glas- oder Metallplatte gemachtes cylindrisches Loch ausfließen. Dann findet man die meteorologischen Winkel für diese Flüssigkeiten, und überdiß sieht man wenigstens den dritten und vierten Regenbogen, wenn der flüssige Cylinder nicht zu dünn ist. Durch den Winkel δ des drit-

ten Regenbogens bestimmt man auch das Brechungsverhältniß der Flüssigkeit.

Ich habe, jedoch vergebens, beim Wasser und beim Kronglase die Veränderung der Brechung durch Wärme zu bestimmen gesucht, und zwar mittelst der Veränderung in der Lage des dritten Regenbogens bei einem kalten und einem heißen Wasserstrahl, so wie bei einem heißen und darauf erkaltenden Glascylinder. Uebrigens weiß man, daß Hr. Arago durch sein Princip der optischen Aequivalente und durch die Interferenzen das Problem vollständig gelöst hat. Vielleicht gelangt man zu einem genügenderen Resultat, wenn man dem Apparat ein kleines Fernrohr ohne Vergrößerung hinzufügt.

Ich habe Regenbogen dargestellt mit Cylindern aus mehren doppeltbrechenden Substanzen, wie Bergkrystall, Kalkspath, Beryll und Arragonit. Dabei erhielt ich den ersten Regenbogen doppelt, den zweiten und die folgenden aber nicht (d. h. einfach. *P.*). Diefs erklärt sich sehr gut durch das von *Fresnel* theoretisch erwiesene Tangenten-Gesetz für die Menge des reflectirten, rechtwinklich gegen die Reflexionsebene polarisirten Lichts (*lumière réfléchie polarisée extraordinairement par rapport au plan de reflexion*). Es folgt daraus, daß, nach mehren Reflexionen, das außerordentliche Licht unvergleichlich mehr geschwächt ist, als das, welches seine Polarisationssebene in der Reflexionssebene hat. Diefs Gesetz, welches von Hrn. Arago photometrisch, und indirecter von *Fresnel* selbst durch die Ablenkung der Polarisationssebene eines polarisirten, an Wasser oder Glas reflectirten Strahls bewiesen ist, findet hier eine neue Anwendung. Bemerken wir, daß neuerlich mehre Physiker dieses Gesetz, allein mit Unrecht, auf alle durchsichtige oder opake, stark oder schwach brechende Substanzen ausgedehnt haben.

Da ich keinen Cylinder von durchsichtigem *Schwe-*

fel oder *Diamant* besafs, so habe ich nicht ermitteln gekonnt, ob der erste Regenbogen fehle, weil

$$\sin i = \sqrt{\frac{4 - m^2}{3}}$$

imaginär wird, wenn $m > 2$. Diefs merkwürdige Resultat verdiente festgestellt zu werden. Uebrigens steht die Natur der ordentlichen und auferordentlichen Strahlen in diesen Regenbogen im Einklang mit den Polarisationsgesetzen, und bekanntlich haben auch die HH. Biot und Brewster erkannt, dafs der meteorologische Regenbogen wie durch Reflexion polarirt ist und seyn mufs.

VII. Ueberzählige Regenbogen. Die von Hrn. Arago *secundär* und von Hrn. Young *supernumerär* genannten Regenbogen bestehen in einer Wiederkehr der Farben, in dem ersten Bogen inwendig, im zweiten auswendig.

Young erklärt sie durch die Interferenz zweier Strahlen, welche beide, vor und nach dem Einfallswinkel, welcher das Maximum der Ablenkung giebt, eine gleiche Ablenkung erleiden, und mit geringen Gang-Unterschieden coincidiren.

Zur Erklärung dieser vielfachen Bogen nahm Venturi elliptische Wassertropfen zu Hülfe; allein die Erklärung von Young, welche Hr. Arago vor längerer Zeit adoptirt und publicirt hat ¹⁾ läfst nichts zu wünschen übrig.

VIII. Man kann die überzähligen Bogen mit einem cylindrischen Wasserstrahl von einem Millimeter im Durchmesser nachbilden. Man sieht auf der inneren Seite des ersten Bogens sechszehn überzählige Bogen, und an der äufseren Seite des zweiten ungefähr neun derselben. Man sieht dergleichen auch am dritten Regenbogen. Endlich erblickt man diese überzähligen Bogen auch an den Regenbogen, welche ein vor der Weingeistlampe ausgezogener sehr dünner cylindrischer Glasfaden giebt;

1) Annalen, Bd. XXXVII S. 455.

allein man sieht sie schwierig und in einer sehr unbequemen Lage.

IX. Der Winkelabstand dieser überzähligen Bogen am Hauptbogen giebt mit Genauigkeit den Durchmesser des cylindrischen Wasserstrahls, wenn man das Brechungsverhältniß des Wassers kennt. Führt man das Auge längs dem Wasserstrahl herab, so zeigt die Vergrößerung des Winkelabstandes der überzähligen Bogen, daß der Strahl nach unten zu dünner wird.

X. Wir treffen hier auch eine der Erscheinungen an, die zwar verwickelt, aber dennoch merkwürdig sind, weil sie einen schönen Anblick gewähren. Diefs ist die der halbrunden Glasfäden (*fils de verre méplats*), welche man vor der Lampe auszieht, und, während sie noch geschmolzen sind, durch irgend ein Verfahren zerdrückt (*en les écrasant...*). Hr. Lebailly, welcher so gut war 20 bis 30 solcher Fäden für mich auszuziehen, und die Geduld hatte, sie alle zu prüfen, fand mehr unter ihnen, welche in einem dunkeln, durch eine einzige lineare Oeffnung, von einem Viertel-Millimeter Breite und einigen Millimetern Höhe, erleuchteten Zimmer dicht vor dem Auge gehalten, die allerglänzendsten Interferenzphänomene, welche man sich nur denken kann, hervorbrachten. Diese Farben, die übrigens rechts und links von der durch das Tageslicht erleuchteten Oeffnung nicht symmetrisch sind, stellen offenbar die der überzähligen Bogen dar. Allein ihre Berechnung und Messung würden mehr Mühe und Neugier erfordern, als die Wichtigkeit des Gegenstandes oder die Natur der durch das Vorhergehende schon fast zur Genüge erforschten Erscheinung lohnt.