





Biblioteka Politechniki Krakowskiej



10000299076

A rectangular library label with a dark background. At the top, the text 'Biblioteka Politechniki Krakowskiej' is printed in a white, sans-serif font. Below the text is a standard 1D barcode with vertical black bars of varying widths. Underneath the barcode, the number '10000299076' is printed in a white, sans-serif font.

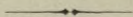
x

1580



Thomas Stevenson,

**Die Illumination der Leuchthürme.**





# Die Illumination der Leuchtthürme.

Eine Beschreibung

des

Holophotal-Systems, der azimuthal-verdichtenden und anderer neuer  
Formen von Leuchtthurm-Apparaten.

Von

**Thomas Stevenson, F.R.S.E., M.J.C.E.,**

Civil-Ingenieur.

Nach der zweiten Auflage des englischen Originals bearbeitet und durch einen

**A n h a n g**

über die Berechnung von Leuchtthurmhöhen und Leuchtthurm-Apparaten

ergänzt von

**Chr. Nehls,**

Wasserbau-Director.

Mit 16 lithographirten Tafeln.

**Hannover.**

**C a r l R ü m p l e r .**

1878.



Das englische Original führt den Titel:-

**Lighthouse Illumination.** Being a description of the Holophotal System and of azimuthal condensing and other new forms of Lighthouse Apparatus. By Thomas Stevenson, F.R.S.E., M.J.C.E., Civil Engineer. Second edition. Edinburgh, Adam and Charles Black. 1871.

115421



Druck von August Grunpe in Hannover.

Akc. Nr.

5171/50



## Vorwort.

---

Vor mehreren Jahren wurde mir die Aufgabe gestellt, für die Unter-Elbe mehrere kleine Leuchtfeuer zu entwerfen, wenigstens so weit, dass die allgemeine Disposition und Anordnung derselben festgelegt wurde. Unter diesen Feuern waren zwei, welche, mit ihrer Rückseite dem Lande zugekehrt, nach dieser Seite hin gar kein Licht auszustrahlen brauchten und nach der gegenüberliegenden Seite hin auch nur die directe Breite des Stroms zu bestreichen hatten, während von denselben stromaufwärts und stromabwärts ein sehr helles Licht verlangt wurde. Dieser mir neuen Aufgabe gegenüber war ich genöthigt, mich nach den etwa vorhandenen Lösungen verwandter Aufgaben umzusehen, musste mich indessen bald überzeugen, dass die deutsche Litteratur durchaus arm ist an irgend welchen Arbeiten über die Illumination von Leuchthürmen. Mir ist ausser einigen dürftigen Notizen in Lehrbüchern und einer practisch fast ganz unbrauchbaren Abhandlung in Grunert's Archiv für Mathematik und Physik nur eine einzige, jetzt längst veraltete Abhandlung bekannt geworden. Somit war ich auf die Werke englischer und französischer Autoren angewiesen. Bei diesen fand ich reichen Stoff, und da der Gegenstand einmal mein Interesse gewonnen hatte, so studirte ich noch Leuchthurm-Apparate, als die beiden oben erwähnten Lichter längst angezündet waren. Vor Allem interessirten mich die ingenieusen Erfindungen von Herrn Thomas Stevenson in Edinburgh, der neben dem bekannten französischen Ingenieur und Physiker Augustin Fresnel, und wenn nicht mehr als dieser, so doch mindestens in gleichem Maasse als Nestor des modernen Leuchthurmwesens bezeichnet zu werden verdient. Nachdem ich mit seinen Arbeiten oberflächlich

bekannt geworden, entschloss ich mich, sein Hauptwerk über dieses Thema ins Deutsche zu übersetzen, und erbat mir hierzu seine Erlaubniss, die er mir freundlichst gewährte. Im Vorliegenden übergebe ich diese Uebersetzung dem deutschen Publikum. Der an sich höchst interessante Gegenstand, dem unsere technischen Hochschulen bis jetzt freilich kaum eine Spur von Aufmerksamkeit geschenkt haben, ist mit den mercantilen Interessen aller Völker auf Engste verknüpft, und es bedarf für das Verständniss der Grundzüge desselben nur geringer mathematischer und physikalischer Vorkenntnisse. Ob indessen meine Arbeit Leser finden wird, weiss ich nicht; mir hat dieselbe viel Vergnügen gemacht, darum hoffe ich, dass sie auch Andere interessiren werde, und ich füge den innigen Wunsch hinzu, dass sie dazu beitragen möge, in Deutschland das Interesse für die Beleuchtung unserer und fremder Seeküsten zu beleben.

An das Werk selbst bitte ich, so weit ich mit meiner Arbeit an demselben betheiligt bin, keinen zu strengen Maassstab zu legen; die Arbeit ist ein Product meiner Mussestunden. Ein Jeder, der einmal eine längere Uebersetzung für den Druck gemacht hat, kennt die Schwierigkeiten einer solchen; namentlich die englische Sprache in ihrer fast geizigen Knappheit macht dem Uebersetzer mitunter viel zu schaffen, und ich bin mir sehr wohl bewusst, dass ich hier und da mangelhaft übersetzt und schlechtes Deutsch geschrieben habe. Ich glaube indessen, dass derartige Fehler im grossen Ganzen auf Schönheitsfehler reducirt sind, und als solche der Sache selbst nicht schaden werden.

Den Anhang über die Höhen der Leuchtthürme und über die Berechnung der dioptrischen Apparate habe ich mit Benutzung anderer Werke selbstständig bearbeitet; er ist zum grössten Theil mehr mathematischen Inhalts und für solche Leser berechnet, die sich eingehender mit der Sache vertraut machen wollen. Den Anhang des Originals habe ich weggelassen. — Für die §§ 2 und 5 des Anhangs habe ich, ausser den auf Seite 142 und 143 genannten Arbeiten, auch dem nachfolgend benannten Werk einige Notizen entnommen: Report of a Tour of Inspection of European Lighthouse Etablissements, made in 1874 by Major George

H. Elliot, Corps of Engineers U. S. A., Member and Engineer-Secretary of the Lighthouse Board. Under the Authority of Hon. William A. Richardson, Secretary of the Treasury. Washington, Government Printing Office. 1874. (288 Seiten Text in Gross-Octav, mit 30 Figuren, und 50 lithographirte Tafeln in Octav-Format.) Ich benutze diese Gelegenheit, dem Leser das Studium dieses vortrefflichen technischen Berichts über das europäische Leuchtthurmwesen zu empfehlen.

Hamburg, im Januar 1877.

Chr. Nehls.

## Vorwort zur ersten Auflage des Originals.

---

Die in dem vorliegenden Werke behandelten Gegenstände bildeten in planlosester Weise die Beschäftigung des Verfassers während der Mussestunden eines mühevollen und arbeitsreichen Berufslebens.

Das erste Kapitel, welches sich auf die relativen Vorzüge der catoptrischen und dioptrischen Systeme der Beleuchtung von Leuchttürmen bezieht, ist zum grossen Theil die Reproduction eines Berichts der Gebrüder Stevenson\*), welcher im Jahre 1857 auf Wunsch der Lords-Commission von Ihrer Majestät Geheimem Staatsrath für Handel aufgezeichnet wurde. Der Bericht enthält meines Wissens die einzigen Experimente, welche über den durch Absorption verursachten Lichtverlust bei den verschiedenen, für Leuchtturm-Apparate verwendeten Medien veröffentlicht sind. Aus diesen Experimenten ist das Resultat abgeleitet, dass man bei Anwendung von Glas ungefähr ein Viertel des ganzen Lichts sparen kann, oder, mit anderen Worten, dass durch Glas ein volles Drittel an Licht mehr übertragen wird, als metallene Spiegel reflectiren; diese Differenz ist vollständig unabhängig von Form und Anordnung des Apparats, und nur die nothwendige und unwandelbare Folge der verschiedenen optischen Eigenschaften der beiden Materialien.

Das zweite Kapitel beschreibt das, was ich das Holophotal-System der Illumination genannt habe, und kann als eine Untersuchung über die Mittel zur Hervorbringung eines Lichts von grösster Intensität, von einer gegebenen Lichtquelle aus, betrachtet

---

\*) Der Verfasser und sein Bruder, Herr David Stevenson, Verfasser von „The Principles and Practice of Canal and River Engineering.“ (C. N.)

werden. Ich hoffe, der Leser wird hier eine befriedigende Lösung des wichtigen Problems finden, wie von einer gegebenen Flamme der beste Effect zu erzielen ist. Dieses Kapitel enthält auch eine Beschreibung vieler Modificationen, welche aus der erweiterten Anwendung des genannten Princip resultiren. Beschreibungen des Holophotal-Systems und des Systems der scheinbaren Lichter wurden in einiger Ausführlichkeit zuerst veröffentlicht in den Transactions of the Royal Scottish Society of Arts, die des ersten Systems im Jahre 1849, die des letzteren 1852. Eine Beschreibung des allgemeinen Princip der Azimuthal-Verdichtung des Lichts wurde in dem Edinburgh New Philosophical Journal für 1856 veröffentlicht.

Was die Einführung und den Fortschritt des Holophotal-Systems betrifft, so mag bemerkt werden, dass das 1849 construirte Nordhafen-Licht zu Peterhead und das Licht für den Hoy-Sound eine der Stationen der schottischen Leuchtfeuer, die ersten Beispiele waren, wo alle von einer Flamme ausgehenden Strahlen mittelst eines catadioptrischen Holophots als ein Bündel paralleler Strahlen ausgesendet wurden. Die Form des Holophots, bei welchem total reflectirende, durch Rotation des Profils um eine horizontale Achse erzeugte Prismen angewendet sind, kam zuerst im Jahre 1850 auf dem Pedra-Branca-Rock bei Singapore zur Ausführung, und dies war das erste Beispiel, wo das Princip der totalen Reflection auf Drehfeuer angewendet wurde. Das System wurde später adoptirt von der Commission der Nördlichen Leuchtfeuer\*), der Commission des Phares in Frankreich, dem

---

\*) Die Leitung, Verwaltung, Controle etc. der Leuchtthürme, Feuerschiffe, Baaken und Bojen an den britischen Küsten untersteht den folgenden Behörden: 1) The Queen in Council; 2) The Board of Trade (Handels-Deputation); 3) The Corporation of Trinity House of Deptford Strond, London, kurz, The Trinity House of London (Trinity-Haus in London) genannt; der wissenschaftliche Rathgeber von Trinity-House, als Nachfolger von Airy und Faraday, ist zur Zeit Professor J. Tyndall; Ingenieur der Corporation ist Herr Jas. N. Douglass. Das Trinity-House übt eine gewisse Oberaufsicht aus über alle britischen Leuchtfeuer, auch über die schottischen und irischen Feuer. 4) The Commissioners of Northern Lighthouses, Edinburgh (die Commission der Nördlichen (schottischen) Leuchtfeuer); der wissenschaftliche Rathgeber der Commission ist Dr. Macadam; Ingenieure derselben sind die Brüder Thomas und David Stevenson. 5) The Port of Dublin Cor-

American Lighthouse Board, sowie auch von dem Board of Works of Newfoundland. Die amerikanische Behörde, welche speciell angewiesen war, über die verschiedenen Methoden der Illumination Untersuchungen anzustellen und zu berichten, empfahl, nachdem sie von allen Nationen sehr umfassende Nachrichten in Betreff der besten Systeme gesammelt hatte, in ihrem letzten Bericht im Jahre 1852 — „dass das Fresnel'sche oder Linsen-System, in speciellen Fällen modificirt durch den Holophotal-Apparat von H. Thomas Stevenson, adoptirt würde als Beleuchtungs-Apparat der Vereinigten Staaten für alle neuen Lichter, welche jetzt oder später genehmigt würden, und für alle Lichter, welche einer Erneuerung bedürften, entweder weil sie nicht stark genug, oder weil die Apparate beschädigt seien.“

Ich darf annehmen, dass das System seitdem sowohl hier wie anderswo nach und nach Eingang gefunden hat, und hoffe, dass die Einfachheit der Anordnung, und die Ersparung an Licht, welche durch dasselbe erzielt wird, in Kurzem zu allgemeiner Annahme desselben führen wird.

Man wird bemerken dass ich bei Erklärung der Wirkung der verschiedenen Arten des Apparats, welche auf den folgenden Seiten beschrieben sind, vorausgesetzt habe, dass der Leser bereits vollständig bekannt ist mit den allgemeinen Gesetzen, welche die Reflection und die Refraction des Lichts befolgen. Hinsichtlich einer vollständigen Darlegung der Theorie der Anwendung der Optik auf Leuchthurm-Apparate verweise ich den Leser auf des verstorbenen H. Alan Stevenson's „Notes on Lighthouse Illumination“, oder auf seine „Rudimentary Treatise on the History, Construction and Illumination of Lighthouses“.

Edinburgh, März 1859.

---

poration, Ballast Office, Dublin, kurz The Ballast Board of Dublin (die Ballast-Deputation in Dublin) genannt. Ausser den zuletzt genannten drei General-Verwaltungs-Behörden resp. für England, Schottland und Irland giebt es noch Local-Behörden, die einzelne Leuchthürme etc. zu beaufsichtigen haben, aber der Controle der General-Behörden unterstellt sind. Vergl. Report of the Commissioners appointed to inquire into the Condition and Management of Lights, Buoys and Beacons. 2 Bände.

## Vorwort zur zweiten Auflage.

---

Nachdem die erste Auflage der „Lighthouse Illumination“ vor einiger Zeit vergriffen war, bin ich aufgefordert worden, eine zweite Ausgabe zu bringen. Indem ich dieser Aufforderung nachgekommen bin, habe ich das Buch nicht nur sorgfältig revidirt und corrigirt, sondern auch Beschreibungen von allen spätern Verbesserungen hinzugefügt. Mit vielem Vergnügen erkenne ich an, dass ich meinen Freund Herrn James T. Chance für viele werthvolle Rathschläge und Verbesserungen der ersten Auflage verpflichtet bin.

Edinburgh, Mai 1871.

---





# Inhalt.

Einleitung, mit Erklärungen . . . . .	Seite 1
---------------------------------------	------------

## Kapitel I.

<b>Die Materialien, aus denen die verschiedenen Arten von Leuchtturm-Apparaten bestehen . . . . .</b>	<b>4</b>
---	----------

## Kapitel II.

<b>Holophotal-System . . . . .</b>	<b>13</b>
Abschnitt I. Allgemeine Erklärung der Anforderungen an verschiedene Arten von Leuchtturm-Apparaten . . . . .	13
Abschnitt II. Beste Form für Feste-Feuer, welche jeden Punkt des Horizonts gleichzeitig beleuchten sollen . . . . .	15
Abschnitt III. Das Licht von grösster Intensität, oder dasjenige Feuer, welches alles Licht in ein Bündel verdichtet . . . . .	18
Catadioptrische holophotale Reflectoren, 20; Dioptrischer Apparat an Stelle des metallenen Paraboloids, 23; Dioptrisches Holophot, welches vollständig aus Glas besteht und nur durch Refraction und totale Reflection wirkt, 25.	
Abschnitt IV. Beschreibung früherer Annäherungen an das Licht von grösster Intensität . . . . .	28

## Kapitel III.

<b>Modificationen des holophotalen Systems bei Anwendung desselben auf Apparate erster Ordnung, welche nicht die Verdichtung alles Lichts in ein Bündel erfordern . . . . .</b>	<b>33</b>
Catadioptrischer Holophotal-Apparat erster Ordnung, 33; Dioptrischer Holophotal-Apparat erster Ordnung, 34; Beschreibung von Annäherungen an das Licht von grösster Intensität, wie sie bei Apparaten erster Ordnung, welche nicht die Verdichtung des Lichts in ein Bündel paralleler Strahlen erfordern, angewendet wurden, 35; Feste-Feuer mit Blinken, 38; Beschreibung früherer Entwürfe für Feste-Feuer mit Blinken, 39; Holophotale dioptrische unterbrochene Feuer, 41; Ein Apparat, welcher durch getrennte Wirkung den Lichtgewinn zeigt, der aus der Anwendung des Holophotal-Princips auf einen gewöhn-	

lichen Reflector resultirt, 42; Dioptrisches Holophot ohne sphärischen Spiegel, 43; Bericht einer Commission der Royal Scottish Society of Arts über das Holophotal-System, 44; Verbesserte Form des Holophots, 45.

### Kapitel IV.

- Azimuthal verdichtende Feuer, oder Apparate zur Vertheilung der natürlich divergirenden Lichtstrahlen über irgend einen Azimuthwinkel, nebst Beschreibung der sphärisch-cylindrischen Linse** . . . . . 49
- Feste azimuthal verdichtende Feuer für die Beleuchtung enger Kanäle etc. 55  
 Verdichtendes Feuer zu Oronsay, 55; Neue verdichtende Feuer zu Buddonness für  $45^{\circ}$  im Azimuth, 59; Beschreibung eines optischen Apparats für die Seitenlichter von Dampfschiffen, 60; Verdichtender Apparat zu Lochindaal, 63; Feste Feuer für ungleiche Sichtweiten, welche den ganzen Horizont beleuchten, 63; Zerstreuende doppelt wirkende Prismen, 64; Verdichtende unterbrochene Feuer und Drehfeuer, 65.
- Azimuthal verdichtende Drehfeuer von ungleicher Kraft. . . . . 67  
 Drehfeuer für ungleiche Sichtweiten, die nicht den ganzen Horizont beleuchten, 67; Drehfeuer für ungleiche Sichtweiten, die den ganzen Horizont beleuchten, 68; Verdichtendes Drehfeuer zur Beleuchtung eines begrenzten Bogens im Azimuth, 69; Verdichtendes Feuer mit horizontal rotirenden Refractoren, 71; Verdichtender sphärischer Spiegel, 71; Differential-Spiegel und Holophot mit metallischer Reflection, 72.

### Kapitel V.

- Vorschläge für die Beleuchtung von Baaken und Bojen. Tauchende Feuer** . . . . . 74
- Tauchende Feuer für verlorene Riffe und Molenköpfe, 75; Localitäten, für welche tauchende Feuer nicht anwendbar sind, 79; Scheinbare Feuer, 80; Unterscheidungen für scheinbare Feuer, 90; Beleuchtung schwimmender Bojen, 90; Beleuchtung durch Electricität, welche mittelst unterseeischer Drähte zugeleitet wird, 90; Beleuchtung von Baaken und Bojen durch Gas, 95; Verschiedene Quellen der Beleuchtung für Baaken und Bojen, 100; Verschiedene Anwendungen des Schalls zur Warnung während dicker Nebel, 100.

### Kapitel VI.

- Das electriche Licht** . . . . . 102
- Beste Form der Linsen für electriche Drehfeuer, 113; Beste Form der reflectirenden Prismen, 115.

## Kapitel VII.

<b>Umkehrende Feuer, dioptrische schwimmende Feuer, Ocean-Feuer, elliptische Brenner</b> . . . . .	117
Umkehrende Feuer, 117; Dioptrisches umkehrendes Feuer, 120; Dioptrisches schwimmendes Feuer, 120; Ocean-Feuer, 121; Elliptische Brenner, 125.	

## Kapitel VIII.

<b>Holophon oder Schallreflector für Nebel-Signale</b> . . . . .	128
--	-----

## Kapitel IX.

<b>Beschreibung einiger neuer Arten von Photometern</b> . . . . .	134
---	-----

## Anhang.

Einleitung . . . . .	142
§ 1. Ueber die Höhen der Leuchtthürme . . . . .	143
§ 2. Bemerkungen über die specielle Anordnung der Apparate und der zugehörigen Lampen etc. . . . .	149
§ 3. Formeln für die Berechnung eines einfachen Fresnel'schen Bienen- korb-Apparats für Feste-Feuer . . . . .	168
1. Der ringförmige Refractor, 168. — 2. Die total reflectirenden Prismen, 186.	
§ 4. Formeln für die Berechnung der übrigen in Leuchtthurm-Apparaten verwendeten Profile . . . . .	198
1. Allgemeine Form des Refractors, 198. — 2. Die neuen Rückenprismen, 204. — 3. Die doppelt wirkenden Prismen, 210. — 4. Die Profile des sphärischen dioptrischen Reflec- tors, 214.	
§ 5. Bemerkungen über die Divergenz der austretenden Strahlen, über die Wahl der Brennpunkte und über die Prüfung und Justirung der Apparate . . . . .	224—248



## Einleitung.

Es ist ein wohlbekannter und sehr wichtiger Folgesatz aus dem Princip von der Erhaltung der Kraft in der Mechanik, dass, welcher Betrag an Kraft auch an einem Ende einer Maschine aufgewendet werden möge, derselbe Betrag, nach Abzug dessen, was durch Reibung auf den bewegten Flächen verloren gegangen ist, am andern Ende wieder hergegeben wird. Daher wird die Theorie irgend einer rein mechanischen Combination, welche dazu bestimmt ist, eine perpetuirliche Bewegung zu erzeugen, oder, was in Wirklichkeit dasselbe ist, eines Apparats, welcher fähig ist, Kraft zu schaffen, — *perpetuum mobile*; C. N. — nicht die Prüfung nüchternen Forschens ertragen. So wie man nun in der Mechanik keine Kraft schaffen kann durch irgend welche Systeme von Mechanismen, wie verwickelt und complicirt solche auch sein mögen, eben so wenig kann man in der Optik durch irgend welche Anordnung von optischen Mitteln, möge sie noch so geistreich sein, schliesslich mehr Licht gewinnen, als ursprünglich von einer Flamme ausgeht. Im Gegentheil, je mehr man den Mechanismus einer Maschine durch Reduction der Zahl der Räder und Getriebe vereinfachen kann, um so wirksamer wird die Maschine sein, weil um so weniger von dem ursprünglichen begrenzten Kraftvorrath durch Ueberwindung der Reibung der bewegten Flächen absorbirt wird. Ebenso ist es bei der Anwendung der Optik auf die Illumination der Leuchttürme: Je kleiner die Zahl der Reflectionen und Refractionen ist, welche die Lichtstrahlen erleiden, um so geringer wird der Lichtverlust durch Absorption sein, und um so weniger Licht wird dadurch verschwendet werden, dass es nach solchen Richtungen gesandt wird, wo es zum Nutzeffect Nichts beitragen kann. Darum läuft Alles, was man in der Mechanik thun kann, darauf hinaus, die ursprüngliche Kraft in der Weise zu dirigiren und zu modificiren, in welcher sie für den besondern Zweck, den man im Auge hat, am wirksamsten ist; und Alles, was man in der

Optik thun kann, um von einer Flamme von gegebener Intensität den Maximaleffect zu erzielen, besteht darin, dass man ihre sämtlichen Strahlen in die geforderte Richtung überträgt, mit dem kleinstmöglichen Verlust durch Absorption oder unregelmässige Zerstreung.

Giebt man die Wahrheit dieser Principien zu, so gesteht man damit auch ein, dass derjenige Leuchtthurm-Apparat der vollkommenste ist, welcher

1) aus solchen Materialien bestehende Mittel anwendet, die das kleinste Lichtquantum absorbiren und den geringsten Betrag an unregelmässiger Zerstreung der Lichtstrahlen erzeugen;

2) keine überflüssige Divergenz hervorbringt, sondern nur die Gegend beleuchtet, die absolut nothwendig beleuchtet werden muss;

3) den gewünschten Effect mit der möglich kleinsten Anzahl von Reflectionen und Refractionen erzeugt;

4) als aus der Erfüllung dieser Bedingungen hervorgehend, die grösste Anzahl von Strahlen in gegebener Zeit dem Auge des Beobachters zusendet, mit der Bedingung, dass, wenn das Feuer ein Drehfeuer ist, das Licht hinreichend lange für den Schiffer in Sicht bleibt, um eine Compassrichtung zu nehmen.

Wenn diese Forderungen genau und vollständig alle wesentlichen Elemente umfassen, welche bei einer vergleichenden Betrachtung der verschiedenen Systeme der Illumination von Leuchtthürmen zu beachten sind, so ist klar, dass wir, um zu entdecken, welches System das beste ist, zunächst untersuchen müssen, welches Material für die Construction der Apparate den Vorzug verdient, und dann, welche Anordnung der angewendeten optischen Mittel die beste ist.

Ich will zur Vermeidung jener Zweideutigkeiten, welche sich nach und nach durch Missverstehen gewisser Bezeichnungen eingeschlichen haben, noch vorausschicken, dass ich unter der Bezeichnung „catoptrisch“ alle Apparate eingeschlossen wünsche, in denen die Reflection nur durch metallische Flächen erzeugt wird; mit dem Namen „dioptrisch“ bezeichne ich alle Apparate, welche nur aus Glas bestehen und durch Refraction oder durch „totale“, oder wie man auch zuweilen sagt, durch „innere Reflection“ wirken.\*) Mit „catadioptrisch“ werde ich irgend

---

\*) Es ist fraglich, ob diese Bezeichnung passend ist, da sie die Meinung begünstigt, dass die Wirkung innerhalb der Fläche des Glases erfolge und

eine Combination von metallenen und gläsernen optischen Mitteln bezeichnen, oder mit andern Worten, irgend eine Vereinigung des catoptrischen und dioptrischen Systems, wie sie oben erklärt wurden.

Weiter ist nur die Definition des Begriffs „holophotal“\*) nöthig. Ich wandte diesen Namen zuerst nur auf das Licht von grösster Intensität an, oder auf diejenige optische Anordnung, durch welche die ganze Kugel der divergirenden Strahlen, welche von einer Flamme ausgehen, ohne Anwendung unnöthiger Reflectionen und Refractionen in ein einziges Bündel paralleler Strahlen verdichtet wird, so dass auf diese Weise der Maximaleffect der Flamme erzeugt wird. Ich werde indessen den Ausdruck auch gebrauchen, um besondere Abänderungen der eigentlichen holophotalen Anordnung zu bezeichnen, welche, ohne Anwendung unnöthiger Mittel, die sämtlichen divergirenden Strahlen in eine gegebene Anzahl von Bündeln paralleler Strahlen verdichten.

darum unabhängig sei von dem äussern Medium, was indessen nicht der Fall ist. Denn wenn die Aussenseite eines reflectirenden Prismas angenässt oder mit Siegellack überzogen wird, um die Luft von dem Glase abzuhalten, so wird, wie bekannt, das Licht durchgelassen, statt total reflectirt zu werden.

\*) ὅλος, ganz; φῶς, Licht.

## Kapitel I.

### Die Materialien,

aus denen

die verschiedenen Arten von Leuchtthurm-Apparaten bestehen.

---

Stellt man die relativen Vortheile von Metall und Glas, den einzigen Materialien, welche für die Construction von Leuchtthurm-Apparaten angewendet werden, einander gegenüber, so ist zu beachten, dass der Verlust an Licht bei metallischer Reflection theilweise aus der unregelmässigen Zerstreung von Strahlen herrührt, in Folge von Unvollkommenheiten in der Form der Spiegel und theilweise von wirklicher Absorption von Strahlen, welche letztere namentlich von dem Zustande der Politur abhängt. Wenn Lichtstrahlen auf einen metallenen Spiegel fallen, so dringt ein sehr beträchtlicher Theil derselben in das beinahe undurchsichtige Metall hinein, wie man aus dem durch Blattgold durchgelassenen grünen Licht folgern kann; nachdem die Strahlen eingedrungen sind, sind sie für den vorliegenden Zweck gänzlich ausgelöscht oder vernichtet. Bei Glas tritt ein Verlust an Licht ein an jeder brechenden Fläche, und ausserdem ein Verlust durch Absorption, welcher sich mit der Dicke und Farbe des von dem Licht passirten Materials ändert. Wo das Licht durch Glasprismen gebrochen und reflectirt wird, und die Reflection so stattfindet, dass die Strahlen auf die innern Flächen unter einem Winkel auffallen, der grösser ist als der sogenannte kritische Winkel, da wird die Refraction unmöglich und, theoretisch wenigstens, dürfte da nicht ein einziger Lichtstrahl verloren gehen. Die Reflection heisst daher totale; der Grenzwert des Winkels, bei welchem sie stattfindet, hängt von dem Brechungs-Coefficienten der angewendeten Glassorte ab, da sein Sinus stets gleich dem reciproken Werth dieses Coefficienten ist, der immer für die am



wenigsten brechbaren Strahlen des Spectrums genommen werden sollte. \*)

Es würde für den Leser ermüdend sein, wenn ich zu Gunsten der Anwendung von Glas gegenüber dem Metall, für die Richtungsänderung von Lichtstrahlen, Auszüge aus Schriftstellern anführen wollte, doch mag erwähnt werden, dass Newton, die Herschel, Brewster und Andere ihre Meinungen über diesen Gegenstand bündig ausgesprochen haben. John Herschel z. B. sagt in dem Artikel „Licht“ in der Encyclopaedia Metropolitana (S. 369): „Die so erhaltene Reflection“ — nemlich die totale durch Glas — „übertrifft an Glanz weit Alles, was durch andere Mittel zu erreichen ist, z. B. durch Quecksilber oder durch vorzüglich polirte Metalle.“ Herr David Brewster sagt (Philosophical-Journal 1832, S. 439): „Es ist bekannt, dass durch Hämmern polirtes Silber anders auf Licht wirkt, als Silber, welches eine Spiegelpolitur erhalten hat, und ich habe an einem andern Orte die Ansicht ausgesprochen, dass ein parabolischer Reflector von versilbertem Kupfer, welcher durch Hämmern polirt ist, wegen der Dichtigkeitsdifferenz verschiedener Theile des reflectirenden Häutchens, in einer Entfernung von vielen Meilen eine merkliche Zerstreung der reflectirten Strahlen hervorbringen wird, ähnlich derjenigen, welche in einem durchscheinenden festen, flüssigen oder gasförmigen Medium stattfindet.“ In seiner Treatise on Optics (London 1851) sagt er auch: „Der grosse Werth eines solchen Spiegels“ (eines gläsernen, welcher durch totale Reflection wirkt) „besteht darin, dass, da die einfallenden Strahlen unter einem Winkel auf  $AO$ “ (die reflectirende Fläche) „fallen, welcher grösser ist als derjenige, bei dem die totale Reflection beginnt, sie alle totale Reflection erleiden werden, und kein einziger Strahl verloren gehen wird, wogegen bei dem besten metallischen Spiegel beinahe die Hälfte des Lichts verloren geht.“

\*) Wenn  $\mu$  der Brechungs-Coefficient der äussersten rothen Strahlen,  $\alpha$  der innere Einfallswinkel (kritische Winkel) ist, so ist

$$\sin \alpha = \frac{1}{\mu}.$$

	Kritischer Winkel.
Für Tafelglas ist der Mittelwerth von $\mu = 1,510$ .	$41^{\circ} 28'$ .
„ <del>Crystall</del> Glas „ „ „ „ „ $= 1,522$ .	$41^{\circ} 4'$ .
„ Flintglas „ „ „ „ „ $= 1,600$ .	$38^{\circ} 41'$ .

*Horn*

Ohne andere Autoritäten zu citiren, will ich übergehen zu den Versuchen von Professor Potter, der dem Gegenstand der Photometrie viel Aufmerksamkeit zugewandt hat, und dessen Versuchsergebnisse in einigen Beziehungen von denen von Bouguer und William Herschel abweichen, und sogar darauf hinzielen, unsere Schätzung der Differenz zwischen denjenigen Lichtmengen, welche bei metallischer Reflection und beim Durchgang durch Glas verloren gehen, zu reduciren. Er sagt indessen in seiner im Jahre 1851 in London veröffentlichten *Treatise on Optics*, dass nur ungefähr  $\frac{1}{30}$  des Lichts reflectirt wird, wenn die Strahlen normal auf eine Fläche gewöhnlichen Glases fallen, was, wenn wir einen ähnlichen Verlust bei der zweiten Fläche annehmen, 93,4% geben würde, welche durchgelassen würden, wenn die von der Dicke und Farbe des Glases abhängige Absorption nicht vorhanden wäre. In demselben Werke sagt er auch, dass ungefähr  $\frac{1}{3}$  des Lichts bei einer normalen Reflection von gewöhnlichem versilberten Spiegelglas, und etwas weniger bei hoch polirtem Spiegelmetall verloren geht.

Die folgende, aus Professor Potter's Versuchen hergeleitete Tabelle zeigt die Quantität des verlorenen Lichts bei der Reflection von Metall und beim Durchgang durch Tafelglas von  $\frac{1}{9}$ " Dicke, bei verschiedenen, von normalem Einfall bis zu  $70^\circ$  Schiefe wechselnden Winkeln.

Tabelle über metallische Reflection.		Tabelle der Versuche über den Lichtverlust beim Durchgang durch Tafelglas von $\frac{1}{9}$ " Dicke.	
Einfallswinkel.	Durch Reflection etc. verlorenes Lichtquantum.	Einfallswinkel.	Beim Durchgang verloren.
		$0^\circ$	0,086
$10^\circ$	0,314	$10^\circ$	0,092
$20^\circ$	0,305	$20^\circ$	—
$30^\circ$	0,334	$30^\circ$	0,094
$40^\circ$	0,332	$40^\circ$	0,106
$50^\circ$	0,346	$50^\circ$	0,125
$60^\circ$	0,351	$60^\circ$	0,161
$70^\circ$	0,349	$70^\circ$	0,254

Welcher Verlust nun auch beim Durchgang des Lichts durch Glas von grösserer Dicke, als es bei diesen Versuchen benutzt ist, eintreten möge, so viel ist klar, dass kein grosser Verlust durch die Refraction an den Einfallswinkeln für Glasprismen der ersten Ordnung, wie sie bei Leuchtfeuern üblich sind, verursacht werden kann, da dieselben von  $7^{\circ}30'$  bis gegen  $45^{\circ}$ , und bei der Linse von  $0^{\circ}$  bis ungefähr  $45^{\circ}$  variiren; diese Winkel liegen also vollständig innerhalb der Grenzen der obigen Versuche, deren Resultate den Verlust durch Absorption bei einer Glasdicke von  $\frac{1}{9}$ “, mit Hinzufügung des Verlustes durch Refraction enthalten.

Was die Absorption beim Durchgang durch ein dickes Prisma angeht, so können wir uns nur auf wenige Versuche von Professor Potter beziehen. Im Philosophical-Magazine von 1832 beweist er zuerst experimentell, in Uebereinstimmung mit der Theorie, die wichtige Thatsache, dass bei einem Prisma der gebräuchlichen Art kein Verlust an Licht durch totale Reflection stattfindet. Der ganze Verlust rührt also von den beiden brechenden Flächen und von der Absorption beim Durchgang durch das Glas her. Seine Versuche führten ihn zu dem Resultat, dass der ganze Lichtverlust beim Durchgang durch ein total reflectirendes Glasprisma von 1,98“ Dicke im Durchschnitt 0,234 des einfallenden Lichts betrug. Die bei diesem Versuche von dem Licht passirte Glaslänge ist nahezu dieselbe, wie in den modernen Leuchtfeuer-Prismen, so dass diese Resultate für unsere Zwecke ganz anwendbar werden.

Herr D. Stevenson, der verstorbene Herr J. M. Balfour, Marine-Ingenieur bei der Regierung von Otago, und ich selbst machten auch einige Beobachtungen, welche in einem Bericht an die Commission der Nördlichen Leuchtfeuer ausführlich beschrieben sind, und zwar an Stücken von geraden, rechtwinkligen Glasprismen, von gleicher Grösse und Qualität mit den bei Leuchtfeuern verwendeten. Diese Versuche wurden mit Hülfe derselben Art von Photometer gemacht, welche in Professor Potter's Treatise on Optics beschrieben ist, und die erhaltenen Werthe waren etwas grösser, als die oben angegebenen. Bei diesen total reflectirenden Prismen war der Einfallswinkel der Lichtstrahlen auf die äussere brechende Fläche gleich  $39^{\circ}$ . Die vollständige zusammengesetzte Glaslänge, welche von dem Licht durchsetzt wurde, während es von der ersten, brechenden, auf die zweite, reflectirende, und dann auf die dritte, brechende Fläche ging, be-

trug 2,6". Folgendes sind die Resultate, aus denen bei 31 Versuchen und vier verschiedenen Beobachtern ein Mittelwerth von 0,805 für den Betrag der durchgegangenen Lichtmenge folgt:

### Tabelle,

welche den Betrag des nutzbaren Lichts angiebt, nachdem es durch ein total reflectirendes Prisma, wie es für gewöhnliche Leuchtfeuerzwecke hergerichtet wird, hindurchgegangen ist. (Einfallswinkel für die äussere brechende Fläche =  $39^{\circ}$ ; Länge des Weges durch Glas = 2,6".) Die Resultate sind in Bruchform ausgedrückt, das einfallende Licht gleich Eins gesetzt.

Betrag an nutzbarem Licht.	Bemerkungen.
0,824	Mittel aus 4 Beobachtungen.
0,809	" " 3 "
0,873	" " 4 "
0,804	" " 3 "
0,869	" " 6 "
0,812	" " 4 "
0,734	" " 3 "
0,716	" " 3 "
0,805 . . . . .	{ Allgemeines Mittel aus 31 von vier verschiedenen Beobachtern gemachten Versuchen.

Anmerkung. Die letzten beiden Beobachtungsreihen scheinen entschieden zu niedrig zu sein, aber sie sind aufgeführt, da kein Fehler in der Justirung des Apparates zu entdecken war.

Ich bin indessen weit davon entfernt, diese Versuche auf gleiche Stufe stellen zu wollen mit denen von Professor Potter, dessen grosse Erfahrung und Genauigkeit in der Photometrie so allgemein bekannt sind, und ich will daher die von ihm erhaltenen niedrigeren Werthe annehmen. Man wird aus seinen Beobachtungen, welche bereits angeführt sind, ersehen, dass durch Reflection von hoch polirten Spiegeln innerhalb der Grenzen des Einfallswinkels von  $10^{\circ}$  bis  $70^{\circ}$  der Lichtverlust zwischen 0,31 und 0,35 variirt, während der Verlust bei totaler Reflection, d. i. bei Anwendung eines Glasprismas, nur ungefähr 0,23 beträgt. Hier ist also ein reiner Gewinn von  $\frac{1}{10}$  zu Gunsten des Glases gegenüber dem Metall; oder ein etwas grösserer Gewinn, wenn wir die obigen Resultate nehmen wollten. Wir müssen aber jetzt ein sehr wichtiges Zugeständniss notiren, welches für diesen Fall gemacht werden muss. Professor Kelland war so gütig, mir

mitzutheilen, dass er einen Brief von Professor Potter erhalten habe, in welchem derselbe sagt, dass er die Resultate seiner Versuche über metallische Reflection als „ganz unanwendbar auf Leuchtthurm-Apparate betrachtet, da die Politur seiner Spiegel so war, dass man die Fläche nicht sah, wenn man sie einer Lichtflamme nahe hielt, sondern dass dieselbe wie ein Loch in der Wand eines dunkeln Kastens erschien. Die Politur eines Leuchtfeuer-Reflectors“, fügt er hinzu, „könnte niemals in diesem Zustande erhalten werden.“ Es würde in der That unmöglich sein, selbst einem neuen Reflector eine solche Politur zu geben. Die Art, wie Metallspiegel polirt werden und durch welche allein eine so vollkommene Fläche zu erzielen ist, ist schwerlich auf ein weiches Metall wie Silber anzuwenden, noch kann eine solche Methode des Arbeitens für eine Curve, welche bedeutend von einem Kreisbogen abweicht, Anwendung finden.

Mein Bruder und ich machten auch eine Reihe von Versuchen über die reflectirende Kraft von Silberplatten, welche in derselben Weise polirt waren, wie Leuchtthurm-Reflectoren. Aus diesen wird man sehen, dass nicht viel mehr als die Hälfte (0,556) des auffallenden Lichts reflectirt wurde — ein Resultat, welches zu der bereits angeführten Angabe von Herrn David Brewster, in seiner Treatise on Optics, passt. Nehmen wir dies letztere Resultat als richtig an und vergleichen es mit Professor Potter's Werthbestimmung eines total reflectirenden Prismas, so haben wir einen Gewinn von zwei Zehnteln (0,210) zu Gunsten des Glases gegen Metall; oder, wenn wir es mit den obigen Versuchen vergleichen, einen Gewinn von beinahe ein Viertel (0,249) durch Anwendung von Glas anstatt metallischer Flächen.

**Tabelle**

über die Quantität des nutzbaren Lichts nach der Reflection von einer Silberfläche, welche in derselben Weise polirt ist, wie Leuchtfeuer-Reflectoren (Einfallswinkel 45°). Die Resultate sind in Bruchform gegeben, das einfallende Licht gleich Eins gesetzt.

Betrag des nutzbaren Lichts.	Bemerkungen.
0,520	Mittel aus 3 Beobachtungen.
0,501	" " 3 "
0,620	" " 3 "
0,676	" " 5 "
0,644	" " 4 "
0,560	" " 4 "
0,730*)	" " 4 "
0,380*)	" " 3 "
0,517	" " 4 "
0,496	" " 4 "
0,472	" " 4 "
	} mit einem ändern Spiegel.
0,556	Allgemeines Mittel aus 41 Versuchen, durch drei verschiedene Beobachter.
0,556	Allgemeines Mittel, mit Ausnahme der mit *) markirten.

Anmerkung. Diese Versuche wurden angestellt mit zwei Stücken gehämmerter Silberplatte, welche so eben wie möglich gemacht wurden, und da die Politur auf beiden gleich gut zu sein schien, so muss der durch die Tabelle angezeigte Unterschied in der Wirkung von einer geringen Krümmung, wahrscheinlich in entgegengesetzten Richtungen, herrühren. Ich glaube indessen, dass das Mittel nicht weit von der Wahrheit abweichen kann.

Es scheint demnach, dass, wie gross auch der relative Gewinn bei Anwendung von totaler gegenüber der metallischen Reflection sein mag — und wir meinen, es ist Grund genug vorhanden, ihn für gross zu halten — zum Wenigsten genug gesagt ist, um die Ueberlegenheit von Glas über Metall als Material für die Construction von Leuchtfeuer-Apparaten festzustellen. Auch muss beachtet werden, dass der aus der Absorption resultirende Verlust durch einfache Vergrösserung der Zahl und damit durch Verminderung der Grösse der angewendeten Prismen reducirt werden kann.

\*) Diese Versuche, welche successive durch denselben Beobachter gemacht wurden, scheinen ungenau zu sein, aber die Ursache hat sich der Entdeckung entzogen.

Bevor ich den Gegenstand des bei Leuchtturm-Apparaten angewendeten Materials verlasse, muss ich noch einige weitere Vorzüge, welche dem Glase eigen sind, erwähnen:

In Glas geschliffene Krümmungen gestatten unzweifelhaft eine weit grössere Genauigkeit der Fläche, als diejenigen der metallischen Reflectoren, wie sie für Leuchtturm-Zwecke gebräuchlich sind. In einem Falle wird das Resultat erzielt durch den stufenweisen Process des Schleifens vermittelt einer nicht irrenden Maschine von unveränderlicher Gestalt, während es im andern Falle durch einen vergleichsweise rohen versuchenden Handprocess erreicht wird und darum allen Unvollkommenheiten unterworfen ist, denen solche Arbeitsmethoden begreiflicherweise ausgesetzt sind. Ausserdem wird die Politur, von der so sehr viel abhängt, den Glasapparaten ein für alle Mal durch die wohlconstruirte Maschine des Mechanikers gegeben, während die metallische Politur fortwährend nachtheilige Veränderungen durch die atmosphärische Luft erleidet und darum verlangt, dass ihr Glanz täglich, successive durch verschiedene Lampenwärter, erneuert werde, von denen ein wenig erfahrener dem Spiegel nicht wieder zu bessernde Schrammen zufügen und ihn fortwährend schlecht behandeln kann. Während also das Glas, so lange es unzerbrochen ist, nie seine richtige Form verliert, kann die metallische Politur fortwährend beschädigt und die Krümmung des Spiegels mit der Zeit durch rohe Behandlung verändert werden.

Es ist zwar immer noch möglich, dass an metallenen Spiegeln Verbesserungen gemacht, oder dass andere passende Materialien oder metallische Compositionen entdeckt werden, welche eine bessere und dauerhaftere Politur als Silber annehmen. Aber so lange nicht nachgewiesen werden kann, dass in der That ein viel geringerer Verlust durch Absorption bei Anwendung solcher neuen Metalle oder Legirungen entsteht, so dass Glas, als optisches Mittel, weit unter diesen Metallen stände, so lange machen seine mechanischen Vortheile dasselbe entschieden mehr geeignet für Leuchtturmzwecke.

Die am meisten versprechende Methode der Anwendung metallischer Mittel, welche mir bekannt ist und die ich an anderem Orte\*) beschrieben habe, ist die Wiederaufnahme der alten Form

---

\*) Proposals for the Illumination of Beacons and Buoys, by T. Stevenson. Edinburgh, A. and C. Black, 1870.

von Spiegeln, welche aus Facetten von gewöhnlichem versilberten Glas bestehen. Anstatt diese schmal und mit ebenen Flächen herzustellen, kann man ihre Ausdehnung bedeutend vergrössern, und sie können gebogen, oder geschliffen und polirt werden, und zwar auf beiden Flächen nach Kreisen, welche eine Parabel, Ellipse, oder was immer für eine Form verlangt werden mag, berühren. Wenn die Ränder dieser Facetten an einander befestigt werden durch Canada-Balsam — eine Substanz, welche nahezu denselben Brechungs-Coefficienten wie Tafelglas hat — so wird der grosse Lichtverlust, welcher bei den alten Reflectoren an den Rändern jeder Facette stattfindet, in hohem Grade vermieden werden. Es wird nicht, wie früher, eine Brechung der Strahlen beim Durchgang durch die Ränder erfolgen und so wird das Ganze practisch monodioptrisch werden; oder, mit andern Worten, es wird optisch beinahe dasselbe sein, als wenn das Paraboloid aus einer ganzen Glasplatte hergestellt wäre, während der von genau gekrümmten statt von geraden Flächen herrührende Gewinn gesichert ist. — Es würde eine weitere Verbesserung sein, verschiedene Punkte in der Flamme für die Brennpunkte der verschiedenen Facetten auszuwählen, um sich die nutzbringende Richtung von mehr Strahlen zu sichern. Ausserdem kann durch Schleifen jeder Facette nach verschiedenen verticalen und horizontalen Curven das Licht durch ein einziges Mittel condensirt oder divergirt werden; dasselbe Resultat kann auch durch verschiedene total reflectirende Platten von Flint- oder anderem Glas, welche durch Canada-Balsam auf Leuchthurm-Prismen gekittet sind und so mit diesen zusammengesetzte Prismen bilden, erreicht werden. \*) — Für farbige Lichter würden die Facetten aus gefärbtem Glas bestehen, um gefärbte Schirme oder Lampencylinder zu vermeiden. \*\*) Die Ersparnisse bei der vorgeschlagenen Constructionsmethode würden wahrscheinlich beträchtlich sein und sie vorzüglich für Hafenerfeuer anwendbar machen.

---

\*) Ueber die von dem Verfasser mit dem Namen „Differential-Reflectoren“ bezeichneten optischen Mittel, deren Herstellung aus einzelnen Facetten und Platten hier angedeutet ist, wird weiter unten noch ausführlicher die Rede sein. (C. N.)

\*\*) Vergl. des Verfassers: Composite Optical Panes of Coloured Glass for Lighthouse Lanterns. Ein Vortrag, gehalten vor der Royal Scottish Society of Arts am 8. April 1872. (C. N.)



## Kapitel II.

# Holophotal - System.

### Abschnitt I.

#### Allgemeine Erklärung der Anforderungen an verschiedene Arten von Leuchtthurm-Apparaten.

Wenn es verlangt würde, jeden Theil des Himmels, des Horizonts und der See, oder, was ein besseres Bild ist, jeden Theil der Innenfläche einer hohlen Kugel gleichzeitig zu beleuchten, so ist klar, dass eine einfache Wachskerze, oder vielmehr ein leuchtender Punkt, ohne Beihülfe irgend eines optischen Apparats, dem man gestattet, seine divergirenden Strahlen nach allen Richtungen zu werfen, die geforderten Bedingungen ohne Weiteres, und zwar vollkommen, erfüllt. In dem Ingenieurwesen der Leuchtthürme kommt indess der soeben erwähnte einfache Fall nicht vor; denn, obwohl es wünschenswerth sein kann, den ganzen Horizont sehr stark zu beleuchten, so kann doch nie verlangt werden, entweder den Himmel oberhalb der Augenebene des Seemanns, oder die Basis des Leuchtthurms unterhalb derselben zu beleuchten. Die Art von Apparaten, an welche die grössten Anforderungen gestellt werden, sind die sogenannten Festen-Feuer, von denen man, wenn sie auf einem Felsen oder einer Insel errichtet werden, verlangen kann und gewöhnlich auch verlangt, dass sie ein Licht von gleichem und constantem Glanz über den ganzen Horizont werfen. In einem solchen Fall, um zu dem Bild der hohlen Kugel zurückzukehren, wird kein Licht in der Gegend der Pole verlangt, und diese werden darum beide dunkel gelassen; aber es ist nöthig, dass ein äquatorialer Gürtel von hinreichender Breite beleuchtet wird. Daher kann das Licht, welches vorher zur Beleuchtung der Pole verwendet wurde, vortheilhaft von dem obern Pole abwärts und von dem untern aufwärts gebeugt werden, um die Intensität der Beleuchtung des äquatorialen Gürtels zu erhöhen.

In andern Fällen besteht Alles, was verlangt wird, um den Anforderungen einzelner Küstenstriche zu entsprechen, darin, einen einzelnen Punkt oder vielmehr ein kleines Stück des äquatorialen Gürtels zu beleuchten. Wo dies nöthig ist, muss die ganze innere Fläche der Kugel, mit Ausnahme des einzelnen Flecks, dunkel bleiben, und die Richtungen aller divergirenden Strahlen müssen so verändert werden, dass sie in eine einzige Richtung fallen. Mit andern Worten, die Strahlen müssen verdichtet werden in ein einziges Bündel von parallelen Strahlen, dessen Querschnittsfläche, vorausgesetzt dass der leuchtende Punkt ein mathematischer Punkt sei, dieselbe ist, wie die Fläche des erwähnten Flecks auf dem Aequator. Practisch wird in diesem wie in dem andern Falle, wenn das hellste Bündel noch nach dem Horizont gebeugt wird, die von der Ausdehnung der Flamme herrührende unvermeidliche Divergenz, ausgenommen bei hohen Thürmen, mit genügender Intensität den Raum zwischen dem Horizont und der See beleuchten. — Der letztere Fall kann als das grosse Leuchtfeuer-Problem betrachtet werden, denn die Lösung desselben liefert eine auf fast jede Art von Apparaten anwendbares Element, und das so erzeugte Licht wird das Licht grösster Intensität sein.

Von den beiden oben genannten Bedingungen, dass ein Mal ein äquatorialer Gürtel von  $360^{\circ}$ , ein anderes Mal ein einzelner Fleck oder ein Segment beleuchtet werde, giebt es mehrere Modificationen. In einzelnen Fällen z. B. ist die ganze Lichtkugel, anstatt über den vollen Horizont verbreitet zu werden, auf einen Sector von einer bestimmten Anzahl Grade zu condensiren. In andern Fällen verlangt man, dass die Strahlen, anstatt auf einen einzelnen Fleck des Horizonts, auf sechs oder acht solche Theile condensirt werden. Da diese Fälle indessen nur Modificationen der beiden früheren sind, so werde ich sie einem andern Abschnitt überlassen und fortfahren zu untersuchen:

1) Welches ist die beste Form von Apparaten zur Beleuchtung eines äquatorialen Gürtels von  $360^{\circ}$ ?

2) Welches ist die beste Form, um das gesammte Licht in ein einziges Bündel von parallelen Strahlen zu verdichten; oder, mit andern Worten, wie kann das Licht von grösster Intensität erzielt werden?

## Abschnitt II.

**Beste Form für Feste-Feuer, welche jeden Punkt des Horizonts gleichzeitig beleuchten sollen.**

Es ist einleuchtend, wie aus unserer zweiten allgemeinen Forderung hervorgeht, dass kein Apparat als der beste betrachtet werden kann, welcher irgend einem Theile der von der Flamme ausgehenden divergenten Strahlen in die Atmosphäre zu entweichen gestattet, ohne dass sie in die von dem Seemann geforderte Richtung parallelisirt werden, weil solche Strahlen sämmtlich verloren gehen. In Fresnel's Apparat für Feste-Feuer, deren Aufgabe es ist, beständig den ganzen Horizont zu beleuchten, wird die ganze Lichtkugel parallel nach dem Horizont hinausgesandt, und da der Apparat nur aus einem cylindrischen brechenden Glasring und total reflectirenden Glasprismen besteht, so erzielt er seine Wirkung durch die einfachste denkbare Combination der besten optischen Mittel. Ich bin deshalb der Meinung, dass er nicht übertroffen werden kann und als die beste Form für Feste-Feuer auf Inselstationen betrachtet werden muss. Diesen Apparat zeigen die Figuren 1, 2 und 3, Taf. I, resp. in der Ansicht, im Verticalschnitt durch die Achse und im Horizontalschnitt durch den Brennpunkt;  $f$  ist die Flamme,  $RR$  ist der erwähnte cylindrische Refractor und  $PP$  sind die total reflectirenden Prismen. Fig. 3, Taf. I, zeigt die über den Horizont sich gleichmässig verbreitenden Lichtstrahlen. Der cylindrische Refractor ist ein Körper, welcher durch Umdrehung des mittleren Verticalschnitts einer planconvexen Linse, wie sie in der Ansicht und im Schnitt in Fig. 4 und 5, Taf. I, gezeichnet ist, um eine verticale, durch den Brennpunkt gehende Achse, entsteht. Diese ringförmige Linse, welche aus mehreren von einander unabhängigen und zusammengebauten Stücken besteht, um so einen grossen Refractor herzustellen, bildet einen äusserst wichtigen Theil des dioptrischen Systems.

Die in Leuchttürmen angewendeten Linsen wurden von Buffon für Brenngläser vorgeschlagen und von Condorcet im Jahre 1788 für denselben Zweck verbessert. Es ist klar, dass, wenn man eine grosse Linse mit einer continuirlichen sphärischen Fläche construirte (siehe den punktirten Kreis in Fig. 5, Taf. I), sehr viel Licht bei dem Durchgange desselben durch die dicke

Glasmasse absorbirt werden und somit verloren gehen würde. Das ist indess nicht der einzige Einwand gegen eine derartige Construction, denn keine Linse mit continuirlicher Kugelfläche kann genau die von der Flamme ausgehenden Strahlen parallelisiren. Für diesen Zweck bedarf es hyperbolischer oder elliptischer Schnitte\*), aber es ist practisch unmöglich, solche Flächen zu schleifen. Die sphärische Aberration kann indess, wie durch Condorcet angegeben wurde, zum grossen Theil vermieden werden durch Herstellung der Linse in verschiedenen Ringen, so dass man mit hinreichender Genauigkeit den beiden äussersten Strahlen eines jeden Ringes Parallelismus sichert. Fig. 4, Taf. I, ist eine Ansicht und Fig. 5, Taf. I, ein Schnitt dieser polyzonalen oder ringförmigen Linse, welche aus einer centralen Linse *a* von sphärischer Krümmung und aus einzelnen Zonen oder Ringen besteht, welche zusammengekittet sind und deren Mittelpunkte so liegen, dass ihre Abstände von der Achse mit den Längen der Radien wachsen. Dies ist die von Fresnel für Leuchthurmzwecke angewendete Construction, für welche, wie Herr Chance dargethan hat, „die grösste Abweichung von der Richtung der Achse der focalen Strahlen, welche für jeden der successiven Ringe entsteht, in abnehmender Progression von 2' 32" für den zunächst der Scheibe belegenden Ring, bis zu 52" in dem achten Ring variirt.“\*\*)

Für die Beleuchtung dieses Apparats wandten Fresnel und Arago eine Lampe an mit vier concentrischen Dochten, ausgestattet mit einem Uhrwerk, welches auf Pumpen wirkte, die ein beständiges Ueberfliessen des Oels veranlassten und so eine Verflüchtigung desselben verhinderten.

Man wird aus der auf Seite 15 gegebenen Beschreibung ersehen, dass, während der von Fresnel bei seinen Festen-Feuern angewendete Glasring keine brechende Wirkung in der horizontalen Ebene besitzt, wie der Grundriss Fig. 3, Taf. I, sehr deutlich zeigt, er diese Eigenschaft in der verticalen Ebene besitzen muss, wie aus dem Verticalschnitt Fig. 2, Taf. I (welcher dem verticalen Schnitt der ringförmigen Linse in Fig. 5, Taf. I,

\*) Vergl. Grunert's Archiv für Mathematik und Physik, 19. Theil, 1852, Seite 255—259. (C. N.)

\*\*) On Optical Apparatus used in Lighthouses, by J. T. Chance. Inst. Civ. Eng., vol. XXVI.

entspricht — C. N.) zu ersehen ist. Darum wird derselbe in jedes Azimuth einen verticalen Lichtstreifen hinaussenden, dessen Breite von der Breite der Flamme, und dessen Höhe von derjenigen des brechenden Ringes selbst abhängen wird, wie aus dem Schnitt Fig. 2, Taf. I, ersichtlich ist. — Die total reflectirenden prismatischen Ringe *PP* sind bestimmt, auf das Licht zu wirken, welches ohne sie oberhalb und unterhalb des cylindrischen Refractors entweichen würde, um dasselbe ebenso auszunutzen, wie den Theil, welcher auf den Refractor fällt. Diese Ringe sind Körper, die durch Umdrehung von Dreiecken von bestimmter Form um die verticale Achse, welche durch den in der Flamme der Lampe belegenen Brennpunkt des cylindrischen Refractors geht, entstehen. Die für diese Prismen gewählten Brennpunkte liegen in verschiedenen Theilen der Flamme, damit die betreffenden Strahlen von dem Brenner frei gehen, welcher sonst das Licht unterbrechen würde, und um von den hellsten Theilen der Flamme zu profitiren. Die Stellungen und Formen dieser Zonen werden nach den Principien der Refraction und der totalen Reflection bestimmt. Wegen vollständiger Ableitung der betreffenden Formeln verweise ich den Leser indessen auf Herrn Alan Stevenson's „Treatise on Lighthouse Illumination“. Kürzere Methoden sind in Herrn J. T. Chance's Abhandlung und in derjenigen von Professor Swan, wo die Probleme vollständig gelöst sind, enthalten.\*) Es ist hier nur zu erwähnen nöthig, dass die divergirenden Strahlen, welche auf die erste, der Flamme am nächsten belegene Seite der Zone fallen, gebrochen werden und, durch das Glas, auf die zweite Seite treten, wo sie totale Reflection erleiden, um endlich, nach einer zweiten Brechung auf der dritten oder äussern Seite der Zone, parallel nach dem Horizont zu gehen.

Bevor ich den Gegenstand der Festen-Feuer verlasse, mag noch der kleine von Bordier Marcet erfundene Apparat erwähnt werden, welcher aus einem Reflector besteht, dessen Form aus der Umdrehung einer verkürzten Parabel um ihren Parameter als Achse entsteht. Apparate nach diesem kleinen Maasstab wurden, wie mir der verstorbene Herr A. Gordon mittheilte, von ihm durch Hinzufügung eines cylindrischen Refractors nach Fresnel'schem System verbessert, um die Strahlen aufzufangen,

\*) Siehe den Anhang. (C. N.)

welche sonst verloren gehen würden. Dasselbe Ziel wurde indessen früher in ähnlicher Weise durch metallische Spiegel in Fresnel's grossem Apparat für Feste-Feuer erreicht, aber alle diese Formen stehen natürlich hinter seinem oben beschriebenen dioptrischen Apparat zurück.

### Abschnitt III.

#### **Das Licht von grösster Intensität, oder dasjenige Feuer, welches alles Licht in ein Bündel verdichtet.**

Wenn auf einer und derselben Küstenlinie zahlreiche Leuchthürme erforderlich sind, so wird es nöthig, Mittel anzuwenden, um sie von einander zu unterscheiden. Solche Mittel sind die verschiedenen Modificationen der Drehfeuer und gefärbten Lichter. An vielen Orten ist ausserdem keine Veranlassung zur Beleuchtung des ganzen Horizonts vorhanden; bei Leitfeuern z. B. sind zwei Thürme, deren Lichter in derselben Linie sichtbar sind, Alles, was verlangt wird, um den Seemann durch ein gerades, schmales Fahrwasser zu leiten.

Alle Arten von Drehfeuern können, wie schon erwähnt wurde, in die folgenden zwei grossen Klassen getheilt werden:

1) Solche, welche bestimmt sind, zur Zeit nur eine Stelle des Horizonts zu beleuchten, ein Resultat, das durch Verdichtung aller von der Flamme ausgehenden divergirenden Strahlen in ein einziges Bündel paralleler Strahlen erreicht wird;

2) solche, welche gleichzeitig mehr als einen Punkt des Horizonts beleuchten sollen und darum nicht für Verdichtung des ganzen Lichts in ein einziges Bündel construirt sind. Nehmen wir z. B. an, man wüsste in demselben Augenblick Lichtbündel von gleicher Intensität nach vier verschiedenen Richtungen, etwa nach Norden, Süden, Osten und Westen auszusenden, so kann man in solchem Falle entweder eine grosse Lampe benutzen und ihr Licht in vier gleiche nach Norden, Süden, Osten und Westen gerichtete Bündel zerlegen; oder man kann so viele kleine Lampen nehmen, dass sie der einen grossen gleich werden und dieselben, nachdem man sie in Apparate gestellt hat, welche das Licht einer jeden in ein Bündel verdichten, so vereinigen, dass sie dieselbe Anzahl kleiner Bündel ergeben, welche die Richtungen Nord, Süd, Ost und West zeigen. Ausschliesslich der letzten Art von Apparaten ist dieser Abschnitt gewidmet, und es sollen jetzt die

verschiedenen Anordnungen, welche man angewendet hat, kurz beschrieben werden.

Die charakteristische Anforderung an ein Drehfeuer ist, dass Licht und Dunkelheit in jedem Azimuth abwechseln. Bei dem catoptrischen System wird dies allgemein vermittelt eines sich drehenden Rahmens, an dem die Reflectoren, jeder mit seiner Lampe versehen, befestigt sind, erreicht. Wenn bei der Drehung des Rahmens die Achsen der Reflectoren dem Auge eines entfernten Beobachters zugewendet sind, so erhält dieser den vollen Lichteffect. Aus dieser Beschreibung ist ersichtlich, dass, wenn der sich drehende Rahmen vier, sechs oder acht Vorderseiten hat, mit einem oder mehreren Reflectoren an jeder Seite, wie solches in der Ansicht und im Grundriss in Fig. 6 und 7, Taf. I, gezeigt ist, fortwährend vier, sechs oder acht correspondirende Theile des Horizonts beleuchtet sein werden. Und da der die Reflectoren tragende Rahmen sich um seine verticale Achse durch  $360^\circ$  dreht, so werden die vier, sechs oder acht erleuchteten Streifen in gleicher Weise durch den ganzen Horizont gehen. Die Wirkung der optischen Mittel muss für diesen Fall ersichtlich von derjenigen für Feste-Feuer abweichen. Beim Festen-Feuer haben wir gesehen, dass die Parallelsirung der divergirenden Strahlen auf die verticale Ebene beschränkt bleibt, während beim Drehfeuer die Wirkung, durch welche die divergenten Strahlen parallel gemacht werden, quaquaversal ist oder in jeder Ebene ausgeführt wird, so dass, während das Feste-Feuer dem Auge des Beobachters in allen Azimuthen beständig nur einen Licht-Streifen bietet, dessen Breite und Höhe proportional der Breite der Flamme und der Höhe des Apparats sind, das Drehfeuer jedes Mal, wenn eine von seinen Vorderseiten einem Beobachter zugewendet ist, dem Auge ein dichtes Bündel oder eine Garbe paralleler Lichtstrahlen von jedem der betreffenden Reflectoren des sich drehenden Rahmens zusendet.

Wird ein leuchtender Punkt in dem Brennpunkt eines paraboloidischen Reflectors *aaa* (Fig. 8, Taf. I) aufgestellt, so wird jeder auf dessen Fläche fallende divergirende Strahl bekanntlich parallel zur Achse der Fläche reflectirt; denn eine Tangente an die Parabel bildet gleiche Winkel mit dem durch den Berührungspunkt gehenden Durchmesser und einer von diesem Punkt nach dem Brennpunkt gezogenen Geraden. Es muss indessen einleuchten, dass ein solcher Apparat sehr unvollkommen ist: Die divergirenden

Strahlen, welche durch denselben aufgefangen werden, sind unmittelbar diejenigen, welche von dem hintern Theil der Flamme ausgehen, und es entweicht bei einem solchen Reflector, wie ihn Fig. 8, Taf. I, zeigt, ein grosser Theil der ganzen Strahlenkugel über den Rand des Reflectors durch natürliche Divergenz. Es ist eine Thatsache, an die vielleicht wenig gedacht wird, dass der grössere Theil des Lichts, welches bei unsern gewöhnlichen catoptrischen Apparaten das Auge des Seemanns erreicht, derjenige ist, welcher auf natürlichem Wege nach rückwärts oder von ihm abwärts gerichtet ist, während der grössere Theil von dem Licht, welches unmittelbar nach vorne gerichtet oder ihm zugewendet ist, durch natürliche Divergenz in verschiedenen Richtungen entweicht und nie zum Auge gelangt. Selbstverständlich geht wegen der Transparenz der Flamme ein Theil der Lichtstrahlen frei von der Vorderseite der Flamme durch sie hindurch und erreicht so, obwohl indirect, die reflectirende Fläche, welche dieselben dann wieder nach vorne, d. i. nach der See hin, zurückwirft.

**Catadioptrische holophotale Reflectoren.** Der grosse Lichtverlust durch natürliche Divergenz bei den parabolischen Reflectoren veranlasste mich vor vielen Jahren, mir die folgende Aufgabe zu stellen: Es werde ein Kasten vorausgesetzt, welcher im Innern eine Lampe und in einer von seinen Seitenwänden ein Loch von gegebenen Dimensionen enthält und es werde verlangt, die Lampe mit Apparaten zu umgeben, welche die Richtungen der verschiedenen Strahlen so zu verändern im Stande sind, dass sie, bei Vermeidung aller unnöthigen Refractionen und Reflectionen, die ganze Kugel des von der Flamme ausgehenden divergirenden Lichts veranlassen, schliesslich als ein einziges Bündel paralleler Strahlen durch die Oeffnung in der Seitenwand zu gehen. Ein solches Licht habe ich Holophotal-Licht oder Licht von grösster Intensität genannt und das optische Arrangement, welches dieses Resultat hervorbringt, mag „Holophot“ genannt werden.

Die genannte Wirkung kann erreicht werden durch die Combination einer ringförmigen Linse  $L$  (Fig. 9 und 10, Taf. I), eines um den Theil zwischen Brennpunkt und Scheitel verkürzten Rotationsparaboloids  $a$  und eines Theils von einem kugelförmigen Spiegel  $b$ . Die Linse spannt, wenn sie sich in richtiger Focal-Distanz von dem Brennpunkt befindet, in Bezug auf letzteren denselben Winkel, wie der äussere Rand des Paraboloids, so dass



kein von der Vorderseite der Flamme kommender Lichtstrahl entweichen kann, da er entweder von dem Paraboloid oder von der Linse aufgefangen wird. Der sphärische Reflector nimmt den Platz des abgeschnittenen Theils des Paraboloids ein. Die Flamme befindet sich gleichzeitig in dem Mittelpunkt des kugelförmigen Spiegels und in dem gemeinschaftlichen Brennpunkt der Linse und des Paraboloids. Nehmen wir nun an, dass das Paraboloid in einer durch seinen Brennpunkt gehenden Ebene abgeschnitten ist, — siehe Fig. 9 —, so kann man die ganze Strahlenkugel, welche von der Flamme ausgeht, als in zwei Theile getrennt ansehen, nämlich in die Halbkugel der vorderen und in die der hinteren Strahlen. Ein Theil der vordern Strahlenhalbkugel wird von der Linse aufgefangen und durch ihre Wirkung parallelisirt, während für den übrigen Theil das Paraboloid zur Wirkung kommt und die betreffenden Strahlen parallel macht. Die Strahlen der hintern Halbkugel fallen auf den sphärischen Spiegel hinter der Flamme und werden durch den Brennpunkt hindurch in denselben Linien wieder nach vorne reflectirt, aber in Richtungen, die denen, in welchen sie kamen, entgegengesetzt sind, worauf sie beim Weitergehen zum Theil durch die Linse gebrochen und zum Theil durch das Paraboloid parallelisirt werden. Die hintern Strahlen gehen also schliesslich horizontal, vereint mit den vorderen, aus dem Apparat hervor. Derselbe erfüllt demnach die vorgeschriebenen Bedingungen, indem er die ganze Kugel von divergirenden Strahlen in ein Bündel von parallelen Strahlen vereinigt.\*)

Im Jahre 1849 hatte ich für den Nordhafen von Peterhead ein Holophot nach diesem Princip construirt, und dasselbe ist seit August desselben Jahres in Gebrauch gewesen. Dieses Hafengefeuer ist also der erste Apparat, welcher sämtliche von der Flamme ausgehenden Lichtstrahlen, mit Ausnahme des von der Absorption und von der unvermeidlichen Divergenz herrührenden Verlustes, in ein einziges Strahlenbündel sammelt. Seitdem sind viele Lichter nach demselben Princip gebaut worden. Der verstorbene Herr Alan Stevenson führte eins in grossem Maassstabe aus für den Hoy-Sound-Leuchthurm auf den Orkneys, eine von den schottischen Feuer-Stationen. Zu Hoy-Sound sind

---

\*) Mitgetheilt an die Royal Scottish Society of Arts den 16. Februar 1849.

zwei Leitlichter, von denen das höhere, rothgefärbte, auf grosse Entfernung seewärts sichtbar sein muss. Der Reflector misst 45" quer über die Oeffnung, die Linse hat  $11\frac{1}{2}$ " im Durchmesser, und das Licht wird durch einen Doppeldocht-Brenner hervorgebracht. Es stellte sich als nöthig heraus, den Brenner durch eine mechanische Lampe zu speisen, denn die Concentration der Wärme durch den sphärischen Spiegel war so gross, dass bei Anwendung einer gewöhnlichen Fontainen-Lampe alles Oel in dem Brenner sich augenblicklich entzündete, sobald der Spiegel angewendet wurde.

Herr Alan Stevenson machte zu Gullane-Hill Versuche über die relative Kraft eines Messing-Reflectors mit dem hinzugefügten linsenförmigen Apparat des eben beschriebenen Princip, und eines höchst vollendeten silbernen Reflectors gewöhnlicher Construction; beide Apparate hatten an den Rändern 25" Durchmesser. Die Lichter wurden aus 7 bis 12 (engl.) Meilen Entfernung eine Woche lang jede Nacht gemustert und zwar von Personen, welche mit der Natur des Experiments und mit den angewandten Apparaten unbekannt waren, und immer war der Messing-Reflector nach dem Holophotal-Princip, obwohl aus einem Metall von geringerer reflectirender Kraft angefertigt, dem Silber-Reflector überlegen; in einem Fall, bei trüber Luft, war allein der holophotale Reflector sichtbar.

Noch bleibt eine andere Modification des metallischen oder catadioptrischen Holophots zu beschreiben. Die Ausführung eines solchen Apparats, wie ihn die Fig. 9 und 10, Taf. I, zeigen, ist bei grossen Dimensionen nothwendig von beträchtlichen Schwierigkeiten begleitet. Um diesem Uebel abzuhelfen, sowie auch, um den Apparat kürzer und compacter zu machen, habe ich häufig Reflectoren von der in den Fig. 11 und 12, Taf. I, gezeichneten Art anfertigen lassen, in welchen zwei oder mehrere Parabolöide (von denen jedes eine andere Focal-Distanz hat) mit einem sphärischen Spiegel und einer Linse combinirt sind. Durch diese Anordnung wird sämmtliches Licht in derselben Weise parallel gemacht, wie in der vorhin beschriebenen Construction. Ein kleines Licht nach diesem Princip wurde im Jahre 1851 für den Morecambe-Hafen in Lancashire angefertigt und seitdem sind vier Feuer für den Lough-Foyle (Foyle-See) in Irland, und verschiedene Hafenerfeuer unter Leitung der Gebrüder Stevenson construirt. An dem Foyle-See wurde ein intensiveres Licht producirt, als durch einen früheren Apparat, mit nur einem Drittel des früheren Oelconsums. Um die Kosten des Schleifens und Polirens

der gekrümmten Flächen zu sparen, wurden die ringförmigen Linsen für jene kleinen Apparate durch einfaches Pressen in einer Form hergestellt, eine seitdem von Herrn Degrand in Paris, welcher auch in hohem Grade die Dicke des Glases reducirte, benutzte Methode. Indessen sind gegossene Linsen, obgleich billiger, optisch schlecht wegen der sehr unvollkommenen Politur der gekrümmten Flächen.

**Dioptrischer Apparat an Stelle des metallenen Paraboloids.** Der Vortheil einer möglichst ausgedehnten Anwendung des Principis der totalen Reflection durch Glas, anstatt der gewöhnlichen Reflection von spiegelnden Flächen, veranlasste mich, weitere Verbesserungen des Holophotal-Systems für die Beleuchtung zu versuchen. Es fiel mir ein, dass es möglich sein müsste, mittelst total reflectirender Prismen statt der metallischen Spiegel eine linsenartige Wirkung in jeder Ebene zu erhalten. Wenn man in dem holophotalen Apparat, Fig. 9 und 10, Taf. I, die Linse und den sphärischen Spiegel beibehält und an Stelle des Paraboloids den Bogen zwischen der Linse und dem sphärischen Spiegel mit Glasringen ausfüllt, welche die durch Rotation der Querschnitte der in den Festen-Feuern angewendeten total reflectirenden Prismen um eine durch die Flamme gehende horizontale, statt um eine verticale Achse, erzeugten Körper sind, so hat man es erreicht, die Wirkung der Linse zu erweitern, so dass dadurch die eine Hälfte der ganzen Strahlenkugel parallelisirt wird. Die hinteren Strahlen der Flamme werden, nachdem sie vermittelt des sphärischen Spiegels durch den Mittelpunkt zurückgeschickt sind, durch die darauf folgende Wirkung der Linse und der total reflectirenden Ringe den von der Vorderseite der Flamme ausgehenden Strahlen parallel gemacht, und so wird die ganze Strahlenkugel parallelisirt, wie schon für den Fall des metallischen Holophots beschrieben wurde. Eine solche Anordnung ist in den Fig. 13 und 14, Taf. I, gezeichnet: *L* ist die Linse, *PP* sind die total reflectirenden Glasprismen (Ringe) und *b* ist der sphärische Spiegel. Die besondere Eigenthümlichkeit dieses Apparats, verglichen mit Fresnel's dioptrischem Festen-Feuer (Seite 15 und 16) besteht darin, dass die Prismen, welche bei letzterem das Licht in verticale Strahlentafeln, die in der Horizontalen nach allen Richtungen hin divergiren, übertragen, bei ersterem eine Erweiterung der linsenartigen oder quaquaversalen Wirkung der gewöhnlichen Linse erzeugen, indem sie

die Strahlen um ihre Achse in der Form eines concentrischen hohlen Cylinders sammeln.\*) Diese Anordnung wurde der Royal Scottish Society of Arts am 30. Mai 1849 mitgetheilt und durch

\*) Herr L. Fresnel erklärt in einem Brief an Arago (Comptes rendus, 1852), dass sein verstorbener Bruder Theile von Prismen ähnlicher Art schon etwa um's Jahr 1825 in den Lampen für die Beleuchtung der Quais am Kanal St. Martin in Paris versuchte, obwohl er zugiebt, dass mir dieser Umstand vollständig unbekannt war. Ohne die angeführte Existenz dieser Strassenlaternen in Frage stellen zu wollen, will ich nur bemerken, dass sie, nachdem man gefunden hatte, dass sie ihrem Zweck nicht entsprachen, bei Seite geworfen und, wie es scheint, vollständig vergessen wurden; denn bei einem Besuch, den mein Bruder und ich im Jahre 1850 bei Herrn L. Fresnel machten, zu dem ausdrücklichen Zweck, diese Prismen als neu, und die durch sie ermöglichte Anwendung der totalen Reflection für Drehfeuer zu schildern, schien er Nichts von Herrn A. Fresnel's Versuch zu wissen, da er nicht ein einziges Mal darauf anspielte. Er und Herr Reynaud, der Ingenieur der französischen Leuchtfeuer-Deputation, haben seitdem beide zugegeben, dass vor der meinigen keine Beschreibung dieser Prismen jemals publicirt, noch irgend eine Anwendung derselben für Leuchtthurmzwecke vorgeschlagen wurde; auch ist es nicht bewiesen, dass die Lampen am Quai St. Martin die sämmtlichen Lichtstrahlen parallelisirten, und Herr Reynaud gesteht ein, dass das Licht für Leuchtthurmzwecke anders behandelt werden müsse, als zu St. Martin. Ein anderer Beweis, dass die Idee irgend einer Anwendung solcher Prismen für Leuchtthurmzwecke Keinem eingefallen war, ist die Thatsache, dass man während eines Zeitraums von 25 Jahren, von der Zeit an, als die Lampen zu St. Martin als nutzlos bei Seite geworfen wurden, bis zu dem Augenblick meiner Publication, in Paris fortfuhr, Apparate aller Grössen mit Anwendung eines unnöthigen optischen Mittels zu construiren. Herrn A. Fresnel's Drehfeuer (Fig. 34, Taf. III) und sein kleines Feste-Feuer mit Blinken (Fig. 36 und 37, Taf. IV) beweisen, dass die Anwendung dieser Prismen für Leuchtthürme ihm nicht eingefallen war, denn das Ganze hätte durch sie allein erreicht werden können. In Herrn L. Fresnel's Schrift über Leuchtthürme vom Jahre 1842, welche von der Regierung gedruckt wurde, hat der einzige angegebene, in Fig. 33, Taf. IV, reproducirte Drehfeuer-Apparat auch doppelte Mittel. Und selbst noch am 7. Mai 1851 wurden Specificationen und ein vollzogener Contract für ein Drehfeuer mit doppelten Mitteln für Cap l'Aily — später in meiner Erwiderung veröffentlicht — von dem Bureau des Herrn Reynaud an Herrn Letourneau gesandt, welcher damals einen Holophotal-Apparat erster Ordnung für Schottland construirte. Herr Reynaud scheint dann von der Ueberlegenheit jenes Systems überzeugt worden zu sein, denn am 10. Mai wurde der Contract für l'Aily officiell aufgehoben und ein Apparat nach dem Holophotal-System substituirt. Es ist ferner zu erwähnen, dass im December 1849 auch von Herrn G. P. Smith in Philadelphia Ansprüche auf die Erfindung dieser Prismen erhoben wurden, und im Jahre 1851 von Herrn Degrand, Assistenz-Ingenieur bei der französischen Leuchtthurm-Deputation (welcher sicher mit Fresnel's Experimenten vertraut

die Gebrüder Stevenson zum ersten Mal in Gebrauch genommen für das Seefeuer von Horsburgh (Hinter-Indien), welches unter der geschickten Leitung von Herrn J. T. Thomson auf dem Pedra-Branca-Felsen in der Nähe von Singapore errichtet wurde. Das Licht wurde am 15. October 1851 eröffnet und war das erste Leuchtfeuer, bei welchem das Princip der totalen Reflection für Drehfeuer angewendet wurde.\*)

**Dioptrisches Holophot, welches vollständig aus Glas besteht und nur durch Refraction und totale Reflection wirkt.** Ich werde jetzt eine Methode beschreiben, um den halbkugelförmigen Reflector aus Metall oder versilbertem Glas durch eine polyzonale total reflectirende Halbkugel von Glas zu ersetzen (siehe Fig. 15, Taf. II). In dieser Anordnung wird alle Reflection von metallenen Spiegeln verworfen und die Principien der totalen Reflection und einfacher Refraction werden an ihre Stelle gesetzt.

Die Wirkung der Glasringe, welche den Spiegel bilden, er giebt sich am besten aus Fig. 16, Taf. II, welche den Querschnitt eines derselben darstellt. In dieser Figur ist  $f$  die Flamme oder der Mittelpunkt des Systems, und die divergirenden Strahlen sind durch punktirte Linien dargestellt. Die Pfeile bezeichnen die Richtung eines divergirenden Strahls, bevor und nachdem seine Richtung durch das Prisma verändert ist. Die Seite  $bc$  ist concav und hat den Mittelpunkt ihrer kreisförmigen Krümmung in  $f$ . Die andern Seiten  $ab$  und  $ac$  sind Theile von Parabeln mit dem gemeinschaftlichen Brennpunkt  $f$ , oder Osculationskreise für diese Parabeln, und schneiden sich an dem Scheitel des Prismas. Irgend ein von dem Mittelpunkt  $f$  ausgehender Strahl fällt rechtwinklig auf die Fläche  $bc$  und wird folglich, ohne in  $e$ , wo er das Prisma trifft, irgend eine Ablenkung zu erleiden, weiter gehen bis zur Fläche  $ab$ , wo er in der Richtung  $rr'$ , normal zur Linie  $fa$ , total reflectirt wird. In  $r'$  erleidet der Strahl wieder totale Reflection und geht endlich in radialer Richtung, folglich ohne Ablenkung

---

gewesen sein müsste, wenn sie damals überhaupt bekannt gewesen wären). Diese Ansprüche sind indessen späteren Datums als meine Beschreibung, welche der Royal Scottish Society of Arts am 30. März 1849 mitgetheilt wurde.

\*) Siehe Description of the Horsburgh Light, by J. T. Thomson, 8a, Singapore 1852.

durch  $e'$  zurück nach  $f$ . Genau dieselbe Wirkung wird gleichzeitig bei einem andern Strahl stattfinden, welcher in der den Pfeilen entgegengesetzten Richtung ( $f'e'r'ref$ ) fortschreitet. Die concentrischen Zonen  $a$ , welche die Halbkugel bilden (Fig. 15), sind Umdrehungskörper, welche durch Rotation von Dreiecken, die dem Dreieck  $abc$  in Fig. 16 gleich sind, um die horizontale Achse des Apparats entstanden sind. Der Reflector wird also, wie man aus Fig. 15 sieht, aus einer Anzahl von ringförmigen Glasprismen bestehen und in der Mitte von diesen wird ein Kegel entstehen, für den der Radius der Basis gleich der halben Sehne des innern Bogens ist. Die Formeln zur Berechnung solcher Prismen, von Dr. Swan in St. Andrews, welcher mir bei der Ausführung dieser Anordnung viele Hülfe leistete, wurden von ihm der Royal Scottish Society übergeben; die Resultate finden sich im Anhang dieser Schrift. Es mag bemerkt werden, dass die Prismen  $aaa$  in ihrer Wirkung den Regentropfen gleichen, welchen die Naturerscheinung des Regenbogens ihre Entstehung verdankt. — In Fig. 15, welche den ganzen Apparat complet zeigt, stellt  $LL$  eine ringförmige Linse der gewöhnlichen Art dar, welche auf die Strahlen nur durch Brechung wirkt;  $PP$  sind die durch Brechung und totale Reflection wirkenden Prismen und  $aaa$  ist der nur durch totale Reflection wirkende Spiegel. Es ist wichtig, zu beachten, dass auf diesem Spiegel kein Lichtverlust durch Oberflächen-Reflection eintritt, da die Strahlen normal auf die Flächen fallen. Der verstorbene Optiker Herr John Adie verfertigte im Jahre 1852 einen von den Ringen dieses Spiegels; derselbe war in seiner Wirkung vollkommen befriedigend, da kein Licht durch die reflectirenden Flächen hindurchging, wenn im Brennpunkt eine Flamme aufgestellt wurde.

Herr J. T. Chance machte, als er im Jahre 1862 für die Gebrüder Stevenson mit der Construction von dioptrischen sphärischen Spiegeln beschäftigt war, die folgenden werthvollen Verbesserungen: Anstatt der Erzeugung der Zonen durch Rotation um die horizontale Achse adoptirte er die verticale Achse und trennte die Zonen von einander, indem er sie nach Analogie des gewöhnlichen dioptrischen Apparats auch in Segmente theilte. Auf diese Weise konnte der Radius grösser genommen werden, so dass die angulare Breite der Prismen nicht die Grenze überschritt, welche durch die Formeln für Leuchthurmglas mit dem üblichen Brechungs-

coefficienten vorgeschrieben wird. \*) Es ist curios genug, obwohl es in keiner Weise Herrn Chance's Verdienst schmälert, dass die Erzeugung um die verticale Achse das war, was mir zuerst einfiel, aber ich verwarf letztere zu Gunsten der horizontalen Achse, die ich für bequemer und die Ausführung erleichternd hielt — eine Ansicht, welche damals von den Herren Alan Stevenson, Professor Swan und dem Optiker John Adie getheilt wurde. Flintglas \*\*) konnte damals nicht in grossen Tiegeln hergestellt werden und hätte am Ende einer Stange herausgenommen und in eine Form hineingepresst werden müssen. Die wichtigeren Theile des Reflectors konnten leichter construirt werden, wenn sie durch Drehung um eine horizontale Achse erzeugt wurden, um so mehr, als die Prismen bei dieser Art der Erzeugung in und nahe bei der horizontalen Achse von viel geringerem Durchmesser waren. Die um eine horizontale Achse erzeugten Prismen sind indessen besser als die andern für eine Wirkung auf volle 180° geeignet, und die beste Anordnung, um gleichzeitig die Strahlen nahe der Verticalen zu fassen, würde die sein, dass man für den mittleren Sector cylindrische Prismen nähme und, um die polaren Theile der Kugel zu ergänzen, in rechten Winkeln über und unter sie Halbkuppeln von cylindrischen Prismen stellte. Die Verticalfugen dieser Prismen würden oben und unten nach der Achse hin convergiren. \*\*\*)

Die Buchstaben *ss* in Fig. 39, Taf. IV, Seite 41, und *de* in Fig. 63, Taf. VI, Seite 59, zeigen den Spiegel mit den Verbesserungen von Herrn Chance, so wie er allgemein gebraucht wird.

\*) Bezeichnet  $\psi$  den von den Prismen gespannten Winkel,  $\mu$  den Brechungscoefficienten für die extremen rothen Strahlen des Spectrums,  $r$  den Radius des Spiegels,  $f$  den Radius der Flamme, so ist

$$\psi < 180^\circ - 4 \left\{ \arcsin \left( \sin = \frac{1}{\mu} \right) + \arcsin \left( \sin = \frac{f}{\mu r} \right) \right\}.$$

\*\*) Die Formel der vorstehenden Anmerkung zeigt, dass der Werth des gespannten Winkels  $\psi$ , der nicht überschritten werden darf, mit wachsendem  $r$  und mit wachsendem  $\mu$  wächst; aus letzterem Grunde empfiehlt sich Flintglas als Material für die Herstellung der total reflectirenden Prismen (vergl. die Anmerkung auf S. 5). (C. N.)

\*\*\*) Als ich Herrn J. T. Chance diese Anordnung vorschlug, schrieb er mir: „Dieselbe Idee beschäftigte mich fortwährend, als ich 1862 mit diesem Gegenstand beschäftigt war, aber ich sah mich genöthigt, sie als unpractisch zu verwerfen, ohne auf zu hohe Kosten zu kommen.“

## Abschnitt IV.

## Beschreibung früherer Annäherungen an das Licht von grösster Intensität.

Nachdem ich im Vorstehenden das Holophotal-System beschrieben habe, will ich zunächst in Kürze einige von den Annäherungen an dieses Resultat anführen, welche durch frühere Arbeiten auf diesem Gebiet der practischen Optik verwirklicht sind. — Im Jahre 1823 veröffentlichte Herr David Brewster in dem Edinburgh Philosophical Journal einen Entwurf für Leuchtturm-Apparate, welcher in einigen Punkten vollkommener ist als diejenigen, welche nachher erwähnt werden sollen. Ursprünglich schlug er diese optische Anordnung für Leuchtturmzwecke im Jahre 1812 vor. Dieselbe ist dargestellt in Fig. 17, Taf. II, in welcher  $f$  die Flamme bezeichnet;  $a, b, c, d, e$  sind Linsen, die ihre Brennpunkte in  $f$  haben;  $tu, pq, rs$  und  $vw$  sind versilberte ebene Spiegel;  $mn$  ist ein metallener sphärischer Spiegel, und die ganze Figur stellt einen Querschnitt des Apparats dar. Die von  $f$  aus divergirenden Strahlen, welche auf die Linse  $aa$  fallen, werden mit einem Mal nach der verlangten Richtung parallelisirt; die auf  $b$  und  $d$  fallenden Strahlen werden nach den Richtungen der Achsen dieser Linsen parallelisirt, und die resultirenden parallelen Bündel, welche auf die Spiegel  $pq$  und  $rs$  fallen, werden durch diese in derselben Richtung reflectirt, wie die von  $a$  kommenden parallelen Strahlen. Aehnliche Wirkungen finden bei den Linsen  $c$  und  $e$  und ihren correspondirenden Spiegeln  $tu$  und  $vw$  statt, während die hintern Strahlen (welche sonst verloren sein würden), nachdem sie mittelst des sphärischen Spiegels  $mn$  nach dem Punkt  $f$  zurückgewendet sind, durch diesen Punkt hindurchgehen, und, indem sie sich mit den vordern Strahlen vereinigen, mit diesen durch die beschriebenen Vorkehrungen parallelisirt werden. Bevor wir diese Construction verlassen, müssen wir kurz bemerken, dass dieselbe Anordnung von seitlichen Spiegeln und Linsen, zur Aufnahme des obern Theils der Strahlen bei Drehfeuern, früher im Jahre 1822 durch Fresnel veröffentlicht wurde, den ausgezeichneten Erfinder des Linsensystems, dem wir den ersten Vorschlag verdanken, die ringförmige Linse zur Illumination von Leuchttürmen zu benutzen. Diese Anordnung geneigter Linsen und Spiegel, auf die wir später ausführlich zurück-



kommen (siehe Fig. 34, Taf. III, S. 35), blieb bis zur Einführung des Holophotal-Systems im Jahre 1851 allgemein im Gebrauch.

Ein anderer Entwurf zur Verbesserung von Leuchtturm-Apparaten rührt von Herrn Bordier Marcet vom Jahre 1819 her (Fig. 18, Taf. II). Herr Alan Stevenson beschreibt denselben in seiner „Rudimentary Treatise on Lighthouses“ folgendermaassen: „Er besteht aus zwei paraboloidischen Spiegeln  $ACC'A'$  und  $BCC'B'$ , die in der Verticalebene des Brennpunkts abgestumpft und rückseitig an einander gefügt sind, um so durch eine in den gemeinschaftlichen Brennpunkt gestellte Lampe beleuchtet zu werden. Um das Licht zu retten, welches sich sonst der optischen Wirkung entziehen würde, fügte er ein paraboloidisches Stück  $MN$  von grösserer Focal-Distanz hinzu und ordnete dasselbe so an, dass, während dessen Brennpunkt mit dem gemeinschaftlichen Brennpunkt der beiden andern Spiegel coïncidirte, seine Grösse so beschränkt wurde, dass er nicht mit der Wirkung des verkürzten Spiegels  $BCC'B'$ , dem er gegenüber gestellt wurde, collidirte. Die begreifliche Folge einer solchen Anordnung ist, dass die von einer, in dem gemeinschaftlichen Brennpunkt  $F$  der drei Spiegel stehenden Lampe erzeugten Strahlen in entgegengesetzten Richtungen einen erleuchteten Ring von jedem der verkürzten Spiegel  $ACC'A'$  und  $BCC'B'$  hervorbringen, während der centrale Spiegel  $MN$  das Innere eines solchen erleuchteten Ringes mit einem Strahlenkegel ausfüllt, dessen relative Intensität durch das umgekehrte Verhältniss von  $\overline{MN}^2$  zu  $\overline{ab}^2$  — (oder von  $\overline{FM}^2$  zu  $\overline{Fa}^2$ ) — bestimmt wird, welche letztere Fläche den ganzen Betrag der natürlich divergirenden Strahlen darstellt, die auf  $ab$  fallen und über  $MN$  vertheilt werden. Zwei Sätze von Reflectoren dieser Art, welche nach entgegengesetzten Richtungen zeigen (jeder Satz in einer Ebene angeordnet und an einem Rahmen befestigt, der um eine Achse drehbar gemacht werden könnte), würden so ihren glänzendsten Effect nach beträchtlichen dunkeln Intervallen zeigen.“

Die nächste uns bekannte Verbesserung ist diejenige von Herrn W. Barlow, welche er in den Transactions of the Royal Society of London (für das Jahr 1837) beschrieben hat. Dieselbe ist in Fig. 19, Taf. II, gezeichnet, wo  $AB$  einen parabolischen Reflector von grosser Focal-Distanz,  $f$  eine Flamme in seinem Brennpunkt bezeichnet;  $xyz$  ist ein Sector eines sehr kleinen sphärischen Spiegels, welcher in Bezug auf den Brennpunkt denselben Winkel  $AfB$  spannt, wie die Kanten des Paraboloids.

Die divergirenden, auf die Fläche des letzteren fallenden Strahlen werden, wie schon erläutert, alle der durch den Brennpunkt gehenden horizontalen Achse parallel gemacht. Die Strahlen, welche ausserhalb des Randes von dem Reflector fallen und sonst verloren sein würden, werden durch den Spiegel  $xyz$  aufgefangen, von ihm durch den Brennpunkt zurückgeschickt und erreichen endlich die Fläche des Paraboloids, durch welche sie parallelisirt werden.

Die letzte an der Parabel vorgeschlagene Abänderung ist die durch den verstorbenen Civil-Ingenieur Herrn A. Gordon, die er im 10. Bande von *The Civil-Engineers Journal* (für 1847) beschrieben hat. Sie besteht aus einem parabolischen Reflector (Fig. 20 und 21, Taf. II) mit der Flamme  $F$  im Brennpunkt, welcher an der Vorderseite einige von den äussern brechenden Ringen der Fresnel'schen ringförmigen Linse,  $degh$ , hat. Diese Ringe sind dazu bestimmt, die über den Rand des Reflectors entweichenden Strahlen zu brechen, während der kreisförmige Raum  $eg$ , welcher durch Entfernung der centralen Theile der Linse leer bleibt, dazu dient, das von dem Paraboloid kommende Bündel von parallelen Strahlen,  $aijc$ , durchzulassen.

Unter der Voraussetzung, dass die vorstehenden kurzen Beschreibungen genügend waren, um den Leser in den Stand zu setzen, dass er sich eine richtige Vorstellung von der Wirkung jedes Apparats bilden könne, werde ich nunmehr in gleicher Kürze die Nachteile jedes einzelnen im Vergleich mit dem catadioptrischen Holophot aufführen. In Fig. 22 bis 27, Taf. II, sind die Apparate neben einander aufgeführt, um eine leichtere Vergleichung ihrer relativen Güteverhältnisse zu gestatten.

Was zunächst den Apparat von Herrn Bordier Marcet (Fig. 22), dem er den Namen „Fanal à double face“ gegeben hat, angeht, so muss ich bedauern, von ihm nicht in denselben Ausdrücken hohen Lobes sprechen zu können, wie ich gethan haben würde, wenn ich den eleganten Reflector beschrieben hätte, den er für Feste-Feuer erfand. Der Apparat ist indessen nicht ganz ohne Vorzüge; die Fläche  $MN$  (Fig. 18, Taf. II) wird, da sie weiter als  $ab$  von dem Brennpunkt  $F$  entfernt ist, bei Anwendung einer Flamme von merklicher Grösse eine geringere Divergenz (Aberration) und folglich einen geringen Zuwachs an Intensität in dem kleinen Theil des reflectirten Bündels von parallelen Strahlen, welches von jenem Theil des Apparats her-

kommt, erzeugen. Herr A. Stevenson sagt: „Herr B. Marcet spricht von diesem Apparat mit derselben Befriedigung, wie Erfinder sie gewöhnlich fühlen, aber es ist nicht schwierig, einzusehen, dass der öconomische Effect desselben mit dem des gewöhnlichen parabolischen Spiegels identisch ist.“ Indem ich diese Behauptung bestätige, muss ich bemerken, dass die sämtlichen Strahlen, welche über den kegelförmigen Raum  $AF A$  divergiren, verloren gehen, da sie nicht durch irgend ein optisches Mittel aufgefangen werden.

Betrachten wir jetzt den Vorschlag von Herrn Gordon (Fig. 23). Herr A. Stevenson hat in seinem schon citirten Werke „*Rudimentary Treatise on Lighthouses*“ verschiedene Mängel dieses Entwurfs bezeichnet. Wir bemerken 1) dass kein Versuch gemacht ist, den durch den Linienzug  $EF G$  begrenzten Strahlenkegel aufzufangen; 2) dass die Fläche hinter dem Parameter des Reflectors so ausserordentlich klein ist, dass die eine Hälfte der ganzen Strahlenkugel auf eine, nirgends mehr als etwa anderthalb Zoll von dem Umfang der Flamme entfernte Fläche fällt. Die Anordnung, obwohl in anderer Beziehung unzweifelhaft ein Schritt vorwärts, verhindert noch immer nicht den Verlust oder das Entweichen von wahrscheinlich beinahe der Hälfte der ganzen Strahlenkugel durch unregelmässiges Zerstreuen. Denn ausser dem Lichtverlust an der Vorderseite der Lampe, und ganz unabhängig von der grossen Aberration, welche aus den geringsten Unvollkommenheiten in der ursprünglichen Form des gekrümmten Spiegels resultiren muss, der hier ein sehr kritischer Theil des Apparats ist, würde die, von der Nähe des Reflectors bei der Flamme herrührende Divergenz bei einem einzölligen Brenner bis auf etwa  $60^\circ$  steigen. Bei Gelegenheit der Prüfung eines solchen Reflectors wurde dieser Betrag an Divergenz durch den Versuch vollständig nachgewiesen. Wenn es nun selbst wünschenswerth wäre, einen so grossen horizontalen Bogen bei jedem Blink eines Drehfeuers zu beleuchten, so kann doch eine Divergenz über dem Horizont in der verticalen Ebene keinerlei Nutzen haben. Hieraus ist ersichtlich, dass ein solcher Apparat nicht als vollkommen angesehen werden kann.

Der Entwurf von Herrn W. Barlow (Fig. 24) hat drei Mängel: 1) Der kleine sphärische Spiegel  $xz$  muss die sämtlichen parallelen Strahlen auffangen, welche von dem ihm gegenüberliegenden Theil  $x'z'$  des Paraboloids ausgehen, und daher

ist dieser letztere Theil, als nutzlos, in dem Diagramm weggelassen worden und gezeigt, wie die Strahlen durch die Oeffnung  $\alpha'z'$  gehen. Nicht nur der Bogen  $ab$ , sondern auch der correspondirende, von dem sphärischen Spiegel aufgefangene Bogen geht verloren, so dass der ganze aus dieser Quelle resultirende Verlust gleich dem doppelten Strahlenkegel  $ab$  ist. 2) Es muss ein sehr grosser Lichtverlust aus dem Gebrauch von zwei metallischen Reflectoren resultiren, einmal aus dem des sphärischen, dann aus dem des paraboloidischen Reflectors. 3) Durch die ausserordentlich geringe Ausdehnung des sphärischen Spiegels muss ein entsprechend grosser Verlust durch Divergenz für den von ihm ausgehenden Strahlenkegel hervorgebracht werden.

Die letzte zu erwähnende Erfindung ist diejenige, welche in Verbindung mit den Namen Fresnel und Brewster genannt wurde (Fig. 25). Der Nachtheil derselben liegt darin, dass ein optisches Mittel mehr angewendet ist, als in der holophotalen Anordnung. Vergleicht man sie mit der holophotalen Anordnung (Fig. 26 und 27), so wird man bemerken, dass in der letzteren nirgends mehr als zwei und für einige Strahlen nur ein optisches Mittel angewendet ist, um Parallelismus hervorzubringen, während bei dem ersteren Apparat, mit Ausnahme der Central-Linse, nirgends weniger als zwei und für den hinteren Theil drei Mittel vorhanden sind. Wären die Spiegel  $PQ$ ,  $RS$ ,  $TU$ ,  $VW$  ähnlich denjenigen in der zusammengesetzten Form des Holophots (Fig. 26 und 27) gemacht worden, so hätte man die Linsen  $C$ ,  $B$ ,  $D$ ,  $E$  in diesem Apparat sämmtlich weglassen können, wodurch man den beim Durchgang durch die Linsen von der Oberflächen-Reflection und Absorption herrührenden Verlust vermieden hätte.

Nachdem wir so, hoffentlich in genügender Weise, die überlegenen Vortheile des catadioptrischen Holophots gegenüber den früheren Entwürfen nachgewiesen haben, ist es kaum nöthig, hinzuzufügen, dass das Glas-Holophot (Fig. 15, Taf. II) mit total reflectirendem sphärischen Spiegel ganz besonders den Vorzug verdient; denn nicht allein wird die ganze Strahlenkugel durch den Apparat parallelisirt, sondern der Lichtverlust durch Absorption und andere Ursachen wird, durch Abschaffung der metallischen Reflection und Substitution von Refraction und totaler Reflection an ihre Stelle, reducirt.

## Kapitel III.

### Modificationen des holophotalen Systems

bei Anwendung desselben auf Apparate erster Ordnung, welche nicht die Verdichtung alles Lichts in ein Bündel erfordern.

**Catadioptrischer Holophotal-Apparat erster Ordnung.** Die Methode der Anwendung von Apparaten der beschriebenen Art für Drehfeuer besteht darin, dass man die vereinte Kraft mehrerer derselben benutzt, um ihrer geringen Grösse nachzuhelfen. Jeder Apparat hat seinen eigenen Brenner, und alle sind auf einem rotirenden Rahmen befestigt. Dieselbe Wirkung kann indessen durch einen einzigen Brenner erreicht werden, um den sich ein polygonaler Rahmen dreht, der eine grosse ringförmige, oben und unten mit parabolischen Spiegeln, wie sie ähnlich in Fig. 11 und 12, Taf. I, gezeichnet sind, versehene Linse trägt. Fig. 28, Taf. III, zeigt einen catadioptrischen holophotalen Apparat erster Ordnung (im Verticalschnitt). *LL* sind die Linsen, und *RR* die reflectirenden paraboloidischen Zonen. Wenn der Rahmen sich dreht, so wird dieselbe Wirkung hervorgebracht, wie bei dem auf Seite 18 und 19 beschriebenen und in Fig. 6 und 7, Taf. I, gezeichneten Drehfeuer, da die centralen Theile des Lichts durch die Linsen, und die obern und untern Theile durch die metallenen paraboloidischen Zonen parallelisirt werden, so dass alle Mal, wenn die gemeinschaftliche Achse der Linse und der Paraboide in die Augenlinie des Beobachters fällt, der volle Lichtblink erzeugt wird, und wenn die Achse sich nach und nach von dem Auge wegwendet, das Licht abnimmt und endlich verschwindet, worauf dann die nächste Seite in Sicht kommt.

Fig. 29, Taf. III, zeigt in grösserem Maassstab dieselbe Anordnung eines Apparats erster Ordnung, und zwar ebenfalls einen Schnitt durch die verticale Achse des Brenners. Man erkennt

aus der Figur, dass die Paraboloide hier aus einzelnen Facetten bestehen, also sogenannte Differential-Spiegel sind, wie solche schon auf Seite 11 und 12 beschrieben wurden.

**Dioptrischer Holophotal-Apparat erster Ordnung.** Das dioptrische Holophot kann in gleicher Weise wie das catadioptrische bei Lichtern erster Ordnung mit einem centralen Brenner angewendet werden. Fig. 30, Taf. III, stellt den ersten Entwurf eines Apparats dieser Art dar, wie er ursprünglich im Jahre 1849 veröffentlicht wurde. Der centrale Brenner ist wie vorhin von einem polygonalen Rahmen umgeben, der an jeder Seite aus einer Linse und aus Sektoren von total reflectirenden Prismen besteht, welche einen ähnlichen Querschnitt haben, wie diejenigen des kleinen Glas-Holophots (Fig. 13 und 14, Taf. II, S. 23), aber in grösserem Maassstab angefertigt sind. Wird die Flamme in dieser Weise von einer achtseitigen Glaskuppel umgeben, so wird dadurch die ganze divergirende Strahlenkugel in acht einzelne Bündel paralleler Strahlen gesammelt. In Fig. 30 sind *PP* die total reflectirenden Prismen und *LL* die Linsen. Die Figur *xy* stellt die Form des Strahlenbündels dar, welches von diesem oder von dem in Fig. 28 gezeichneten Apparat ausgeht. Der erste Apparat erster Ordnung nach diesem Princip wurde von der Commission für die Nördlichen Leuchtfeuer für North-Ronaldshay am 3. Januar 1851 bestellt und durch Herrn Letourneau im Juni 1852 mit sehr gutem Erfolg vollendet, aber wegen Verzögerung der Mauerarbeiten des Thurms erst 1854 für die Schifffahrt benutzt.

In solchen Fällen, wo der Leuchthurm mit einer Seite dem Lande zugekehrt ist, kann man, wie Herr Alan Stevenson angegeben hat, das an dieser Seite nicht gebrauchte Licht zwingen, durch den Brennpunkt zurückzukehren, um die Blinke in der Richtung seewärts zu verstärken. Für diesen Zweck ist der total reflectirende Spiegel selbstverständlich das beste optische Mittel. Fig. 31, Taf. III, zeigt einen mittleren Horizontalschnitt des rotirenden Apparats; *aa* stellt den an der Landseite befindlichen festen Spiegel dar, welcher die Strahlen in der Richtung seewärts zurücksendet. — Fig. 32, Taf. III, zeigt dieselbe Anordnung eines dioptrischen Drehfeuer-Apparats erster Ordnung wie Fig. 30, Taf. III, aber in etwas grösserem Maassstabe, und zwar einen Verticalschnitt durch die Achse des Brenners. Die unteren Prismen liegen hier jedoch nicht, wie in Fig. 30, zwischen geneigten, son-

dern zwischen verticalen parallelen Ebenen (vergl. in dieser Hinsicht auch die Fig. 28 und 29).

**Beschreibung von Annäherungen an das Licht von grösster Intensität, wie sie bei Apparaten erster Ordnung, welche nicht die Verdichtung des Lichts in ein Bündel von parallelen Strahlen erfordern, angewendet wurden.** Im Gegensatz zu dem holophotalen System, wie es bei Drehfeuern erster Ordnung mit centralem Brenner angewendet wird, wollen wir jetzt, wie früher für den Fall kleinerer Apparate, die verschiedenen Arten von Drehfeuern erster Ordnung, welche früher in Gebrauch waren, beschreiben. Fig. 33, Taf. IV, zeigt in grösserem Maassstabe Fresnel's Feuer, wie es im Jahre 1842 von seinem Bruder construiert wurde, und Fig. 34, Taf. III, stellt Fresnel's Drehfeuer in der vollendetsten Form dar, wie es mit den letzten Verbesserungen jener Zeit für das grosse Seelicht auf dem Skerryvore-Rock, für welches keine Kosten gespart wurden, construiert ist. Dasselbe wurde im Jahre 1844 eröffnet. \*) *LL* sind die Linsen, welche den centralen Theil des Lichts auffangen; *a* und *b* sind die schon beschriebenen, aus Linsen und Spiegeln zusammengesetzten Anordnungen (siehe S. 28), welche von Fresnel zuerst für das Drehfeuer des Tour de Cordouan zum Auffangen der divergirenden Strahlen, welche oben über die Linsen hinweggehen, eingeführt wurden. „So weit“, sagt Herr Alan Stevenson in seiner Beschreibung des Skerryvore-Leuchthturms\*\*), „ist der Apparat in seiner allgemeinen Anordnung mit dem des Tour de Cordouan identisch, und er unterscheidet sich von ihm nur durch die bessere Ausführung der Linsen und der Maschinerie, auf Grund der Erfahrung von mehr als 20 Jahren nach dem Entwurf dieses Lichts von Fresnel im Jahre 1822. Anstatt indessen, wie es zu Cordouan geschehen war, gekrümmte Spiegel anzuwenden, um das Licht, welches sonst unterhalb der Linsen entweichen würde, zu sammeln und es gleichzeitig nach dem

\*) „Nichtsdestoweniger widmete sich der mit der Construction des Skerryvore-Leuchthturms betraute tüchtige schottische Ingenieur, Herr A. Stevenson, mit Eifer und Beharrlichkeit der Idee, dieses Monument, welches ungefähr zwei Millionen Franken kostete, mit einem für den jetzigen Stand von Kunst und Wissenschaft möglichst vollkommenen Beleuchtungs-Apparat zu krönen.“ (Memoir, presented to the Academy of Sciences, January 8, 1844. Commissarien: die Herren Arago, Matthieu und Babinet.)

\*\*) „Account of the Skerryvore-Lighthouse, with Notes on the Illumination of Lighthouses“, by Alan Stevenson, L. L. B., F. R. S. E. Edinburgh 1848.

Horizont zu richten, beschloss ich, einen lange gehegten Plan auszuführen, nemlich unter die Linsen total reflectirende Prismen zu stellen, ähnlich den Zonen des kleinen, ebenfalls von Fresnel erfundenen Hafengefeuere-Apparats vierter Ordnung. Dies wurde endlich in Scene gesetzt nach dem Entwurf des Herrn Leonor Fresnel, mit dem ich über die Sache correspondirt hatte. Diese Prismen rotiren natürlich nicht mit dem übrigen Apparat.“

Um die Natur der Wirkung von Fresnel's Drehfeuer, wie es in der eben beschriebenen Weise zu Skerryvore ausgeführt wurde, zu zeigen, ist in der Figur die Form  $xyz$  des austretenden Lichtbündels gezeichnet; da der Rahmen achtseitig ist und pro Minute eine Umdrehung macht, so wird das Bündel  $xyz$  jede Minute acht Mal gesehen; jedem Blink folgt Dunkelheit, abgesehen von dem schwachen Licht, welches von den unteren stationair befestigten Prismen ausgeht und in jedem Azimuth beständig in Sicht bleibt, wie bei einem gewöhnlichen Festen-Feuer, und das durch den schmalen Streifen  $xz$  der Figur dargestellt wird.

Nach der Herstellung des Skerryvore-Feuers im Jahre 1844 wurde im Jahre 1850 durch Herrn Lepaute, einem Fabrikanten von Leuchtfeuer-Apparaten in Paris, ein Vorschlag zur Verbesserung des Drehfeuers gemacht. Dieser Entwurf bestand, nach Angabe von Herrn Letourneau, aus Linsen combinirt mit geraden Prismen, welche weder in der verticalen noch in der horizontalen Ebene irgend welche Krümmung hatten. Was man durch diese Form des Apparats erreichen wollte, ist augenscheinlich die Ausdehnung der linsenartigen Wirkung von der Spitze bis zum Fusse des Apparats, und der Entwurf ist in dieser Beziehung ein Schritt vorwärts zum Holophotal-System.

Wir wollen jetzt die relativen Vorzüge der verschiedenen beschriebenen Formen des Drehfeuer-Apparats betrachten. Bei der Vergleichung von A. Fresnel's Anordnung mit dem Holophotal-System genügt es zu erwähnen, dass in letzterem sämmtliches Licht durch ein einziges Mittel (Fig. 28, Taf. III) nach der verlangten Richtung parallelisirt wird, und dass dieses Mittel in der dioptrischen Anordnung (Fig. 30, Taf. III) aus dem am wenigsten absorbirenden Material besteht, während in ersterem alles unter die Linsen fallende Licht in der horizontalen Ebene überhaupt nicht parallelisirt wird, und zwei Mittel, eine Linse und ein Metallspiegel, erforderlich sind, um die über die Linse weggehenden Strahlen zu parallelisiren. Augustin Fresnel selbst schätzte



im Jahre 1822 den durch diese beiden Mittel verursachten Lichtverlust auf die Hälfte des einfallenden Lichts — ein Verlust, den er auch als ein nothwendiges Uebel bezeichnete. \*) Ausser diesem Verlust wies Herr J. T. Chance noch auf einen andern grossen Verlust hin, welcher von der kurzen Brennpunktswerte der kleinen hinzugefügten Linsen herrührt. Nach Erwähnung der Anwendbarkeit kurzer Focal-Distanzen für Brennspiegel, die in der That in dem Umstande begründet ist, dass die Intensität dem Quadrat dieser Distanz umgekehrt proportional ist, fügt er hinzu: „Aber gerade dieser Umstand der geringen Focal-Distanz macht den Plan überhaupt für die Zwecke der Verdichtung von Flammenlicht untauglich; und demnach würde in Fresnel's Drehfeuer-Apparat, da hier die Focal-Distanz der hinzugefügten Linsen kleiner ist, als die Hälfte der kürzesten Focal-Distanz in dem System der reflectirenden Zonen, die Intensität des von den ersteren herkommenden Lichts kaum mehr (*scarcely more*)\*\*) als ein Viertel des von den letzteren übertragenen sein, und zu dieser Ursache einer geringen Leistung kommt der von den Spiegeln herrührende Verlust, so dass im Ganzen der neue Plan“ — die holophotale Anordnung — „fünf oder sechs Mal mehr Lichtstärke geben muss, als die frühere Anordnung.“

In Herrn Lepaute's Apparat von 1850 war die Höhe der Linsen auf 1,30 m. gestiegen, und über und unter diesen Linsen befanden sich geradlinige Prismen, die, wie bereits erwähnt wurde,

\*) „Mais comme on est obligé d'employer des glaces étamées pour ramener dans une direction horizontale les faisceaux lumineux qui sortent de ces lentilles, une grande partie de la lumière incidente est absorbée par les miroirs, malgré leur inclinaison prononcée, qui est de 25°; et j'estime que la lumière incidente doit être reduite a moitié par son passage au travers des lentilles et sa reflexion sur ces glaces étamées.“ — („Aber da man genöthigt ist, verzinnte Spiegel anzuwenden, um die von diesen Linsen ausgehenden Lichtbündel in die horizontale Richtung zu bringen, so wird ein grosser Theil des einfallenden Lichts durch die Spiegel absorbiert, ungeachtet ihrer ausgesprochenen Neigung, welche etwa 25° beträgt; und ich schätze, dass das einfallende Licht bei seinem Durchgang durch das Glas und seiner Reflection von diesen verzinnten Flächen auf die Hälfte reducirt werden dürfte.“) — *Mémoire sur un nouveau système d'éclairage des Phares.* Par M. A. Fresnel. Paris 1822. p. 17.

\*\*) Die Worte „*scarcely more*“ (kaum mehr) sind gebraucht, um den grössern durch Prismen verursachten Verlust an Licht gegenüber dem Verlust durch Linsen einzuräumen, in Folge des grössern Weges der Strahlen innerhalb des Glases. — J. T. C.

weder horizontale noch verticale Krümmung hatten, so dass sie keine nutzbringende Wirkung gehabt haben können; denn es ist klar, dass Linsenwirkung nie durch Flächen ohne Krümmung hervorgerufen werden kann. Herr Lepaute erwähnt einen Apparat, welcher vermuthlich die Form des eben beschriebenen hatte, in einem in dem American Lighthouse Report, p. 383, veröffentlichten Brief: — „Im Jahre 1850 hatte der Unterzeichnete die Idee einer neuen Combination eines catadioptrischen Apparats für Verdunkelungen, welcher Blinke von gleicher Dauer mit den Verdunkelungen hervorbringen und so angeordnet sein sollte, dass er nach Intervallen von je 5 Secunden helle Blinke von 5 Secunden Dauer zeigte. Der neue Character solcher Feuer schlug fehl.“

Bevor ich dazu übergehe, die nächste Art der unterscheidenden Feuer zu betrachten, halte ich es für richtig, eine andere Verbesserung von Herrn Lepaute, von der ich keine Zeichnung gesehen habe, zu erwähnen. Sie scheint auch mit der Absicht gemacht zu sein, den von den ebenen, in Fresnel's Form des Drehfeuers gebrauchten Spiegeln (Fig. 33, Taf. IV, und Fig. 34, Taf. III) herrührenden Lichtverlust zu verhindern. Herr Lepaute erwähnt (pag. 384 des American Report), dass er für die Brasilianische Regierung einen Apparat erster Ordnung angefangen hätte, in welchen über den Hauptlinsen kleine ringförmige Linsen angebracht wären, deren Licht auf darüber gestellte Glasprismen fiel. Bei dieser Anordnung wandte Lepaute, obwohl er den aus der Einführung von totaler statt metallischer Reflection herrührenden Gewinn erreichte, noch immer zwei optische Mittel an, wo eins mit entsprechender Krümmung dem Zweck entsprochen haben würde.

Man erkennt hieraus, dass die verschiedenen Versuche, von einem gegebenen leuchtenden Punkt in Drehfeuern den Maximal-Effect zu erzielen, obwohl einige von ihnen Verbesserungen an Fresnel's Entwurf waren, der holophotalen Anordnung an Einfachheit und Wirkungsfähigkeit weit nachstehen.

**Festes-Feuer mit Blinken.** Das sogen. Feste-Feuer mit Blinken ist eine Erfindung von Augustin Fresnel. Die Wirkung ist die eines Festen-Feuers, welches beinahe beständig sichtbar ist, aber in regelmässigen Zwischenpausen durch Blinke von grösserem Glanz verändert wird; es ist kurz die Combination eines Drehfeuers mit einem Festen-Feuer. Der Apparat für das beständig sichtbare Feste-Feuer parallelisirt die Strahlen nur in der verticalen Ebene und erzeugt darum ein schwaches Licht, während

der kräftige Lichtblink, welcher aus Strahlen besteht, die sowohl in der horizontalen, wie in der verticalen Ebene gesammelt sind, in seinem Erscheinen periodisch ist.

Diese Lichtwandlungen können sehr leicht erzeugt werden durch Umgebung der Flamme mit einem rotirenden Rahmenwerk, welches aus abwechselnd gestellten Theilen eines Holophotal- und eines Feste-Feuer-Apparats besteht. Fig. 35, Taf. IV (welche meiner Abhandlung in den Transactions of the Scottish Society of Arts for 1850 entnommen ist) stellt dies Feste-Feuer mit Blinken nach dem Holophotal-Princip dar.  $LL$  ist eine von den Linsen und  $PP$  sind die total reflectirenden Prismen an den holophotalen Vorderseiten,  $L'$  und  $P'$  sind die entsprechenden cylindrischen Refractoren und Feste-Feuer-Prismen. Da der ganze Rahmen sich dreht, so wird der Beobachter folgende Erscheinung bemerken: Wenn die holophotale Vorderseite sein Auge kreuzt, wird er die kräftige Wirkung eines Drehfeuers haben, welches nur kurze Zeit in Sicht bleibt, wahrscheinlich in keinem Fall über eine halbe Minute. Wenn der Feste-Feuer-Apparat erscheint, wird er das verhältnissmässig schwache Licht wahrnehmen, das nothwendig von einem Apparat ausgeht, der nur in der verticalen Ebene parallelisirt. Auf diese Weise wird der Seemann, obwohl beide Arten von Apparaten rotiren, in regelmässig wiederkehrenden Zwischenpausen die Erscheinungen eines Festen- und eines Drehfeuers wahrnehmen, mit dunkeln Zwischenperioden.

#### Beschreibung früherer Entwürfe für Feste-Feuer mit Blinken.

Augustin Fresnel erreichte diesen Zweck in einer von der eben beschriebenen vollständig verschiedenen Weise, wie die Figuren 36 und 37, Taf. IV, zeigen. In diesen Figuren ist  $rr$  ein Feste-Feuer-Apparat der gewöhnlichen Art, durch den die verticale Divergenz corrigirt wird, während die azimuthale Divergenz unberührt bleibt. Sollen die Strahlen auch in azimuthaler Richtung vermittelt eines nach aussen gestellten Hilfsapparats  $r'r'$  parallelisirt werden, so ist klar, dass ein solcher Apparat nur in der horizontalen, aber nicht in der verticalen Ebene gekrümmt sein darf, da die Strahlen in der letzteren Ebene bereits parallel gemacht sind. Wenn also  $r'r'$  vertical gerade-Prismen sind, deren horizontales Querschnittsprofil überall dem mittleren Horizontalprofil einer Ringlinse gleich ist, so wird das Licht, nachdem es durch den ersten Apparat gegangen und hier seine verticale Divergenz corrigirt ist (in der schon beschriebenen Weise),

in divergirenden Streifen weiter gehen, welche von den Hülfsprismen  $r' r'$  in Bezug auf horizontale Divergenz corrigirt werden, und so wird endlich ein dichtes Bündel von parallelen Strahlen gebildet, genau demjenigen gleich, welches durch eine gewöhnliche Linse hervorgebracht wird.

Richtet man die geraden Prismen  $r' r'$  zur Rotation um das stationäre Feste-Feuer ein, so wird die Wirkung die eines Festen-Feuers von geringer Kraft sein, mit zeitweilig nach kurzen Verdunkelungen erscheinenden Bündeln von kräftigem Licht, welche jedes Mal dann erzeugt werden, wenn die geraden Prismen so weit herumkommen, dass sie mit dem Auge des Beobachters in eine gerade Linie kommen. — Diese Art von Apparaten ist lange in Frankreich in Gebrauch gewesen.

Noch bleibt eine andere Form des Festen-Feuers mit Blinken zu erwähnen. Herr Letourneau in Paris sagt in seinem Brief an die Leuchthurm-Deputation in America: „Zu derselben Zeit, als Herr Stevenson seine Untersuchungen über seine neuen holophotalen Linsen machte, erregte die Idee, die Intensität der Blinke zu verstärken, auch meine Aufmerksamkeit.“ Fig. 38, Taf. IV, ist ein Verticalschnitt dieses Apparats, welcher 1851 auf der Weltausstellung von den Herren Letourneau und Wilkins ausgestellt war; die Figur ist aus „The Illustrated Exhibitor“ entnommen:  $aa$  sind Feste-Feuer-Prismen der gewöhnlichen Art, und stationär;  $LL$  sind gewöhnliche Linsen und  $RR$  Theile von einem cylindrischen Refractor (wie er den mittleren linsenartigen Theil eines Festen-Feuers bildet). Ueber und unter den Linsen  $LL$ , welche mit den Refractoren wechseln, vor den reflectirenden Prismen  $aa$ , befinden sich brechende Prismen  $bb$  derselben Art, wie sie zuerst von A. Fresnel in seiner Form für das Feste-Feuer mit Blinken vorgeschlagen wurden (vergl. Fig. 36 und 37, Taf. IV). Die centrale, aus cylindrischen Refractoren  $RR$  und Linsen  $LL$  bestehende Trommel dieses Apparats, sowie auch die den Linsen zugeordneten Prismen  $bb$  rotiren, und zwar die letzteren um die festen Prismen  $aa$  ausserhalb derselben. Jedes Mal, wenn der cylindrische Refractor dem Beobachter gegenüber steht, hat dieser die Erscheinung eines Festen-Feuers; wenn aber die Linsen herumkommen, so bringen sie die Erscheinung eines Drehfeuers hervor, da das über oder unter sie hinweggehende Licht auch in ein Bündel parallelisirt wird durch die gemeinschaftliche Wirkung der total reflectirenden Prismen  $aa$  und der geraden bre-

chenden Prismen *bb*. — Der Vortheil dieses Plans dem Fresnel'schen gegenüber ist die Vermeidung des doppelten Mittels für die Parallelisirung des centralen Theils der Strahlen, aber für die obern und untern Theile derselben bleibt immer noch das doppelte Mittel.

Bei einem Vergleich der Anordnung von A. Fresnel (Fig. **36** und **37**) und derjenigen von Letourneau-Wilkins (Fig. **38**) mit der holophotalen Anordnung (Fig. **35**) erkennt man, dass bei Fresnel's Disposition der Elemente überall zwei optische Mittel nöthig sind, um die Wirkung des Drehfeuers hervorzubringen; die folgende Anordnung verlangt nur ein Mittel für den centralen Theil der Strahlen, dagegen zwei Mittel für die obern und untern Partien der Strahlen, während in der holophotalen Anordnung Alles durch ein Mittel erledigt wird.

**Holophotale dioptrische unterbrochene Feuer.** Das unterbrochene Feuer wurde im Jahre 1830 durch den verstorbenen Herrn R. Stevenson eingeführt; es unterscheidet sich in seiner charakteristischen Wirkung von dem Drehfeuer durch das Plötzliche seiner Wechsel. Während das Drehfeuer allmählich in Sicht kommt, und, nachdem der volle Blink erzeugt ist, ebenso allmählich verschwindet, zeigt das unterbrochene Feuer ein Licht, welches durch das Aufsteigen von Schirmen vor dem Apparat augenblicklich verdunkelt wird und durch das Sinken der Schirme ebenso schnell wieder zum Vorschein kommt, so dass die allmählich wachsende und abnehmende Wirkung des Drehfeuers nicht zur Erscheinung kommt. Fig. **39** und **40**, Taf. IV, zeigen die holophotale Anordnung zur Erzeugung dieses Effects mit einem centralen Brenner. *rr* sind Felder aus einem gewöhnlichen Feste-Feuer-Apparat, und *ss* sind Sektoren des dioptrischen sphärischen Spiegels. Diese verschiedenen Felder sind so angeordnet, dass sie einander entgegengesetzt sind, so dass das auf den sphärischen Spiegel fallende Licht durch die Flamme zurückgeworfen wird und dazu dient, das durch die gegenüberstehende Feste-Feuer-Wand hindurchgehende Licht zu verstärken. Lässt man nun den ganzen Apparat rotiren, so wird plötzlicher Wechsel von Licht und Dunkelheit erzeugt, je nachdem die Hinterseite eines sphärischen Spiegels oder die Vorderseite eines Feste-Feuer-Feldes dem Auge des Seemanns zugekehrt ist.

Mein Sohn Robert Louis Stevenson\*) hat darauf aufmerk-

\*) Vergleiche: Notice of a New Form of Intermittent Light for Lighthouses, by Robert Louis Stevenson. Ein Vortrag, gehalten vor der

sam gemacht, dass eine grössere Geschwindigkeit erreicht werden könnte und eine leichtere Maschinerie genügen würde, wenn man einen halbkugelförmigen Spiegel um den Brenner eines Festen-Feuers rotiren liesse, dessen Glaswerk stationär bliebe. Der Spiegel könnte auch aus getrennten Sektoren bestehen, um bei derselben Geschwindigkeit der Maschinerie schnellere Wechsel herbeizuführen. \*)

Nachdem ich so das Princip und die allgemeinen Formen des Holophotal-Apparats beschrieben, dieselben auch mit anderen früher existirenden Formen verglichen habe, will ich diesen Theil des Gegenstandes mit einer Beschreibung von zwei geringen Abänderungen in der Anwendung des Principis beschliessen.

**Ein Apparat, welcher durch getrennte Wirkung den Lichtgewinn zeigt, der aus der Anwendung des Holophotal-Principis auf einen gewöhnlichen Reflector resultirt.** Die Figuren 41 und 42, Taf. IV, zeigen die gewöhnliche Parabel holophotalisirt, ohne Anwendung irgend eines sphärischen Spiegels; Fig. 41 stellt eine Ansicht, Fig. 42 einen mittleren Horizontalschnitt des Apparats dar.  $L$  ist, wie früher, die Linse, und  $PP$  sind die total reflectirenden linsenartigen Ringe. Man erkennt, dass der Vordertheil des Apparats ein Licht erzeugt, das dem der Parabel nicht nur gleich, sondern in Folge der theilweisen Anwendung dioptrischer Elemente ihm überlegen ist. Der an der Hinterseite von der Parabel abgeschnittene Theil wird durch die Linse und durch die Prismen ersetzt, da der hintere Strahlenkegel genau gleich dem gewöhnlichen Verlust durch natürliche Divergenz ist. Dieser Strahlenkegel muss anderweitig disponirt werden; er wird durch zwei Mal drei total reflectirende linsenartige Ringstücke  $P'P'$  und durch zwei parabolische Streifen  $a'a'$  mit dem gemeinschaftlichen Brennpunkt  $f$ , welche rückseitig an einander gestellt sind, aufgenommen. Durch diese Anordnung werden die hintern Strahlen in einer Richtung rechtwinklig zu der der Vorderstrahlen parallelisirt; um ihnen mit den letzteren dieselbe Richtung zu geben, sind die Spiegel  $S$ , unter Winkeln von  $45^0$  gegen die Richtung der hintern Strahlen

Royal Scottish Society of Arts am 27. März 1871. Die Gesellschaft erkannte Herrn R. L. Stevenson in Folge dessen die Silber-Medaille der Gesellschaft im Werthe von 3 Sovereigns zu. (C. N.)

\*) Eine ähnliche Anordnung von kleinen oder grossen Sektoren, Feste-Feuer-Apparaten und sphärischen Spiegeln würde eine Combination von unterbrochenen und Blink-Lichtern von einer einzigen centralen Flamme erzeugen.

geneigt, aufgestellt, und so werden alle Strahlen einander parallel gemacht. Ein wichtiger Vortheil dieser Construction ist der, dass sie eine eigenthümliche Schwierigkeit hinwegschafft, die einige Leute aus der vermeintlichen Nutzlosigkeit derjenigen Strahlen hergeleitet haben, welche in andern Holophoten durch die Flamme hindurch zurückgeschickt werden. Ich habe in einzelnen Fällen Gegner über diesen Punkt nicht zu überzeugen vermocht, selbst nachdem ich sie auf Graf Rumford's Versuche über die Transparenz der Flammen und auf wirkliche photometrische Resultate über den durch den Gebrauch eines sphärischen Spiegels erzeugten Lichtgewinn aufmerksam gemacht hatte. Es ist indessen einleuchtend, dass, wenn Flammen nicht äusserst transparent wären, kein grosser Gewinn beim Gebrauch des vierdochtigen Brenners, welcher bei den dioptrischen Feuern erster Ordnung allgemein im Gebrauch ist, herauskommen könnte, denn da gehen die Strahlen von den inneren Dochten durch die äusseren Flammen hindurch. Bei Graf Rumford's Versuchen war das Licht auch nicht merklich vermindert nach dem Durchgang durch die Flammen von acht andern Lampen. Alle Schwierigkeit über diesen Punkt wird indess mit einem Male durch die Form des eben beschriebenen Apparats hinweggeschafft; denn ausser dem augenscheinlichen Gewinn, welcher aus der Substitution von dioptrischen für catoptrische Mittel resultirt, ist das sämmtliche (mit  $xx$  und  $yy$  bezeichnete) Licht, welches, abgesehen von der Absorption, genau dem Verlust durch natürliche Divergenz bei der gewöhnlichen Parabel gleich ist, der klare und unstreitige Gewinn, welcher durch das Holophotal-System gegenüber dem früheren erreicht wird. Die Hafenfeuer für Buckhaven, Buckie und verschiedene andere Orte sind in dieser Weise construirt.

**Dioptrisches Holophot ohne sphärischen Spiegel.** In den Figuren 43 und 44, Taf. V, welche eine Ansicht und einen mittleren Horizontalschnitt dieses Apparats zeigen, ist  $L$  die Linse, und  $PP$  sind total reflectirende linsenartige Ringe, wie sie bereits beschrieben sind. Die hintere Strahlenhalbkugel wird durch zwei vollständige Sätze von halben Linsen und halben prismatischen Ringen aufgenommen, welche beziehungsweise mit  $L'$  und  $P'$  bezeichnet sind. Dieser Theil des ganzen Apparats parallelisirt die hinteren Strahlen und schickt sie in zwei Bündeln auf je eine Seite der Lampe, wo sie auf eine Reihe von geraden rechtwinkligen Prismen  $pp$  fallen; durch diese wird die Richtung der

Strahlen so verändert, dass die austretenden rechtwinklig stehen zu den einfallenden, also erstere den parallelisirten vorderen Strahlen der Flammen parallel sind.

**Bericht einer Commission der Royal Scottish Society of Arts über das Holophotal-System.** Als ich die holophotalen Verbesserungen vor die Royal Scottish Society of Arts brachte, wurden dieselben einer Commission überwiesen, und ich schliesse dieses Capitel, indem ich in folgenden Worten ihren Bericht mittheile:

Bericht der Herren P. Kelland, Professor der Mathematik an der Universität zu Edingburgh; A. Bryson, und William Swan, Mathematik-Lehrer, als von der Royal Scottish Society of Arts ernannten Commission, über eine Beschreibung des Holophotal-Systems für die Illumination von Leuchttürmen, von Thomas Stevenson.

Edinburgh, den 5. October 1850.

„Nachdem die Commission sich versammelt und die ihr übergebene Abhandlung sorgfältig erwogen, auch mit Herrn Stevenson sich in Verbindung gesetzt und die Modelle, welche er hat anfertigen lassen, geprüft hat, ist sie der Ansicht, dass er in sehr befriedigender Weise die folgenden vier Verbesserungen in dem System der Beleuchtung erreicht hat:

1) Die Anordnung einer Linse mit zwei Reflectoren, von denen der eine ein abgekürztes Paraboloid, der andere eine Halbkugel ist, wodurch alle von der Flamme ausgehenden divergirenden Strahlen parallelisirt werden.

2) Die Ersetzung des abgekürzten Paraboloids durch mehrere ringförmige paraboloidische Streifen mit verschiedenen Brennpunktswerten, welche so um die Flamme angeordnet sind, dass sie in Verbindung mit dem halbkugelförmigen Spiegel und der Linse alle Strahlen parallelisiren. Diese Anordnung erscheint als eine grosse Verbesserung, wegen ihrer Compactheit.

3) Die Anwendung der totalen Reflection zur Parallelisirung der divergirenden Strahlen in jeder Ebene.

4) Die Anwendung von zwei totalen Reflectionen, um durch Prismen die Wirkung des halbkugelförmigen Spiegels zu erzeugen und so die ganze divergirende Strahlenkugel durch eine Linse und Prismen, ohne jede Vermittelung durch metallische Reflection, zu parallelisiren.



Die Commission ist der Ansicht, dass diese Verbesserungen vom grössten Werthe sind; einige derselben sind schon in practischer Wirksamkeit und haben sich als höchst erfolgreich herausgestellt. Die vierte der erwähnten Verbesserungen, welche in der Anwendung von zwei totalen inneren Reflectionen, statt der sphärischen metallischen Reflection besteht, scheint der Commission in der Theorie so einfach und elegant und als practische Verbesserung für Leuchttürme so vielversprechend zu sein, dass sie hofft, dieselbe werde sehr bald construirt werden.

Die Commission fühlt sich berechtigt, der Gesellschaft zu empfehlen, dass sie diesen Verbesserungen in kräftigster Weise ihren Beifall bezeuge.\*)

(gez.) Philip Kelland.  
William Swan.  
Alexander Bryson.

**Verbesserte Form des Holophots.\*\*)** Seit der ersten Ausgabe dieses Buchs ergaben sich von selbst weitere Verbesserungen, die ich jetzt beschreiben werde.

In einem im Jahre 1864 veröffentlichten Werk, betitelt: „Harbours, their Design and Construction“, beschrieb ich eine Form des Holophots und des Feste-Feuer-Apparats, welcher bemerkenswerthe Vortheile gegenüber den früher beschriebenen besitzt.

Wenn ein sphärischer Spiegel, der selbst einen Winkel von nur  $100^{\circ}$  spannt, für die Zurückführung der hinteren Strahlen durch die Flamme benutzt wird, so ist einleuchtend, dass nothwendig ein beträchtlicher Lichtverlust entstehen muss, aus zwei Gründen: erstens, weil zwei Mittel angewendet werden, und zweitens, weil das Licht, welches in der Nähe der verticalen Achse von der Flamme aus aufwärts geht, indem es in entgegengesetzter Richtung zurückgeführt wird, auf den metallenen Brenner

\*) Die Gesellschaft erkannte mir die goldene Keith-Medaille im Werthe von 30 Sovereigns zu.

\*\*) Der Royal Scottish Society of Arts nebst „Other New Forms for Lighthouse Illumination“ (Andere Formen für die Illumination von Leuchttürmen) am 6. Dec. 1867 überreicht und vor der Gesellschaft am 27. Jan. 1868 gelesen, wofür, vereint mit Professor Swan's Mittheilung über „New Forms of Lighthouse Apparatus“ (Neue Formen für Leuchtturm-Apparate), der Keith-Preis im Werthe von 40 Sovereigns zuerkannt wurde.

stossen und verloren gehen muss. Um diesen Nachtheilen vollständig zu entgehen, wurden die folgenden Anordnungen vorgeschlagen:

In dem Fall des in den Figuren **45** und **46**, Taf. V, dargestellten Holophots wird auf die Vorderstrahlen durch ein halbes Holophot *abc*, welches  $180^{\circ}$  spannt, gewirkt, durch welches einzige Mittel mit einem Male die sämmtlichen Strahlen der vordern Halbkugel parallelisirt werden. Der sphärische Sector von etwa  $60^{\circ}$ , rückwärts von der verticalen Achse, an gerechnet, wird ferner durch das einzige Mittel eines paraboloidischen Spiegels *he*, *fi*, oder durch paraboloidische Streifen parallelisirt. Der übrige Theil der hintern Strahlen, im Betrage von  $60^{\circ}$ , wird vermittelt eines dioptrischen sphärischen Spiegels *ef* umgewendet, so dass er durch die Flamme hindurchgeht und schliesslich durch das halbe Holophot von derselben parallelisirt wird. — Bei dieser Anordnung erkennt man, dass nur  $60^{\circ}$  der ganzen Strahlenkugel zwei Mittel passiren, während die übrigen  $300^{\circ}$  durch ein einziges Mittel parallel gemacht werden.

Eine ähnliche Anordnung wurde für ein Festes-Feuer von  $180^{\circ}$  im Azimuth vorgeschlagen. In Fig. **47** und **48**, Taf. V, wird die vordere Hälfte des Lichts in der verticalen Ebene mit einem Male durch eine Hälfte von Fresnel's Apparat für Feste-Feuer, *abc*, parallelisirt, während  $26^{\circ}$  der Rückenstrahlen in der verticalen Ebene durch paraboloidische Streifen *ghij*, welche eine Reihe von abgestumpften paraboloidischen Kuppeln bilden, parallel gemacht werden, und der Rest, oder  $128^{\circ}$ , mittelst eines Sectors *ef* des dioptrischen sphärischen Spiegels durch die Flamme zurückgeführt wird.

In meinem oben citirten Werk über Häfen bemerkte ich auch, dass es möglich wäre, für die Rückenstrahlen reflectirende Glasprismen anstatt der metallenen Paraboide anzuwenden, und in den „Minutes of the Institution of Civil Engineers“ für 1867 zeigte ich, dass solche Prismen nicht aus „Glas mit dem gewöhnlichen Brechungs-Coefficienten“ hergestellt werden könnten. Aber obwohl Prismen von geringer brechender Kraft und nach Fresnel's Profil hier nicht brauchbar sein würden, so stellte sich doch heraus, dass Prismen von gewöhnlichem Glas von der in Fig. **49**, Taf. V, dargestellten Form bis zu  $180^{\circ}$  zurück benutzt werden könnten. Und hier will ich bemerken, dass mein Assistent, der Civil-Ingenieur Herr Brebner, in Bezug auf diese Prismen gleiches Verdienst mit mir selbst hat. Fig. **49** ist

eine rohe Skizze des Verticalschnitts von einem Holophot  $abc$ , mit der neuen Form der zurückreflectirenden Prismen  $ag$  und  $ch$ ; die Buchstaben  $ijk$  bezeichnen den dioptrischen sphärischen Spiegel. Herr Chance, dem ich am 27. September 1867 eine Zeichnung der neuen Prismen mittheilte, schrieb mir: „Ich sehe keine sachlichen Schwierigkeiten in der Ausführung Ihrer sinnreichen Form von Prismen zum Reflectiren des Rückenlichts.“ Im Jahre 1869 wurden die neuen Prismen von den Gebrüdern Stevenson zum ersten Mal angewandt für das Leuchtfeuer zu Lochindaal auf der Insel Islay, welches weiter unten in dem folgenden Kapitel über „Azimuthal verdichtende Feuer“ beschrieben werden wird. \*)

Es muss ferner bemerkt werden, dass die eben beschriebenen Entwürfe für azimuthal verdichtende, einerlei ob catoptrische oder dioptrische Feuer, nützlich sein können, besonders wenn sie von mässiger Grösse gemacht werden. Beispielsweise könnte man sich von den oberen doppelten Mitteln, welche in dem weiter unten zu beschreibenden Apparat zu Buddonness angewendet wurden, dispensiren durch Verwendung von Streifen von metallenen, abgekürzten paraboloidischen Kuppeln, oder durch Kuppeln von den eben beschriebenen dioptrischen Prismen, welche im Grundriss den verlangten Winkel spannen. Bei der Berechnung dieser wie anderer Leuchtfeuer-Prismen sollten die Einfallswinkel für die erste Fläche und die Austrittswinkel für die letzte gleich, oder nahezu gleich, angenommen werden, während der Einfallswinkel für die zweite Fläche genau dem, von dem Brechungs-Coefficienten des zur Construction der Prismen verwendeten Glases abhängigen, kritischen Winkel gleich sein sollte, um das Durchgehen der Strahlen zu verhindern und ihre totale Reflection zu sichern. Um diese Bedingungen zu erfüllen, müssen die Strahlen, welche von solchen excentrischen Theilen der Flamme (nemlich von der inneren Seite) ausgehen, dass sie nach der Brechung an der er-

\*) Ich füge mit Vergnügen hinzu, dass mein Freund Professor Swan von St. Andrews auch unabhängig eine ähnliche Form von Prismen eronnen hat. Eine Zeichnung meines Entwurfs wurde, wie oben angegeben, Herrn Chance am 27. September, und meine Abhandlung wurde dem Secretär (der Royal Scottish Society of Arts) am 6. December übersandt; Professor Swan, dem dies unbekannt war, überreichte seine Arbeit am 9. December. Ich muss indessen meine Leser auf Professor Swan's eigene Abhandlung verweisen wegen mancher anderen geistreichen Anordnungen und besonders wegen seiner Methode, den sphärischen Spiegel überflüssig zu machen, über welche ich weiterhin referiren werde.

sten Fläche auf die zweite unter Winkeln auffallen, welche dem kritischen Winkel am nächsten kommen, für die Berechnung gewählt werden. \*)

Professor Swan hat auch eine sinnreiche Methode vorgeschlagen, den sphärischen Spiegel überflüssig zu machen durch Trennung der vordern Prismen und Hindurchführen des, vermittelt der Rückenprismen parallelisirten Lichts durch die zwischen jenen gelassenen Zwischenräume. Fig. 50, Taf. V, stellt einen von diesen Entwürfen dar:  $aa$  sind die Vorder- und  $bb$  die Rückenprismen; in den letzteren erleiden die Strahlen vor dem Austritt drei totale Reflectionen. Ausser der practischen Schwierigkeit des Schleifens und Polirens des einspringenden Winkels dieser Rückenprismen, und ausser dem grossen Raum, den der Apparat in dem Leuchthurm erfordert, darf nicht übersehen werden, dass die Anordnung nicht holophotal ist. Bei einem vertical brennenden Oellicht gehen Lichtkegel, an der Vorderseite von etwa  $30^0$ , an der Hinterseite von etwa  $60^0$ , verloren. Und obwohl, wie es Dr. Swan vorschlug, bei Anwendung des electricischen Lichts und einer horizontal (statt vertical) gestellten Lampe, der grössere Theil dieser Kegel durch den von der Lampe geworfenen Schatten gedeckt würde, so würde doch in Festen-Feuern, und namentlich in solchen, die den ganzen Kreis beleuchten, der Verlust sehr beträchtlich sein, selbst wenn man die electricische Lampe horizontal stellte. Ferner ist zu beachten, dass die Nähe der centralen Rückenprismen bei der Flamme eine grosse störende Divergenz mit sich bringt, ein Uebelstand, der bei dem dioptrischen sphärischen Spiegel, wo alle Punkte in gleiche Entfernung von der Lampe gestellt werden können, vermieden wird.

\*) Die erwähnten Winkel ergeben sich leicht aus den gebräuchlichen Formeln: Ist  $\delta$  der ganze Betrag der Ablenkung,  $i$  der Einfallswinkel für die erste,  $i'$  der für die zweite Fläche und  $\mu$  der Brechungs-Coefficient, so ist zunächst:

$$\sin i' = \frac{1}{\mu},$$

und ferner:

$$\delta = i - r,$$

und

$$\sin i = r \frac{\sin i}{\mu},$$

also

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{\sin \delta}{\mu - \cos \delta}.$$

Die letzte Formel ist aus Dr. Swan's Abhandlung, welche auch Formeln zur directen Bestimmung des brechenden Winkels von jedem Prisma enthält.

## Kapitel IV.

### Azimuthal verdichtende Feuer,

oder:

Apparate zur Vertheilung der natürlich divergirenden Lichtstrahlen über irgend einen Azimuthwinkel, nebst Beschreibung der sphärisch-cylindrischen Linse.

Der dioptrische Feste-Feuer-Apparat von Herrn Augustin Fresnel, gewöhnlich „der Bienenkorb“ genannt, ist, wie bereits angegeben, vorzüglich für solche Feste-Feuer anwendbar, welche beständig in jedem Azimuth gesehen werden sollen. Es giebt indessen viele Situationen, wo nur ein kleiner Theil des Horizonts beständig erleuchtet zu werden braucht; gleichwohl kann dieser Theil noch zu gross sein, um eine Beleuchtung durch ein einziges Glasholophot zu gestatten, dessen Divergenz nur ungefähr  $10^{\circ}$  ist, oder durch einen einzigen parabolischen Reflector der gewöhnlichen Construction, dessen Divergenz nicht über  $15^{\circ}$  hinausgeht. In solchen Fällen ist der Ingenieur bislang damit zufrieden gewesen, in Ermangelung vollkommener Apparate einen Theil von Fresnel's bereits beschriebenen Bienenkorb anzuwenden, oder sich verschiedener parabolischer Reflectoren, von denen jeder seine eigene besondere Lampe haben muss, zu bedienen, um den Bogen auszufüllen. Wenn  $180^{\circ}$  des Azimuths illuminirt werden sollen, so ist die Anwendung von einem halben Bienenkorb, mit einem sphärischen Spiegel dahinter, vollkommen berechtigt; aber wo der zu beleuchtende Bogen klein ist, würde bei einer solchen Anordnung augenscheinlich viel Licht verloren gehen. Eine mehr öconomische Wirkung würde aus dem Gebrauch verschiedener parabolischer Reflectoren resultiren, aber diese sind zunächst kostspielig, und die jährliche Ausgabe für die Unterhaltung der vielen verschiedenen Brenner ist gross. Es sind verschiedene Versuche gemacht, um die horizontale Divergenz der reflectirenden Appa-

rate zu steigern, von denen der eleganteste meines Wissens der Vorschlag von Herrn John Leslie war, den Spiegel nach einem hyperbolischen Profil herzustellen. Die Divergenz würde indessen offenbar in gleicher Weise in der verticalen Ebene zunehmen.

Um diesem Mangel abzuhelpfen, schlug ich im Jahre 1850 die folgende Methode vor, um alles Licht über  $90^0$  des Horizonts zu vertheilen, und gleichzeitig beschrieb und empfahl ich eine andere Methode, welche indessen nur in der horizontalen Ebene vollkommen ist. Die bessere Anordnung ist in der Ansicht und im mittleren Horizontalschnitt in Fig. 51 und 52, Taf. V, gezeichnet;  $baa'b'$  ist eine Hälfte von Fresnels Feste-Feuer-Apparat;  $p$  und  $p'$  sind gerade Prismen von besonderer Form, welche vertical so angeordnet sind, dass sie  $45^0$  des divergirenden Lichts an jeder Seite aufnehmen;  $c$  ist ein nach hinten gestellter sphärischer Spiegel. — Die verticalen Prismen lenken die auf sie fallenden Strahlen so ab, dass die von den Prismen  $p$ , resp.  $p'$  kommenden Strahlen denjenigen Strahlen, die aus der entgegengesetzten Hälfte  $aa$ , resp.  $a'a'$  des Mittelquadranten  $aa'$  von dem Fresnel'schen Bienenkorb austreten, entsprechend parallel werden. Man erkennt dies am besten, wenn man in Fig. 52 die Wege der verschiedenen Lichtstrahlen verfolgt. Die ausgezogenen Linien zeigen die Strahlen, welche von dem Mittelquadranten  $aa'$  aus divergiren, die punktirten Linien dagegen diejenigen, welche von den andern Theilen des Bienenkorbs kommen, sowohl vor wie nach ihrer Ablenkung durch die Prismen  $pp'$ . Diese Prismen sind eben an der total reflectirenden Seite, concav an der Eintritts- und convex an der Austrittsseite. Der Mittelpunkt der Krümmung für die Eintrittsseite ist das Centrum  $f$  der Flamme, so dass die horizontalen divergirenden Strahlen normal auf diese Fläche treten, an ihr demnach keinerlei Ablenkung erleiden und nach wie vor in gleicher Weise divergiren. Nach Erreichung der ebenen Hinterfläche wird jeder Strahl von dieser reflectirt, was sich beispielsweise für das vierte Prisma an der rechten Seite (Fig. 52), so macht: Die reflectirende Fläche jedes einzelnen Prismas nimmt den Mittelstrahl unter einem Einfallswinkel von  $45^0$  auf, reflectirt ihn also unter einem Winkel von  $90^0$  gegen die ursprüngliche Richtung. Der Winkel, den das Prisma spannt, sei  $\alpha$ . Dann treffen die beiden äussersten Strahlen  $fm$  und  $fn$  die reflectirende Fläche  $mn$  bzw. unter den Winkeln  $\frac{90 - \alpha}{2}$  und  $\frac{90 + \alpha}{2}$ , und werden somit gegen ihre ursprünglichen

Richtungen unter den Winkeln  $90^{\circ} - \alpha$  und  $90^{\circ} + \alpha$  reflectirt, in den Richtungen 1 und 2, von denen erstere dem Strahl I, letztere dem Strahl II der linken Hälfte  $aa$  des Quadranten  $aa'$  parallel ist. Die Strahlen 1 und 2 und alle andern Strahlen, welche auf die Fläche  $mn$  fallen, schneiden sich, rückwärts verlängert, in dem Punkt  $f'$ , dem Krümmungsmittelpunkt der convexen Austrittsfläche der Strahlen, welche von letzteren rechtwinklig getroffen wird. Die Dreiecke  $fmn$  und  $f'mn$  sind congruent und daraus folgt weiter, dass jeder Strahl bis zu seinem Austritt aus dem Prisma von dem Punkt  $f$  aus gerechnet dieselbe Strecke, also auch in dem Prisma selbst dieselbe Wegeslänge zu passiren hat. Selbstverständlich muss das Prisma an der Eintrittsfläche so viel Glas bekommen, dass noch der äusserste Strahl auf seinem ganzen Wege zwischen dem Punkt  $m$  und dem aus  $f$  beschriebenen Kreise überall Glas vorfinde; es darf also der aus  $f$  beschriebene Bogen der Eintrittsfläche diesen reflectirten Strahl nicht schneiden, sondern muss ihn tangiren, und das Prisma muss, um den letzten einfallenden Strahl des folgenden Prismas nicht zu stören, bei  $m$  nach der Richtung  $fm$  gebrochen werden.\*) — Wenn statt der totalen Reflection metallische Reflection angewendet wird, so wer-

\*) In dem englischen Original finden sich in der Beschreibung der Figuren 51 und 52, Taf. V, einige Fehler, weshalb die Uebersetzung hier von dem englischen Text abweicht. — Die Construction an und für sich leidet an dem Uebelstand, dass, da die Strahlen der hinteren Prismen von den vorhergehenden Prismen frei gehen müssen, der Apparat eine bedeutende Breite bekommt. Diesem Uebelstande kann abgeholfen werden, wenn man an die Stelle der ersten, dem Quadranten  $aa'$  zunächst befindlichen Prismen  $pp'$  verticale brechende — oder total reflectirende Fresnel'sche — Prismen (vergl. die Fig. 36, 37 [Taf. IV], 67 [Taf. VII], 72 [Taf. VIII] u. a.) stellt und die Anwendung der Prismen  $pp'$  auf die hinteren Theile der vorderen Strahlenhalbkugel in der Nähe des Durchmessers  $bb$  beschränkt. Die Disposition einer solchen Anordnung hat keine Schwierigkeit; die Raumersparniss beruht darauf, dass man die Refractoren concentrisch um  $f$  aufstellen kann, und da dieselben unter sich sämmtlich gleich sein können, so muss eine solche Anordnung ausserdem auch noch billiger werden, als die in Fig. 51 und 52, Taf. V. — Unter Umständen könnte es wünschenswerth sein, bei den Prismen  $pp'$  für die reflectirende Fläche lauter gleiche Einfallswinkel zu haben. Die Fläche müsste dann nach einer logarithmischen Spirale gekrümmt sein, welche man practisch durch einen Kreisbogen ersetzen könnte, der den ersten und letzten Strahl eines Prismas richtig reflectirt. Diese beiden reflectirten Strahlen schneiden sich dann in einem Punkt  $f'$  vor dem Prisma, und die Austrittsfläche müsste somit auch concav gekrümmt sein, wie die Eintrittsfläche. (C. N.)

den Stellung und Form der Metallstreifen dieselben, wie die der geraden Seiten der in Fig. 51 und 52 mit  $pp'$  bezeichneten Prismen, und die Disposition derselben in Bezug auf den Festen-Apparat ist gleich derjenigen der genannten Seiten.

Es ist indessen oft wünschenswerth, sowohl grössere wie kleinere Bögen als den Quadranten zu beleuchten, und ich gehe jetzt dazu über, eine einfache Methode zur Erreichung dieses Zweckes zu erklären, wie sie zuerst in dem Edinburgh New Philosophical Journal für 1855, pag. 273, veröffentlicht wurde. Das sämmtliche Licht wird zunächst mittelst eines Holophotal-Apparats in ein einziges Bündel von parallelen Strahlen gesammelt, und die so condensirten Strahlen darauf einer zweiten Wirkung unterworfen, durch welche jede beliebige Divergenz erzielt werden kann. In Fig. 53 (einem Horizontalschnitt) und in Fig. 54 (einer Endansicht der betreffenden Anordnung) bezeichnen die Buchstaben  $aabb$  ein catadioptrisches Holophot, wie es früher beschrieben wurde;  $cc$  sind ausserdem vor das Holophot gestellte gerade brechende Prismen, deren horizontale Querschnitte denjenigen der verschiedenen Theile der Linse  $l$  ähnlich und deren Längen dem grössten Durchmesser des Paraboloids gleich sind; sie sind genau den verticalen geraden Prismen, die in Fig. 36 und 37, Taf. IV, gezeichnet sind, gleich. Es ist klar, dass die auf diese Prismen fallenden parallelen Strahlen in der horizontalen, nicht aber in der verticalen Ebene gebrochen werden. Die horizontale Brechung ist gleich, aber entgegengesetzt derjenigen, die in der ringförmigen Linse  $l$  stattfindet, so dass die gebrochenen Strahlen nach einem Brennpunkt  $f'$  auf der Vorderseite hin convergiren und von diesem Punkt aus wieder unter demselben Winkel  $Gf'H$  divergiren. Ein Beobachter in irgend einem Punkt des azimuthalen Winkels  $Gf'H$  wird daher die Wirkung eines verticalen Lichtstreifens haben, dessen Höhe gleich der correspondirenden Höhe des Holophots und dessen Breite proportional der Breite der angewendeten Flamme ist.

Ein Mangel dieser Anordnung ist die Ungleichförmigkeit in der Intensität des Lichts, welche der Beobachter bemerken wird, wenn er von irgend einer Stelle des azimuthalen Winkels  $Gf'H$  nach den seitlichen Grenzen des Winkels hinübergeht. Um diesem Mangel abzuhelpen und den durch Absorption verursachten Lichtverlust zu reduciren, schlug ich, auch in der oben genannten Zeitschrift, vor, statt eines einzigen Satzes von



Prismen, welcher die ganze Breite des Holophots fasst, mehrere Sätze anzuwenden. Diese Anordnung, auf das früher in Fig. 15, Taf. II, gezeichnete dioptrische Holophot angewendet, zeigen die Fig. 55, Taf. V, und 56, Taf. VI. Setzen wir voraus, dass es nöthig sei, die von dem Apparat ausgehenden Strahlen über einen grössern Theil des Horizonts als im vorigen Fall zu verbreiten, und dass es ferner wünschenswerth sei, die Strahlen gleichförmiger über den zu beleuchtenden Bogen zu vertheilen. Anstatt eines Satzes von geraden Refractoren mögen hier vier Sätze, *cc*, angewendet werden, von denen jeder zwei total reflectirende Prismen enthält, deren horizontaler Querschnitt ähnlich ist, wie bei den prismenartigen Ringen *p* des Holophotal-Apparats. Jeder Satz von brechenden und total reflectirenden geraden Prismen wird seinen besonderen Brennpunkt *f'* haben, von welchem aus die Strahlen über den von der Zahl der Prismen in jedem Satz abhängigen Winkel divergiren, so dass die dichteren sowohl wie die schwächeren Theile des Lichts auf diese Weise mit genügender Gleichförmigkeit über den ganzen Bogen vertheilt werden. — Dasselbe Princip kann auch für die später zu beschreibenden scheinbaren Feuer (Apparent lights) mit Nutzen angewendet werden, wenn sonst das Licht in der Nähe der äusseren Grenzen des zu beleuchtenden Bogens zu matt werden sollte.

Um den von der Absorption und Oberflächenreflection in Folge der Anwendung zweier optischer Mittel herrührenden Lichtverlust zu vermindern, schlug ich in derselben Abhandlung vor, für die gewöhnlich angewendete Linse eine solche nach einem neuen Princip zu construiren. Eine Seite dieser Linse ist genau gleich der gekrümmten Seite der Linsen *l* und *LL* in Fig. 53 und 55, Taf. V, während die andere, obwohl in der verticalen Ebene gerade Seite, in der horizontalen Ebene nach einer Curve mit dem nöthigen Radius geschliffen ist; so dass sie die divergirende Wirkung der in Fig. 53 und 54 gezeichneten geraden Prismen *c* ausübt. Fig. 57, Taf. VI, zeigt die Ansicht der äussern Fläche einer sphärisch-cylindrischen Linse nach diesem Princip, Fig. 58, Taf. VI, die Ansicht der innern Fläche, Fig. 59, Taf. VI, ihren mittleren Horizontalschnitt. In der in den Figuren dargestellten Linse ist *xfx* ein Kegel von divergirenden Strahlen. Diese Strahlen convergiren, nachdem sie durch die Linse gegangen sind, nach dem Punkt *f'* hin und divergiren darauf über den kleineren horizontalen Winkel *x'f'x'*. — Wo, wie in dem vorliegenden

Fall, der zu beleuchtende Winkel  $x'f'x'$  kleiner ist als der Winkel  $xfx$ , den die Linse in Bezug auf die Flamme als Scheitelpunkt spannt, muss der Radius der Convexität für die der Flamme zunächst gelegene Fläche grösser sein als der für die äussere Fläche, und umgekehrt.

Dem Mangel an Divergenz, über welchen bei den grossen polyzonalen Linsen der Drehfeuer oft geklagt wird, kann leicht durch Aufnahme dieses Constructions-Princips abgeholfen werden. Die Convexität der cylindrischen Fläche würde für diesen Fall natürlich ausserordentlich klein sein. Die runden Linsen in Handlaternen, an Eisenbahnsignalen oder in Dampfbootlichtern könnten auch mit Vortheil nach einem ähnlichen Princip construirt werden, wenn eine grössere Divergenz verlangt wird, als die Linsen der gewöhnlichen Form erzeugen.

Wenn eine beträchtliche Krümmung nothwendig ist, so würde es indessen besser sein, eine von den Flächen der oben beschriebenen Linse nach concaven cylindrischen Rinnen statt nach convexen cylindrischen Prismen zu schleifen und so der Linse einen concav-convexen Querschnitt zu geben, mit einer sphärischen und einer concav-cylindrischen Fläche, wie in Fig. 60, Taf. VI, gezeigt ist. \*) Eine concav-convexe Linse, deren verschiedene Ringe auf beiden Seiten ausgeschnitten oder abgetrept sind, könnte unter Umständen den Vorzug verdienen vor der in Leuchthürmen gebräuchlichen plan-convexen Form, sowohl für Feste-, wie auch für Drehfeuer. — Mein Freund, der Civil-Ingenieur Herr James M. Balfour, machte mich darauf aufmerksam, dass man auch dann gute Krümmungen erhalten könnte, wenn man die Achse der cylindrischen Seite horizontal anordnete; der horizontale plan-convexe Querschnitt müsste dann eine solche Krümmung haben, dass die horizontale Divergenz auf den verlangten Winkel reducirt würde, während die äussere Curve des doppelt-convexen verticalen Querschnitts die divergirenden Strahlen nach ihrer Veränderung durch die innere Fläche in der verticalen Ebene parallelisiren müsste.

---

\*) Der verstorbene Optiker Herr John Adie lieferte mir vor einigen Jahren Linsen von den in Fig. 59 und 60, Taf. VI, gezeichneten Formen.

## Feste azimuthal verdichtende Feuer für die Beleuchtung enger Kanäle etc.

Das eben beschriebene Princip der azimuthal verdichtenden Feuer wird bedeutungsvoll für die Lösung gewisser practischer Fragen. In jedem Festen-Feuer der gewöhnlichen Construction, von dem man nicht die Beleuchtung des ganzen Horizonts verlangt, lässt man den nicht gebrauchten Theil des Lichts entweder unbenutzt entweichen, oder man führt ihn vermittelt eines Sectors von einem sphärischen Spiegel durch den Brennpunkt zurück. Es kommen indessen in der Praxis des Leuchtturmwesens häufig Fälle vor, in denen es sehr wünschenswerth ist, dieses überschüssige Licht auszunutzen, aber nicht in der dem verdunkelten Bogen diametral entgegengesetzten, sondern in einer mehr der Configuration der Küste folgenden Richtung. Mit andern Worten, es wird ein System verlangt, durch welches das sämmtliche Licht der Lampe horizontal ganz gleichmässig über irgend einen im Azimuth gegebenen Bogen ausgebreitet wird; oder durch welches das Licht, wo es in verschiedenen Azimuthen aus verschiedenen Entfernungen gesehen werden muss, ungleichmässig und zwar in der Weise vertheilt wird, dass jeder Bogen ein Lichtquantum empfängt, welches einem zusammengesetzten Verhältniss aus der Zahl seiner Grade und aus der Entfernung, in der das Licht gesehen werden soll, proportional ist. —

**Verdichtendes Feuer zu Oronsay.** Fig. 61, Taf. VI, zeigt die Situation des Feuers auf der Insel Oronsay, an welchem das Princip der Azimuthal-Verdichtung zuerst in der Praxis angewendet wurde. Dasselbe wurde im November 1857 öffentlich illuminirt, gleichzeitig mit denen von Kyle-Akin und am Mull-Sund, welche beide nach demselben Princip gebaut sind. Die Insel Oronsay liegt in dem engen Skye-Sund, und beinahe der ganze beleuchtete Bogen braucht nicht weiter als 3 oder 4 Meilen gesehen zu werden, während er in einer Richtung (den Sund abwärts) nach *A* und *B* zu, auf etwa 15 Meilen, und in einer andern (den Sund aufwärts), nach *C* und *D* zu, auf etwa 7 Meilen gesehen werden soll. Wenn also ein Licht errichtet wäre, hinreichend kräftig, um in der grössten verlangten Entfernung von einem Beobachter in *AB* gesehen zu werden, so würde es in jeder

andern Richtung viel zu kräftig sein, und folglich würde man viel Oel verschwenden, während, wenn ein der kurzen Entfernung entsprechendes Licht aufgestellt wäre, Hilfsapparate mit hinzugefügten Lampen nothwendig gewesen wären, um den Sund aufwärts und abwärts von der Station zu beleuchten. Der Apparat Fig. 62, Taf. VI, wurde mit Rücksicht auf die Verstärkung des gewöhnlichen Feste-Feuer-Apparats in der Richtung der grössten Entfernungen entworfen. Dies ist erreicht durch Vertheilung des überflüssigen Lichtbogens auf jene Richtungen, welcher sonst entweder auf der dunkeln Seite der Laterne verloren gewesen, oder, falls das Licht in der gewöhnlichen Weise mittelst eines sphärischen Spiegels durch den Brennpunkt zurückgeführt worden wäre, den Theil des Lichts verstärkt hätte, welcher bereits kräftig genug ist.

Nach einer Hypothese, welche allgemein als wahrscheinlich aufgestellt wird, wächst der Verlust durch Absorption beim Durchgang durch die Luft nach geometrischer Progression. Es ist experimentell über diesen Gegenstand indessen kaum irgend Etwas bekannt, und John Herschel bemerkt, dass die Hypothese von der Voraussetzung ausgehe, „dass die Strahlen beim Durchgang durch eine Schicht eines Mediums nicht an additioneller Fähigkeit zur Durchdringung des übrigen Theils gewinnen“. Wenn die Absorption vernachlässigt würde, so müsste der verdichtende Apparat, wenn mehr als ein azimuthaler Winkel verstärkt werden soll, so berechnet werden, dass er die Strahlen im zusammengesetzten Verhältniss des Quadrats der Entfernungen und der Zahl der Grade in jedem azimuthalen Bogen vertheilte. Zieht man aber die Absorption in Rechnung, so muss der Betrag des Lichts noch ferner vergrößert werden, und zwar im umgekehrten Verhältniss der Zahl, welche man findet, wenn man die Differenz zwischen der Einheit und der relativen Absorption für die Einheit der Entfernung zu einer Potenz erhebt, deren Exponent die Zahl der Einheiten der ganzen Entfernung ist. \*) — Für den Fall der Leuchtfeuer mögen die rela-

\*) Ist  $J$  die Intensität im leeren Raum am Ende der ersten Meile;  $\frac{p}{q}$  die relative Absorption des Lichts beim Durchgang durch eine Meile der Atmosphäre;  $\alpha$  die Zahl der Grade, über welche das Licht zu verbreiten ist;  $s$  die Zahl der vom Licht durchlaufenen Meilen;  $x$  die Intensität nach dem Durchgang des Lichts durch  $s$  Meilen, so ist:

$$x = \frac{J \left(1 - \frac{p}{q}\right)^s}{\alpha \cdot s^2}.$$

tiven Grössen der Apparate, von denen die Schwinkel abhängen, ein einflussreiches Element bilden. \*) Es ist indessen einleuchtend, dass der Einfluss dieses Elements innerhalb gewisser Grenzen beschränkt sein muss, und es mag vielleicht irgend eine feste Beziehung zwischen der Intensität des Lichts und der Ausdehnung und Form der beleuchteten Fläche, welche das Maximum der Sichtbarkeit liefern wird, existiren.

Auf der Insel Oronsay, wo es Aufgabe war, die beiden Fahrinnen von Glenelg und Sleat zu verstärken, wurde das Licht beinahe im arithmetischen Verhältniss der Entfernungen ausgetheilt. In gewissem Sinne erscheint diese Vertheilung berechtigt, wegen gewisser nautischen, mit der Localität zusammenhängenden Erwägungen, und weil, da die Kraft wie die Quantität des Lichts, und der Schwinkel wie die Breite des Apparats (bei gleicher Höhe desselben) wächst, vorausgesetzt werden kann, dass die Sichtbarkeit sich wie das Quadrat der Zahl der jedem azimuthalen Bogen zugetheilten Strahlen ändert. Ausserdem hätte der Bogen nach Glenelg zu nicht erheblich kleiner gemacht werden können ohne Durchschneidung der centralen runden Scheibe der Linse, was nicht rathsam gewesen wäre.

In Fig. 62, Taf. VI, welche den Oronsay-Apparat darstellt, ist  $A$  ein Sector von  $167^{\circ}$  von einem kleinen Fresnel'schen Feste-Feuer-Apparat. Dieser Sector spannt den ganzen zu beleuchtenden Bogen  $AB$  der Fig. 61, Taf. VI, so dass der ganze übrige Theil des Lichts auf der dunkeln Seite, d. i.  $193^{\circ}$ , überschüssiges Licht ist. Von diesem überschüssigen Licht werden  $129^{\circ}$  der divergirenden Strahlen durch den Theil  $B$  eines Holo-photal-Apparats parallelisirt, und indem sie auf eine Reihe von zwölf gleichen reflectirenden Prismen  $\alpha$  fallen, wieder abgelenkt, aber nur in horizontaler Richtung; zuletzt treten sie, nach ihrem Durchgang durch einen (für jedes Prisma unabhängigen) Brennpunkt in einer Reihe von zwölf gleichen Bündeln aus, von denen jedes eine Divergenz von ungefähr  $10^{\circ}$  hat, deren Strahlen mit denen des auf diese Weise verstärkten Bündels  $\alpha$  parallel sind. Jedes dieser Supplementar-Prismen vertheilt sein Licht über den

\*) Um einige von diesen zweifelhaften Punkten zu entscheiden, erscheint es sehr wünschenswerth, eine Reihe von Versuchen anzustellen, welche in Entfernungen von mehreren Meilen von dem leuchtenden Punkt gemacht werden müssten. Es ist nicht unwahrscheinlich, dass der Effect einfach dem Betrag des durchgelassenen Lichts proportional sei.

ganzen Bogen  $AB$  (Fig. 61, Taf. VI), gleichwie der Theil  $\alpha$  des Feste-Feuer-Apparats. Da auf diese Weise das Licht von  $139^0$  auf einen Bogen von  $10^0$  verdichtet wird, so würde der Effect, wenn kein Verlust da wäre, ungefähr 14mal so stark wie derjenige des nicht verstärkten Bogens und darum vollauf genügend sein für eine Weite von 15 Meilen. In gleicher Weise wird das durch die andere Linse  $C$  parallelisirte Licht durch die Prismen  $b$  gebrochen, um den Bogen  $\beta$  zu verstärken, welcher zwischen  $CD$  in Bezug auf die Station eine Weite von 7 Meilen hat. Die grössere Zahl der Strahlen, welche in Fig. 61 als durch die Bögen  $AB$  und  $CD$  gehend dargestellt sind, soll die von der Wirkung der Hilfsprismen herstammende additionelle Dichtigkeit anzeigen. — Wir wollen nur noch hinzufügen, dass, bei Anwendung von Bögen mit gefärbtem Licht, diese Methode der Verstärkung der durch die Absorption der gefärbten Mittel geschwächten Theile sehr wichtig wird und leicht anzuwenden ist.

Das verdichtete Licht auf der Insel Oronsay erscheint einem Feuer erster Ordnung gleich, so dass mit einer Lampe, welche jährlich nur 170 Gallonen Oel verbrennt, in der einen Richtung, in welcher grössere Kraft erforderlich ist, ein Licht erzielt wird, dessen Wirkung gleich ist dem eines Feuers erster Ordnung, welches jährlich 750 Gallonen consumirt. Es ist nicht leicht, ohne wirkliche Versuche genau die durch diese neue Anordnung bewirkte Ersparung zu berechnen, aber man kann annehmen, dass durch Einführung der drei auf Seite 55 genannten verdichtenden Feuer, welche in den besondern Richtungen, wo grosse Kraft verlangt wird, ganz oder beinahe so wie Apparate erster Ordnung wirken, eine jährliche Ersparung von 400 bis 500 Pfund Sterling erzielt wird; und selbst wenn das gewöhnliche Feste-Feuer in den verlangten Richtungen durch Hinzufügen von Reflectoren mit unabhängigen Brennern verstärkt worden wäre, so hätten sie nicht für dieselbe Sehweite hergerichtet werden können, ohne eine Mehrausgabe von 170 Pfund pro Jahr.

Es mögen noch die Beobachtungen erwähnt werden, welche beim ersten Versuch des Oronsay-Lichts von dem (verstorbenen) Herrn James M. Balfour gemacht wurden, welcher nicht nur, als Assistent der Gebrüder Stevenson, die Aufstellung des Apparats beaufsichtigte, sondern auch die Zeichnungen und Berechnungen ausführte. In einem Brief vom 17. October 1857 sagt er: „Am Freitag habe ich den Apparat auf Oronsay bleibend

befestigt, und in der Nacht fuhren wir aus, um das Licht zu prüfen. Mehr kann ich nicht sagen, als dass es unsere äussersten Erwartungen übertraf. Die Prismen warfen ein Licht den Sleat-Sund hinunter, heller als irgend ein Feuer erster Ordnung unter den nördlichen Leuchtfeuern, und das Licht nach der Glenelg-Bay hinauf, von dem kleineren Satz von Prismen, steht der Kraft eines Feuers erster Ordnung nur wenig, wenn überhaupt, nach, obwohl ein grosser Theil des Strahlenbündels durch eine Kreuzung von Sprossen unterbrochen wird. — — — Ich stehe nicht im Mindesten an, zu behaupten, dass das Oronsay-Licht das beste ist unter den nördlichen Leuchtfeuern, sowohl hinsichtlich der wirksamen Kraft, da, wo Kraft nöthig ist, als auch hinsichtlich der Sparsamkeit in der Unterhaltung.“

**Neue verdichtende Feuer zu Buddonness für  $45^{\circ}$  im Azimuth.** Nachdem das Trinity-Haus von Dundee die Gebrüder Stevenson beauftragt hatte, neue Leitfeuer für Buddonness an der Mündung des Tay zu entwerfen, stellte es sich den Anforderungen der Schifffahrt gegenüber als genügend heraus, einen Bogen von nur  $45^{\circ}$  im Azimuth zu beleuchten. Zu dem Ende entwarf ich den folgenden Apparat, welcher deshalb bemerkenswerth ist, weil er alle damals bekannten Arten von dioptrischen Mitteln für Leuchtfeuer enthält. Diese Combination besteht, wie im Vertical- und Horizontalschnitt (Fig. 63 und 64, Taf. VI), und in der Vorderansicht (Fig. 65) gezeigt ist, aus einem Halbkreis von Fresnel's Bienenkorb (Feste-Feuer-Apparat) dritter Ordnung, von welchem  $45^{\circ}$  das Licht direct über den verlangten Bogen *ppp* ausgiessen. Auf jeder Seite dieses mittleren Bogens sind vor die restirenden Bögen des Bienenkorbs gerade condensirende Prismen *pp* gestellt, welche auch alles dasjenige Licht über jene  $45^{\circ}$  verbreiten, welches nach dem Durchgang durch die zuletzt genannten Theile des Bienenkorbs auf diese geraden Prismen fällt. Auf diese Weise wird die ganze vordere Halbkugel der Strahlen in der verticalen Ebene parallelisirt und ganz gleichmässig über  $45^{\circ}$  im Azimuth vertheilt. Um auch die hintere Strahlenhalbkugel nach dem seewärts gelegenen Bogen von  $45^{\circ}$  hin zu condensiren, werden diese theilweise durch meinen dioptrischen sphärischen Spiegel, *de*, mit den Verbesserungen von Herrn J. T. Chance aufgenommen und durch die Flamme hindurch, nach der Seeseite hin, zurückgeführt, wo sie, indem sie sich mit den vordern Strahlen vereinigen, endlich über den gegebenen Bogen von

45° vertheilt werden. Die über den sphärischen Spiegel hinweggehenden Strahlen werden einer früher noch nicht angewendeten Anordnung unterworfen, bestehend aus einem Halbhohphot  $hi$ , durch welches sie parallelisirt und vertical nach aufwärts gesandt werden; dadurch, dass sie dann auf die neue Art von kegelförmigen rechtwinkligen Prismen  $fg$  fallen, werden sie ebenfalls über den verlangten Bogen von 45° im Azimuth vertheilt.\*)

Auf diese Weise wird sämtliches Licht genau gleichmässig über den vorgeschriebenen Horizontalwinkel von 45° mit Hülfe der fünf beschriebenen optischen Mittel, welche in keinem Fall mehr als vier Brechungen oder vier totale Reflectionen involviren, verbreitet. Der Apparat wurde nach meiner Zeichnung durch die Herren Chance in Birmingham angefertigt, und so vollkommen ist die Construction, dass, wenn man hinter dem Apparat steht, keine Spur der Flamme zu sehen ist, obwohl das einzige Medium zwischen Beobachter und Lampe ein Schirm von durchsichtigem Glas ist. Die obersten doppelten Mittel könnten auch noch durch Anwendung von Prismen der neuen Art, wie sie zu Lochindaal angewendet sind und weiterhin beschrieben werden sollen, aber nach der nöthigen horizontalen Krümmung gebogen, vermieden werden. — Der Apparat wurde durch die Commission der Nördlichen Leuchtfeuer auf der Pariser Weltausstellung vom Jahre 1867 ausgestellt und befindet sich jetzt im Industrie-Museum zu Edinburgh.

**Beschreibung eines optischen Apparats für die Seitenlichter von Dampfschiffen.** Apparate derselben Art, wie sie für die Illumination von Leuchtthürmen angewendet werden, sind natürlich auch für andere Zwecke, für welche die Bedingungen der Beleuchtung ähnliche sind, anwendbar. Unter anderen Leuchtfeuer-Apparaten ist besonders die azimuthal verdichtende Combination für solche Fälle geeignet. Ueberall, wo, wie z. B. bei Eisenbahn- und Dampfschiff-Lichtern, die Strahlen über einen beschränkten Bogen vertheilt werden müssen, gestattet das verdichtende Princip wegen der Allgemeinheit seiner Auffassung eine vortheilhafte Anwendung.

\*) Diese letztere Anordnung ist seitdem von Herrn Chance für das electriche Licht zu Souther-Point adoptirt; hier wird ein Theil der hinteren Strahlen nach abwärts geleitet und divergirt dann, in Folge der Wirkung der kegelförmigen Prismen vor einem niedrigeren Fenster des Thurms, um so den besonderen Anforderungen der Localität zu entsprechen, wie es Herr Douglas, der Ingenieur von Trinity-Haus, angab.



Wir geben im Folgenden eine Beschreibung der Lichter des Dampf-Tenders „Pharos“ (der nördlichen Leuchtfeuer), bei denen das verdichtende Princip zuerst für Dampfschifflaternen angewendet ist und durch welche sämtliche Strahlen ganz gleichmässig auf  $112^{\circ} 30'$ , d. i. auf den durch Verordnung der Admiralität für Seitenlichter vorgeschriebenen Winkel vertheilt wird. Das Resultat ist in jeder Beziehung ausserordentlich befriedigend gewesen, und Capitain Graham, unter dessen Aufsicht Laterne und Hängeringe angefertigt wurden, behauptet, dass der „Pharos“ zur Nachtzeit leicht zwischen anderen Schiffen durch die viel höhere Intensität und die vollkommene Gleichmässigkeit der jetzt von ihm geführten Lichte zu erkennen ist; er hat die letzteren häufig bei schwerer See beobachtet und fand immer, dass sie durchaus befriedigend wirkten und dass die Lampen frei und klar schwangen und hell brannten. Fig. 66, Taf. VII, zeigt die Laterne und den Apparat in der Vorderansicht, wie sie oben am Deckhäuschen befestigt sind; Fig. 67 und 68, Taf. VII, stellen beziehungsweise mittleren Horizontalschnitt und Seitenansicht von Lampe und Laterne dar.

*aaaa* bezeichnen  $180^{\circ}$  von Fresnel's Festem-Feuer (dioptrischem „Bienenkorb“), welches einen inneren Durchmesser von nur 6“ hat; *pp* sind gerade azimuthal verdichtende Glasprismen, welche alles auf sie fallende Licht nach dem Durchgang desselben durch den Bienenkorb über die Bögen *cd* und *ef* (Fig. 67), von denen jeder  $56^{\circ} 15'$  misst, vertheilen. *H* ist ein halbkugelförmiger Spiegel von versilbertem Kupfer, welcher alle Rückstrahlen durch den Brennpunkt zurückführt, worauf dann der Bienenkorb und die Prismen in derselben Weise auf sie wirken, wie auf die vordern Strahlen.\*) *k* ist ein Ring aus Kanonenmetall, welcher den Apparat trägt; die beiden zu einander rechtwinkligen Achsen *xx* und *yy* sichern dem Apparat bei dem Stampfen und Schlingern des Schiffs seine verticale Stellung und das gute Brennen der Flamme; *L* ist ein kupferner Helm, welcher durch Schrauben an einem Messingflansch befestigt ist (Fig. 66); *PP*

\*) Ich habe gefunden, dass man einen der Haupteinwände gegen die Anwendung metallener Reflectoren für Hafen- oder Dampfschiff-Feuer durch Firnissen oder Lackiren der Reflectoren, unmittelbar nachdem sie sauber polirt sind, begegnen kann. Ich kann die Anwendung dieser Methode, welche erfahrungsmässig die Politur für sehr lange Zeit in gutem Zustande erhält, empfehlen.

ist das Holzwerk der Laterne, welches die Seitenwände bildet; *mn* (Fig. 67) ist der verglaste Bogen der Laterne; die mit *c* und *f* bezeichneten Strahlen bilden mit einander den von der Admiralität vorgeschriebenen Winkel von  $112^{\circ} 30'$ , welcher zunächst durch das von dem mittleren Theil des Bienenkorbs kommende Licht, welches von den geraden verdichtenden Prismen nicht aufgefangen wird, und ferner durch die von den geraden Prismen kommenden Strahlen beleuchtet wird, welche an jeder Seite ihr Licht über einen Bogen von  $56^{\circ} 15'$ , und demnach zusammen alles auf sie fallende Licht ebenfalls über den Bogen von  $112^{\circ} 30'$  gleichmässig verbreiten. Durch diese Anordnung empfängt ein Beobachter in einer Entfernung von weniger als einer Schiffsbreite nicht nur Lichtstrahlen von dem Central-Apparat, sondern auch von den Seitenprismen. Diese Bemerkung ist nöthig, da es nach der beschränkten Ausdehnung der Zeichnung scheinen könnte, als ob nur die von dem mittleren Theil des Feste-Feuer-Apparats kommenden Strahlen an Bord eines andern Schiffs gesehen werden könnten, ohne diejenigen von den Seitenprismen, welche aber ebenso gut gesehen werden.

Die Flamme wird bei mildem Wetter durch Oeffnen einer Thür in der Ebene des obersten Decks geputzt, während die Lampe bei schlechtem Wetter durch einen Zugang unten von dem Deckhaus aus gewartet werden kann. Das Glaswerk des „Pharos“ wurde durch die Herren Chance in Birmingham angefertigt, welche auch einige Verbesserungen in der Anordnung der Prismen machten; die Hängeringe und sonstigen Einrichtungen lieferten die Herren Slight in Edinburgh.

Es wäre im höchsten Grade wünschenswerth, dass alle Schiffe, und namentlich diejenigen mit grosser Fahrgeschwindigkeit, Laternen der eben beschriebenen Art führten. In unserm veränderlichen, durch plötzliche Wechsel in der Dichtigkeit der Atmosphäre so auffallenden Klima ist es nicht überraschend, dass sich so häufig Collisionen ereignen. Die grosse Zahl der Dampfschiffe, welche unsere Häfen für nächtliche Reisen verlassen und so oft in engem und viel frequentirtem Wasser fahren, und zwar mit grosser Geschwindigkeit, macht es für Erhaltung von Menschenleben und Ladung sehr erwünscht, dass stets der beste optische Apparat angewendet werde. Für diese und ähnliche Feuer mögen die schon auf Seite 12 erwähnten Differential-Reflectoren, die entweder mit continuirlichen Flächen oder aus Facetten von

Glas mit verschiedenen horizontalen und verticalen Krümmungen angefertigt sein können, öconomischer sein als diejenigen des „Pharos“.

**Verdichtender Apparat zu Lochindaal.** Die auf Seite 46 und 47 erwähnten neuen Prismen zur Einwirkung auf die Rückenstrahlen wurden zuerst im Jahre 1869 zu Lochindaal auf der Insel Islay angewendet. Der in Fig. 69 und 70, Taf. VII, in der Vorderansicht und im Verticalschnitt dargestellte Apparat besteht aus einem Festen- oder Bienenkorb-Apparat, welcher durch einen Sector *A* der neuen Prismen überragt und durch verticale gerade Prismen *PP* ergänzt wird. Der Bogen grösster Sichtweite wird durch die neuen Prismen verstärkt, welche ohne Weiteres, d. i. ohne Anwendung eines doppelten Mittels, das Licht über diesen Bogen vertheilen.

Eine andere einfache Methode der Lichtvertheilung ist die, dass man ausserhalb des Bienenkorbs grade Prismen von verschiedener Höhe aufstellt, welche das auf sie fallende Licht über die zu verstärkenden Bögen ausbreiten werden. Die Höhe von solchen graden Prismen bestimmt sich dadurch, dass sie von den obern Theilen des Bienenkorbs so viel Strahlen ungehindert über sich hinweggehen lassen müssen, wie zur Beleuchtung der gegenüberliegenden näheren Ufer nöthig sind; in einigen Azimuthen, bei sehr nahen Ufern, können die oberen total reflectirenden Prismen des Bienenkorbs allein schon das hierfür nöthige Licht hergeben, während an andern Stellen diese Prismen und ein Theil des Refractors erforderlich sein werden. — In einigen Situationen kann es zweckmässiger sein, den ganzen Bienenkorb in einer bestimmten Höhe horizontal abzuschneiden und den Apparat durch horizontal darüber gestellte Theile von Holophoten zu completiren, deren Licht von Prismen aufgefangen und über die fraglichen Azimuthe verbreitet wird.

**Feste-Feuer für ungleiche Sichtweiten, welche den ganzen Horizont beleuchten.** Auf Stationen für Feste-Feuer, welche den ganzen Horizont beleuchten müssen, aber z. B. auf eine dem Ufer sehr nahe Insel gestellt sind, wird es wünschenswerth, in den verschiedenen Azimuthen die Kraft im Verhältniss der Sichtweiten zu vertheilen. Das Licht müsste hier für solche Azimuthe, welche mehr oder weniger stark, als die übrigen, zu beleuchten sind, durch Sectoren von Holophoten in Bündel von parallelen Strahlen gesammelt werden, welche im horizontalen Winkel der verlangten

Kraft proportional sind. Vor die holophotalen Sektoren müssten dann concave Divergirer (Zerstreuungs-Apparate), die in der Verticalen gerade, aber von solcher horizontalen Krümmung wären, dass sie die einfallenden Strahlen über die verlangten Bögen ausbreiteten, gestellt werden. Auf diese Weise macht man das Licht für den ganzen Horizont sichtbar, mit der Kraft eines Festen-Feuers der gewöhnlichen Art in jenen Azimuthen, wo der gewöhnliche Feste-Feuer-Apparat aufgestellt ist, und mit verschiedenen Stärken in den Azimuthen, wo die Holophote und Divergirer sich befinden; denn durch diese Anordnung wird das Licht in der horizontalen Ebene unter das Maass des Lichts von dem gewöhnlichen Apparat reducirt, oder über dieses Maass hinaus verstärkt, im Verhältniss zu dem durch die zusammengesetzte Wirkung der Holophote und der Divergirer veranlassten Hinzufügen oder Abtrennen von Strahlen. Eins von jenen Mitteln könnte im Allgemeinen in dem brechenden Theil des Apparats gespart werden, indem man ihn so einrichtete, dass er horizontal zerstreute oder verdichtete, während er in der Verticalen zu parallelisiren fortführe, obwohl es vielleicht unpractisch sein möchte, eine solche Veränderung für die total reflectirenden Prismen, deren Anfertigung ohnehin schon schwer genug ist, einzuführen. Dies ist indessen von keiner Bedeutung, da es in allen Fällen hinreichend sein würde, die Condensation und Expansion auf diejenigen Strahlen zu beschränken, welche nur durch den brechenden Theil des Apparats gehen, denn selbst die kürzeste Sichtweite würde wahrscheinlich alles von den total reflectirenden Prismen kommende Licht verlangen.

**Zerstreuende doppelt wirkende Prismen.** Fig. 71, Taf. VIII, zeigt eine neue Form von brechenden Prismen, welche wie ein gewöhnlicher Divergirer wirken, um von verschiedenen Apparaten ausgehende Bündel paralleler Strahlen zu trennen. Das Licht der Holophote  $abc$ ,  $a'b'c'$  fällt unter bestimmten Winkeln auf die zerstreuen Prismen  $ppp$ , und diese veranlassen die Strahlen der beiden Holophote, über gegebene Azimuthalwinkel zu divergiren. (Der ganze beleuchtete Winkel ist gleich der Summe der beiden Winkel, über welche die Strahlen der beiden einzelnen Holophote nach ihrem Durchgang durch die Prismen divergiren; sind, wie man wohl in der Regel annehmen kann, diese beiden Winkel und ebenso auch die Einfallswinkel der parallelen Strahlen gleich, so werden die Prismen symmetrisch zu der durch die

äussere Spitze normal zur Einfallsebene gelegten Verticallebene. Aus Fig. 71a erkennt man den Gang der Lichtstrahlen durch ein solches Prisma, wenn dasselbe nur durch Brechung und nicht auch durch totale Reflection wirkt, ein Fall, wie er in der Disposition der Fig. 71 vorliegt. „C. N.“) — Diese oder ähnliche Prismen\*) können in andern Combinationen anwendbar sein, und das zur Erläuterung des Principis gewählte und in Fig. 71 gezeichnete Beispiel, obwohl es keine optische Superiorität besitzt, sichert den finanziellen Vortheil der Anwendung von nur einem zerstreuen Mittel zur Erzielung des Effects, welchen man in der gewöhnlichen Weise durch nicht weniger als zwei Mittel erreichen könnte.

**Verdichtende unterbrochene Feuer und Drehfeuer.\*\*)** Die Figur 72 auf Tafel VIII stellt einen mittleren Horizontalschnitt eines azimuthal verdichtenden unterbrochenen Feuers dar, bei welchem die Zeitdauer von Licht und Dunkelheit innerhalb practischer Grenzen nach irgend welchem Verhältniss disponirt und demnach die Kraft für die erleuchteten Sektoren erheblich vergrössert werden kann, während für jeden einzelnen dieser Sektoren die Kraft überall gleich ist.

Die innere, mit *AA* bezeichnete Zone stellt einen Fresnel'schen Feste-Feuer-Apparat dar, welcher die Strahlen nur in der verticalen Ebene parallelisirt. *CC* sind gerade verticale Prismen, welche, wie bei *D<sub>1</sub>D<sub>1</sub>* gezeigt ist, die von dem Festen-Apparat kommenden Strahlen über Winkel vertheilen, die den zu beleuchtenden Winkeln *DD* gleich sind. Das von dem Festen-Apparat auf die Winkel *DD* fallende Licht wird auf diese Weise für einen entfernten Beobachter durch die von den rotirenden Prismen *CC* kommenden Strahlen verstärkt. Dieselbe Lichtvertheilung, wie sie auf der rechten Seite der Figur dargestellt ist, kehrt natürlich für den ganzen Kreis wieder.

Lässt man die geraden Prismen um den Feste-Feuer-Apparat rotiren, so bringen sie Licht-Intervalle von gleicher Intensität hervor, wenn sie dem Auge des Schiffers zugekehrt sind, und dunkle Intervalle, wenn sie von ihm abgewendet sind.

\*) Solche Prismen können auch eine, oder wie in dem Fall der in Fig. 15, Taf. II, gezeichneten dioptrischen sphärischen Spiegel, zwei total reflectirende Flächen haben.

\*\*) Ein Vortrag des Verfassers, gehalten vor der Royal Scottish Society of Arts am 8. April 1871. (C. N.)

Obwohl es theoretisch möglich ist, durch Zertheilung der cylindrischen Zonen des Feste-Feuer-Apparats in Polygone und entsprechende Formveränderung, vermöge eines einzigen Mittels dieselbe Wirkung hervorzubringen, wie sie soeben beschrieben ist, so würden die Schwierigkeiten der Ausführung doch wahrscheinlich unüberwindlich sein. Indessen könnte der Differential-Reflector für diesen Zweck vortheilhaft verwendet werden, aber es würde dann ein rotirender Rahmen mit einem oder mehreren Reflectoren, von denen jeder seine besondere Lampe hätte, nöthig sein. \*)

Durch Anwendung der gewöhnlichen ringförmigen Linse in Verbindung mit geraden, auf jede Seite ihrer verticalen Achse gestellten Prismen, kann man den kleinen Bogen, welcher durch die Linse in ihrem jetzigen Zustand ungleichförmig beleuchtet wird (vergl. S. 16) von gleicher Intensität im Azimuth über den ganzen Bogen herstellen. Eine solche Anordnung kann für gewisse Fälle der Beleuchtung von Nutzen sein.

Eine Anordnung ähnlich derjenigen für unterbrochene Feuer ist, bei Anwendung sphärisch cylindrischer Linsen, offenbar ebenso anwendbar für ein Drehfeuer, bei welchem ein grösserer beleuchteter Sector verlangt wird, als ihn ein gewöhnlicher Holophotal-Apparat liefert. In diesem Falle würden die Strahlen, anstatt wie beim unterbrochenen Feuer, gleichmässig über den ganzen Bogen vertheilt zu werden, nach den Rändern des Sectors hin an Intensität abzunehmen haben, so dass ein erleuchteter Bogen von irgend welcher gegebenen Ausdehnung im Azimuth hervorgebracht würde, dem ein allmählich an Intensität zunehmender oder abnehmender Bogen vorherginge resp. nachfolgte.

---

\*) Nachdem das Obige geschrieben war, habe ich mittelst eines von meinem Freunde, Herrn Professor Tait, angegebenen sinnreichen Zeichners (trainer) eine in Gyps ausgeführte Form für den Differential-Reflector erhalten. Ich habe elliptische Horizontalschnitte vorgezogen, während die verticalen Schnitte natürlich parabolisch sind. Ich halte es nicht für unmöglich, ein Differential-Holophot zu construiren aus total reflectirenden Prismen, die in heissem Zustande über eine Eisenform gebogen werden, um ihre reflectirenden Oberflächen elliptisch zu krümmen, während die andern Flächen, zur Vermeidung von Refraction, sphärisch und normal zur Richtung der Strahlen bleiben.

### Azimuthal verdichtende Drehfeuer von ungleicher Kraft, etc.

Im Jahre 1861 beschrieb ich im *Edinburgh Philosophical Journal* im Allgemeinen verschiedene Methoden, Drehfeuer zum Condensiren und Expandiren der Strahlen über irgend einen azimuthalen Bogen einzurichten.

**Drehfeuer für ungleiche Sichtweiten, die nicht den ganzen Horizont beleuchten.** Drehfeuer, welche nicht den ganzen Horizont zu beleuchten brauchen, können ähnlich wie Feste-Feuer condensirt werden. Die Kraft kann in den verlangten Richtungen in verschiedener Weise verstärkt werden, der Grösse des Apparats und den localen Forderungen der Küstenlinie entsprechend. So z. B. schien es beim ersten Entwurf des Apparats für den Skervuile-Rock im Jura-Sund am zweckmässigsten zu sein, die vertical geraden Prismen oder Spiegel zur Ablenkung des Lichts in den verlangten Bogen ausserhalb des Dreh-Apparats zu befestigen. \*) Durch diese Anordnung würden jedes Mal, wenn die sich drehenden Linsen aus dem beleuchteten in den dunkeln Bogen treten würden, die von ihnen ausgehenden Strahlenbündel durch die Prismen- oder Spiegelreihe in der Weise reflectirt werden, dass sie über den zu verstärkenden Bogen gingen, welcher auf diese Weise in demselben Augenblick durch ein directes und ein reflectirtes Bündel beleuchtet werden würde. — Zu Mac Arthur's Head, wo man früher einmal (1859) ein Drehfeuer zu errichten beabsichtigte, wurde der Apparat so gross, dass die Laterne die Befestigung von Reflectoren ausserhalb des Apparats nicht gestattete, wie es für Skervuile vorgeschlagen war, und man wollte deshalb die Spiegel mit den Linsen etc. \*\*) rotiren lassen. Jedem Spiegel war eine nach unten hervorragende Stange beigefügt, die an ihrem untern Ende mit einer Rolle versehen war, welche bei ihrem Durchgang durch den dunkeln Bogen auf eine geneigte, auf dem umlaufenden Gang befestigte Ebene trat. Beim Passiren der geneigten Ebene stiegen die Rollen (mit den Stangen) nach aufwärts und schoben die Spiegel vor die Linsen, so dass sie das von einer Linse kom-

\*) *Edinburgh New Philosophical Journal*, vol. I, p. 273.

\*\*) Mein Freund, der Civil-Ingenieur Herr James Balfour, machte mich darauf aufmerksam, dass bei Apparaten von geringer Grösse statt einer Reihe von getrennten Spiegeln ein continuirlicher Spiegel angewendet werden könnte. Dieser Spiegel müsste natürlich nach einer logarithmischen Spirale gekrümmt sein. (Vergl. Anmerk. S. 51. C. N.)

mende Strahlenbündel auffingen und dasselbe parallel zu einem, von einer der andern Vorderseiten des Drehfeuers kommenden Bündel reflectirten, um es in dieser Weise nach dem Azimuth, welches vermehrte Kraft erforderte, zu richten. An der andern Seite des dunkeln Bogens mussten die Rollen durch Herablaufen auf einer andern geneigten Ebene sinken, und die mit den Rollen unter die Ebene der Linsen herabsinkenden Spiegel wurden wieder ausser Thätigkeit gesetzt. Nachdem die Zeichnungen des Apparats beinahe vollendet waren, wurde der Character des Lichts aus einem Drehfeuer in ein Festes-Feuer verändert, so dass der Plan nie practisch ausgeführt ist. Andere mechanische Vorrichtungen mögen indessen in gewissen Fällen den Vorzug verdienen.

**Drehfeuer für ungleiche Sichtweiten, die den ganzen Horizont beleuchten.** Wenn ein Drehfeuer beispielsweise in einem langen und engen Sund aufgestellt und dabei verlangt wird, dass dasselbe den ganzen Horizont bescheine, so ist einleuchtend, dass es, wie ein Festes-Feuer unter ähnlichen Umständen, nicht nach allen Richtungen gleich kräftig sein darf. Die einfachste Methode, die Strahlen passend zu vertheilen, ist in vielen Fällen die, zwischen Lampe und Dreh-Apparat Zonen von sphärischen Spiegeln zu stellen, deren Krümmungsmittelpunkt in der Flamme liegt, oder ausserhalb des Apparats Theile von geraden Prismen oder Spiegeln von solchen horizontalen Krümmungen, wie sie für verschiedene Localitäten nöthig sind, anzubringen, oder eine Combination dieser optischen Mittel. Die Vertical-Dimensionen dieser innern oder äussern Mittel hängen von den Längen der Sichtweiten in den verschiedenen Azimuthen ab, so, dass nur der Theil des Lichts, welcher eigentlich in einem Azimuth gespart werden kann, zur Beihülfe eines andern abgelenkt wird, während sie den übrigen Strahlen die Beibehaltung ihrer ursprünglichen Richtung gestatten. Die verschiedenen Höhen dieser Mittel, welche einen Theil des Lichts von seiner Richtung ablenken, aber dem übrigen Theil noch gestatten, über oder unter ihnen hinwegzugehen, werden deshalb umgekehrt den variabeln Entfernungen der benachbarten Ufer von dem Feuer proportional sein.

Die Disposition der Strahlen könnte in einigen Fällen auch durch eine Modification der schon für Feste-Feuer, welche den ganzen Horizont bescheinen, beschriebenen Methode bewirkt werden. Man müsste zwischen der Lampe und den rotirenden Linsen optische Mittel aufstellen, welche die Strahlen in der verlangten



Weise über die verschiedenen Bögen expandirten oder condensirten. Da aber die auf diese Weise in ihren Richtungen veränderten Strahlen nicht richtig auf die Linsen fallen würden, so würde man dicht an den Linsen noch ein additionelles Mittel\*) aufstellen müssen, um den expandirten und condensirten Strahlen denselben Betrag an Divergenz zu geben, als ob sie gerade vom Mittelpunkt der Flamme, als dem Brennpunkt, für den die Linsen berechnet sind, ausgegangen wären. Setzen wir voraus, dass wir es mit einem Bogen zu thun haben, welcher geschwächt werden soll, weil er einem, dem Feuer nahen Theil der Küstenlinie gegenüber liegt, so würde für diesen Zweck das der Flamme zunächst gestellte Mittel die einfallenden Strahlen veranlassen, gleichsam von einem virtuellen Brennpunkt kurz vor der Flamme auszugehen, oder, mit andern Worten, ihre Divergenz verstärken. Die Wirkung dieses Mittels würde deshalb darin bestehen, die auf dasselbe einfallenden Strahlen, welche von einem nur kleinen horizontalen Theil der Flamme herkommen, zu expandiren und sie über den ganzen grösseren Bogen, für den ein kleinerer Betrag an Kraft hinreichend ist, auszubreiten. Das zweite, den rotirenden Linsen zunächst befindliche Mittel würde diese expandirten Strahlen auffangen, bevor sie auf die rotirenden Linsen fielen, und ihre Divergenz in der Weise reduciren, als ob sie von einem im Mittelpunkt der Flamme belegenen virtuellen Brennpunkt ausgingen, so dass sie dann richtig auf den rotirenden Apparat auffallen würden. Mit andern Worten, das zweite Mittel würde die Wirkung des ersten aufheben, aber erst nachdem die Strahlen gleichförmig über den expandirenden Bogen ausgebreitet und nach auswärts bis nahe an die Linsen vorgeschritten wären. In dem Fall eines condensirten Bogens würde die Anordnung beinahe die Umkehrung des Vorigen sein. In beiden Fällen würden die Mittel nur in der horizontalen Ebene zu arbeiten haben, da der Mittelpunkt der verticalen Krümmungen im Mittelpunkt der Flamme liegt.

In einigen Fällen könnten nahe bei der Flamme Spiral-Spiegel angebracht werden, um das Licht in die verlangte Richtung zu senden, ohne die Richtung, in der es auf die Linse fiel, so wesentlich zu ändern, dass ein zweites Mittel nöthig würde.

**Verdichtendes Drehfeuer zur Beleuchtung eines begrenzten Bogens im Azimuth.** Da ich häufig Gelegenheit gehabt habe, Dreh-Apparate

\*) In einigen wenigen Fällen könnte ein einziges Mittel genügend sein.

für die Beleuchtung begrenzter Bögen zu entwerfen, so mag es nützlich sein, zwei der Formen, die leicht ausführbar erschienen, zu beschreiben. Vorher jedoch ist es nöthig, zu erläutern, unter welchen Bedingungen diese besondere Anordnung von Nutzen sein kann.

Nehmen wir an, dass es nöthig sei, einen kleinen Bogen in einem engen Sund mittelst eines Drehfeuers zu beleuchten, und dass ferner verlangt werde, dass das Licht an beiden Seiten sehr scharf abschneide, um dem Schiffer die Annäherung an gefährliches Gebiet bemerkbar zu machen. Ein gewöhnliches catoptrisches oder dioptrisches Drehfeuer würde für die Lösung dieses Problems durchaus ungenügend sein und ausserdem eine enorme Oelverschwendung involviren. Indem ich als Beispiel einen Fall nehme, wo der zu beleuchtende Bogen  $10^0$  beträgt, und wo das Licht sehr scharf abgeschnitten werden muss, gebe ich die folgende Beschreibung einer Methode, welche den Anforderungen genügt. Es stelle *abc* (Fig. 73 und 74, Taf. VIII) ein Holophot oder einen verdichtenden Feste-Feuer-Apparat dar, in dem die linsenartigen Prismen in Bezug auf den Brennpunkt so angeordnet sind, dass sie  $10^0$  horizontale, und sagen wir auch  $10^0$  verticale Divergenz geben. Was die brechenden Theile dieses Holophots oder Bienenkorbs betrifft, so wird die schon beschriebene sphärisch cylindrische Form die vollkommenste sein (Seite 52 u. ff.)\*. Ferner sei eine linsenartige Trommel *defg*, welche in Fig. 73 im Aufriss und in Fig. 74 perspectivisch dargestellt ist, vorhanden. Jede Wand dieses Apparats, welcher vertical um das Holophot rotirt, muss in der horizontalen Ebene gerade, in der verticalen gekrümmt sein, so dass derselbe, während er die  $10^0$  der horizontalen Divergenz nicht stört, die Strahlen in der verticalen Ebene parallelisirt. Es ist ferner zu bemerken, dass das Holophot in solche Entfernung von der Trommel gestellt werden muss, dass es genau die linsenartigen Wände füllt. Es ist klar, dass, da jede Wand in Front von dem Holophot kommt, sie einen Theil des Himmels beleuchten wird; da sie aber vertical heruntersteigt, so wird der beleuchtete Theil der Wand allmählich wachsen und für den irgendwo innerhalb der  $10^0$  der horizontalen Divergenz befindlichen Schiffer ein Licht erzeugen, welches mehr und mehr kräftig wird, bis die Achsenebene, welche durch den Mittelpunkt des Holophots und die Mittel-

\*) Edinburgh New Philosophical Journal, April 1855.

punkte der linsenartigen Wand gelegt wird, mit seinem Auge coïncidirt. Wenn dieses der Fall ist, so erhält der Schiffer Licht von jedem Theil der linsenartigen Wand. Da aber die verticale Rotation fort dauert, so wird das Licht mehr und mehr abnehmen, bis es ganz verschwindet, worauf eine Periode der Dunkelheit folgt, bis die nächste Wand ins Gesichtsfeld kommt. In dieser Weise wird das für das Drehfeuer charakteristische Wachsen und Abnehmen der Blinke erzeugt, während es einleuchtend ist, dass die Kanten des Lichtbündels ebenso scharf abgeschnitten werden müssen, wie in dem Fall des verdichtenden Feste-Feuer-Apparats: Es ist nur nöthig, zu beachten, dass der Brennpunkt der linsenartigen Trommel, statt im Mittelpunkt der Bewegung, im conjugirten Brennpunkt des Apparats liegen wird. — Die Drehung von rotirenden Schirmen in Front des festen verdichtenden Apparats würde ebenfalls eine charakteristische Unterscheidung hervorbringen.

Verdichtendes Feuer mit horizontal rotirenden Refractoren. Fig. 75 und 76, Taf. VIII, zeigen im mittleren Horizontalschnitt und in der Ansicht ein verdichtendes Feuer mit einer horizontal rotirenden Trommel *defg*, welche aus verticalen geraden Wänden besteht; *abc* ist ein Holophot und *hij* ist eine zerstreue feste gerade Wand. Beim Durchgang des Lichts durch das Holophot wird dasselbe parallelisirt und fällt dann auf die feste zerstreue Wand. Diese, in der verticalen Ebene gerade Wand, ist in der horizontalen Ebene so gekrümmt, dass sie den Strahlen in dieser Ebene eine solche Ablenkung giebt, dass dieselben auf die rotirenden Wände *defg* unter demselben Winkel auffallen, unter denen sie aufgefallen wären, wenn sie mit natürlicher Divergenz von der Flamme im Mittelpunkt der Rotation ausgegangen wären. Sie werden dann durch jede rotirende Wand parallelisirt, wenn dieselbe den gegebenen Bogen passirt.

**Verdichtender sphärischer Spiegel.** Fig. 77 und 78, Taf. VIII und IX, zeigen zwei Methoden, das Licht mittelst eines sphärischen Spiegels *s*, welcher dem Bogen gegenüber, der nicht verstärkt zu werden braucht, durchbrochen ist, zu condensiren. Die so entweichenden Strahlen werden von einem ellipsoidischen Spiegel *e* aufgenommen und convergiren von hieraus nach dem zweiten Brennpunkt dieses Ellipsoïds, dessen erster Brennpunkt natürlich die Flamme ist. Vor, beziehungsweise in diesem Brennpunkt (Fig. 77, resp. 78) werden die Strahlen von einem ebenen Spiegel *m*

aufgenommen, welcher sie durch eine zweite kleinere Oeffnung in dem sphärischen Spiegel direct (Fig. 77), oder, wenn man diese letzte Oeffnung auf noch kleinere Dimensionen reduciren will, mittelst einer Linse  $L$  (Fig. 78) durch den Mittelpunkt hindurch nach dem zu verstärkenden Bogen hin ablenkt.

Der hier erzielte Vortheil hängt natürlich von der relativen Grösse der beiden Oeffnungen in dem Spiegel ab, da die Intensitäten sich nach dem umgekehrten Verhältniss dieser Oeffnungen ändern, so dass das zurückgekehrte Licht  $yy$  sehr viel stärker als das directe Licht  $xx$  ist (Fig. 77), während diese Beziehung bei den in entgegengesetzter Richtung gehenden Strahlen gerade umgekehrt wird.

Dasselbe Princip könnte vertical mit elliptisch gekrümmten Reflectoren und entsprechend geformten Refractoren zur Nutzbarmachung desjenigen Lichts angewendet werden, welches über den dioptrischen sphärischen Spiegel (siehe S. 26 u. 27) entweicht, und da dasselbe auf diese Weise in dem innerhalb des Spiegels belegenen Raum bleiben würde, so würde eine solche Anordnung compacter sein, als die zu Buddonness (Seite 59 und 60). Für die metallenen Reflectoren könnten natürlich dioptrische substituirt werden.

**Differential-Spiegel und Holophot mit metallischer Reflection.** Die Condensation der Strahlen kann durch ein einziges Mittel bewirkt werden, wie Seite 11 und 12 angegeben wurde, und obwohl ich keine grosse Schwierigkeit sehe, diese neue Art von Spiegeln in der dort vorgeschlagenen Weise aus Facetten von versilbertem Glas herzustellen, so fürchte ich doch, dass es nicht so leicht sein wird, einen solchen Spiegel mit einer continuirlichen Fläche zu construiren. Bei Anwendung von Facetten muss jede in der verticalen Ebene, wo es keiner Divergenz bedarf, nach einem parabolischen Profil, oder nach einem dieses Profil berührenden Kreise geschliffen werden, während sie in der Horizontalen von solcher hyperbolischen, elliptischen oder andern Krümmung sein muss, wie sie am besten die verlangte horizontale Divergenz giebt ohne Berührung mit dem Apparat für den centralen Strahlenkegel, welcher mittelst des Bienenkorbs oder mittelst sphärisch-cylindrischer Linsen in der schon beschriebenen Weise behandelt wird.

Ich habe einen Spiegel aus optisch angeordneten Glasfacetten construirt, welche dem Zweck so weit entsprechen, wie es bei ebenen Glasstücken möglich ist. Ich habe auch roh gearbeitete

Streifen von Metallspiegeln mit continuirlicher Fläche gehabt, welche alle ein parabolisches Verticalprofil hatten, und bei denen ein horizontales elliptisches Profil die verlangte Divergenz gab.

Bei genauer Herstellung wird das Differential-Holophot durch ein einziges optisches Mittel die ganze Kugel divergirender Strahlen mit gleichförmiger Dichtigkeit im Azimuth in irgend einen gegebenen Sector sammeln.

---

## Kapitel V.

### Vorschläge für die Beleuchtung von Baaken und Bojen. Tauchende Feuer.

---

Unsere Küsten besitzen für die Schifffahrt zweierlei Arten von Seezeichen, von denen die eine, das Leuchtfeuer, bei Tage und bei Nacht, und die andere, die Baak oder die Boje, nur bei Tage von Nutzen ist. Immer wenn ein Felsen oder eine hervorragende Landzunge zu klein ist, um die Errichtung eines Feuers mit Thurm, Apparat und Logis für die Wärter zu gestatten, oder zu unbedeutend, um eine solche zu lohnen, kann der Ingenieur nur ein blosses Rahmenwerk oder Gerippe von (Holz oder) Eisen, eine sogenannte Baak, dafür substituiren, welche oben gewöhnlich eine Kammer für schiffbrüchige Seeleute enthält, wenn diese überhaupt so glücklich sind, die Baak zu erreichen. Dies ist indessen ein sehr dürftiges Mittel, das nur dazu dient, eine Gefahr bei hellem Tageslicht anzuzeigen, aber bei Einbruch der Nacht, wo es am meisten nöthig ist, seinen Dienst versagt, wenn es nicht sehr nahe ist. Das Uebel wird noch grösser, wenn die Gefahr beständig unter Wasser liegt, wie in dem Fall verlorener Riffe oder treibender Sände; denn in diesen Fällen — es sei denn, dass man zu einem schwimmenden, mit grossen Kosten mit Mannschaft und Proviant ausgerüsteten Feuerschiff seine Zuflucht nähme — muss der Ingenieur sich damit begnügen, über der betreffenden Stelle eine schwimmende Boje zu befestigen, welche zur Nachtzeit nur bei sehr klarem Zustand der Atmosphäre sichtbar ist.

Die Wichtigkeit, diese untergeordnete Klasse von Seezeichen zu dem Rang illuminirter Nachtmarken zu erheben, muss Jedem einleuchten, der irgend Etwas von Küstenschifffahrt versteht. Es erscheint daher nur natürlich, dass ein grösserer Theil der Aufmerksamkeit, welche man mit so gutem Erfolg den Leuchthurm-

Apparaten gewidmet hat, nunmehr auf die Bezeichnung derjenigen Gefahren verwendet werde, welche jetzt zur Nachtzeit unsichtbar sind. Ich werde im Folgenden die verschiedenen Methoden erläutern, welche bis jetzt angegeben sind, um die Wirksamkeit dieser Seemarken zu erhöhen.

**Tauchende Feuer für verlorene Riffe und Molenköpfe.** Die grossen Kosten der Erbauung von Leuchttürmen, wie die auf dem Eddystone und auf dem Bell Rock sind der Grund, weshalb so wenige derartige Bauwerke existiren. Daher sind viele gefährliche Felsen noch nicht mit Leuchtfeuern und noch nicht einmal mit einfachen Baaken versehen. Als ein Beispiel der Schwierigkeiten, welche zuweilen die Construction einfacher Baaken begleiten, will ich den Carr Rock bei Fifeness am nordöstlichen Endpunkt der Landschaft Five anführen, wo man während des ganzen ersten Arbeitsjahres (1813) nur 41 Arbeitsstunden, und während des zweiten Jahres (1814) nur 53 Stunden herausbrachte. Die Errichtung eines Leuchtfeuers auf einem Felsen von so geringer Grösse würde unmöglich oder doch nur mit sehr grossen Kosten auszuführen gewesen sein.

Bei dem ganzen für Leuchtfeuer angewendeten Apparat ist es, wie wir gesehen haben, Absicht, die divergirenden Strahlen zu sammeln und die meisten derselben nach dem Horizont zu dirigiren, so dass die verticale Achse der Lampe und des Apparats gegen die Ebene des Horizonts nahezu rechtwinklig gestellt ist. Der Apparat für tauchende Feuer dagegen hat, obwohl er in anderer Beziehung dem gewöhnlich gebrauchten ähnlich ist, eine unter irgend einem gegebenen Winkel gegen den Horizont geneigte Achse, so dass die Strahlen, anstatt horizontal, abwärts auf die See gelenkt werden unter einem Winkel gleich der Neigung der Achse des Apparats und der Lampe. Um die Anwendung dieser Anordnung zu erläutern, sei in Fig. 79 und 80, Taf. IX, *A* ein auf ein Vorgebirge oder eine Insel gestellter Leuchtturm; *B* bezeichne einen verlorenen Felsen oder eine gefährliche Untiefe, *CCCC* die Grenzlinie der nächsten hohen See, innerhalb welcher Grenzlinie bei Nachtzeit kein Schiff ohne Gefahr kommen darf. In einem solchen Fall besteht Alles, was nöthig ist, um die Schiffe über das unsichere Gebiet im Klaren zu halten, darin, die Lampe und den Reflector unter einem solchen Winkel zu neigen, dass die Strahlen abwärts auf die Fläche *CCCC* geworfen werden, so dass, sobald ein Schiff das tauchende Licht in Sicht bekommt,

es Zeit ist, umzulegen, da die Grenzlinie der Sicherheit überschritten ist. Fig. 81, Taf. IX, zeigt eine malerische Ansicht des Lichts. — Wird ein dioptrischer Apparat angewendet, so müssen alle Theile so eingerichtet werden, dass sie den Strahlen in der verticalen Ebene die verlangte Tauchung geben. Soll der Leuchthurm nicht nur dazu dienen, die Grenzen der Sicherheit hervorzuheben, sondern auch die Lage der Landspitze oder Insel, auf welcher er errichtet ist, markiren, so wird es am zweckmässigsten sein, das Licht, welches die Landspitze bezeichnen soll, von anderer Farbe als das tauchende Feuer, und unabhängig von diesem herzustellen. Das nicht für grosse Entfernungen bestimmte Tauchfeuer kann von geringerer Kraft und rother Farbe sein, während man dem andern seine natürliche Farbe und grössere Kraft giebt. So lange dann nur das weisse Licht sichtbar ist, ist also keine Gefahr zu befürchten, aber sobald das rothe bemerkt wird, ist die Grenzlinie der Sicherheit überschritten, und es ist Zeit, den Cours des Schiffs zu ändern.\*)

Das tauchende Feuer ist von gleichem Princip mit einem von Herrn Alan Stevenson im Jahre 1841 für Eisenbahnzwecke vorgeschlagenen Nachtsignal, dessen Beschreibung in den Transactions of the Royal Scottish Society of Arts gedruckt wurde. Dasselbe bestand aus einer Anordnung, durch welche der Zugführer bei seiner Annäherung an die Station mittelst plötzlicher Kreuzung eines tauchenden Strahlenbündels gewarnt wurde. Ich habe nach der ersten Veröffentlichung der Beschreibung des tauchenden Feuers erfahren, dass viele Jahre vorher zu Beachy Head ein Licht nach diesem Princip in Gebrauch war; aber ich bin nicht im Stande gewesen, ausser dem einfachen Bericht, dass es seinem Zweck nicht entsprach, irgend Etwas über seine Ge-

\*) Würde ein tauchendes Feuer so eingerichtet, dass es sich in einer verticalen Ebene mit gleichförmiger Geschwindigkeit bewegte, so würde die Zeitdauer der Sichtbarkeit des Lichts von der Entfernung desselben von dem Beobachter abhängen, so dass, wenn man es unter besondern localen Verhältnissen für wichtig genug hielte, eine derartige Anordnung so construirt werden könnte, dass jede Zeitsecunde, während der das Licht sichtbar sein würde, mit der Entfernung von einer Meile oder einer gewissen Anzahl von Meilen vom Ufer ab correspondirte. Oder die Entfernungen könnten durch Strahlen von verschiedener Farbe, die unter verschiedenen Winkeln tauchen, markirt werden. Ich erwähne diese Anordnungen nur als Ideen, welche vielleicht in ähnlicher Weise, wie ich angegeben habe, vortheilhaft angewendet werden könnten.



schichte zu erfahren. Sehr wahrscheinlich entsprang die Schwierigkeit aus zu grosser verticaler Divergenz. Die Mittel, dieser Schwierigkeit zu begegnen, sollen gleich angegeben werden.

Diese Art von Lichtern kann, wenn sie sonst angemessen befunden werden, vorthellhaft bei Nebeln gezeigt werden. Unglücklicherweise können Seefeuer, da ihre stärksten Strahlen nach dem Horizont gehen, bei Nebelwetter nicht so nützlich sein, als wenn das stärkste Licht nahe an der Küste gezeigt würde. Dahingegen könnte man, wenn die Reflectoren eines Drehfeuers um eine durch den Brennpunkt verlaufende Achse drehbar wären, so dass man ihnen eine Depression geben könnte, das Bündel von parallelen Strahlen bei sehr trübem Wetter eintauchen lassen, um das tatsächliche Anrennen gegen die Küste dicht bei dem Leuchtturm, wie es 1853 bei Howth vorkam, zu verhindern; oder es könnte, wenn man es für sicherer hielte, ein unabhängiger Apparat für diesen Zweck substituirt werden. Aus Beobachtungen an einem, 220 Fuss über dem Meeresspiegel aufgestellten Licht ergab sich, dass in Entfernungen von  $\frac{3}{4}$  bis 1 Meile von der Küste das Licht entschieden schwächer war, als in etwas grösserer Entfernung, so dass, wenn Schiffe bei 1 Meile Entfernung von der Küste nicht im Stande sein sollten, ein solches Licht wahrzunehmen, sie es unmöglich bei weiterer Annäherung gegen die Küste sehen würden.

Bei Anwendung von Gas zur Illumination von Leuchttürmen kann bei starkem Nebel leicht ein grösseres Quantum dieses Brennstoffes consumirt (und dadurch ein intensiveres Licht erzeugt [C. N.]) werden. Herr Wigham in Dublin hat auf diesen Vorzug von Gas dem Oel gegenüber hingewiesen und einen aus 120 Röhren bestehenden Brenner vorgeschlagen, welcher für diesen Zweck bequem angewendet werden kann, ohne irgend eine Aenderung der optischen Theile des Apparats zu bedingen.

Der practische Einwand gegen das tauchende Feuer ist seine zu grosse Divergenz; denn es ist nicht wünschenswerth, dass die Strahlen über eine gewisse begrenzte Entfernung, um den gefährlichen Punkt herum, hinaus verbreitet werden, und der Nichterfolg zu Beachy Head rührte, wie bereits erwähnt, wahrscheinlich von dieser Ursache her. Wenn z. B. ein Holophot von kleinen Dimensionen sein axiales Strahlenbündel seewärts nach dem Riff gerichtet hätte, um sein stärkstes Licht nach diesem Punkt zu werfen, so würde die Basis des divergirenden Kegels viele Meilen See bedecken, es sei denn, dass der Apparat eine starke Tauchung

hätte, was nur dann der Fall sein könnte, wenn der Thurm sehr hoch und der gefährliche Punkt sehr nahe bei der Küste wäre. Ohne Zweifel würde die geringe Divergenz des electricischen Lichts — (wegen der geringen Ausdehnung des electricischen Funkens im Vergleich zu der Flamme einer Oellampe, so dass ersterer dem „mathematischen“ leuchtenden Punkt weit näher steht als letztere) — dieses Uebel sehr verkleinern, aber es giebt wenige Situationen, wo es verständlich ist, eine derartige Beleuchtungsmethode zu unterhalten.

Es ist indessen möglich, die Divergenz einer gewöhnlichen Flamme auf irgend einen bestimmten Betrag zu reduciren, und zwar durch folgenden Kunstgriff, der in vielen Fällen leicht ausführbar sein dürfte und dann das beste Licht nach der verlangten Stelle schickt. \*) Setzen wir einen Fall voraus, wo der nothwendige Betrag an Divergenz durch einen kleinen Argand-Brenner, welcher hinter einer ringförmigen Linse erster Ordnung, und zwar exfocal in der verticalen Richtung, aufgestellt wäre, würde gegeben werden. Die auf diese Weise mit der nöthigen Tauchung austretenden Strahlen würden abwärts gerade auf den zu beleuchtenden Theil der See geworfen werden, aber alle über die Ränder der Linse entweichenden Strahlen würden noch verloren gehen. Fig. 82, Taf. IX, stellt eine Anordnung dar, um den Apparat holophotal zu machen. \*) Werden Linse und Lampe vor einem auf gegebener Höhe liegenden Fenster des Leuchthturms aufgestellt, so werden die Strahlen, welche sonst entweichen würden, durch den unterhalb der Flamme gestellten sphärischen Spiegel *S* und durch das über die Flamme gestellte Holophot mit verticaler Achse parallelisirt und nach aufwärts geschickt. Der ebene Spiegel *M* von gegebenen Dimensionen ist einem andern Fenster des Thurms gegenüber befestigt, und zwar in solcher Höhe, dass er nur denjenigen Theil der Strahlen auffängt, welcher die verlangte Divergenz hat. Dieser Lichtkegel wird, vermittelt der Justirung des Spiegels *M* auf den erforderlichen Reflectionswinkel, abwärts gelenkt nach dem Punkt der Gefahr hin, um die Strahlen von der ringförmigen Linse zu verstärken. Auf diese Weise (werden die zu stark diver-

---

\*) Proposals for the Illumination of Beacons and Buoys by T. Stevenson. Edinburgh 1870.

\*\*) Um Unklarheit in der Zeichnung zu vermeiden, sind die divergirenden Strahlen nur von dem Rand des Holophots dargestellt.

girenden Strahlen an den übrigen ganz getrennt und können frei entweichen, und es [C. N.] wird allein der verlangte Flächenraum auf dem Meere beleuchtet. Es ist klar, dass in jedem Falle die Entfernung des Spiegels  $M$  von dem Holophot der verlangten Divergenz proportional sein muss. Ist diese Entfernung grösser als die disponible Thurmhöhe, so könnte der Spiegel, wenigstens auf Landstationen, wo es nicht an Platz fehlt, in der richtigen horizontalen Entfernung aufgestellt werden, und müsste in diesem Falle natürlich auch die Achse des Holophots horizontal sein.

**Localitäten, für welche tauchende Feuer nicht anwendbar sind.**

Der eben beschriebene Vorschlag kann, obgleich er ausserordentlich einfach ist, mit Gottes Hülfe vielleicht ein Mittel werden, um Menschenleben und Gut zu retten. Es giebt indessen viele Localitäten, wo derselbe nicht anwendbar ist, wie z. B. an Orten, wo das Land niedrig und die Gefahr verhältnissmässig weit entfernt ist, oder wo, was sehr häufig der Fall ist, nur wenig Seeraum vorhanden ist und der gefährliche Punkt, welcher Art er auch sei, auf geringe Entfernung passirt werden muss. Zu dieser letzteren Art von Localitäten gehören Felsen in den Einfahrten von Buchten und Rheden, wo das Fahrwasser nicht breit ist, auch enge Sunde und die Einfahrten zwischen den Molen künstlicher Häfen, welche häufig in grösster Nähe umfahren werden müssen.

In solchen Fällen muss man zuweilen dicht an einem Molenkopf, zuweilen an dem andern hinsegeln, je nach der Richtung des Windes; und die Gewinnung des Hafens ist in stürmischem Wetter so kritisch, dass selbst eine Entfernung von einer einzigen Yard bedeutungsvoll werden kann. Nur Diejenigen, welche aus eigener Erfahrung die Besorgniss kennen, die man bei schwerem Seegang bei nächtlicher Einfahrt in einen eng ausmündenden Hafen fühlt, vermögen die hohe Wichtigkeit davon, auf möglichst grosse Entfernung hin die genaue Lage des luvseitigen Molenkopfs erkennen zu können, zu würdigen.

Es kommt sehr häufig vor, dass Diejenigen, welche die Kosten der Häfen tragen, sich damit begnügen, nur eine von den Molen am Eingang ihrer Häfen zu beleuchten. Durch diese öconomische Einrichtung wird die constante jährliche Ausgabe zur Unterhaltung zweier getrennter Etablissements vermindert. In vielen Fällen indessen resultirt diese Art und Weise aus der Unmöglichkeit, auf den äussern Hafendämmen, über welche bei stürmischem Wetter die Wellen hinüberschlagen und auf denen dann kein Lampen-

wärter mit Sicherheit gehen kann, ein Feuer wirksam zu unterhalten. Es ist in der That nichts Anderes, als was die Vorsicht dictirt, wenn Hafen-Commissionen vor der Verantwortlichkeit zurückschrecken, an solchen Stellen Leuchtfeuer zu errichten, wo ihre Unterhaltung bei stürmischem Wetter zweifelhaft sein würde; denn es darf als ein Grundsatz in der Ingenieurkunst der Leuchtfeuer betrachtet werden, dass es besser ist, gar kein Licht zu haben, als ein solches, dass dem Verlöschen ausgesetzt ist. In einigen Häfen ist in der That der äusserste Hafendamm ganz ausser Verbindung mit dem Ufer, und wegen seiner isolirten Lage nur bei ruhigem Wetter in einem Boot zu erreichen. Zu Peterhead und im innern Hafen zu Pulteneytown wurden unter der Oberleitung der Gebrüder Stevenson auf den landseitigen, anstatt auf den seeseitigen Molen Leuchtfeuer errichtet, und es wurde den ersteren nur aus dem Grunde der Vorzug gegeben, weil die auf den mehr geschützten Dämmen errichteten Thürme mit grösserer Sicherheit zu erreichen sind. In einem andern Hafen wurde eine Zeit lang auf dem seeseitigen Ende der Mole ein Feuer mit grosser Schwierigkeit und Gefahr unterhalten, bis einmal die Wellen in den Thurm brachen und der Lampenwärter beinahe ertrunken wäre, da er anderthalb Stunden lang nicht im Stande gewesen war, das Land zu erreichen. Nach diesem Zufall wurde das Licht nach einem andern, mehr sichern Platz auf dem landseitigen Ende des Dammes verlegt, wo es noch besteht.

**Scheinbare Feuer.** Aus dem Vorstehenden ist ersichtlich, dass in solchen Situationen, wie wir sie erwähnt haben, das Princip der tauchenden Feuer vollständig unanwendbar ist und ein Feuer der gewöhnlichen Art nicht unterhalten werden kann. Es ist deshalb nöthig, zu einem andern Auskunftsmittel zu greifen, auf welches die genannten Vorwürfe nicht anwendbar sind. Die blendenden Reflectionen der Sonnenstrahlen, welche oft durch Glasstücke oder glisirte Thonscherben, wenn diese durch den Pflug auf weit entferntem Felde aufgekehrt sind, erzeugt werden und die brillanten Reflectionen unserer Strassenlaternen von Wasserpflützen oder nassen Theilen der Strasse aus, veranlassten mich, an die folgende Beleuchtungsmethode für Molenköpfe und untertauchende Felsen, deren Princip seitdem mit vollkommenem Erfolg am Eingang der Bay von Stornoway und an andern Orten angewendet ist, zu denken.

Das scheinbare Feuer zur Bezeichnung von untertauchenden

Felsen, welches im Nachstehenden beschrieben werden soll, besteht aus gewissen Formen von Apparaten, die bestimmt sind, den Strahlen eines parallelen, von einer entfernten, an der Küste aufgestellten Lampe ausgehenden Bündels eine gegebene Divergenz zu ertheilen (siehe Fig. 83, Taf. IX, welche den Leuchthurm und das scheinbare Licht an der Bai von Stornoway in malerischer Ansicht darstellt). Durch diese Methode, die parallelisirten Strahlen wieder zu zerstreuen, wird eine optische Täuschung hervorgerufen, durch welche dem Auge des Seemanns eine Lampe an einem Ort zu brennen scheint, wo in Wirklichkeit keine ist und wohin auch kein Lampenwärter, um eine solche zu warten, kommen könnte.

Die Bai von Stornoway (siehe die Situation in Fig. 84, Taf. IX), an deren äusserem Ende die Stadt Stornoway liegt, ist ein bekannter Ankerplatz an der Insel Lewis, dessen Schutz von den Schiffen, die jene Fahrwasser frequentiren, seit langer Zeit hoch gepriesen ist. Sie ist etwa eine Meile lang und ihre Einfahrt circa eine halbe Meile breit, aber der nutzbare Seeraum für ein einlaufendes Schiff wird, besonders zur Nachtzeit, wesentlich reducirt durch ein Riff *B*, welches vor Arnish Point (*A*) an der Südseite der Einfahrt liegt. Um diesen geschützten Ankerplatz bei Nacht gleich nützlich wie bei Tag zu machen, wurde durch die Commission der Nördlichen Leuchtfeuer auf Arnish Point ein Drehfeuer nach dem Holophotal-System errichtet; und auch auf dem vor der Spitze liegenden Riff wurde eine Baak errichtet, auf der das scheinbare Feuer aufgestellt ist. Die Errichtung eines Leuchtfeuers, um diesen werthvollen Zufluchtshafen aufzuschliessen, war lange besprochen worden, und die Gefahr des Arnish-Felsen wurde so sehr gefühlt, dass es vorgeschlagen wurde, den Thurm nicht auf dem festen Lande, sondern auf dem Felsen selbst zu errichten, was natürlich mit grossen Kosten verknüpft gewesen wäre.

Die Baak und der Apparat auf Arnish Rock sind zu Fuss nur zur Zeit des Niedrigwassers bei Springtiden und sonst nur im Boot zu erreichen. — Die dicke Linie *AB* in Fig. 84 stellt die parallelisirten Lichtstrahlen dar, welche von dem Feuer am Ufer ausgehen, und die von *B* aus divergirenden Linien bezeichnen die Richtungen der Lichtstrahlen, nachdem sie die Baak verlassen haben. Für den allgemeinen Gebrauch ist für die Schiffer, welche jene Küste befahren, in der Laterne auf der Spitze des Thurmes am Lande ein Dreh-Apparat aufgestellt, während sich weiter abwärts im Thurm ein Fenster befindet, vor dem ein Holophotal-

Apparat steht, welcher das von ihm ausgehende Bündel  $AB$  von parallelen Strahlen auf die Baak wirft (vergl. Fig. 83). Der Apparat hat  $20\frac{1}{2}$  Zoll Durchmesser, an der Hinterseite einen halbkugelförmigen Zinkreflector, und das Licht wird durch einen einzigen Argand-Brenner von gewöhnlicher Grösse (etwa 1 Zoll Durchmesser) geliefert. Die Baak auf Arnish Rock ist etwa 530 Fuss von dem Leuchtturm entfernt, und liegt dem Ankergrunde etwas näher als letzterer, so dass das Parallelstrahlen-Bündel bis zu einem gewissen Grade nach dem vordern Theil der Bucht gerichtet sein muss. Die Baak ist ein abgestumpfter Kegel aus Gusseisen von 25 Fuss Höhe und trägt oben den optischen Apparat des scheinbaren Lichts; der Brennpunkt des Apparats liegt mit dem Mittelpunkt des Fensters im Thurm und mit dem Brennpunkt der Lampe und des Holophotal-Apparats, welche, wie erwähnt, vor jenem Fenster aufgestellt sind, genau auf derselben Horizontalebene, so dass die von dem Fenster kommenden Strahlen direct auf den Apparat für das scheinbare Licht fallen und durch ihn zerstreut werden.

In den Notizen, welche meiner Abhandlung über das Holophotal-System für die Illumination von Leuchttürmen, die ich der Royal Scottish Society of Arts mittheilte, angefügt waren, gab ich einige Bemerkungen über die Möglichkeit von scheinbaren Lichtern, und schlug auch verschiedene Methoden vor, die nöthigen optischen Apparate zu construiren. Ich will mich hier deshalb damit begnügen, diejenige Methode zu beschreiben, welche für Stornoway als die beste gewählt wurde.

Der versilberte ebene Spiegel  $AA$  in der Fig. 85, Taf. X, welche den Apparat auf der Baak zeigt, ist 1 Fuss 8 Zoll breit und 2 Fuss 3 Zoll hoch; er wurde nebst einer Reihe von geraden brechenden Glasprismen  $BB$ , welche unter einem horizontalen Winkel von  $45^\circ$  gegen ihn geneigt sind und ihn an einer Ecke beinahe berühren, befestigt. Die angewendeten Prismen sind den schon für verdichtende Feuer beschriebenen gleich, indem sie mathematisch durch die zur verticalen Achse parallele Bewegung des mittleren Horizontalschnitts einer ringförmigen Linse erzeugt werden; so dass, wenn die parallelen Strahlen  $sss$  nach ihrer Reflection von dem Spiegel  $AA$  auf die gekrümmten Seiten dieser Prismen fallen, sie durch diese, ohne Brechung in der verticalen Ebene, horizontal so abgelenkt werden, dass sie sich in dem Hauptbrennpunkt  $F'$  schneiden und demnach von hier aus unter dem-

selben Winkel, nach ihrem Durchgang durch den Brennpunkt, divergiren, unter welchem sie vorher in Folge der Brechung der Prismen gegen diesen Punkt hin convergirten. Die Prismen, welche mit dem Spiegel von gleicher Höhe und zusammen 14 Zoll breit sind, sind so construirt, dass sie die Strahlen über einen Winkel von  $62^{\circ}$  vertheilen. Auf diese Weise werden die parallelen Strahlen, welche unter einem horizontalen Winkel von  $45^{\circ}$  auf den Spiegel fallen, von ihrer ersten Richtung um  $90^{\circ}$  abgelenkt, worauf sie dann die Glasprismen zu passiren haben und von diesen, von einem gemeinschaftlichen Brennpunkt ausserhalb der Laterne aus, über einen Winkel von  $62^{\circ}$  vertheilt werden. Es ist demnach klar, dass der Minimalwinkel der definitiven Ablenkung der Strahlen von ihrer ursprünglichen Richtung in dem parallen Bündel *AB* (Fig. 83 und 84, Taf. IX)  $59^{\circ}$ , der Maximalwinkel dagegen  $121^{\circ}$  beträgt. Diese Disposition der Lichtstrahlen hat dieselbe Wirkung, die erzeugt werden würde, wenn in der Laterne der Baak eine Lampe brennte; darum auch ist dieser Anordnung die Bezeichnung scheinbar gegeben, um sie von den in gewöhnlicher Weise angeordneten Feuern zu unterscheiden.

Ich will noch erwähnen, dass im Jahre 1860 — das Baaklicht wurde 1852 eröffnet — noch eine kleinere Laterne oberhalb der ursprünglich vorgesehenen, die eben beschrieben ist, aufgestellt wurde. In diese kleinere Laterne wurde ein Spiegel gestellt, dessen Krümmung den einfallenden parallelen Strahlen direct und ohne Anwendung eines zweiten brechenden Mittels die erforderliche Ablenkung giebt, um das Licht über den verlangten Bogen zu vertheilen.

Da der versilberte Spiegel auf der Baak der Beschädigung durch feuchte Luft und Seewasser ausgesetzt ist — welches letztere bei schweren Kühlen in grosser Menge und mit grosser Heftigkeit über die Baak schlägt — so erschien es rathsam, die Laterne hermetisch zu verschliessen. Dies wurde in Edinburgh in einem Trockenraum ausgeführt, wo die Laterne zwei Tage lang, bevor das Verkitten stattfand, aufgestellt wurde, damit alle Theile vollständig ausgetrocknet sein sollten. Es mag nützlich sein, zur Lehre für Andere hier zu bemerken, dass bei diesem Verschliessen ein Missgriff begangen wurde, indem die Sonnenwärme nicht gebührende Berücksichtigung fand. Nachdem die Laterne hermetisch verschlossen war, wurde sie nach Stornoway gebracht und sicher auf der Baak befestigt. Das Licht wurde am 1. Januar eröffnet,

und die Laterne blieb während der kalten Wintermonate vollständig luftdicht. Aber kaum war die Sonnenwärme gekommen, als der Kitt weich wurde und die Seeluft zwischen der viereckigen Glasscheibe und dem Rahmen Zutritt zu dem Innern bekam, in Folge dessen sich ein dicker Nebel über das Glaswerk verbreitete. Um dem abzuhelpen, war es nöthig, die Luft frei zutreten zu lassen, um das Innere zu ventiliren; seitdem ist die frühere Wirksamkeit des Lichts wieder hergestellt, aber die Versilberung des Spiegels war fortan nicht mehr unzerstörbar, was bei Ausschluss der Luft der Fall gewesen wäre.

Der Leser wird hier irgend eine Aeussertung über die Wirkung des scheinbaren Lichts auf Arnish Point, wenn dasselbe vom Deck eines Schiffes aus gesehen wird, erwarten. Ich bedaure, dass ich, soweit es persönliche Beobachtungen betrifft, dazu nicht im Stande bin, und muss deshalb bitten, mir Referate über Erklärungen zu gestatten, welche die Lampenwärter im Jahre 1853 von Schiffskapitänen erhielten, die in der Nähe des Feuers zu Anker gegangen waren. Ich glaube, es wird beim Durchlesen dieser Darlegungen vollständig klar werden, dass das Ziel, welches durch Errichtung eines wirklichen Feuers auf dem Riff hätte erreicht werden können, vollständig erreicht ist, während die grossen Kosten der Construction und der nachherigen Unterhaltung gespart sind:

„Stornoway-Leuchtthurm, den 15. April 1853. — Gestatten Sie mir, Ihnen die wenigen Bemerkungen mitzuthemen, welche ich in Betreff des Baaklichts erlangt habe. Ich habe mit allen Leuten gesprochen, von denen ich wusste, dass sie gute Gelegenheit gehabt hatten, das Licht zur Nachtzeit zu sehen und zu beobachten. Die Fischer und kleinen Gewerbe halten für sich das Baaklicht für vortheilhafter, als das Licht in der Laterne am Ufer. Wenn die See sich an der Baak bricht, so wird das von dem Schaum reflectirte Licht in beträchtlicher Entfernung gesehen. Wenn man sich auf der Rhede, etwa 16 Yards von der Thurmthür, WNW von der Baak befindet, und wenn man mit S oder SSO in die Bucht einfährt, so ist das Licht von der Baak her ungefähr ebenso kräftig, wie einer von den alten (früher für Leuchtfeuer gebräuchlichen) Spiegelreflectoren. An anderen Punkten, wo das Licht gesehen wird, erscheint es wie eine gewöhnliche Schiffslaterne. — Alle stimmen darin überein, dass das Licht auf der



Baak sehr nützlich ist, und es um so mehr sein würde, wenn es überall in gleicher Weise sichtbar wäre, wie auf den beiden erwähnten Stellen.\*) — (Gez.) Alex. Campbell, Lampenwärter.

Ich, John Urie, Kapitain des Dampfers Islay, zur Zeit zwischen Glasgow und Stornoway fahrend, erlaube mir, nachdem ich von Herrn Campbell, Lampenwärter zu Arnish, aufgefordert bin, zu erklären, ob ich irgend welchen Nutzen in der Beleuchtung der Baak auf Arnish Point gefunden habe, folgende Darlegung zu machen:

Ich bin, glaube ich, seit der Illumination der Baak drei verschiedene Male zur Nachtzeit nach Stornoway gekommen, nachdem ich durch schlechtes Wetter aufgehalten war; ich hatte auch bei der Einfahrt in die Bucht schlecht Wetter und habe grossen Nutzen von dem von der Baak scheinenden Licht gehabt. Selbst das Licht von dem Thurm zeigt die Baak ganz deutlich, vorzüglich bei rauhem Wetter. Wir fahren immer zur Nachtzeit ab nach Glasgow, bei jedem Wetter, und meine Meinung ist die, dass das Licht auf der Baak eine vortreffliche Erfindung ist, um schlechtes Fahrwasser zu zeigen. Als eine Verbesserung würde ich es betrachten, wenn man das Licht so herrichten könnte, dass es mehr über den ganzen Compass zeigte, da es von seewärts nicht sehr stark scheint, sondern nur von Süd zum Westen — ich meine Süd zum Westen von der Baak her. Indessen, Niemand kann sich dem Hafen nähern, ohne das Baaklicht zu sehen. — (Gez.) John Urie, den 23. März 1853.

1) Ich sah ganz deutlich das den Hafen von Stornoway bezeichnende Baaklicht.

2) Ich halte das Baaklicht für sehr nützlich, wenn dunkle Nacht den Felsen umgiebt.

3) Ich habe keine Verbesserungsvorschläge für das Baaklicht zu machen.

4) Ich habe es sowohl bei schlechtem, wie bei gutem Wetter gesehen.

\*) Diese Ungleichförmigkeit wird theilweise dadurch veranlasst, dass das Licht nahe an den Seiten der Laterne zu schief auf die äussere Glasscheibe fällt. — Dem Mangel könnte in hohem Grade abgeholfen werden, wenn man diese Scheibe cylindrisch machte, so dass ihr Krümmungsmittelpunkt mit dem Brennpunkt, in dem die Strahlen wieder vereinigt werden, coincidirte, und wenn man die in dem Kapitel über azimuthal verdichtende Feuer beschriebenen Anordnungen adoptirte (vergl. Fig. 86, 88, Taf. X; Fig. 55, Taf. V, und Fig. 62, Taf. VI).

5) Ich betrachte solche Baaklichter als wichtig für alle derartigen Felsen der britischen Küste. — (Gez.) John Morison, Kapitain der „Mail Packet“.

Mein Herr — In Beantwortung der das Baaklicht betreffenden Fragen habe ich zu bemerken:

1) dass ich es bei zwei Gelegenheiten deutlich aus beträchtlicher Entfernung sah, einmal in einer sehr stürmischen, dunkeln Nacht, und auch in der letzten Nacht bei hellem Mondschein.

2) Seine Nützlichkeit steht ausser Frage. — (Gez.) J. Macdonald, von der „Rover's Bride“. — Stornoway, den 26. März 1853.

Granton, December 6, 1853. Dampf-Tender „Pharos“. Mein Herr — Ihrem Wunsche gemäss constatiren Herr Watt und ich, dass die grösste Entfernung, aus der wir das scheinbare oder reflectirte Licht auf der Baak, die auf dem Riff vor dem Stornoway-Leuchtthurm aufgestellt ist, gesehen haben, so genau wir es beurtheilen können, ungefähr eine Meile aus einer südsüdwestlichen, und drei Viertel Meilen aus einer südöstlichen Richtung beträgt. Wir haben verschiedene Gelegenheiten gehabt, es zu beobachten, während wir uns dem Hafen von Stornoway in dunkeln Nächten näherten, und haben es entschieden von grossem Nutzen gefunden, besonders da wir uns selbst, ehe dieses Licht eröffnet war, innerhalb zweier Kabellängen von der Baak befunden haben, ohne sie deutlich sehen zu können, weil die enge Einfahrt durch das hohe Ufer verdunkelt wurde. Wir können jetzt mit Sicherheit und Vertrauen fahren, weil wir wissen, dass wir in den oben angegebenen Entfernungen in der dunkelsten Nacht das scheinbare Licht auf der Baak erspähen können, und wir halten dasselbe für eine Wohlthat für alle Schiffer, die den Hafen von Stornoway benutzen. — (Gez.) Peter Anderson, Kapitain. William Watt, Steuermann.

Stornoway, den 4. Januar 1854. — Wir bezeugen hiermit, dass wir zur Nachtzeit in den Hafen von Stornoway einliefen, und Licht und Baak sehr nützlich für die Erreichung des Hafens fanden. Wir sahen das Licht, bei veränderlichem Wetter, deutlich aus einer Entfernung von einer vollen Meile. — (Gez.) Murdo M'Lean, Patron. John M'Kenzie, Patron. John M'Lean, Patron.

Schooner „Norge“, den 9. Mai 1853.

1) Ich sah das Baaklicht deutlich aus der Ferne.

2) Ich halte dasselbe für sehr nützlich.

3) Ich bin der Meinung, dass es nicht besser gestellt werden könnte.

4) Ich legte die ganze Nacht vor dem Feuer bei, bei starker Brise und dickem Wetter, und fand die Baak und das Feuer von grossem Nutzen.

5) Ich würde ähnliche Feuer für alle Felsen an der britischen Küste, wo solche errichtet werden könnten, empfehlen. — (Gez.) P. P. Strand, von dem Schooner „Norge“ aus Drunton, Norw.

Brigantine „Thomas“, aus Belfast. — Ich bezeuge hiermit, dass ich drei Mal, bei frischem Wind aus NNO, leicht NzW $\frac{1}{2}$ W haltend, in 1 $\frac{1}{2}$  Meilen Entfernung an dem Leuchtfeuer von Arnish vorbeiführ, und dass ich die Reflection des Lichts auf der Baak jede Nacht sehr deutlich sah; ich betrachte dasselbe als sehr nützlich für Schiffe, die in diesen Hafen einlaufen wollen. — (Gez.) John Keay, Kapitain. Stornoway, den 31. December 1853.

Fig. 86, Taf. X, stellt im Grundriss die Details eines scheinbaren Feuers zur Beleuchtung des ganzen Halbkreises dar. Die äussere Glasscheibe ist von halbcylindrischer Form, um dem durch schiefes Auffallen der Strahlen verursachten Lichtverlust vorzubeugen. *ppp* sind gerade, total reflectirende rechtwinklige Prismen.

Die bereits im Kapitel IV, Seite 46 ff. und Seite 63, beschriebenen neuen Prismen, welche zu Lochindaal angewendet sind, können durch eine einfache Modification sehr brauchbar gemacht werden für scheinbare Lichter, und es sollen demnächst gerade verticale Prismen von ähnlichem Querschnitt auf der Baak auf dem Arnish-Felsen, statt des ursprünglichen Apparats Fig. 85, angewendet werden, um das Bündel von parallelen Strahlen, welches von dem Holophot in dem Thurm am Ufer herkommt, durch ein einziges Mittel (von Glas) über den seeseitig belegenen Bogen von 62° zu verbreiten. Diese Prismen sind in den Figuren 87 und 88, Taf. X, dargestellt. Fig. 87 ist Ansicht, Fig. 88 horizontaler Querschnitt. Es sind *SS* die parallelen, vom Ufer herkommenden Strahlen, welche auf die geraden Fresnel'schen Prismen *pp* und auf die Prismen *PP* mit dem neuen Querschnitt fallen; durch die Wirkung beider Arten von Prismen bekommen die Strahlen eine Convergenz nach dem Brennpunkte *F* hin und

divergiren nach ihrem Durchgang durch diesen Punkt über den verlangten Azimuthwinkel.

Die einzigen sonstigen Beispiele von scheinbaren Feuern, ausser demjenigen bei Stornoway, sind: 1) das im Jahre 1866 für die russische Regierung construirte im Hafen von Odessa am schwarzen Meere; dasselbe ist ganz dioptrisch und 300 Fuss vom Ufer entfernt; 2) ein zweites, ebenfalls dioptrisches Feuer wurde 1866 zu Cap Gatcombe, Queensland, 300 Fuss von dem Uferlicht entfernt, errichtet. Beide Feuer wurden durch die Herren Chance in Birmingham entworfen; bei dem zuletzt genannten Apparat wurde das zugeführte Lichtquantum in drei verschiedenen Sectoren dem wechselnden Bedürfniss der Localität angepasst.

Die Hauptaufgabe, um die Kraft der scheinbaren Feuer zu verstärken, besteht, wie bereits angegeben wurde, in der Condensation der Strahlen. Wäre es möglich, eine so kleine Flamme herzustellen, dass die von ihr ausgehenden Lichtstrahlen nach dem Durchgang durch den Apparat am Ufer nicht merklich divergirten, so würde der beste ökonomische Effect gesichert sein. Für diesen Zweck ist wegen seiner geringen Ausdehnung daher einzig das electrische Licht passend. Wo man diese kräftige Lichtquelle nicht haben kann, da sollte auf der Uferstation die grösste Sorte von Apparaten angewendet werden. Zu Stornoway ist zuletzt eine einzige Argand-Flamme in Verbindung mit einer ringförmigen Linse erster Ordnung angewendet worden, aber in Folge dessen gehen natürlich alle Strahlen, welche entweichen, ohne durch die Linse parallelisirt zu werden, verloren. Dieser Verlust könnte in hohem Grade durch die Anwendung eines vollständigen Holophots vermieden werden, aber die Kosten eines Apparats von so grossen Dimensionen würden sehr beträchtlich sein. Um diese Kosten zu reduciren, schlage ich vor, — wie schon Seite 11 u. 12 beschrieben ist — statt die Holophote aus Glasprismen oder Silberplatten zu construiren, die alte Form der Paraboloide wieder aufzunehmen, welche aus Facetten von versilbertem Glas, die durch Canada-Balsam mit einander verkittet sind, bestehen; aber anstatt diese Facetten nur von geringen Dimensionen und eben herzustellen, können sie in etwas grösseren Ausdehnungen angefertigt und dabei gebogen oder auf beiden Seiten nach Krümmungskreisen der Parabel geschliffen und polirt werden.

Die Dichtigkeit der Flamme kann auch dadurch verstärkt werden, dass man die Strahlen von andern (Hülf-) Flammen veranlasst,

nach ihr hin zu convergiren, wie es von Herrn David Brewster (Edinburgh Philosophical Transactions, vol. XXIV, 1866) vorgeschlagen wurde, welcher für diesen Zweck zwei Entwürfe, einen catoptrischen und einen dioptrischen, angab. In dem catoptrischen Apparat, wo eine Flamme in einen ellipsoidischen Spiegel dazu benutzt wurde, die Flamme eines andern Apparats zu verstärken, ging alles über den Rand des Reflectors entweichende Licht verloren, während in dem dioptrischen Entwurf einzig und allein die auf die angewendeten Linsen fallenden kleinen Lichtkegel zur Wirkung kamen. In Fig. 89, Taf. X, welche den zuletzt erwähnten Entwurf zeigt, ist  $SS$  ein sphärischer Spiegel;  $AB, BC$  etc. sind die verlorenen Strahlen; die Buchstaben  $SS$  bezeichnen das übrige, als ein Bündel von parallelen Strahlen austretende Licht. Derartige Anordnungen wären also sehr weit davon entfernt, holophotal zu sein, und Herr Brewster sagt in der That, „das Holophotal-Princip ist unanwendbar“ für diesen Zweck. Es ist ganz richtig, dass, abgesehen von der Lichtverschwendung durch Benutzung von Apparaten, welche nicht nöthig sind, seine Anordnung zum Parallelsiren der Strahlen nicht wohl zum Ziele führen konnte; aber durch Aufnahme des wahren Holophotal-Princips und Abschaffung jener unnöthigen Mittel ist das Problem leicht gelöst. Fig. 90, Taf. X, stellt eine Methode dar, durch welche alle Strahlen von einer Flamme oder von mehreren Flammen genau nach der ersten ursprünglichen Flamme hin convergirend gemacht werden können (abgesehen von dem Verlust durch Zerstreung etc.). In dem paraboloidischen Holophot  $A$  werden alle von der Flamme  $F$  ausgehenden Strahlen direct parallelisirt und auf die entfernte Baak geleitet durch die Wirkung der Linse  $LL$ , der paraboloidischen Streifen  $PP$  und des sphärischen Spiegels  $SS$ , mit Ausnahme des kleinen Kegels  $P'FP'$ , welcher sich nach rückwärts erweitert, indessen schliesslich nach  $F$  zurückgeführt wird durch die Wirkung des ellipsoidischen Holophots  $B$ , in welchem  $F'$  eine Hilfsflamme,  $L'L'$  eine Linse mit den conjugirten Brennpunkten  $F'$  und  $F$ ,  $P'P'$  ellipsoidische Streifen mit den Brennpunkten  $F'$  und  $F$ , und endlich  $S'$  einen sphärischen Spiegel bezeichnen. Alle von der Hilfsflamme ausgehenden Strahlen convergiren deshalb in einem dichten Kegel nach dem Punkt  $F$  hin, welcher gleichzeitig Mittelpunkt des sphärischen Spiegels  $SS$ , conjugirter Brennpunkt der Linse  $L'L'$ , Hauptbrennpunkt der Linse  $LL$ , einer der gemeinschaftlichen Brennpunkte der Ellipsoide  $P'P'$  und endlich

gemeinschaftlicher Brennpunkt der Paraboloide  $PP$  ist. Dieser Apparat, welcher natürlich ganz aus Glas hergestellt werden kann, ist auf irgend eine Zahl von Hilfsflammen anwendbar; diese werden in gerader Linie hinter einander aufgestellt, so dass sämtliche Strahlen schliesslich in Gemeinschaft mit denen der Originalflamme  $F$  parallelisirt werden. — Eins von diesen ellipsoidischen Holophoten soll jetzt zur Verstärkung des scheinbaren Lichts bei Stornoway angewendet werden.

**Unterscheidungen für scheinbare Feuer.** Es ist klar, dass man ein scheinbares Licht so einrichten kann, dass die verschiedenen Varianten von rotirenden und farbigen Lichtern nachgeahmt werden, gerade wie es zu Stornoway in Bezug auf das einfache Feste-Licht gemacht wurde. Ist das Licht am Ufer rotirend und roth, oder roth und weiss, oder intermittirend (unterbrochen), so wird das Baaklicht offenbar dieselben unterscheidenden Erscheinungen und dieselbe charakteristische Periodicität zeigen.

**Beleuchtung schwimmender Bojen.** An Stellen, wo wegen der Tiefe des Wassers oder anderer physischer Schwierigkeiten keine Baaken erbaut werden können, halte ich es für möglich, in gewissen Fällen schwimmende Bojen zu illuminiren, unter Anwendung gerader Cylinderprismen aus Glas, umgekehrter conischer oder conoidischer Reflectoren oder vielleicht anderer noch einfacherer Einrichtungen. Die Hauptschwierigkeit, welche bei der Illumination von Bojen zu überwinden ist, besteht offenbar in dem Schwingen der Boje. Die Divergenz von der ringförmigen Linse selbst beträgt indessen etwa  $5^{\circ}$ , und diese würden bei sehr mässiger Entfernung eine Breite überspannen, welche mehr als hinreichend ist, das Schwingen einer Boje an ihren Moorings zu gestatten. Obwohl wegen des von den Wellen veranlassten Hin- und Herwerfens und Stampfens der Boje ein Licht auf einer solchen niemals beständig sein kann, so würde das hierdurch verursachte Funkeln doch wahrscheinlich nicht weniger auffallend und charakteristisch sein.

Beleuchtung durch Electricität, welche vermitteltst unterseeischer Drähte zugeleitet wird. Bevor das Princip des scheinbaren Lichts für Stornoway adoptirt war, hatte ich, wie in der Beschreibung dieses Lichts in den Transactions of the Royal Scottish Society of Arts\*) dargelegt ist, die

\*) Transactions of the Royal Scottish Society of Arts, vol. IV, 1854.

Idee, dass es möglich sein könnte, Baaken und Bojen durch, vermittelst unterseeischer Drähte, zugeleitete Electricität zu illuminiren, wie es in Fig. 91, Taf. X, malerisch dargestellt ist; aber bei dem damaligen Zustand der Electricitäts-Lehre verfolgte ich diesen Plan nicht weiter, sondern liess ihn ganz fallen.

Im Jahre 1865 wurde meine Aufmerksamkeit wieder auf den Gegenstand hingelenkt, als ich Professor Holmes' magneto-electrisches Licht betrachtete, und ein darauf bezüglicher Hinweis ist in dem Bericht der Gebrüder Stevenson aus jener Zeit enthalten.\*) Für den vorliegenden Zweck wäre weder Holmes' noch Wilde's Licht anwendbar, da sie durch die schnelle Consumption von Kohlen erzeugt werden und die Anwendung einer diffificilen Lampen-Maschinerie erfordern, welche, obwohl sie bis zu einem hohen Betrage automatisch ist, die beständige Anwesenheit eines Lampenwärters in der Laterne erfordert. Ich entschloss mich daher, in dem Brennpunkt des optischen Apparats, entweder ohne Weiteres oder in luftleeren Röhren, den electricischen Funken ganz ohne Kohle anzuwenden. Um den Blitz zu verstärken, wurde nach Angabe von Professor Swan die Rühmkorff'sche Inductionsrolle mit einer Leydener Flasche combinirt. Am 2. Januar 1866 beauftragte ich Herrn Hart, den electricischen Apparat zu besorgen, und am 13. Januar theilte ich dem Secretair der Royal Scottish Society of Arts mit, dass der im Brennpunkt eines Leuchtfeuer-Apparats hergestellte Inductions-Funken eine Wirkung erzeugt habe, die für eine Entfernung von einer halben Meile — die grösste Entfernung, aus der, wegen vorhandener Hindernisse, beobachtet werden konnte — in jeder Beziehung befriedigend sei. Der primäre Strom wurde auch eine Woche lang durch einen 800 Fuss langen Draht gehend unterhalten, ohne eine merkliche Zerstörung der Platin-Electroden. Gleich darauf wurde von der Commission der Nördlichen Leuchtfeuer ein unterseeisches Kabel angeschafft, aber es stellte sich als unmöglich heraus, den secundären Strom durchs Wasser zu leiten. Um dem abzuhelpen, schlug mein Freund, der Civil-Ingenieur Herr Brebner, vor, den primären Strom allein durch das Kabel zu leiten und die Rolle auf die Baak zu stellen, während der Contact-Unterbrecher getrennt davon neben der Batterie am Ufer sich befinden sollte.

---

\*) Report on the Application of Magneto-Electric Light to Lighthouse Illumination. By D. u. T. Stevenson. November 1865.

Herr Hart entwarf eine verbesserte Unterbrechung, und Dr. Strethill Wright schlug die Anwendung von zwei kleinen Rollen statt einer grossen vor — eine Veränderung, welche das Volumen des Blitzes bedeutend vergrösserte. Indessen waren wir noch immer nicht im Stande, den Strom unter Wasser fortzuleiten. Unter solchen Umständen wandten wir uns an Herrn Siemens in London, der das unterseeische Kabel geliefert hatte; dieser ausgezeichnete Electriciker schlug eine andere, sehr geistreiche, aber etwas complicirte Anordnung vor zur Erzeugung des Lichts, welche er folgendermaassen beschreibt: — „Der Apparat auf der Baak oder Boje besteht aus einem schweren Electromagnet, dessen Rollen beständig mit dem leitenden Draht des Kabels einerseits und mit dem Contact-Hebel, welcher letztere durch die Armatur des Electromagnets nach Art eines Neft'schen Hammers in Thätigkeit versetzt wird, andererseits verbunden sind. Die Kette mit der aus 10 bis 20 Bunsen'schen Elementen bestehende Batterie am Lande wird durch die See geschlossen. Wenn der Strom Zeit gehabt hat, den Electromagnet hinreichend zu erregen, so dass er seine schwere Armatur anzieht, so unterbricht die Bewegung der letzteren den Strom, welche Unterbrechung von einem Funken begleitet wird, der dem angehäuften Magnetismus proportional ist, und bis zu einem gewissen Grade auch der Capacität des Kabels, das in diesem Apparat nicht die Wirkung schwächt, sondern eher verstärkt. Der Lichteffect wird erhöht durch eine geringe Verbrennung von Quecksilber, welches letztere beständig durch eine von der Armatur bewegte Pumpe erneuert wird, eine Anordnung, die einen guten und beständigen Contact sichert.“

Diese Methode wurde vor einiger Zeit im Hafen von Granton versucht. Der Strom wurde leicht durch die Drähte geleitet, und das durch die Verbrennung des Quecksilbers erzeugte Licht war sehr lebhaft. Das Resultat war indessen anderweitig unbefriedigend, und zwar in Folge der Ablagerung der Verbrennungsproducte auf dem optischen Apparat und einiger mechanischen Schwierigkeiten, die wegen ihres continuirlichen Auftretens hinderlich waren. Dieser Apparat muss, obwohl der erzeugte Blitz sehr kräftig ist, noch in einigen Punkten geändert werden, bevor er in practischen Gebrauch genommen werden kann.

Nachdem wir so wieder auf den ursprünglichen Plan, den Inductionsfunken anzuwenden, zurückgeführt waren, bat ich Herrn Professor P. G. Tait um seinen schätzbaren Rath und seine Mit-



wirkung. Er gewährte mir beides sehr gern, und erklärte nach wenigen von uns angestellten Versuchen, dass wir nach seiner Meinung nur nöthig hätten, grössere Erd-Endigungen und eine andere Art von Unterbrechung anzuwenden, um den Durchgang des Stroms zu erzielen. Nachdem wir uns diese Endigungen verschafft hatten, wurde der Strom sofort durch das Wasser geleitet, obwohl wir noch die von Herrn Hart entworfene Unterbrechung beibehielten. Bei dieser Gelegenheit waren Batterie und Unterbrechung auf dem östlichen Hafendamm von Granton aufgestellt, und das unterseeische Kabel erstreckte sich eine halbe Meile lang aufwärts bis nach dem Chain-Pier zu Trinity, wo zwei Inductionsrollen mit Condensatoren und ein Holophotal-Reflector zur Aufnahme des Funkens aufgestellt waren. Die Batterie bestand aus 16 Bunsen'schen Elementen, und zwei weitere Zellen wurden zum Betrieb der Unterbrechung benutzt. Die Rollen enthielten jede etwa 4 Meilen Draht. Der erzeugte Funken war ungefähr einen Viertel-Zoll lang, von bläulich weisser Farbe und in seiner Wirkung sehr auffallend und characteristisch. Diese Versuche wurden vor der Commission der Nördlichen Leuchtfeuer, mit Genehmigung der Handels-Deputation, unter Oberaufsicht der Gebrüder Stevenson durch den Elektriker Herrn Hart geschickt ausgeführt.

Am 23. August 1869 wurde das Experiment zu Granton wiederholt, auf Anforderung des Trinity-House zu London, von welchem eine Deputation gegenwärtig war, die aus den Capitainen Herren Fenwick und Nisbet, und dem Ingenieur jener Behörde, Herrn Douglas, begleitet von den Herren Farrer und Shaw Lefevre von der Handels-Deputation, bestand.

Um uns zu überzeugen, ob durch eine Batterie unter der Aufsicht eines Wärters eine Folge von Blitzen erzeugt und eine Reihe von isolirten gefährlichen Punkten beleuchtet werden könne, wurde zunächst der folgende Versuch gemacht: Zwei mit Drähten auf die genaue Schlagweite in Uebereinstimmung gebrachte Inductionsrollen wurden durch ein 100 Yards langes unterseeisches Kabel mit einander verbunden. Die beiden auf diese Weise erhaltenen Blitze waren so, wie man nur wünschen konnte. Es war in der That die Meinung Aller, welche bei dem Versuch gegenwärtig waren, dass die Blitze grösser wären, als wenn beide Rollen mit der Batterie verbunden wären. Spätere, mit sechs verschiedenen Funken gemachte Versuche haben indessen gezeigt, dass

dieses abnormale Resultat ein Irrthum war; aber es zeigten sich keine Schwierigkeiten in der Unterhaltung der Funken, obwohl sie, wie man hätte erwarten können, nicht von gleicher Kraft wie der ursprüngliche einzelne Funken waren. Auf der Versammlung der Britischen Gesellschaft (British Association) zu Dundee im Jahre 1867 erklärte ich, dass „der Lichteffect auch ohne hinzugefügte Zellen verstärkt werden könnte, wenn man denselben Strom wieder zur Erzeugung eines zweiten Funkens im Brennpunkt benutzen könnte“. Das zuletzt beschriebene Experiment beweist die Möglichkeit der Ausführung dieses Vorschlags, welche in zweierlei Weise erfolgen kann — erstens durch Erzeugung additioneller Funken in demselben Brennpunkt mittelst der Benutzung additioneller Rollen, und zweitens durch Erzeugung der getrennten Funken in den Brennpunkten getrennter, in der Baaklaterne enthaltener Reflectoren, gerade wie in einigen Leuchthürmen viele getrennte Lampen zur Erhöhung des Effects angewendet werden. Es mag interessant sein, zu bemerken, dass Drähte verschiedener Metalle als Electroden benutzt wurden, und dass von allen Wismuth den hellsten Funken gab.

Ich habe neuerdings mit dem einfachen, durch Wilde's electro-magnetische Maschine ohne Kohlen hervorgebrachten Funken Versuche gemacht, und das Resultat ist sehr befriedigend gewesen. Der Funken besass viel grössere Ausdehnung und Kraft, als bei den Bunsen'schen Zellen. Wäre App's Patent-Inductions-Rolle angewendet worden, so würde ohne Zweifel das Resultat viel auffallender gewesen sein, als bei der gewöhnlichen, bei allen Versuchen angewendeten Rühmkorff'schen Rolle. Bei Anwendung von Wilde's Maschine in kleinem Format könnte es vielleicht genügend sein, statt einer Dampfmaschine ein Gewicht zu benutzen, welches beim Heruntersinken ein System von Rädern zum Betrieb der Maschine in Bewegung setzte.

Was für Hindernisse auch bei der Anwendung dieses Systems auftreten mögen, so ist es doch natürlich, anzunehmen, dass dieselben am schlimmsten auftreten werden bei schwimmenden Bojen, die, auf See verankert, jeder Veränderung der Tide und jedem Wechsel des Sturmes ausgesetzt sind. Ich bin indessen geneigt, anzunehmen, dass diese Schwierigkeiten in hohem Grade durch Substitution bedeckter Boote statt der jetzt gebräuchlichen kleinen conischen Bojen überwunden werden können. Wenn schwimmende Körper dieser Art an Ankerketten befestigt würden, um die Grösse

ihrer Schwingung in Folge der Wirkung von Wellen und Tide zu begrenzen, so würde es wahrscheinlich nicht unmöglich sein, das electriche Kabel durch eine centrale Oeffnung oder Kammer zu führen. Um eine seitliche Abweichung zu gestatten, könnte für einen gewissen Spielraum gesorgt werden, indem man an das Ende von dem schlaffen Theil des Kabels ein Gewicht hängt und das Kabel über eine horizontale Trommel leitete. Das Gewicht würde herabsinken oder über die Trommel hinaufgezogen werden, je nachdem die Entfernung der Boje von ihren Ankeren sich vergrößerte oder verkleinerte. Der zur Sicherung seiner verticalen Stellung in Ringen aufgehängte optische Apparat würde, durch eine Laterne geschützt, auf Deck aufgestellt werden, mit den Inductionsrollen unterwärts. In solcher oder ähnlicher Weise würde man wahrscheinlich das Licht unterhalten können.

Fig. 92 bis 95, Taf. X, stellen zwei Entwürfe zur Holophotalisirung des in luftleeren Röhren, welche in Form von kreisförmigen Ringen gebogen sind, erzeugten Lichts für den Fall, dass keine Electricität von hoher Spannung angewendet werden kann, dar. Fig. 92 und 93 zeigen einen catadioptrischen Reflector für ein Feuer von  $360^{\circ}$  im Azimuth; *VV* ist die luftleere (Vacuum-) Röhre, in welcher der electriche Funken erzeugt wird; *RR* ist der gürtelförmige Refractor, *PPPP* ist der paraboloidische Reflector; *SS* ist der ringförmige sphäroidische Reflector, und die Linien *LL* bezeichnen Strahlen des in der verticalen Ebene parallelisirten Lichts.

Fig. 94 und 95 stellen ein catadioptrisches Holophot, zur Condensation des Lichts in ein einziges Bündel von parallelen Strahlen, dar: *VV* ist die Vacuum-Röhre; *RR* ist die Linse; *PPPP* ist der paraboloidische Reflector; *SS* ist der sphäroidische Reflector, und die Linien *LL* bezeichnen Strahlen, die aus allen Richtungen in ein einziges Bündel von parallelen Strahlen zusammengebogen sind.

**Beleuchtung von Baaken und Bojen durch Gas.** Ehe ich mich über die beste Methode für die Beleuchtung der Baak auf Arnish Rock bei Stornoway, welche im Jahre 1851 in ein scheinbares Feuer verwandelt wurde, entschieden hatte, „fiel es mir bei, dass in einzelnen Fällen Gasrohre, oder auch unterseeische Drähte gelegt werden könnten, um eine auf eine Baak oder Boje gestellte Laterne zu erleuchten“, wie ich in der Beschreibung des Apparats in den Transactions of the Royal Scottish Society of Arts er-

wähnt habe. Ich verwarf diese Pläne beide, wie bereits angegeben, zu Gunsten des scheinbaren Lichts, weil ich dachte, dass das anderweitig erzeugte Licht häufigem Verlöschen ausgesetzt sein könnte, was ich, „wenigstens bei dem gegenwärtigen Zustand unserer Kenntnisse“, als einen unüberwindlichen Mangel betrachtete.

Ich habe erst ganz kürzlich aus dem Nautical Magazine für November 1870 erfahren, dass Admiral Sheringham im Jahre 1852, also nicht lange nach Errichtung des Baaklichts zu Stornoway, nicht nur an die Verwendung von Gas zur Beleuchtung von Bojen dachte, sondern auch im Jahre 1853 zu Portsmouth einen entsprechenden Versuch machte. Admiral Sheringham hat mir die folgende Beschreibung seines sinnreichen Experiments geschickt, welche ich bei dieser Gelegenheit mit seiner gütigen Erlaubniss gern veröffentliche, da der Versuch der erste ist, der mit Gas gemacht wurde.

„In Erwiederung auf Ihren Brief vom 30. v. M. genehmigen Sie die Versicherung, dass ich Ihnen mit grossem Vergnügen und so weit ich dazu im Stande bin, jede Auskunft hinsichtlich meines Patents für die Illumination von Baaken und Bojen etc., durch Electricität oder Gas, geben werde.

„Meine Vorrichtung war einfach folgende: Von einem passend belegenen Gaswerk am Ufer legte ich eine Reihe von gewöhnlichen eisernen Röhren so weit wie möglich, etwa bis zur Niedrigwasser-Linie; an diese Leitung schloss ich ein Gutta-Percha-Rohr an, welches 2 Zoll im Durchmesser haben und vielleicht 50 bis 60 Faden lang sein mochte. Dieses Rohr wurde über die Untiefe nach dem Rande des Kanals hingeführt, wo die Boje placirt war, um die Grenzen des Fahrwassers zu bezeichnen. Die Gutta-Percha-Röhre wurde durch die Boje hindurch nach aufwärts geführt, bis ungefähr 3 bis 4 Fuss über dieselbe, nach der mit den nöthigen Brennern etc. versehenen Laterne hin.

„Durch die Röhre, d. h. im Innern derselben, waren Kupferdrähte geführt; über dem Gasbrenner war die Kupferleitung unterbrochen, und die beiden Enden derselben waren in einem genügenden Abstand von einander durch einen Platindraht wieder verbunden. Die Uferenden der Kupferdrähte standen mit einer kleinen galvanischen Batterie in Verbindung, welche, wenn sie in Thätigkeit war, das Platin bis zum Rothglühen erhitzte. Das Gas wurde durch Aufdrehen eines Hahns am Ufer zugelassen und dadurch augenblicklich ein sehr brillantes Licht erzeugt. Es war ganz

erstaunlich, zu sehen, wie in einem Augenblick das Licht ausgelöscht und wieder hergestellt wurde.

„Meine Versuche wurden, glaube ich, während drei oder vier auf einander folgender Nächte gemacht, an der Einfahrt des Hafens von Portsmouth, wo uns die am Strande belegenen Gesellschafts-Localitäten des Herrn Hollingworth mit Gas versahen. Die Experimente, denen viele Leute beiwohnten, waren ohne Frage ausserordentlich erfolgreich, und wurden fortgesetzt, bis sich ein elendes Boot von seinen Ankern losriss, auf die Boje trieb und Alles in Stücke schlug.

.....  
 „Die Zeit der Versuche war 1853, wie Sie aus dem anliegenden Billet des verstorbenen Herrn F. Beaufort an mich, das ich mir nach gemachtem Gebrauch ergebenst zurückerbitte, ersehen werden. Ich habe das Patent noch irgendwo liegen, kann aber für den Augenblick nicht meine Hand auf dasselbe legen. Die Zeit desselben muss 1852 gewesen sein, und wird ohne Zweifel sehr leicht auf dem Patent-Amt zu ermitteln sein.“

Es ist gewiss sehr zu bedauern, dass diese interessanten Versuche, bei denen Admiral Sheringham sich auch der Electricität bediente, obwohl nicht zur Erzeugung von Licht, sondern von Wärme, nicht weiter verfolgt wurden, ein Umstand, der, wie er mir mittheilt, nicht von irgend welchem Zweifel an dem Erfolg des Systems, sondern von Schwierigkeiten legaler Natur herrührte.

Im Jahre 1861 wurde auf der Clyde bei Port-Glasgow mit Erfolg eine Baak durch Gas beleuchtet, und ist seitdem regelmässig unterhalten worden. Sie ist circa 300 Fuss vom Ufer entfernt, aber anstatt der sinnreichen, von Admiral Sheringham angewendeten Methode zur Versicherung eines regelmässigen Brennens der Flamme, welche indessen gewiss die bessere von beiden ist, hat man seine Zuflucht zu einem andern Kunstgriff genommen, um die Gaszuführung am Tage zu beschränken und die volle Zuführung während der Nacht zu benutzen. Wenn der Gasdruck in der Stadt Port-Glasgow des Morgens reducirt wird, so schliesst das Sinken eines Schwimmers auf der Baak die Zuleitung zu dem Hauptbrenner ab, während ein kleiner centraler Gasstrahl brennend erhalten wird durch Zufluss von einem Gasbehälter mit einer Capacität von 10 Cubikfuss, der ebenfalls auf der Baak aufgestellt und auch mit der Leitung verbunden ist.

Aus dieser Quelle brennt der kleine Brenner den ganzen Tag, und wenn zur Nachtzeit der Druck wächst, so steigt der den Zufluss zu dem grossen Brenner regulirende Schwimmer und eröffnet so die Verbindung mit der Leitung. In Folge des Umstandes, dass der Stromstrich dicht an dem Quai auf der Port-Glasgow-Seite geht, fällt die Leitung, welche aus Kupfer besteht und 2 Zoll Durchmesser hat, von der Baak aus nach dem Lande zu und gestattet so die Herstellung eines Pumpensacks, zum Sammeln des condensirten Wassers, an dem Uferende. Die Leitung wurde in einer Tiefe von etwa 20 Fuss unter Niedrigwasser in eine ausgebagerte Rinne gelegt, welche an einer Stelle einen 16 Fuss tiefen Einschnitt bildete, und an einem an Pfähle angeschlossenen Flechtwerk befestigt; diese Arbeiten wurden beide mit Hülfe der Taucherglocke ausgeführt. — Die Thatsache, dass dieses Licht jetzt seit neun Jahren existirt, beweist, dass ich im Jahre 1851, als ich zuerst an diese Methode dachte, wenigstens für einige Situationen, die mit ihr verknüpften practischen Schwierigkeiten überschätzt hatte.

Die Schwierigkeiten, welche die Illumination durch Gas auf entfernten oder exponirten Stationen vermuthlich mit sich bringt, sind bei Bojen die Auslöschung des Lichts durch Wellen, und in allen Fällen die Ansammlung von Wasser in der Rohrleitung. Wenn die Verlöschung der Flamme vom Ufer aus bemerkt würde, könnte man indessen durch Erhitzen eines Platindraths, nach der Methode von Admiral Sheringham, das Bojenlicht sehr leicht wieder anzünden. \*) Die Ansammlung von Wasser dagegen ist eine etwas schlimmere Schwierigkeit. Fast überall fällt der Meeresgrund seewärts ab und macht es so unmöglich, den Auslass an den niedrigsten Punkt zu legen, und da der Grund oft unregelmässig und wellenförmig ist, so würde sich an vielen verschiedenen Punkten des Rohrs Wasser ansammeln. Wenn biegsame Röhren hinreichend dauerhaft gemacht werden könnten, so könnte man sie aufheben und das Wasser nach einem Hahn am Ufer laufen lassen. Es hat sich indessen gezeigt, dass biegsame Röhren sehr bald durch die chemische Wirkung des Wassers zerstört werden. Ohne Zweifel liegt ein Vorzug des electricischen Funkens

---

\*) Vergl. Dingler's Polytechnisches Journal, Jahrgang 1872, Band 203, Seite 451 u. ff.: Der hydrostatisch-galvanische Gas-Anzünder von Professor Dr. Klinkerfues. (C. N.)

darin, dass er solchen Gefahren der Auslöschung nicht ausgesetzt ist, denn weder Regen noch Schaum behindern die Erzeugung des Funkens, und namentlich ist er frei von der Möglichkeit des Erlöschens durch Ansammeln von Wasser, wie es in den Gasleitungsrohren vorkommen kann. Es giebt indessen viele Plätze, wo diese Einwände gegen die Anwendung von Gas leicht überwunden werden könnten, besonders wenn die Station wie zu Port-Glasgow, dem Ufer nahe, und keinem schweren Seegang ausgesetzt ist.

Die Einwände gegen das electricische Licht andererseits sind: die Schwierigkeit der vollkommenen Isolirung der unterseeischen Leitung und die Gefahr des Versagens der Inductions-Rollen auf der Baak. Die besten Mittel, diese Gefahr zu reduciren, sind die Anwendung doppelter Drähte und die Erzeugung von mehr als einem Funken, von denen jeder seine eigene Inductionsrolle haben müsste.

Die schon über die Anwendung der Electricität gemachten Versuche und die hinsichtlich der gegenwärtigen Anwendung von Gas angeführten Thatsachen scheinen, so weit sie reichen, die Möglichkeit der Leitung unter Wasser für Licht zu beweisen, und berechtigen zu der Hoffnung, dass durch solche Mittel und durch das scheinbare Licht schliesslich ein wichtiges System der Küsten-Beleuchtung eingeführt werden könne. Die Zeit ist vielleicht nicht mehr fern, wo die Baaken und Bojen für einen Seeverkehr wie in der Einfahrt nach Liverpool, durch solche Leitungen unter Wasser von einer Centralstation an jedem Ufer aus beleuchtet werden können, und wo dann die ganze Handhabung der Sorge eines oder zweier Lampenwärter überwiesen sein kann. Die Thatsachen, dass vor 18 Jahren nach dem Princip des scheinbaren Feuers eine Baak bei Stornoway, und vor neun Jahren eine andere auf der Clyde durch unter Wasser zugeführtes Gas beleuchtet sind, erscheinen hinreichend, eine weitere und allgemeinere Anwendung dieser Principe in der Praxis zu rechtfertigen. Es scheint mir, wie schon erwähnt ist, jetzt der Zeitpunkt gekommen zu sein, wo man der Beleuchtung der kleineren Seemarken die Zeit und Aufmerksamkeit widmen muss, die man lange mit so gutem Erfolg auf den verwandten Gegenstand der Leuchthürme verwendet hat. Der Aufmunterungen zum Vorwärtsgehen giebt es viele; um sie deutlicher vor Augen zu führen, will ich nicht nur die verschiedenen schon beschriebenen Methoden, welche für die Wahl bei Anwendung derselben auf die wechselnden Eigen-

thümlichkeiten der verschiedenen Localitäten einen beträchtlichen Spielraum bieten, kurz recapituliren, sondern auch Methoden für die Anwendung des Schalls, und andere Pläne, welche anderswo in Vorschlag gebracht sind, anführen.

### I. Verschiedene Quellen der Beleuchtung für Baaken und Bojen.

1) Die Anwendung von scheinbaren oder geborgten Feuern.  
 2) Der Gebrauch tauchender Feuer zur Bezeichnung der Untiefen durch Neigung der Lampe und des Apparats, um über den gefährlichen Grund Licht zu verbreiten.

3) Die Leitung entweder von voltaischer, oder magnetischer, oder Reibungs-Electricität, oder von der durch den Ausfluss von Dampf erzeugten, entweder durch unterseeische, oder, wo es angeht, durch in der Luft aufgehängte Drähte, um mit oder ohne luftleere Röhren oder vermittelt eines Electro-Magneten und der Verbrennung von Quecksilber einen Funken zu erzeugen.

4) Die Leitung von Gas durch unterseeische Röhren vom Ufer her.

5) Selbstwirkende electricische Apparate, welche durch die Wirkung des Seewassers oder auf andere Weise auf der Baak selbst Electricität erzeugen, um keiner Verbindung mit dem Ufer zu bedürfen. Diese Methode, welche ich, in den Transactions of the Royal Scottish Society of Arts für 1866, für Baaken vorschlug, erlangt erhöhte Wichtigkeit durch die Thatsache, dass der ausgezeichnete Electriciker Herr A. Bain mir mittheilte, dass er 1848 zu Brighton ein gutes Licht durch die Benutzung des Seewassers erzeugte.

II. Verschiedene Anwendungen des Schalls zur Warnung während dicker Nebel. 1) Die Fortpflanzung des Schalles während dicker Nebel durch Röhren, welche mit dem Ufer communiciren\*), oder die Erzeugung des Schalls auf der Baak oder Boje selbst, durch Compression einer Luftsäule, oder durch Einwirkung auf eine in den Röhren enthaltene Wassersäule.

2) Durch Electricität geläutete Glocken. Herr Wilde in Manchester, den ich wegen dieses Vorschlags um seine Meinung bat, hatte die Gefälligkeit, mir mitzuthemen, dass nach seiner Ansicht Glocken von 12 oder 18 Zoll Durchmesser, auf verschie-

---

\*) In einer der Pariser Wasserröhren, von 3120 Fuss Länge, konnte Herr Biot bei sehr leisem Sprechen eine Conversation mit einer Person am andern Ende der Röhre unterhalten.



denen Baaken aufgestellt und bis zu 10 Meilen von der Küste entfernt, durch eine 3 $\frac{1}{2}$  bis 4 zöllige, vermittelt einer etwa 2pferdigen Dampfmaschine getriebene electro-magnetische Maschine 100 Mal pro Minute geläutet werden könnten.

Herr Mackintosh in Liverpool gab 1860 an, dass Nebelsignale durch eine Tide-Mühle oder durch einen Strom von Landwasser hergestellt werden könnten, indem man einen Luftstrom auf eine pneumatische Maschine wirken liesse und dadurch eine Glocke zum Läuten brächte. Glocken oder Pfeifen auf einer Baak kann man auch dadurch erschallen lassen, dass man entweder jene Mittel, oder einen mit einem Rohr verbundenen hydraulischen Widder anwendet, oder das Steigen und Fallen der Tide zum Aufheben eines, mittelst einer Transmission mit der Baak verbundenen Gewichts am Ufer benutzt. Dieselbe bewegende Kraft könnte auch eine electro-magnetische oder sonstige electriche Maschine am Ufer treiben.

3) Das Ertönen von Glocken durch den hydrostatischen Druck der Tide, wie es im Jahre 1810 durch den verstorbenen Herrn R. Stevenson für den Carr-Rock vorgeschlagen wurde. Professor Fleeming Jenkin hat mich unlängst auf die Anwendung dieser Methode zum Betrieb des Contact-Unterbrechers für einen electriche Strom auf der Baak, anstatt, wie in den bis jetzt gemachten Versuchen, auf dem Ufer, aufmerksam gemacht.

Welcher von diesen verschiedenen Wegen sich als der beste herausstellen wird, wird von Erfahrung und der Natur der einzelnen Localitäten abhängen. Die Wissenschaft der Beleuchtung und des Identificirens der Baaken ist noch in ihrer Kindheit und ihre Anwendung nicht zu begrenzen. Wie schon erwähnt, scheint kein Grund vorhanden zu sein, warum scheinbare Feuer nicht allgemeiner gebraucht werden sollten, und ebenso Gas und Electricität, an solchen Orten, wo sie leicht angewendet werden können.

## Kapitel VI.

### Das electriche Licht.

---

Der von Professor Faraday entdeckte und von Professor Holmes für die Illumination der Leuchttürme angewendete magneto-electrische Funken wurde zuerst im Jahre 1858 von dem Trinity-Haus benutzt, um den Leuchtturm zu South-Foreland zu beleuchten. Derselbe Apparat wurde nachher 1862 zu Dungeness aufgestellt, wo er seitdem ohne Unterbrechung unterhalten wird, da er nie wirklich verlöscht ist, mit Ausnahme für sehr kurze Zeit, gewöhnlich nur für ein paar Secunden, aber bei mehr als einer Gelegenheit bis zu vier und fünf Minuten.

Im Leuchtturm zu Dungeness befinden sich zwei Sätze optischer Apparate, einmal die früher benutzten alten Reflectoren, welche immer bereit gehalten werden, um bei einem Zufall beleuchtet zu werden, und ferner der dioptrische Apparat für das electriche Licht, welcher in den oberen Theil der Laterne gestellt ist. Seit der Einführung dieser neuen Methode der Beleuchtung sind die alten Reflectoren gelegentlich in Folge von Zufällen oder aus anderen Gründen, bei einer Veranlassung für eine Dauer von sechs Stunden, benutzt worden.

Die das electriche Licht erzeugende Maschine besteht nach Angabe von Professor Holmes aus einer Anzahl kräftiger Magnete, welche an einem achtseitigen Rahmen befestigt sind, und aus mit Kupferdraht umwundenen Stäben von weichem Eisen, sogenannten Spulen oder Schnecken, welche im Innern des Rahmens, an dem die Magnete befestigt sind, rotiren. Durch das successive Vorübergehen der Spulen oder Schnecken an den Magneten werden kräftige electriche Ströme erzeugt. Diese positiven oder negativen Ströme werden durch Kupferdrähte aus dem Maschinenraum im Erdgeschoss aufwärts geleitet nach der Lampe in der Laterne, aber die verschiedenen Ströme werden, bevor sie die Flamme er-

reichen, vermittelt eines Commutators umgekehrt. Die Lampe selbst ist zur Aufnahme von zwei Kohlenstäben eingerichtet, welche durch eine sinnreiche, von der Stärke der Ströme abhängige automatische Vorrichtung in einem nahezu constanten Abstand von einander erhalten werden. Der an den Kohlenspitzen dem Strome sich entgegenstellende Widerstand erzeugt das electriche Licht, dessen Stärke von der Entfernung zwischen den Spitzen herrührt, und die zu überwindende Schwierigkeit besteht darin, die genaue Entfernung zwischen diesen beiden Kohlenspitzen continuirlich zu reguliren und zu erhalten. Die Lampen, von denen stets zwei im Lichtraum und immer zwei in Reserve sind, können mit der grössten Leichtigkeit und Schnelligkeit in den Brennpunkt des optischen Apparats gebracht werden. Der zu Dungeness benutzte Apparat war, als ich im Jahre 1865 dort war, ein fester dioptrischer sechster Ordnung, welcher landwärts einen kleinen versilberten Reflector hatte, um die Divergenz zu vergrössern. Zur bessern Regulirung der Stellung der Flamme in Bezug auf den Horizont ist auf der Innenseite der Laterne eine bleibende Marke gemacht, so dass der Lampenwärter, wenn er das auf die Laterne fallende Strahlenbündel beobachtet, sofort wahrnehmen kann, ob der beste Theil des Bündels über oder unter der Horizontlinie weggeht. In dem, dem Thurm angefügten Maschinenhause stehen zwei Dampfmaschinen zur Erzeugung der Rotationsbewegung des Rahmens, welcher die Spulen oder Schnecken trägt. Diese Maschinen haben jede 6 Pferdekraft, und beide müssen beständig zur Erzeugung des Lichts arbeiten. — Hinsichtlich des Kohlen-Consums (in der Lampe) wurde constatirt, dass derselbe im Winter pro Monat ungefähr 200, im Sommer 120 bis 130 laufende Fuss beträgt.

Der unvollkommenste Theil in dem Arbeiten des Apparats, und derjenige, welcher ohne Zweifel die grösste Mühe veranlasst, ist die Regulirung der Lampe, so dass der genaue Abstand der Kohlenspitzen von einander gesichert wird.

Durch die Güte der Aeltern-Brüder (von Trinity-Haus), welche von dem Hydrographen der Admiralität begleitet wurden, hatte ich Gelegenheit, das Licht zu Dungeness nach Eintritt der Nacht aus verschiedenen Entfernungen zu beobachten. Da das Wetter sehr günstig war, so war die Gelegenheit ausgezeichnet, das genannte Licht, sowie auch das französische Drehfeuer zu Grisnez auf der gegenüber liegenden Küste zu mustern. Das

Resultat war im Ganzen sehr befriedigend; das Licht sechster Ordnung zu Dungeness, obwohl continuirlich den ganzen Horizont bescheinend, contrastirte gut gegen das rotirende und deshalb mehr concentrirte Licht erster Ordnung zu Grisnez, wenn man sie aus einer Entfernung von etwa zwölf Meilen betrachtete. Das electricische Licht war im Allgemeinen sehr wirksam und auffallend in seiner Erscheinung, obwohl es häufig nachliess und an Umfang ganz bedeutend abnahm, und ein Paar Mal für eine oder zwei Secunden ganz verschwand. Dieses zeitweilige Verlöschen ist ohne Zweifel ein Uebelstand, aber wegen seiner nur kurzen Dauer kein practischer Nachtheil von irgend welcher Bedeutung. Hinzugefügt muss indessen werden, dass eine frühere, von Dover aus in einer Entfernung von ungefähr 18 Meilen durch Herrn D. Stevenson vorgenommene Beobachtung der Lichter zu Cap Grisnez und Dungeness ein entschieden günstiges Resultat für Cap Grisnez ergab.

Die Kosten der Unterhaltung des electricischen Lichts zu Dungeness, ohne Rücksicht auf die Anlagekosten, wurden von den Aeltern-Brüdern zu £ 758 18 sh. 9 p. pro Jahr berechnet.

Ich besuchte auch das französische Licht zu Cap la Hève, nahe beim Hafen von Havre. Auf dieser Station stehen zwei Thürme, von denen der eine einen dioptrischen Apparat erster Ordnung, nach älterer Construction mit versilberten Spiegeln oberhalb und unterhalb des cylindrischen Refractors, enthält. In dem andern Thurm sind zwei sehr kleine Laternen, eine über der andern aufgestellt und beide mit einer einzigen gebogenen Glas-tafel verglast; beide sind für das electricische Licht eingerichtet, aber es wird zur Zeit nur eine beleuchtet. Unten im Thurm stehen zwei Dampfmaschinen, jede von 3 Pferdekraft. Von diesen Dampfmaschinen arbeitet nur eine zur Zeit, ausgenommen bei dickem Nebel, wo beide in Gebrauch sind. Eine Dampfmaschine arbeitet während einer Zeit von acht Tagen, und dann tritt die andere an ihre Stelle. Bei Nebel wird die Dampfspannung, die für gewöhnlich auf  $3\frac{1}{4}$  bis  $3\frac{1}{2}$  Atmosphären normirt ist, auf  $4\frac{1}{4}$  bis  $4\frac{1}{2}$  Atmosphären erhöht. Die electricischen Maschinen sind durch Riemen mit den Dampfmaschinen verbunden und bestehen aus 8 Sätzen von drei grossen und zwei kleinen Magneten. Diese Magnete sind mittelst hölzerner Keile befestigt, und das Rahmenwerk selbst besteht grossentheils auch aus Holzwerk. Der die Schnecken enthaltende Rahmen macht 110 Umdrehungen pro Minute. Es

ist kein Commutator zur Umkehrung der Ströme angewendet, so dass jede Kohle successive positiven und negativen Strömen unterworfen ist, wodurch der wichtige Vortheil einer gleichen Abnutzung der beiden Kohlen erreicht wird. Das electriche Licht zu La Hève ist jetzt 27 Monate in Betrieb gewesen, und während dieser Zeit sind keine Reparaturen von irgend welcher Bedeutung vorgekommen.

Der optische Apparat ist ein fester von der sechsten Ordnung, etwa  $11\frac{1}{2}$ “ im Durchmesser; die Kohlen für die Lampe werden auf  $1^{\text{mm}}$  Entfernung von einander gehalten; sie sind 10“ lang und dauern etwa fünf Stunden, in welcher Zeit sie sich auf 2“ reduciren. Um die genaue Richtung des Strahlenbündels zu sichern, wirft eine kleine Justir-Linse (welche dicht hinter den Apparat gestellt ist) ein vergrößertes Bild auf die Wand des Feuerraums. Durch diese wie es scheint ausgezeichnete Anordnung wird eine Abweichung der Flamme in der Lampe von  $1^{\text{mm}}$  auf der gegenüberliegenden Wand des Feuerraums auf  $1^{\text{cm}}$  vergrößert und dadurch ein sehr empfindliches Mittel geliefert, um sich zu vergewissern, ob das beste Licht genau auf den Horizont und die See geworfen wird.

Zur Inspection des Feuers fand sich eine Gelegenheit am Abend, als das Licht brannte, und auch zur Beobachtung beider Lichter in einer Entfernung von ungefähr  $\frac{1}{3}$  Meile, wobei sich das electriche Licht als dem beigefügten Oellicht bedeutend überlegen herausstellte. Als aber in der nächsten Nacht die Lichter von Harfleur, neun Meilen von La Hève aus betrachtet wurden, war die Differenz in dem Effect der Lichter sehr bedeutend weniger zu Gunsten des electriche Lichts, als beim Betrachten aus der geringern Entfernung, aber die durchdringende Kraft war, nach Angabe meines weiter unten beschriebenen Photometers mit einem absorbirenden Medium von Dinte und Wasser, bei dem electriche Licht immer noch viel höher wie bei dem Oellicht.\*) Zuweilen indessen schienen beide Lichter gleich zu sein. Beispielsweise wurde diese Gleichheit notirt während einer Zeitdauer von fünf Minuten und begann um  $8\frac{3}{4}$  Uhr. Einmal

---

\*) Dieses Urtheil ist, glaube ich, zuverlässig, aber man muss zugeben, dass es die Voraussetzung involvirt, dass das Medium dieselbe absorbirende Kraft ausübt auf zwei in ihrem Character so sehr verschiedene Lichter, wie der electriche Funken und die Kohlen-Wasserstoff-Flamme.

verschwand das electriche Licht vollständig für eine oder zwei Secunden, ebenso wie es zu Dungeness bemerkt worden war.

Das Folgende ist ein Ausweis über die Kosten der Herstellung und Unterhaltung des electriche Lichts, nach Angaben der französischen Ingenieure:

Kosten der ersten Herstellung.	Francs.
Magneto-electrische Maschine mit vier Scheiben . . . . .	8000
Maschinen-Zubehör . . . . .	3000
Regulatoren, Leitungen etc. . . . .	1500
Total: Reichsmark 10.000 . . . =	Frcs. 12.500

#### Unterhaltung.

Verzinsung des Kapitals mit 10% = 1250 Frcs. oder pro	
Stunde . . . . .	0,3125
Steinkohlen für die Dampfmaschine . . . . .	0,4000
Gehalt für 2 Heizer, 2800 Frcs. pro Jahr, oder pro Stunde	0,7000
„ „ 2 Wärter, 2000 „ „ „ „ „ „	0,5000
Kohlen für die Lampen . . . . .	0,3600
Oel für die Maschinerie, Wasser, Reparaturen etc. . . . .	0,1275

Demnach stellen sich die Kosten pro Stunde, vorausgesetzt, dass das Licht 4000 Stunden im Jahre brennt, auf 1 Mark 92 Pfennige . . . . . = Frcs. 2,400.

Im Jahre 1866 lieferte Herr Henry Wilde der Commission der Nördlichen Leuchtfeuer eine von seinen electro-magnetischen Maschinen zur Erzeugung des electriche Lichts, mit der vor der Commission eine Reihe von Versuchen angestellt wurden, über die ich weiter unten (Seite 113 u. ff.) referiren werde. Bevor ich indessen die Resultate dieser Versuche anführe, wird die folgende Beschreibung des geistreichen Entwurfs von Herrn Wilde, welchen er mir zu liefern die Güte hatte, für den Leser von Interesse sein.

„Von der Zeit der Entdeckung Faraday's über die Entwicklung von Electricität aus permanenten Magneten im Jahre 1831 an, bis zu der Zeit, wo ich meine Aufmerksamkeit auf denselben Gegenstand richtete, waren die Bestrebungen der Electriciker hauptsächlich darauf beschränkt, den Mechanismus zur abwechselnden Annäherung der Armaturen nach den Magneten hin und die Trennung der ersteren von den letzteren zu verbessern, und die Kraft der Maschinen zu verstärken. Durch die Arbeiten von Pixii, Saxton, Nollet, Siemens und Andern haben die electro-magnetischen Maschinen einen erheblichen Grad von Voll-

kommenheit erreicht und sind hinreichend, Ströme zu erzeugen, die an Kraft denen aus den stärksten voltaischen Batterien gleich sind.

Um solche Wirkungen hervorzurufen, müssen die Maschinen indessen bedeutende Dimensionen haben, und wegen der speciellen Form, die man den Stahlmagneten zur vollen Entwicklung ihres Magnetismus geben muss, werden die Maschinen schwerfällig und theuer.

Im Jahre 1864 machte ich die Entdeckung, dass, wenn ein Electro-Magnet durch den Strom von einer electro-magnetischen Maschine erregt wurde, der Magnetismus des Electro-Magnets viel stärker war, als derjenige der ganzen Reihe von Stahlmagneten, die zur Hervorrufung des Stroms angewendet wurden. Ich fand auch, dass, wenn man eine Armatur vor den Polen des Electro-Magnets rotiren liess, von dieser Armatur ein viel stärkerer Strom erzeugt wurde, als von derjenigen der magnetö-electrischen Maschine. Allgemein ausgedrückt, besteht die Entdeckung in der Entwicklung von unbegrenzt starken Magneten und Strömen aus unbegrenzt schwachen Magneten und Strömen.

Diese Principien sind in der, unter meiner Leitung für die Commission der Nördlichen Leuchtfeuer construirten Maschine verkörpert.

Sie besteht aus zwei getrennten Maschinen, einer kleinen magneto-electrischen Maschine, und einer grossen electro-magnetischen Inductions-Maschine. Wegen der Bequemlichkeit des Betriebs ist die kleine Maschine oben auf die grosse gestellt. Der zur Erregung des Electro-Magnets angewendete Strom wird aus 16 Stück U-förmigen permanenten Magneten hergeleitet, zwischen deren Polen eine cylindrische Armatur von  $3\frac{1}{2}$ " Durchmesser mit einer Geschwindigkeit von etwa 2000 Umdrehungen pro Minute rotirt. Der Electro-Magnet ist aus zwei rechteckförmigen Eisenplatten gebildet, welche mit langen und dicken Rollen von isolirtem Kupferdraht umhüllt sind. Die oberen Enden der Platten sind der Quere nach durch eine doppelte Dicke von Eisenplatten, die das obere Ende der Maschine bilden, überbrückt. Die tragende Kraft des Electro-Magnets ist sehr viel grösser, als die der permanenten Magnete, welche dieselbe erregen. Eine Armatur von 7" Durchmesser rotirt zwischen den unteren Enden der Platten, welche die Pole des Electro-Magnets bilden, mit einer Geschwindigkeit von 1800 Umdrehungen pro Minute. Von dieser Armatur erhält man den kräftigen Strom, welcher das Licht erzeugt.

Die Maschinen werden durch eine Dampfmaschine von 6 Pferdekraft getrieben, die Armaturen von beiden gleichzeitig von derselben Gegenwelle aus.

Als diese Maschinen erst construiert waren, stellte es sich heraus, dass die schnelle Magnetisirung und Demagnetisirung der Armaturen die Temperatur der Electro-Magnete in solchem Grade erhöhte, dass die Isolirung der Drähte gefährdet wurde. Durch Leitung eines Stroms von kaltem Wasser durch die Polenden der Electro-Magnete ist diese Erhitzung jetzt so weit verringert, dass die Maschinen zuweilen Tag und Nacht arbeiten, ohne Unterbrechung und irgend eine merkliche Verminderung der Kraft des Stroms.

Bei Gelegenheit einiger Versuche mit einem Paar electromagnetischer Maschinen zur Erzeugung von electricischem Licht machte ich die Entdeckung, dass, wenn zwei oder mehr Maschinen mittelst Riemen betrieben werden mit ungefähr gleicher nomineller Geschwindigkeit, dann die combinirten Ströme die Armaturen so beherrschen, dass sie dieselben veranlassen, so gleichzeitig zu rotiren, als ob dieselben mechanisch mit einander verkuppelt wären. Da genaue Gleichzeitigkeit für die Rotationen der Armaturen durchaus wesentlich ist, wenn man des combinirten Stroms von verschiedenen Maschinen bedarf, so ist diese electromagnetische Eigenschaft wichtig, da sie gestattet, dass die Maschinen ohne Rücksicht auf ihre respectiven Stellungen oder ihre Entfernungen von einander angeordnet werden.

(Gez.) H. Wilde.“

Ich werde nun zunächst untersuchen: 1) ob und wie weit das electricische Licht adoptirt werden sollte und 2) welche Art von Apparaten man benutzen müsste.

Das häufige Auftreten von Nebeln an den Küsten unseres Landes und die Plötzlichkeit, mit der sie erscheinen, machen es offenbar wichtig, dass alle Feuer so grosse Kraft wie möglich haben sollten. Aber es giebt gewisse Vorgebirge, welche, wegen ihrer dominirenden geographischen Lage, mehr als andere durch Feuer von grösserer Kraft bezeichnet zu werden verdienen.

Obwohl solche Seestationen ohne Zweifel durch Oel sehr wirksam illuminirt werden könnten, so muss es doch einleuchten, dass, wenn man eine, besser als eine Oelflamme glänzende Flamme anschaffen könnte, dies für die Seeleute von grossem Werth sein würde. Nun, das magneto-electriche Licht hat allen Anspruch



auf Beachtung, wegen seines ausserordentlichen Glanzes und seiner Pracht, da es in einer Entfernung von 24 Fuss von dem analysirenden Prisma an Intensität das Sonnenlicht übertrifft; denn nach Dr. Gladstone hat bei dieser Entfernung das electriche Licht zum Sonnenlicht das Verhältniss von 7 : 6. \*) Es ist deshalb sehr wichtig, dass seine Verwendbarkeit für die Illumination von Leuchthürmen vollständig erprobt werde. Aber die blosse Thatsache, dass ein Licht von viel grösserer Intensität als die anderer Lichter entdeckt worden ist, obwohl sie wichtig und er-muthigend ist, um so mehr, als sie hoffnungsvolle Erwartungen für die Zukunft rechtfertigt, ist an sich selbst nicht genügend, die unmittelbare allgemeine Aufnahme dieses Lichts sicher zu stellen. Es giebt verschiedene, für die Orientirung der Schiffer wesentliche characteristische Eigenschaften, die das electriche Licht sämmtlich haben muss, bevor es als brauchbar zum Führer auf See betrachtet werden kann. Diese in der That allgemein maassgebenden Eigenschaften sind die folgenden:

1) dass es beständig in Sicht sein muss während der Zeit-räume, in welchen und während welcher es dem Seemann als sichtbar angezeigt ist;

2) dass es in einer dicken und nebeligen Atmosphäre in möglichst grossen Entfernungen sichtbar sein muss;

3) dass es beständig seinen unterscheidenden Character unterhalten muss, so dass es niemals irrthümlich für ein anderes Licht gehalten werden kann.

Bei der Untersuchung, wie weit das electriche Licht diesen Anforderungen genügt, muss unsere Aufmerksamkeit auf einen Punkt gerichtet sein, der auf den ersten Blick ein besonderer Vortheil zu sein scheint, nemlich auf die grosse Kraft des Lichts. Allen nahen Beobachtern sind Glanz und Intensität desselben auffallend und unverkennbar. Aber es ist constatirt, dass auf grosse Entfernungen das Oellicht seine Intensität besser bewahrt, als das electriche Licht. Ein solches Phänomen scheint gewiss sehr unwahrscheinlich; doch darf man bei dem gegenwärtigen Zustand unsers Wissens nicht über den Gegenstand aburtheilen, denn es mag sein, dass die von dem electriche Licht ausgehenden Strahlen beim Durchgang durch ein hinderndes Medium so viel mehr, als die

---

\*) Holmes' Magneto-Electric Light as applicable to Light-houses, pag. 14.

Strahlen einer durch Oelconsum erzeugten Flamme leiden, dass das Oellicht auf grosse Entfernungen hin das kräftigste von beiden wird. Wenn dies wirklich so wäre, so würde daraus folgen, dass die Verwendung des electricischen Funkens zur Illumination von Leuchthürmen auf einem Trugschluss basirt wäre. Das blosse Blenden oder der Glanz des Effects für einen nahen Beobachter ist weit davon entfernt, ein Vortheil für den Seemann zu sein, und vielmehr ein positiver Uebelstand, den man hinnehmen muss, weil er ein nothwendiger Begleiter der Sichtbarkeit auf grosse Entfernungen hin ist. Der Seemann verlangt in irgend welchem Fall deutliche Sichtbarkeit: Jedes Weniger ist nutzlos; jedes Mehr ist ein wirklicher Nachtheil, weil der Lichtglanz das Wahrnehmungsvermögen des Schiffers für Gegenstände auf dem Wasser, die ihm näher sind und eben wegen ihrer Nähe die Sicherheit seines Schiffes unmittelbar bedrohen können, zu stören strebt. Die wirklich nützliche Kraft ist die der Durchdringung durch ein widerstehendes Medium, und daher ist das wahre Maass für die Brauchbarkeit irgend eines Lichts die Entfernung, bis zu welcher es deutlich sichtbar bleibt und für welche es seine characteristische Erscheinung bewahrt.

Die wenigen zu Edinburgh gemachten Beobachtungen scheinen besonders zu dem Glauben zu führen, dass das electriche Licht beim Durchgang durch die atmosphärische Luft einen grösseren Verlust als das Oellicht erleide; da indess die ursprüngliche Kraft des ersteren weitaus grösser ist, so wird es nichts destoweniger wahrscheinlicher in viel grösserer Entfernung sichtbar sein, als das letztere. Dies ist aber eine Frage, welche ausgedehntere und genaue Beobachtungen erfordert.

Die andern beiden, auf Seite 109 unter 1) und 3) aufgeführten Eigenschaften sind das ununterbrochene Scheinen des Lichts und die Bewahrung seines unterscheidenden Characters. Es kann nicht bestritten werden, dass die beiden electricischen Feuer zu Dungeness und Havre (La Hève), vorzüglich wenn man sie aus grösseren Entfernungen sieht, bedeutenden Veränderungen an Umfang und Intensität unterworfen sind. Obwohl nun diese Veränderungen, wenn sie von keiner grösseren Dauer sind, als die, welche man beobachtet hat, nicht gerade zu irgend welchem Zweifel über die Identität der Feuer zu Dungeness oder zu Cap la Hève führen dürften, so würde es doch ohne Frage von Wichtigkeit sein, das

Licht in seinem Schein regelmässiger und so zu gestalten, dass es weniger Veränderungen seiner Kraft ausgesetzt wäre. Es ist wohl bekannt, dass alle Lichter bei gewissen Zuständen der Atmosphäre funkeln; aber die Ursache, welche das Flackern und momentane Verlöschen des electricischen Lichts veranlasst, obwohl sie in vielen Fällen aus Unvollkommenheiten in der Qualität der Kohlen und aus Mangel an genau ausgleichender Wirkung in dem Mechanismus der Lampe herrührt, hat ohne Zweifel häufig auch ihren Grund in den veränderlichen Stellungen der Kohlenspitzen und den fortwährenden verticalen Verschiebungen der Ebene der grössten Intensität der Flamme. Die durch diese Ursache hervorgerufenen exfocalen Lagen der Flamme müssen nothwendig das parallele Strahlenbündel vom Horizont wegrücken und dasselbe entweder zu nahe beim Leuchthurm auf das Wasser oder über dem Horizont nach dem Himmel werfen.

Obgleich es nicht bestritten werden kann, dass die Vervollkommnung der electricischen Lampe, um die Flamme derselben in einer gegebenen constanten Lage zu erhalten, die grosse Aufgabe ist, die gelöst werden muss und der Foucault, Duboscq, Holmes und Serrin viel Arbeit und Scharfsinn gewidmet haben, so giebt es nichtsdestoweniger andere Mittel, durch die irgend welche Unregelmässigkeiten im Betrieb der Lampe in hohem Grade verhindert werden können. Es ist eine wichtige Empfehlung des electricischen Lichts, dass der Apparat, wie Professor Holmes sich ausdrückt, in einem Mannshut gefasst werden kann; dasselbe verliert aber einen seiner grössten Vortheile durch die Anwendung eines zu kleinen Formats des optischen Apparats, welcher, obwohl weniger kostspielig, in anderer Hinsicht unpassend ist, weil jede Oberflächeneinheit in einem Apparat kleinen Formats auf einen Lichtkegel von grösserem Divergenzwinkel wirkt, als es in grösseren Apparaten der Fall sein würde. Daher wird für die kleinen Apparate das Schleifen der Flächen und das Zusammenfügen des Glaswerks von der grössten Wichtigkeit und muss in der allersorgfältigsten Weise ausgeführt werden. Ausserdem werden geringe Abweichungen von der genauen Lage des Brennpunktes bei dem kleinen Apparat grössere Ablenkungen des parallelen Strahlenbündels erzeugen, und deshalb werden jene verticalen Verrückungen des electricischen Lichts, welche wegen der Unvollkommenheit der regulirenden Maschinerie beständig stattfinden, sehr störend sein, weil die angulare Verrückung des austretenden Strahlenbündels,

von der genauen Richtung ab, für eine gegebene lineare Verrückung der Kohlenspitzen sich nach dem umgekehrten Verhältniss der linearen Dimensionen ändert. Als ein fernerer Nachtheil beim Gebrauch kleiner Apparate ist zu bemerken, dass, wenn man eine hinreichende Divergenz für die Beleuchtung des Oceans erlangt hat, diese Bedingung nothwendig eine entsprechende Divergenz nach aufwärts gegen den Himmel involvirt, so dass unvermeidlich ein Lichtverlust eintritt. Aus dem Gesagten ersieht man, dass die Anwendung kleiner Apparate, wie sie in England und Frankreich adoptirt wurden für den Zweck der Erzeugung von verticaler Divergenz auf der See, ein Rückschritt ist.

Um vollen Gewinn aus den werthvollen Eigenschaften des electricischen Lichts zu ziehen, ist es nöthig, Apparate von solcher Grösse anzuwenden, welche, nach der gewöhnlichen Form angefertigt, practisch gesprochen überall gar keine Divergenz geben. Zu dem Ende sollten Apparate dritter Ordnung, wie sie zuerst durch die Gebrüder Stevenson in ihrem Bericht vom 27. Nov. 1865 an die Commission der Nördlichen Leuchtfeuer empfohlen wurden, kleineren Apparaten vorgezogen werden. Für Feste-Feuer sollte aus ähnlichen Gründen die vierte Ordnung statt der sechsten substituirt werden. Aber das von solchen, nach der gewöhnlichen Form angefertigten Apparaten ausgehende Licht würde für den Seemann offenbar nutzlos sein, umso mehr, da in dem Fall des Festen-Feuers keine Strahlen sichtbar sein würden, ausgenommen im oder nahe am Horizont, und ebenso im Falle des Drehfeuers, für welches der weitere Uebelstand auftreten würde, dass das schnelle Hinwegstreichen des Lichtbündels über das Auge des Beobachters es letzterem unmöglich machen würde, seine Compassrichtung nach dem Feuer zu nehmen. Was verlangt wird, besteht demnach darin, dem optischen Apparat eine solche Form zu geben, dass er den Betrag an horizontaler Divergenz erzeugt, welche nöthig ist, um darnach Compass-Richtungen nehmen zu können, und dass er ebenfalls den Betrag an verticaler Divergenz in solcher Richtung erzeugt, dass die See vom Horizont bis zum Ufer beleuchtet wird, und dass kein Strahl durch Illumination des Bogens über dem Horizont verschwendet wird. Nur bei einer solchen Anordnung wird der Seemann im Stande sein, die volle Wohlthat der besonderen und werthvollen Eigenschaften dieser neuen Lichtquelle zu ernten.

**Beste Form der Linsen für electriche Drehfeuer.** Bei den in Edinburgh mit Wilde's Licht angestellten Versuchen wurden drei verschiedene Arten der ringförmigen Linse probirt; dieselben hatten jede eine Focal-Distanz von  $0,5^m$  und waren in solchen Formen construirt, dass sie verschiedene Divergenz erzeugten. Die Experimente wurden in dieser Weise angestellt, um nicht nur den Versuch verschiedener Formen des optischen Mittels, sondern auch um die Bestimmung des geeignetsten Betrages an horizontaler und verticaler Divergenz für dieses Beleuchtungsmittel zu umfassen.

Die angewendeten Linsen waren: 1) eine planconvexe Linse nach der für Drehfeuer üblichen Construction; 2) die Differential-Linse, deren Beschreibung zuerst in meinen Antworten auf die von der Königlichen Commission für Leuchtfeuer im Jahre 1861 gestellten wissenschaftlichen Fragen gegeben wurde.\*) Das Princip dieser Anordnung ist in Fig. 96, Taf. X, im Horizontalschnitt und in Fig. 97 im Verticalschnitt gezeigt. Die äussere Fläche der Linse hat dasselbe Profil, wie in Fresnel's ringförmiger Linse, aber die innere Fläche ist nicht wie bei dieser plan (eben), sondern nach verschiedenen horizontalen und verticalen Curven geschliffen. Bei der für die in Rede stehenden Versuche verwendeten Linse indessen wurde es, um die Resultate zu variiren, für besser gehalten, die Krümmung auf die horizontale Ebene zu beschränken, so dass sie im Azimuth eine Divergenz von  $2\frac{1}{2}^0$  gab. 3) Die dritte, von dem Civil-Ingenieur Herrn Brebner vorgeschlagene Linse war in Hälften getheilt, und die Ringe erzeugten durch ihre Construction und ex focale Stellung eine Divergenz von  $6^0$  im Azimuth und  $3^0$  in der verticalen Ebene; oder mit andern Worten, sie war darauf berechnet, bei Anwendung des electriche Lichts dieselbe Divergenz zu erzeugen, welche die gewöhnliche Linse für ein Oellicht hervorbringt.

Mit diesen drei verschiedenen Linsen wurden successive Versuche gemacht, welche die folgenden etwas unerwarteten Resultate ergaben: — Wenn der Rahmen so rotirte, dass, bei der üblichen Umdrehungszeit, in einer Minute ein Blink erzeugt wurde, so zeigte sich die gewöhnliche planconvexe Linse als vollständig unbrauch-

\*) Report of the Commissioners appointed to inquire the Conditions and Managements of Lights, Buoys and Beacons, London 1861, vol. II, p. 608.

bar, wie vorauszusehen war. Der Mangel an horizontaler Divergenz machte es unmöglich, in einer Entfernung von zwei Meilen, wo die Beobachter standen, nach dem Licht den Compass zu richten, und der Mangel an verticaler Divergenz war so gross, dass das Licht nur für eine sehr geringe Höhe über und unter der Brennpunktsebene sichtbar war. Die der Differential-Linse gegebene horizontale Divergenz, die etwas kleiner war als die Hälfte von derjenigen eines rotirenden Oellichts erster Ordnung, stellte sich als kaum genügend heraus; die verticale Divergenz war natürlich ungenügend, wie bei der gewöhnlichen Linse. Die Doppel-Linse gab, wie es bestimmt war, in beiden Ebenen etwa dieselbe Divergenz, wie ein Oellicht erster Ordnung.

Hinsichtlich der Kraft zeigte sich, wie man erwartet hatte, die gewöhnliche planconvexe Linse am glänzendsten, die Differential-Linse war etwas weniger kräftig, und die Doppel-Linse war nicht nur sehr viel schwächer an Kraft, sondern auch die unterscheidende Eigenthümlichkeit des electricen Blinks war so weit verloren, dass er in hohem Grade dem des Oellichts ähnlich wurde.

Die durch den Flüssigkeits-Photometer angezeigte durchdringende Kraft war wie folgt:

Planconvexe Linse mit gewöhnlicher Linsen - Divergenz	1,00
Differential-Linse, mit $2\frac{1}{2}^{\circ}$ künstlicher Divergenz im Azimuth, und gewöhnlicher Divergenz in der verticalen Ebene	0,90
Doppel-Linse, mit $6^{\circ}$ künstlicher Divergenz in der horizontalen und $3^{\circ}$ in der verticalen Ebene . . . . .	0,75

Diese Resultate scheinen zu zeigen, dass der äusserst deutliche Blink des electricen Lichts, wenn auf dasselbe durch optische Apparate gewirkt wird, einfach von dem vollständigeren Parallelismus der Strahlen herrührt, denn wenn es hinsichtlich der Divergenz dem Oellicht ähnlich wird, so wird die Kraft sehr nahe bis zur Gleichheit reducirt. Daher sollte der kleine Apparat, welcher nothwendig eine verschwenderische verticale Divergenz erzeugt, gänzlich verworfen werden.

Das allgemeine Resultat dieser Untersuchungen ist: 1) dass der Apparat für Drehfeuer nicht kleiner als dritter Ordnung mit  $0,5^m$  Focal-Distanz sein darf, wie ursprünglich in dem Bericht der Gebrüder Stevenson angegeben war, und 2) dass die ringförmige Linse entweder eine Differential- oder eine Doppel-Linse sein muss. Die erstere kann (auf der innern Seite) entweder in beiden Ebenen

gekrümmt sein, oder aber sie muss, wenn dies nur für die Horizontalebene der Fall ist, exfocal wie die Doppel-Linse gestellt werden.

**Beste Form der reflectirenden Prismen.** Die oberen und unteren total reflectirenden Prismen lassen eine so leichte Berichtigung wie der linsenartige Theil nicht zu. Die Schwierigkeiten können vielleicht dadurch überwunden werden, dass man die Segmente in heissem Zustande der erforderlichen Ablenkung entsprechend biegt. Diese Methode wurde von Herrn Chance bei der Construction des Apparats für Buddonness mit Erfolg angewendet. Die rechtwinkligen Prismen, welche den Dom dieses Apparats bilden, wurden auf diese Weise um einen grösseren Winkel gebogen, als es im vorliegenden Fall nöthig sein würde. — Auch eine andere Methode könnte man versuchen: Wenn dünne, nach den nöthigen Curven geschliffene und auf ihren äussern Flächen polirte Platten von Flint- oder Tafelglas hinten auf den reflectirenden Flächen der Prismen festgekittet würden, so könnte dadurch vielleicht der genaue Bestimmungsort der verschiedenen Strahlen gesichert werden. Denn obwohl es, wie in dem Fall der ringförmigen Linse, unmöglich ist, eine ganze Linse so zu schleifen, dass der sphärischen Aberration vorgebeugt wird, so ist es doch leicht, getrennte Stücke mit den verlangten Krümmungen herzurichten, und so könnte im vorliegenden Fall die Anwendung von getrennten kleinen Stücken die Schwierigkeit der Herstellung lösen.

Der, nach meiner Ansicht wahrscheinlich der billigste und leichteste Plan, um den beabsichtigten Zweck zu erreichen, ist in Fig. 98, Taf. X, gezeichnet. Bei dieser Construction, die gleich anwendbar ist auf Oellichter in hohen Thürmen und auf das electriche Licht, sind die obern und untern Prismen  $P$  von der gewöhnlichen Form, aber die Glasscheiben der Laterne  $abcd$  sind nach den beziehungsweise für Feste-Feuer und für Drehfeuer verlangten Formen geschliffen, so dass sie den Strahlen die erforderliche verticale Divergenz geben. Dagegen bedürfen die Linse, oder bei einem Festen-Feuer der cylindrische Refractor, wenn sie nach dem Differential-Princip vertical gekrümmt sind, keiner Nachhülfe, und die ihnen gegenüber stehenden Scheiben der Laterne können eben sein, wie bei einem gewöhnlichen Feuer. Die Zeichnung bezieht sich auf einen Apparat erster Ordnung, welcher viele gekrümmte Scheiben erfordert, aber für das electriche Licht brauchen nur einzelne Reihen von Scheiben vor den obern und

untern Prismen gekrümmt zu werden. Es wird in den meisten Fällen wahrscheinlich genügen, das von den Prismen ausgehende Licht gegen den Horizont zu neigen, so dass die den Prismen gegenüber stehenden Scheiben prismatisch mit ebenen Flächen gemacht werden könnten. Um bei einer Thurmhöhe von 500 Fuss den parallelen Strahlen auf diese Weise die erforderliche Tauchung zu geben, darf für eine zwei Fuss hohe Scheibe die Differenz in der Dicke derselben für den obern und untern Rand den Betrag von 0,279 Zoll nicht überschreiten, was einem brechenden Winkel von 40' entspricht.

---



## Kapitel VII.

### Das umkehrende Feuer, dioptrische schwimmende Feuer, Ocean-Feuer und elliptische Brenner.

---

**Umkehrende Feuer.** Wenn ein Bogen, der nicht über die Hälfte des Horizonts hinausgeht, durch ein Drehfeuer der gewöhnlichen Construction beleuchtet wird, so ist klar, dass, während die eine Hälfte der Reflectoren oder Linsen auf dem rotirenden Rahmen mit Nutzen der See zugewendet ist, die andere Hälfte nutzloser Weise die Landseite beleuchten muss. Um diesen unnützen Aufwand zu vermeiden, schlug Kapitain Smith eine Anordnung vor, die er hin- und hergehendes Feuer (reciprocating light) nannte. Er stellte nur an einer Seite des Rahmens Reflectoren auf und ertheilte dem Rahmen, statt einer continuirlichen, eine hin- und hergehende Drehbewegung. Auf diese Weise entspricht die halbe Anzahl von Reflectoren dem Zweck, den seeseitigen Bogen zu beleuchten, während man am Lande niemals Licht sieht. Diesem Plan haften übrigens ganz erhebliche Mängel an, auf die Herr Alan Stevenson hingewiesen hat, um so mehr, da der unterscheidende Character eines Drehfeuers nicht mehr gewahrt bleibt; denn die Wechsel von Licht und Finsterniss sind an Dauer nur in der Mitte des Bogens gleich, während sie nach den Enden zu variiren. Eine solche Anordnung kann daher ausserordentlich leicht zu Verwirrungen führen, da sie stets wechselnde Charactere zeigt, wenn der Beobachter von einem Azimuth nach einem andern hingeht, und somit eine genaue Identificirung des Lichts unmöglich wird.

Könnte man dieselbe Sparsamkeit wie bei dem hin- und hergehenden Feuer, ohne Uebertragung ähnlicher Nachtheile, wie

sie mit letzterem verbunden sind, erzielen, so würde das Resultat augenscheinlich ein schätzbares sein. Dieses Ziel wurde zuerst durch meinen Freund, Herrn J. T. Thomson, den tüchtigen Ingenieur des Feuers zu Horsburgh erreicht, und es gebührt ihm daher das Verdienst, der Erste gewesen zu sein, der ein Drehfeuer entworfen hat, dessen Phasen in jeder Weise denen eines Drehapparats der gebräuchlichen Art gleich sind, während die Unterhaltungskosten nur die Hälfte derjenigen eines solchen Apparats betragen.

Herr Thomson war so gütig, mir eine Zeichnung seines sinnreichen Plans, den er nachher der Royal Scottish Society of Arts vorlegte\*), zu schicken. Er beschreibt diese schöne Erfindung in den Abhandlungen dieser Gesellschaft für 1856, S. 308, in folgender Weise: „Es sei (Fig. 99, Taf. XI)  $ABCDEF$  ein ringförmiger Rahmen, welcher um seinen Mittelpunkt  $G$  rotirt, und  $F$  ein Punkt auf dem Umfang des Rahmens. Denkt man sich nun in den Punkten  $A, B, C, D, E, F$  Reflectoren aufgestellt, welche, während sie sich auf dem Kreise  $ABCDEF$  bewegen, gleichzeitig durch gerade Stäbe oder Schienen  $FA, FB, FC$  etc. nach den Richtungen ihrer Lichtbündel dirigirt werden, so ist klar, dass die Reflectoren während ihrer kreisförmigen Bewegung von  $F$  nach  $A$  einen durch den Winkel  $FGA$  gemessenen Bogen durchlaufen; dagegen wird das Lichtbündel des Reflectors in derselben Zeit nur einen durch den Winkel  $AFb$  gemessenen Bogen durchlaufen haben, wobei Winkel  $AFb$  gleich der Hälfte des Winkels  $AGF$  ist, da  $Fb$  eine Tangente an den Kreis im Punkte  $F$  ist; der durch den Winkel  $AFb$  gemessene Bogen  $Ab$  ist folglich gleich der Hälfte des durch den Winkel  $AGF$  gemessenen Bogens  $AF$ . In derselben Weise beschreiben die Reflectoren während der Kreisbewegung von  $A$  nach  $B$  um den Mittelpunkt  $G$  einen durch den Winkel  $BGA$  gemessenen Bogen, und dieser ist doppelt so gross, wie der durch den Winkel  $BFA$  gemessene Bogen, da Winkel  $BFA$  gleich der Hälfte des Winkels  $BGA$  ist. Dasselbe wird bei allen übrigen Bögen des Kreises der Fall sein, so dass, wenn die Reflectoren den ganzen Umkreis von  $360^\circ$  durchlaufen haben, ihre Lichtbündel nur durch  $180^\circ$  gegangen sein werden.

---

\*) Siehe Transactions of the Royal Scottish Society of Arts, vol. IV, pag. 306: Description of a Semi-Revolving Light. By J. T. Thomson.

Bei einer genau nach dieser Idee construirten Maschine würde in dem Punkt  $F$  eine practische Schwierigkeit bei der Umkehrung der Reflectoren von  $c$  nach  $b$  hin auftreten, aber, da es von vornherein klar ist, dass man sich für practische Zwecke nicht ganz strenge an das Princip zu halten braucht, so kann man das Ziel leicht erreichen, wenn man den Punkt  $F$  innerhalb des Kreises legt. Wenn man nemlich (Fig. 100, Taf. XI) Reflectoren  $aaa$  auf einen um seinen Mittelpunkt  $G$  rotirenden Rahmen  $ABC$  stellt und die Art und Weise, wie diese Reflectoren ihre Vorderseiten der See zukehren, durch gerade Stäbe oder Schienen, die an den Reflectoren befestigt sind und auf einem in  $F$  angebrachten verticalen runden Bolzen gleiten, regelt, so werden die von den Reflectoren ausgehenden Strahlenbündel nahezu die verlangten Bedingungen erfüllen, nemlich in gleichen Intervallen jeden Theil der  $180^\circ$  des seeseitigen Horizonts beleuchten, und es wird kein Licht nach der Landseite hin verschwendet werden.“

Es fiel mir später ein, dass es noch ein anderes Mittel gäbe, um denselben Vortheil zu erzielen. Ohne einen Vergleich der relativen Vorzüge der beiden Pläne anstellen zu wollen, darf ich vielleicht bemerken, dass nach meiner Ansicht der Plan von Herrn Thomson die aufgestellten Bedingungen befriedigend zu erfüllen verspricht und gewiss der eleganteste ist, obwohl die von mir vorgeschlagene Methode wahrscheinlich einfacher und freier ist von mechanischen Schwierigkeiten.

Fig. 101, Taf. XI, zeigt einen Grundriss von meiner Form des umkehrenden Lichts:  $ABCD$  stellt den an der Peripherie mit einem Zahnkranz versehenen rotirenden Rahmen dar;  $RR$  sind die Reflectoren und Lampen, welche eine durch ihren gemeinschaftlichen Schwerpunkt gehende verticale Drehachse haben. Am untern Ende dieser Drehachse sitzt ein in der Figur durch einen punktirten Kreis angedeutetes Triebrad  $e$ , und an besonders dazu befestigten Ständen sitzen zwei concave verzahnte Segmente  $E$  und  $F$  auf entgegengesetzten Seiten des Kreises und in gleicher Ebene mit den genannten Triebrädern.  $GHD$  sei die seewärts liegende Seite des Horizonts, welche beleuchtet werden soll, während  $DKG$  die dunkel zu haltende Landseite ist. Da der Rahmen  $ABCD$  in Folge der Wirkung der gewöhnlichen Maschinerie des Lichtraums auf den grossen Zahnkranz, im Punkte  $K$ , rotirt, so werden die Reflectoren ihre Richtungen jedes Mal umkehren, wenn

die Triebräder an den Enden der Drehachsen der Reflectoren mit den festen concaven Segmenten zum Eingriff kommen. Die umkehrenden Segmente *E* und *F* haben genau so viele Zähne, wie nöthig sind, um die Reflectoren rückwärts durch einen Bogen von 180° zu drehen; und um irgend einem zufälligen Hinderniss, welches den Reflector veranlassen könnte, seine Stellung zu ändern, bevor er das andere umkehrende Segment erreicht, zu begegnen, sichert eine wie eine Sperrklinke wirkende kleine Feder ihm seine genaue Stellung, die ihm durch den letzten Zahn des Segments gegeben ist.

Aus der eben gegebenen Beschreibung wird man leicht ersehen, dass die Reflectoren wie auf der Aussenseite eines Cylinders angeordnet erscheinen werden, während sie durch den der See zugekehrten Bogen gehen, und auf der Innenseite eines hohlen Cylinders, während sie den landseitigen Bogen passiren. Die Vorderseite jedes Reflectors mit der zugehörigen Lampe wird dem Centrum des Apparats zugewendet beim Eingreifen des Trieb in das feste Segment *E*; für die hintere Seite findet dasselbe statt beim Eingriff in das andere Segment *F*.

**Dioptrisches umkehrendes Feuer.** Fig. 102, Taf. XI, stellt ein im Jahre 1860 von mir in Vorschlag gebrachtes umkehrendes dioptrisches Feuer dar; in demselben rotiren ebene, an einer Kette ohne Ende befestigte Spiegel *M* mit dieser Kette und veranlassen auf diese Weise die Linsen, ihre Blicke für den zu verstärkenden Bogen zu wiederholen.

**Dioptrisches schwimmendes Feuer.** Vor dem Jahre 1807 war die einzige Art von schwimmenden Feuern ein Schiff mit einer an die Nock der Raa gehängten Laterne. Bei solcher Anordnung konnte man natürlich nur ein Licht der schwächsten Art und der einfachsten Construction aushängen. Herr Robert Stevenson indessen ersann das, was als das jetzige System der schwimmenden Feuer bezeichnet werden kann. In seinem Account of the Bell-Rock Lighthouse\*) beschreibt er die Laterne für schwimmende Feuer so: „Fig. 1 ist eine Ansicht von einer der drei kupfernen Laternen, welche das während der Erbauung des Thurms auf dem Bell-Rock verankerte Feuerschiff Pharos führte. Um

\*) Siehe Account of the Bell-Rock Lighthouse. 4<sup>o</sup>. Edinburgh 1824.

dieses Schiff von den beschwerlichen Raanen zu befreien, an denen in sonst üblicher Weise die schwimmenden Lichter aufgehängt wurden, waren diese Laternen so construirt, dass sie die Masten rund herum umfassten und sich auf ihnen aufwärts und abwärts bewegten. Dies wurde dadurch erreicht, dass man sie mit einem kupfernen Rohr in der Mitte construirte, um den durch dasselbe hindurchgehenden Mast aufzunehmen. Die Laternen wurden erst ganz hergestellt und mit Messingflanschen versehen; dann wurden sie der Länge nach durchschnitten, was bequem gestattete, sie auf dem Mast zusammen zu schrauben, nachdem das Schiff vollständig ausgerüstet und auf seiner Station vor Anker gelegt war.“

Seit dieser wichtigen Aenderung wurde in England der Dreh-Apparat für schwimmende Feuer angewendet, und auch der dioptrische Apparat wurde, jedoch ohne Erfolg, versucht. Ich habe seitdem das dioptrische System mit Erfolg angewendet, indem ich kleine halbe Bienenkörbe mit einem inneren Durchmesser von sechs Zoll um den Mast herum anordnete.\*)

Fig. 103 und 104, Taf. XI, stellen einen Apparat dar, ähnlich wie er für die Regierung in Indien durch die Gebrüder Stevenson zur Beleuchtung des Hooghly, für welchen sechs Bienenkörbe angewendet sind, entworfen wurde. Aehnliche schwimmende Lichter sind seitdem für die Regierung von Japan geliefert worden. Die Hooghly-Lichter wurden aus einer Entfernung von 19 Meilen gesehen, und über das erste derselben wurde durch den dienstthuenden Kapitain an das Secretariat der Bengalischen Regierung berichtet, „dass es sehr wirksam und das beste und glänzendste sei, welches in jenen Meeren jemals von einem Feuerschiff geführt worden sei“.

**Ocean-Feuer.** Jeder Seemann weiss, dass, so lange sein Fahrzeug im offenen Ocean ist, wo es Seeraum im Ueberfluss hat, die zu bekämpfenden Gefahren nur klein sind im Vergleich zu denjenigen, die ihn bei seiner Annäherung ans Land erwarten. Dann wird der sorgfältigste Ausguck gehalten, und man fühlt die grösste Besorgniss in Bezug auf die Lage des Schiffs. Vor einigen Jahren fiel es mir sehr stark auf, dass noch Vieles zu thun übrig bliebe, um die Gefahr, der unsere überseeischen Schiffe bei ihrer An-

---

\*) Herr Letourneau beschrieb 1851 eine ähnliche Anordnung von vier Bienenkörben.

näherung ans Ufer begegnen, zu vermindern. Es liegt in der That wenig Consequenz darin, dass dem transatlantischen Reisenden keine bessere Warnung gegeben wird, als dem Küstenfahrer unserer Binnenseen. Denn es ist klar, dass der Küstenfahrer beim Durchlaufen eines kurzen Courses sogar durch Gissung seinen Irrthum innerhalb verhältnissmässig enger Grenzen halten kann, um sich in den meisten Fällen eine leidlich genaue Idee über seine Entfernung vom Ufer zu bilden. Die Sache liegt aber ganz anders für einen Schiffer, der sich dem Ende seiner überseeischen Reise nähert und vielleicht einen Monat lang kein Land gesehen hat, wobei es sein kann, dass er wegen vorherrschenden trüben Wetters keine Gelegenheit gehabt hat, während eines grossen Theils dieses Zeitraums eine Sonnen- oder Mondbeobachtung zu machen. Das häufige und plötzliche Auftreten dichter Nebel macht es augenscheinlich wichtig, allen Lichtern eine möglichst grosse Intensität zu geben. Aber es giebt gewisse Vorgebirge, welche, wegen ihrer dominirenden geographischen Lage, mehr als andere durch Feuer von grosser Kraft bezeichnet zu werden verdienen. Als ich im Jahre 1855 mit dem verstorbenen Kapitain Washington, dem Hydrographen der Admiralität, in Betreff der besten Charactere zur Unterscheidung von Lichtern correspondirte, äusserte ich mich über diesen Gegenstand in folgender Weise: „Was wir gebrauchen, ist ein kräftiger Apparat, keine schwierigen Unterscheidungen. In einer trüben Nacht im Stande zu sein, ein Licht zu sehen, obwohl es vielleicht nur eine halbe Meile weiter entfernt ist, als jetzt, kann von unberechenbarem Vortheil sein. Wenn wir daher die Kraft unserer Feuer so verstärken können, dass sie das Dunkel nur um jenen Bruchtheil einer Meile weiter als jetzt zu durchdringen vermögen, so sind wir auf dem rechten Wege. Von jenem kleinen Betrag weiteren Seeraums können vielleicht Hunderte von Menschenleben abhängen. Dieser Gegenstand hat mich in der letzten Zeit viel beschäftigt, und ich bin der Meinung, dass vielleicht drei oder vier grosse Ocean-Feuer für verschiedene Punkte in England, Irland und Schottland construirt werden müssten, welche, dem atlantischen Ocean zugewendet, solche optische Kraft besitzen müssten, dass sie alles bis jetzt Versuchte, oder Alles, was in vielen gewöhnlichen Fällen, wo nur ein kleinerer Seeraum nöthig ist, in der That verlangt wird, weit überträfen, obwohl in allen Fällen die grössere Kraft in Wahrheit grössere Sicherheit begründet. Feuer der erwähnten Art würden edle Be-

schützer für heimkehrende Schiffe sein, indem sie ihnen längeren Seeraum geben würden. Für solche Zwecke würde ich selbstverständlich Drehfeuer vorschlagen, da sie die kräftigsten sind, und ich würde für sie Holophotal-Apparate erster Ordnung mit einer bis jetzt noch nicht versuchten Einrichtung, die, ohne einen grösseren Oel-Consum zu involviren, die Wirkung ausserordentlich verstärken würde, adoptiren.“

Auch die Ostküste von Britannien dürfte nicht übersehen werden. Vielleicht drei oder vier solcher Feuer würden sich für Schiffe, die aus der Nordsee oder Ostsee nach Britannien heimkehren, als sehr werthvoll erweisen. Es erscheint nur als eine vernünftige Schlussfolgerung, dass, wenn die Anwendung unserer nationalen Kapitalien zur Construction kostspieliger Sicherheitshäfen berechtigt ist, man in gleicher Weise für jede Hülfe zur Erreichung dieser Häfen zu sorgen habe. Aus diesen Schutzwachen würde sich für heimkehrende Schiffe ohne Frage eine erhöhte Sicherheit ableiten, und man kann solche Vorposten gewiss nicht als überflüssig betrachten, wenn man bedenkt, eine wie grosse Zahl von Menschenleben und welche ungeheuren Massen von Gütern alljährlich in Gefahr sind in Fahrzeugen, bei Annäherung der letzteren an unser Land, das in der ganzen Welt den meisten Seeverkehr treibt.

Wegen der wichtigen Zwecke, die solche Lichter zu erfüllen hätten, müssten für sie die besten Apparate in der sorgfältigsten Weise entworfen und ausgeführt werden; auch ihre genaue Höhe würde nach sorgsamer Ueberlegung zu bestimmen sein. In einer Hinsicht würden die höchsten Klippen und Thürme am zweckmässigsten sein, aber ausserdem wird in allen Breiten die Höhe, in welcher dicke Nebel erfahrungsmässig am meisten vorherrschen, ein bestimmendes Element bilden, welches nicht übersehen werden darf. Was die besonderen Anforderungen an ein Ocean-Feuer betrifft, so glaube ich nicht, dass es erforderlich sein würde, einen sehr grossen azimuthalen Bogen zu beleuchten; um mit dem Licht zu sparen und es nicht über Gegenden zu zerstreuen, für die es nicht absolut nothwendig ist, dürfte der Bogen in keinem Falle  $180^{\circ}$  überschreiten, und es würde sogar wünschenswerth sein, sich dieser Grenze nicht zu hart zu nähern. — Ohne der Frage über die passendste Anordnung des Apparats vorgreifen zu wollen, so mag es doch nicht vergeblich sein, die mir jetzt als die beste theoretische Form erscheinende Anordnung hier zu erwähnen,

obwohl es sehr möglich ist, dass, wenn die Details zur Ausarbeitung kommen, wesentliche Abänderungen als rathsam erscheinen können. Meine Beschreibung wird wenigstens die Richtung andeuten, die man beim Entwerfen eines derartigen Apparats wird verfolgen müssen. Fig. 105 und 106, Taf. XI, stellen Schnitt und Ansicht des Apparats dar: *abcd* sind zwei rückseitig an einander gestellte Halb-Holophote erster Ordnung; die äusseren Durchmesser dieser Apparate betragen 10', so dass bei alleinigem Gebrauch der letzteren alles von dem vierdochtigen Brenner ausgehende Licht in zwei gleiche Theile zerlegt werden würde, die in entgegengesetzten Richtungen nach dem Horizont hinausgehen würden. Nun stellt aber *ef* einen total reflectirenden sphärischen Spiegel dar, welcher landwärts von der Flamme aufgestellt ist, um die Ausbreitung des Lichts nach zwei Richtungen hin zu verhindern. Der ganze Apparat soll regelmässig rotiren; aber der sphärische Spiegel muss, um die Strahlen an der Landseite aufzufangen, mit einem umkehrenden Apparat versehen sein, der in seinen Wirkungen dem in Fig. 101 gezeichneten ähnlich, obwohl der Form nach von demselben verschieden ist. Der sphärische Spiegel (siehe Fig. 107, Taf. XI) ist beständig nach der Achse des Holophots gerichtet, dessen Vorderseite der See zugekehrt ist; hat die Achse dieses Holophots den ganzen zu beleuchtenden Bogen durchlaufen, wie in Fig. 107 c, so dass sie bei weiterer Drehung des ganzen Apparats in den landseitigen dunkeln Bogen eintritt, so dreht der umkehrende Apparat den sphärischen Spiegel *ef* schnell um 180°. Dadurch wendet sich der Spiegel, genau in entgegengesetzter Richtung, dem andern Holophot zu, dessen Achse in dem Augenblick gerade aus dem dunkeln Bogen heraustritt und im Begriff ist, sich der See zuzuwenden. Dieser Process, regelmässig fortgesetzt, wird das Resultat haben, dass die sämmtlichen von der Lampe ausgehenden Strahlen in ein einziges Strahlenbündel parallelisirt werden, welches regelmässig den seeseitigen Bogen des Horizonts durchlaufen wird. — Die Kraft dieser Anordnung kann beurtheilt werden nach einem Apparat erster Ordnung, wie er unlängst, durch die Herren Chance in Birmingham, in den Whalsey-Skerries auf den Shetlands-Inseln in sehr befriedigender Weise ausgeführt wurde\*); durch denselben wird das

\*) Fig. 32 (Taf. III) stellt einen Verticalschnitt eines solchen dioptrischen Apparats dar.



Licht genau in acht gleiche Theile getheilt, während es bei dem beschriebenen Vorschlag für Ocean-Feuer in ein einziges Bündel gesammelt wird.

Ich habe Nichts über die Quelle des Lichts gesagt, welche für diesen Apparat angewendet werden müsste: Seit dem Entwurf meiner Zeichnung ist das electriche Licht so sehr verbessert worden, dass es jetzt für die Zwecke von Leuchtfeuern anwendbar ist, und bei einer solchen Lichtquelle würde ein viel kleinerer Apparat ausreichend sein.

**Elliptische Brenner.** Wenn die den Apparat eines Leuchtfeuers illuminirende Flamme auf einen mathematischen Punkt reducirt würde, so würden bei holophotaler Anordnung alle von ihr ausgehenden Strahlen einander parallel gemacht werden. Aber bei einem physischen Object, wie die Flamme einer Lampe, müssen die von den äussern Theilen der Flamme ausgehenden Strahlen offenbar in Richtungen auf den Apparat fallen, die verschieden sind von denen, welche von dem Centrum der Flamme ausgehen, und sie werden daher nicht in parallelen Richtungen fortgeschickt. Der Betrag dieser Divergenz in irgend einem Punkt des Apparats wird durch das zwischen der Breite der Flammen und ihrer Entfernung von dem betreffenden Theil des Apparats bestehende Verhältniss dargestellt. Diese Abweichung gewisser Strahlen von dem wirklichen Parallelismus kann indessen nicht als ein Fehler für die Leuchtthurm-Apparate angesehen werden, sondern sie ist im Gegentheil ein positiver Gewinn, da es für den Zweck der Schifffahrt absolut nothwendig ist, dass das Licht einen beträchtlichen Sector des Horizonts beleuchte. Bei Drehfeuern z. B. muss das Lichtbündel so lange für den Schiffer in Sicht bleiben, dass er seinen Compass nach dem Licht richten kann. Es ist indessen klar, dass, wie in einem frühern Kapitel gezeigt wurde, nur in der horizontalen Ebene ein grosser beleuchteter Bogen verlangt wird, und dass es eine blosser Lichtverschwendung ist, wenn man das Licht in gleicher Weise in der verticalen Ebene divergiren lässt.

Wenn man die Divergenz eines Drehfeuers zu verstärken und dadurch die Dauer seiner Blinke zu verlängern wünscht, so kann ein grösserer Brenner als gewöhnlich angewendet werden. Der vergrösserte Durchmesser der Flamme indessen verursacht eine grosse Zunahme des Oel-Consums, welcher theilweise aufgewendet wird, zur Erhöhung der Divergenz des verticalen sowohl, wie des

horizontalen Sectors, denn die Flamme wächst in der Höhe nahezu in demselben Verhältniss wie in der Breite; ausserdem vermehrt die einfache Vergrösserung des Durchmessers die frühere Divergenz für alle Theile des Apparats gleichmässig, und intendirt nicht dieselbe auszugleichen. Diejenigen Theile, welche früher die Maximal- und Minimal-Divergenz erzeugten, bleiben wie vorher in demselben Verhältniss zu den andern Theilen. Dieses Mittel ist deshalb ein sehr rohes: es vermindert ein Uebel und vermehrt dabei ein anderes gleich grosses Uebel.

Da der durch irgend einen Punkt des Apparats erzeugte Divergenzwinkel derselbe ist, wie der Winkel, den die Flamme in Bezug auf diesen Punkt spannt, so sieht man, dass, wenn statt eines kreisförmigen Argand-Brenners ein flachdochtiger Brenner angewendet würde, dessen grösste Breite derjenigen des Argand-Brenners gleich wäre, und dessen Längenrichtung nach dem nächsten Theil des Apparats, wo vorher die grösste Divergenz erzeugt wurde, hinzeigte, dann die flachen Seiten des Dochtes den entferntesten Theilen des Apparats, welche früher die grösste Divergenz hervorbrachten, zugewendet sein würden.\*) Auf diese Weise könnte man einigen Vortheil erzielen, aber man würde damit die Vorzüge des Argand-Brenners, eine vollkommene Verbrennung und eine rauchlose Flamme, aufopfern.

Um den genannten Uebelständen zu begegnen, kam ich im Jahre 1857 auf die Idee, statt des kreisförmigen Argand-Brenners einen elliptischen oder ovalen Brenner zu substituiren, um dadurch die Divergenz für alle Theile des Apparats gleich zu machen und gleichzeitig den unnöthigen Oelaufwand zu vermeiden, welcher bei einem runden Argand-Brenner aus einer Vergrösserung seines Durchmessers resultiren würde.\*\*\*) Dieser Einwand verschwindet bei dem ovalen Brenner, denn hier hat man nur die Dimensionen der Achsen so zu bestimmen, dass sie in demselben Verhältniss wie ihre respectiven Entfernungen von den verschiedenen Theilen des Apparats zu einander stehen.

---

\*) Dies ist indessen nicht ganz wahr für die gewöhnliche Form der Parabel, oder überhaupt für einen Apparat, welcher sich an beiden Seiten der Flamme ausdehnt.

\*\*) Ich habe in Erfahrung gebracht, dass der verstorbene Herr Jesse Hartley ovale Brenner für schwimmende Feuer angewendet hat, aber ich bin nicht im Stande gewesen, die Details zu bekommen oder mich zu überzeugen, ob sie aus demselben, im Text angegebenen Grunde gebraucht sind.

Figur 108, Taf. XI, zeigt die Anwendung eines elliptischen Brenners für einen Apparat, in welchem das Verhältniss der grössten und der kleinsten Entfernung vom Brennpunkt gleich 2:1 ist. In einem solchen Fall hat man einfach einen Brenner zu construiren, dessen grosse und kleine Achse in diesem Verhältniss zu einander stehen; dadurch wird angenähert die Divergenz für alle Theile des Apparats gleich gemacht.

Im Jahre 1857 liess ich einen elliptischen Brenner construiren, und es zeigte sich, dass er für einen ersten Versuch gut brannte. Die elliptischen Lampengläser indessen waren, obwohl sie, bei dem gänzlich neuen Herstellungsprocess, eine leidlich gleichmässige Structur hatten, nicht so gut gefornt, wie man hätte wünschen können.

## Kapitel VIII.

### Holophon oder Schallreflector für Nebelsignale.

**Schallreflectoren für Nebelsignale.** Bei schwerem Regen- und Schneefall und bei Nebel wird das Licht stärker absorbirt als der Schall; wenn daher nicht die Schwierigkeit der genauen Bestimmung der Richtung des Ortes, von dem der Schall ausgeht, vorhanden wäre, so dürfte man mit Recht schliessen, dass die Schallsignale wichtiger wären als die Leuchtfeuer, weil sie dann am wirksamsten sind, wenn es für den Seemann am nöthigsten ist, dass er bei seiner Annäherung an die Gefahr gewarnt werde.

Der verstorbene Herr R. Stevenson wandte im Jahre 1808 durch eine Maschinerie erzeugte Schallsignale auf dem Bell-Rock-Leuchthurm an, und er stellte damals die Thatsache fest, dass von allen Schallsignalen das Horn das beste, und wirksamer sei, als Kanonen, Glocken oder Pfeifen.

Der Vorschlag, die Schallwellen mit Hülfe von Reflectoren zu condensiren und zu dirigiren, ist nicht neu. Professor Babbage schlug vor vielen Jahren vor, eine Pfeife im Brennpunkt eines paraboloidischen Reflectors anzuwenden, und Herr A. Gordon aus London empfahl für denselben Zweck die Form des schon beschriebenen Bordier Marcet'schen Reflectors. Durch diesen Reflector (siehe Fig. 18, Taf. II) wird nur in der verticalen Ebene auf den Schall gewirkt, während er sich im Uebrigen mit seiner natürlichen Divergenz beliebig verbreiten kann. Für den mit dem Apparat bekannten Leser bedarf es indessen kaum der Erwähnung, dass, wie für den Fall der Lichtstrahlen, durch natürliche Divergenz viel von dem Schall über die Ränder des Reflectors entweicht und so vollständig verloren geht.

Daboll, ein amerikanischer Ingenieur, hat seitdem ausgezeichnete Resultate vermittelt eines mit einem metallenen „Riedblatt“ versehenen Horns erzielt, durch welches mittelst einer

calorischen Maschine condensirte Luft geblasen wird. Mehrere von seinen Constructionen sind jetzt an verschiedenen Punkten der britischen Küste, sowie in Amerika und den Colonien in Gebrauch.\*)

Was ich nun als eine Verbesserung an Schallreflectoren anzuführen habe, ist, mit einigen Modificationen, die Anwendung der für Leuchtfeuer adoptirten Holophotal-Anordnung, um alle Schallwellen zu parallelisiren und in die verlangte Richtung zu leiten. Wegen der grösseren Länge der Schallwellen ist für diesen Zweck ein viel grösserer Apparat nöthig als für den Fall der Licht-Reflection. Kleine Reflectoren wirken, wie bekannt, sehr unvollkommen, während die in sehr viel grösserem Maassstab ausgeführten den Schall sehr genau zu reflectiren scheinen. Ich hatte vor längerer Zeit hiervon einen auffallenden Beweis bei einer Stampfmühle zu Musselburgh am Ufer des Esk-Flusses, deren Schalle mit wundervoller Schärfe von einer entfernten Mauer auf der entgegengesetzten Seite des Flusses reflectirt wurden. Meine Aufmerksamkeit wurde im Jahre 1862, als ich in Rom war, wieder auf diesen Gegenstand hingelenkt durch das wohlbekanntes, durch die wiederhallende Gallerie in dem Döm St. Peter hervorgerufene Phänomen.

Für den Schall ist selbstverständlich dieselbe Form des Reflectors anwendbar wie für das Licht. Die für Beleuchtungszwecke mit dem Namen „Holophot“ bezeichnete Anordnung würde im Falle des Schalls den correspondirenden Namen „Holophon“ annehmen und aus derartig arrangirten Reflectoren bestehen, dass sie die divergirenden Schallwellen aufnehmen und parallelisiren müssten.

Die erste Form des Holophons, welche ich 1864 gemacht

\*) In den letzten Jahren ist in Amerika eine den Ingenieuren A. u. F. Brown in New-York patentirte Nebel-Trompete, welche den Daboll'schen Apparat an Wirksamkeit übertreffen soll, in Anwendung gekommen und u. A. auf Little-Gull-Island an der Südseite der Haupteinfahrt in den Long-Island-Sund aufgestellt. Sie besteht aus einem langen angenähert conischen Horn, vor dessen Spitze sich eine Art Sirene befindet, die durch eingeblasenen Dampf — die Construction lässt auch comprimirt Luft zu — einen eigenthümlichen sehr lauten Ton erzeugt. Ein Dampfkessel von 15 Pferdekraft giebt den hierzu nöthigen Dampf her, während die mit demselben verbundene Maschine in bestimmten Zwischenräumen das Dampfzutritts-Ventil der Sirene öffnet — dasselbe schliesst sich nachher wieder durch die Wirkung eines Contra-Gewichts — und eine von der Anordnung der Sirene verlangte Drehbewegung erzeugt. — Bei schwerem Schneesturm und quergerichtetem Winde wurde die Sirene deutlich in einer Entfernung von 11 Meilen gehört, und die Schallweite soll unter etwas günstigeren Umständen bis zu 20 Meilen und darüber (?) betragen. (C. N.)

hatte, bestand aus einer Combination von kegelförmigen Reflectoren, die der verstorbene Dr. Robinson aus Edinburgh für die Reflection des Lichts höher stellte als paraboloidische Reflectoren. — Späterhin wurden für denselben Zweck die in den Figuren **109** und **110**, Taf. XII, in Verticalschnitt und Vorderansicht dargestellten paraboloidischen Reflectoren angefertigt; dieselben parallelisiren die Schallwellen nur in der verticalen Ebene und vertheilen sie im Uebrigen über  $180^{\circ}$  des Horizonts. *BCD* sind paraboloidische Streifen, welche auf die von der vordern Hälfte der Pfeife *A* oder eines andern, in den Brennpunkt gestellten Schallerzeugers ausgehenden Wellen wirken, während ähnliche Streifen *EFG* die von der hintern Hälfte erzeugten Wellen parallelisiren; die letzteren Wellen werden darauf durch die halben Hohlkegel *HH* nach vorne hin reflectirt.

Figur **111**, Taf. XII, stellt die Vorderansicht eines Holophons dar, welches den Schall in allen Ebenen parallelisirt und so in ein einziges Bündel condensirt. Die Bedeutung der Buchstaben erklärt sich nach den Figuren **109** und **110** sehr leicht; die Reflectoren *HH* sind in diesem Fall eben statt kegelförmig und gegen die seitlichen Schallbündel unter Winkeln von  $45^{\circ}$  geneigt. *A* ist, wie in den Figuren **109** und **110**, die Pfeife, Glocke, Sirene, oder welcher Schallerzeuger sonst angewendet werden mag. Die Pfeife kann entweder, wie in den Figuren, vertical aufgestellt werden, oder auch horizontal, wenn sich letzteres als vortheilhaft herausstellen sollte. Um den durch die Vibrationen des Metalls selbst erzeugten Schallverlust zu reduciren, müssten die Rückenflächen der Reflectoren wahrscheinlich mit einem Gypsguss oder einem andern passenden Material überzogen werden. — Für die practische Anwendung müsste der Reflector natürlich, wie es bei dem kürzlich von Daboll für das Trinity-Haus in London construirten grossen Horn geschehen ist, an einer verticalen Achse befestigt werden, um so eine Rotation, und wie beim Drehfeuer, die successive Erreichung jedes Azimuths zu ermöglichen.\*)

\*) Die Zeichnungen sind für das Parallelisiren des von einem Punkt ausgehenden Schalls entworfen; bei Anwendung einer grossen Pfeife müssten die Paraboloide natürlich verlängert werden, und dieselbe Bemerkung gilt für die catoptrischen und dioptrischen Mittel im Falle des Lichts bei Anwendung grosser Brenner. Vielleicht können Schirme, welche an der Vorderseite des Reflectors über denselben hervorragen, um für einige Entfernung die genaue Richtung des Schallbündels zu bewahren, gute Dienste leisten.

Auf Anordnung der Commission der Nördlichen Leuchtfeuer, und mit Genehmigung der Handels-Deputation wurde aus ungefähr  $\frac{1}{16}$  Zoll dickem Schmiedeeisen ein Holophon von 8 Fuss und 16 Fuss construirt. Die ersten in Edinburgh angestellten Versuche mussten in Folge von Beschwerden von den in der Nachbarschaft der Werkstätten wohnenden Menschen eingestellt werden, aber es wurden nachher Anordnungen getroffen, um die Versuche auf der Insel Inchkeith fortzusetzen.

Das Resultat dieser, mit niedriger Dampfspannung gemachten Versuche war, dass, während bei einer mässigen Entfernung von etwa  $1\frac{1}{2}$  Meilen das Holophon sehr viel lauter war, als eine nackte, von demselben Kessel gespeiste Flöte, die Differenz zwischen den Maximal-Entfernungen, in welchen jede gehört werden konnte, kleiner war, als man nach den für kleinere Entfernungen erhaltenen Resultaten hätte erwarten können. So wurde die nackte Flöte bei einer Entfernung von drei Meilen, und das Holophon bei drei bis vier Meilen unhörbar, während bei zwei Meilen Distanz das letztere sehr viel lauter tönte. Uebrigens muss man beachten, dass der grosse Nutzen von Nebelsignalen für verhältnissmässig kleine Entfernungen auftritt, und für solche war, wie gesagt, das Holophon weit wirksamer als die einfache Flöte.

Da ich mit meinem Freunde Herrn Cunningham, Secretair der Commission der Nördlichen Leuchtfeuer, Gelegenheit gehabt habe, bei einigen Versuchen gegenwärtig zu sein, welche durch das Trinity-Haus von London zu Dungeness angestellt wurden, so mag es gut sein, die nicht ganz mit den Voraussetzungen mancher Leute übereinstimmenden Resultate dieser Versuche hier zu erwähnen.

Die Versuchs-Instrumente waren:

1) Ein kleines,  $5\frac{1}{2}$  Fuss langes eisernes Horn, welches Herr Daboll dem Trinity-Haus geliefert hatte.

2) Ein grösseres, 7 Fuss langes, auch von Herrn Daboll geliefertes Rohr, welches nach Angabe des Trinity-Haus mit einer rotirenden Bewegung ausgestattet war. Auf beiden Hörnern wurde durch Ericsson's calorische Maschine geblasen.

3) Eine grosse, etwa zwölf Centner schwere Stahlglocke.

4) Eine grosse Dampfpeife von sechs Zoll Durchmesser, welche die Ballast-Deputation in Dublin geliefert hatte, und deren Eigenthümlichkeit darin bestand, dass sie einen durch zahl-

reiche Löcher durchbrochenen Rand hatte anstatt des gewöhnlichen continuirlichen Schlitzes.

5) Zwei Salutir-Bölller (kleine Kanonen zum Abfeuern von Salutschüssen).

6) Eine 18 Pfünder-Kanone, welche doppelt so viel Pulver consumirte, wie einer der Böller.

Der Trinity-Haus-Dampfer fuhr aus in der genauen Richtung der Achsen der beiden Hörner, und man fand, dass bei einer Entfernung von sieben Meilen bei schönem, ruhigem Wetter die Kanone deutlich zu hören war; das grosse Horn und der Salutir-Bölller waren auch sehr gut und die Pfeife ganz deutlich hörbar, aber das kleine Horn und die Glocken waren unhörbar. Wenn die Hörner, die Pfeife und die Glocke zusammen ertöntem, so waren nur das grosse Horn und die Pfeife zu unterscheiden. Bei der Annäherung ans Ufer liess man das grosse Horn rotiren, aber es war nur schwer hörbar, ausgenommen, wenn das Schiff in der Achse des Horns war.

Aus diesen Versuchen ergab sich, dass das grosse Horn im Ganzen am wirksamsten war, und dieses Resultat stimmt mit den bereits erwähnten, auf dem Bell-Rock-Leuchthurm angestellten Versuchen überein. Die Dampfpfeife stand an Kraft dem Horn am nächsten, aber während das grosse Horn seine Kraft beinahe in einer Richtung concentrirte, verbreitete die Pfeife ihren Schall über den ganzen Horizont. Es ist daher aller Grund vorhanden, anzunehmen, dass, wenn die Dampfpfeife in den Brennpunkt eines rotirenden Holophons gestellt worden wäre, sie in der Richtung der Achse einen viel kräftigeren Schall erzeugt haben würde, als es nach den auf Inchkeith angestellten Versuchen scheint.

Ich habe schliesslich nur noch zu bemerken, dass nach meiner Ansicht die für Schallreflectoren vorgeschlagenen verschiedenen Constructionen nicht geeignet sind, in irgendwie wesentlichem Grade die vielen Schwierigkeiten hinwegzuschaffen, welche unzweifelhaft den Gegenstand der Nebel-Signale umgeben. Bei Weitem die schlimmste der Schwierigkeiten ist die Unsicherheit in der Beurtheilung der Richtung, aus welcher der Schall kommt, und bei Pfeifen die Gefahr, sie mit denen von Dampfschiffen auf der See oder mit Eisenbahnsignalen auf dem Lande zu verwechseln. Die von der Ballast-Deputation in Dublin vorgeschlagene



Pfeife soll der letzteren Schwierigkeit durch Erzeugung eines eigenthümlichen Tons, zur Unterscheidung von allen übrigen Pfeifen, begegnen. Etwas mag auch durch Einführung einer allgemeinen Gleichförmigkeit in der Periode der Schallerzeugung genützt werden können; aber es bleibt noch Viel zu thun, bevor ein System aufgestellt werden kann, welches wirklich den wichtigen Zweck erfüllt, den Seemann vor Gefahr zu warnen und ihn in den Stand zu setzen, genauer als jetzt die Richtung, aus welcher der Schall kommt, zu bestimmen.

---

## Kapitel IX.

### Beschreibung einiger neuer Arten von Photometern.

---

Im Jahre 1850 liess ich mir durch den verstorbenen Herrn John Adie ein neues Photometer construiren, dessen Rahmenwerk aus den Röhren eines alten Telescops bestand, aus dem die Linsen entfernt und dessen Enden durch zwei ebene Glasplatten geschlossen waren. Das Instrument wurde mit einer Mischung von gewöhnlicher Schreibdinte und Wasser gefüllt, und diese wirkte auf die Lichtstrahlen auf ihrem Wege von dem Objectivglas nach dem Ocularglas als ein absorbirendes Medium. Die Länge der absorbirenden Flüssigkeitssäule wurde nach Bedarf geändert durch Verschiebung der Ocular-Röhre, bis das betreffende Bild für das Auge gerade unsichtbar wurde. Auf der obern Seite des Telescops war eine mit dem Innern durch eine Öffnung verbundene Cisterne befestigt, die als Reservoir zur Aufnahme der Flüssigkeit diente, welche durch das Einschieben der Ocular-Röhre verdrängt wurde. Der Zweck, den dieses einfache Instrument erfüllen sollte, war der, einige von den Fehlerquellen zu eliminiren, die den gewöhnlich für die Vergleichung entfernter Objecte benutzten Photometern anhaften.

Die in allgemeinem Gebrauch befindlichen Photometer sind von zweierlei Art. Bei der einen Art werden die Lichter verglichen durch Vergrösserung oder Verkleinerung der Entfernungen zwischen ihnen und dem Instrument, und bei der andern durch Vergrösserung oder Verkleinerung der Länge eines zwischen ihnen und dem Auge eingeschalteten absorbirenden Mediums. Zum Experimentiren an Lichtern, welche, wie die Leuchtthurm-Apparate, weit von dem Beobachter entfernt sind, kann in den meisten Fällen nur die letztere Art von Instrumenten benutzt werden. In solchen Fällen wird ein keilförmiges Prisma von gefärbtem Glase horizontal vor das Auge geschoben, bis die allmählich zunehmende

Dicke dieses eingeschalteten Mediums zuletzt das Object unsichtbar macht. Die Intensität des Lichts wird gemessen durch den Abstand des Auges von einem Ende des Prismas, was natürlich ein directes Maass liefert für die Dicke des gefärbten Glases in dem Punkte, wo dasselbe von der Gesichtslinie geschnitten wird. An diesem Instrument sind drei mögliche Fehlerquellen vorhanden:

1) Der Mangel an Homogenität in der Dichtigkeit des Glases selbst, und das Vorhandensein von Streifen und andern örtlichen Unvollkommenheiten.

2) Der Mangel an Gleichförmigkeit in der Vertheilung der färbenden Substanz über die ganze Ausdehnung des Glases.

3) Die Verschiedenheiten, welche in der Politur und Neigung der brechenden Oberflächen existiren können, sowie auch die Möglichkeit, dass einige Theile der Oberflächen zufällig durch die Hände des Beobachters beschmutzt sein können, während die Versuche gemacht werden.

Das oben beschriebene Instrument ist von diesen Fehlerquellen ersichtlich fast vollständig frei; denn da das absorbirende Mittel eine Flüssigkeit ist, so ist es durch die ganze Ausdehnung der Säule gleichförmig in Farbe und Dichtigkeit, sie mag lang oder kurz sein, und die Gesichtslinie ist bei allen Beobachtungen auf dieselben zwei Glasstücke beschränkt, welche auf sehr kleine Flächen reducirt werden können, so dass alle von Unvollkommenheit der Form oder Mangelhaftigkeit der Politur herrührenden Fehler offenbar constant sind und darum bei Bestimmung von rein relativen Werthen aufhören, Fehlerelemente zu sein. Es ergab sich indessen, dass dies Instrument für die Beobachtung wenig bequem war wegen der Unmöglichkeit, ein Durchdringen der Flüssigkeit zwischen den sich gegen einander verschiebenden Röhren zu verhindern.

Nachdem ich im Sommer 1860 Gelegenheit gehabt hatte, einige photometrische Beobachtungen zu machen, wurde ich auf eine Verbesserung des im Princip dem vorhin beschriebenen gleichen Photometers geführt, welche hier beschrieben werden mag, da ich nirgends eine Angabe über ähnliche Anordnungen gefunden habe. Fig. 112 und 113, Taf. XII, stellen Längenschnitt und Endansicht eines, in seiner Construction dem schon beschriebenen gleichen Instruments dar, das aber von dem bereits erwähnten unangenehmen Durchtröpfeln der Flüssigkeit frei ist. *GH* ist die Ocularröhre, welche, um die Flüssigkeitssäule zu verlängern oder zu verkürzen,

nach auswärts oder einwärts geschoben wird; *I* ist die Cisterne zur Aufnahme der überschüssigen Flüssigkeit; sie ist mit einem Abschlussahn versehen, durch den man die Luft entweichen lassen kann. *EFD B* ist eine Stopfbüchse, die mit weichem Schwamm gefüllt wird, durch den etwaiges Leckwasser leicht absorbiert und nach aussen zu kommen verhindert wird.

Eine andere Form des Photometers ist in Fig. 114 und 115, Taf. XII, im Längenschnitt und in der Endansicht gezeichnet, wo *A* ein mit einer gefärbten Flüssigkeit gefüllter Gummibeutel ist, in dessen Seiten zwei Glasscheiben *B* und *C* befestigt sind. *CD* ist ein Rohr, welches gegen eine von den Seiten des Gummibeutels presst und, um den Parallelismus der beiden Glasscheiben zu sichern, durch Hindurchstecken durch einen Ring geführt und durch drei kleine Schrauben mit dem Messingring der Glasscheibe verbunden wird. *F* ist die Cisterne, welche ein Gummiball sein könnte, um den Ueberschuss an Flüssigkeit aufzunehmen. Die Länge der Flüssigkeitssäule wird durch Comprimiren oder Expandiren des Gummibeutels verkleinert oder vergrößert mittelst der Zahnstange mit Getriebe *E*, welche die Ocularröhre nach einwärts oder auswärts bewegt und sie im ersteren Falle gegen den Beutel presst. — Fig. 116, 117 und 118, Taf. XII, zeigen die letzte Abänderung des Instruments im Längenschnitt, in der Endansicht und im Grundriss. *A C D B* ist eine, bis zu einer gewissen Höhe mit gefärbter Flüssigkeit gefüllte Messingbüchse. *HL* und *IK* sind zwei aufrechte Röhren, von denen jede oben und unten total reflectirende ( $45^{\circ}$ ) Prismen hat. Die untern Prismen, welche in die Flüssigkeit vortreten, sind an ihrer reflectirenden Seite zur Sicherung der totalen Reflection vor der Berührung mit der Flüssigkeit geschützt (vergl. Anmerk. Seite 2). Die beiden Röhren bewegen sich in convergirenden Schlitzen, welche in die obere Platte der Büchse geschnitten sind, so dass sie nach dem in dem Convergenzpunkt der beiden Schlitze befindlichen Ocularglas *E* hin- oder davon zurückbewegt werden können. Fallen nun von zwei entfernten Objecten ausgehende Lichtstrahlen auf die obern Prismen, so werden sie von ihnen reflectirt nach den untern Prismen hin; in diesen abermals reflectirt, gelangen sie endlich durch die Flüssigkeitssäule nach dem Glase vor dem Auge *E*. Durch Verschiebung der Röhren in den Schlitzen kann die Länge der Flüssigkeitssäule, durch welche die von den beiden Objecten ausgehenden Strahlen hindurchgehen, verändert werden, entweder bis Gleichheit in der Intensität des

Eindrucks vorhanden oder bis die Verlöschung bewirkt ist, wo dann die relativen Längen der Flüssigkeit zu notiren sind. Um dies Instrument zur Beobachtung von Lichtern, die von dem Beobachter aus in verschiedenen Azimuthen und in verschiedenen Höhen gegen einander belegen sind, tauglich zu machen, richtet man die obern Prismen zu einer möglichen Drehung um ihre verticalen und horizontalen Achsen ein, um ihre Einfallsebene in irgend eine gewünschte Stellung bringen zu können.

Fig. 119 und 120, Taf. XII, zeigen eine Anordnung des eben beschriebenen Photometers, welche gestattet, die Bilder des Lichts auf ein über ein dreieckiges Prisma von Holz oder Metall gespanntes Papierblatt, wie es in Ritchie's Photometer angewendet ist, zu werfen, so dass, wenn beide Papierflächen einem abwärts blickenden Auge gleich beleuchtet erscheinen, dann die Röhren in der richtigen Lage sind, um die beiden Lichter zu vergleichen. — Anstatt eines mit Papier überzogenen Prismas kann ein Diaphragma von Seidenpapier, von dem ein Theil geölt ist, wie es durch Bunsen empfohlen wurde, vertical zwischen die Photometer gestellt werden.

Es mag bemerkt werden, dass ich mit Erfolg mehrere dieser Formen des Instruments benutzt habe, als ich über die Kraft verschiedener Leuchthurm-Apparate Versuche anstellte; aber ich habe gefunden, dass, wie bei andern Instrumenten ähnlicher Art, ein gut Theil Praxis dazu gehört, bis das Auge fähig wird, die Gleichheit irgend zweier Lichter richtig zu schätzen. \*)

\*) Neuerdings wurde von Dr. J. Hopkinson, dem zur Zeit, als Nachfolger von J. T. Chance selbst, die wissenschaftliche Leitung der Manufactory of Dioptric Apparatus for Lighthouses of Change Brths. and Company bei Birmingham übertragen ist, ein nautisches Photometer construirt, welches sich der Drehung der Polarisationssebenen zweier Nicol'scher Prismen bedient, um das Licht bis zur Grenze der Sichtbarkeit zu reduciren. Ich entnehme Dingler's Polytechnischem Journal (Band 205, Seite 524 ff.) die nachfolgende, nach dem Engineer vom August 1872 bearbeitete Beschreibung dieses Instruments: „Bei vergleichenden Beobachtungen über die Lichtwirkungen der Leuchthürme ist es wünschenswerth, über ein Instrument zu verfügen, welches befriedigende Intensitätsmessungen gestattet. Die Lichter sind, von der Entfernung aus betrachtet, bei welcher es sich um die Vergleichung handelt, zu schwach für den Gebrauch eines Photometers, bei welchem die Messung, wie bei dem Bunsen'schen Instrument, auf irgend ein gegebenes Normalmaass bezogen wird. Die einzig zulässige Methode scheint darin zu bestehen, dass man das Licht bis zur Grenze der Sichtbarkeit reducirt und die Grösse der hierzu erforderlichen Reduction misst. In diesem Sinne sind schon verschiedene Vorrichtungen in Anwendung gekommen, welche alle auf der Absorption des

Ich habe jetzt ein Photometer zu beschreiben, welches von den bereits erwähnten ganz verschieden und, so viel mir bekannt, im Princip neu ist. Der nächste Zweck, für den es entworfen wurde, war mehr einem meteorologischen als einem optischen Bedürfniss abzuhelpen, obwohl es auch eine Anwendung für andere photometrische Zwecke gestattet. Ich habe vor längerer Zeit bemerkt, dass verschiedenen, sehr schweren westlichen Winden in grösseren oder geringeren Intervallen ungewöhnlich dunkles trübes Wetter vorhergegangen war. In einem Fall war die Abnahme des Tageslichts so gross, dass eine Art Mittags-Dämmerung entstand, und diese war der Vorläufer eines schweren Sturms. Eine grössere Zahl von Beobachtungen allein kann nachweisen, ob die Annahme begründet ist, dass diese beiden atmosphärischen

Lichts durch ein halbtransparentes Medium beruhen. Man hat sich gefärbter Gläser bedient, wobei die Anzahl der bis zum Verschwinden des Lichts übereinander zu legenden Platten oder die entsprechende Dicke einer einzelnen Platte notirt wurde. Stevenson bedient sich einer Anordnung, bei welcher eine gefärbte Flüssigkeitssäule von veränderlicher Länge zur Schwächung des Lichts dient. Beide Methoden sind unvollkommen, weil erstens die numerischen Maasse, welche sie liefern, nur Namen für die Intensitäten sind und nicht die wirklichen Verhältnisse derselben geben; denn wir können nicht behaupten, dass wir bei gemischten Lichtern durch Verdoppelung der Dicke des absorbirenden Mediums die Intensität um das Doppelte vermindern. Zweitens ist es schwer, das absorbirende Medium zu bestimmen, bei welchem die Beobachtungsergebnisse verschiedener Beobachter vergleichbar sind. Drittens ist die Wirkung verschiedener Lichtgattungen nicht die gleiche, mithin eignen sich obige Instrumente nicht zur Vergleichung des rothen und weissen Lichts.

Das in Figur 121 und 122, Taf. XII, in der Seitenansicht und im Längenschnitt skizzirte Photometer ist von den Einwüfen, welche die auf der Absorption beruhenden Photometer zulassen, ganz frei, und ausserdem in seiner Construction compacter. Es besteht aus zwei Nicol'schen Prismen, welche gegenseitig ins Azimuth gestellt werden können. Das analysirende oder zweite Prisma *B* befindet sich in einem an beiden Enden mit einem Flansch versehenen Rohre. Der nahe an das Auge zu haltende Flansch *C* ist, um ihn bequem halten zu können, geändert; die Fläche des Flansches *D* ist mit einem Index markirt. Das polarisirende Prisma *A* ist in einem zweiten Rohr angeordnet, welches sich in dem ersteren drehen lässt, und zu diesem Zweck gleichfalls mit einem geränderten und graduirten Flansch versehen. Damit der Lichtstrahl das Instrument in axialer Richtung durchlaufe, ist an beiden Enden des letzteren eine Blendung angebracht. Es bezeichne  $\alpha$  den Winkel zwischen den Polarisations Ebenen der Prismen. Wenn nun die letzteren so gedreht werden, dass das Licht für das durch den Apparat blickende Auge gerade verschwindet, so muss das Licht, um bis zur Grenze der Sichtbarkeit reducirt zu erscheinen, in dem Verhältniss

Phänomene wirklich zu einander in Beziehung stehen. Die Vorherbestimmung von Stürmen ist von so grosser Wichtigkeit, da sie darauf abzielt, Menschenleben und Gut zu beschützen, dass ich den Gegenstand einer weiteren und genaueren Erforschung werth halte. Die abnorme Abnahme des Tageslichts, welche ich erwähnt habe, ist gross genug, um leicht mit einem Instrument, das nur einen mässigen Grad von Empfindlichkeit besitzt, entdeckt zu werden. Für einen solchen Zweck, die veränderlichen Intensitäten des Tageslichts zu messen, schien es mir nothwendig, dass das Instrument tragbar und bequem für Reisende sein müsse. Es schien mir ferner klar, dass die Anwendung eines absorbirenden Mittels Einwendungen ausgesetzt sei, denn es gibt keine bekannte Flüssig-

$$1 : \frac{m \cdot \cos^2 x}{2}$$

vermindert sein, wobei  $m$  einen Factor bezeichnet, welcher wegen der Reflection an den Flächen des Prismas etwas kleiner als die Einheit und bezüglich  $x$  beinahe constant ist.

Die beste Beobachtungsmethode hängt unzweifelhaft von Umständen ab. Mit Bezug auf einen Stern oder ein festes Licht würde man folgendermaassen verfahren. Man sehe durch das Instrument nach dem Lichte und drehe das polarisirende Prisma  $A$ , bis das Licht verschwindet; dann drehe man es langsam wieder zurück, bis das Licht wieder erscheint, und lese den Winkel ab. — Bei rotirenden Leuchtapparaten zeigt sich wegen der kurzen Dauer des Lichtstrahls und seiner Aenderung während der Sichtbarkeit grössere Schwierigkeit.

Mehrere Beobachtungen wurden zu Filey an dem neuen Licht zu Flamborough in einer Entfernung von 10 Meilen angestellt. Diese Lichtquelle entsendet zwei weisse Strahlenbüschel, gefolgt von einem rothen. Nachdem man die Prismen in ein Azimuth von  $60^\circ$  gestellt hatte, wurde das Photometer auf einem Tisch aufgestellt. Es zeigte sich, dass alle Strahlenbüschel sichtbar waren. Hierauf wurde das Prisma auf  $62\frac{1}{2}^\circ$  gedreht, das Instrument wieder auf den Tisch gestellt und nach der Lichtquelle gerichtet. Das weisse Licht war sichtbar, das rothe verschwunden. Das Azimuth wurde vergrössert, bis auch an Stelle des weissen Lichts Dunkelheit getreten war, und somit erhielt man einen vergleichenden Werth für die rothen und weissen Strahlen.

Bei Beobachtung intensiver Lichtquellen zeigt es sich, dass der Winkel  $x$  einem Winkel von  $90^\circ$  sich nähert und das Instrument seine Empfindlichkeit verliert. In diesem Falle könnte letztere durch Einschaltung eines dritten, bezüglich  $B$  festen und mit ihm einen Winkel  $y$  bildenden Prismas zwischen  $B$  und das Auge erhöht werden. Die Intensität des Lichts wird alsdann im Verhältniss

$$1 : \frac{m \cdot \cos^2 x \cdot \cos^2 y}{2}$$

vermindert erscheinen, und der Winkel  $x$  dem rechten Winkel nicht so gefährlich nahe sein, wie bei dem einfachen Instrumente.“ C. N.

keit, welche einen constanten Grad von Transparenz besitzt. Und selbst wenn eine solche Flüssigkeit gefunden werden könnte, so ist es doch, wie ich glaube, immer noch ein ungelöstes Problem der physikalischen Optik, die Resultate auf einen numerischen Werth zu reduciren; denn die successiven Abnahmen des Lichts, welche beim Durchgang des letzteren durch gleiche successive Flüssigkeitslängen erzeugt werden, mögen vielleicht nicht gleich sein. Angenommen, es sei gefunden, dass ein Lichtbündel 2 Zoll des Mediums bedürfe, um ausgelöscht zu werden, während ein anderes Licht nur 1 Zoll bedarf, so können wir immer noch ausser Stande sein, von solchen Daten zu quantitativen Werthen zu gelangen. (Vergl. die Anmerk. Seite 137 ff.) Könnte man die Intensität des Tageslichts feststellen, wie es durch einfache Messung der relativen Entfernungen der Photometer von den leuchtenden Punkten bei Versuchen an den divergirenden Strahlen von Lampen oder Kerzen geschehen ist, so würden die Schwierigkeiten verschwinden und wir würden gleichzeitig im Stande sein, zu numerischen Werthen zu gelangen, weil die abnehmenden Intensitäten eines divergirenden Lichtkegels stets den Quadraten der gegebenen Entfernungen von dem leuchtenden Punkt umgekehrt proportional ist.

Ich kam auf die Idee, dass diese Versuchsmethode erreicht werden könnte, wenn man einen kleinen Theil des Tageslichts durch ein in einem Diaphragma befindliches Loch gehen liesse, so dass das Licht in dem dunkeln Raum hinter dem Diaphragma in concentrischen Schalen über beinahe  $180^\circ$  divergiren würde. Die Intensität dieses divergirenden Lichts könnte dann bestimmt werden durch Bewegung eines transparenten Diaphragmas, welches der Öffnung nahe genug wäre, um dem Auge zu gestatten, irgend welche auf demselben hergestellte Schriftzüge zu entziffern; die reciproken Werthe von den Quadraten der Entfernungen des Diaphragmas von der Oeffnung, welche zur Erzeugung eines deutlichen Sehens nöthig wären, würden dann immer ohne Weiteres die Intensitäten der Strahlen repräsentiren. Durch Anordnung von Zahlen in irgend welcher, dem Beobachter unbekanntem Ordnung, als Schriftzeichen, könnte der Möglichkeit eines aus der Einbildung des Beobachters entstehenden Irrthums, wirklich unterscheidend zu sehen, wenn es noch nicht der Fall ist, vorgebeugt werden. Die Fähigkeit, die Zeichen entziffern zu können, liefert in jedem Falle eine gewisse Probe, dass eine bestimmte Erscheinung erzielt ist. In Figur 123, Taf. XII, bezeichnet *a* das kleine Loch,



durch welches das Licht zugelassen wird; *bced* und *fgih* stellen die äussere und innere Röhre dar, welche im Innern zahlreiche Blenden haben, um zu verhindern, dass zerstreute Strahlen nach dem Auge hin reflectirt werden; *jh* ist das transparente Diaphragma, welches entweder aus geöltem Papier oder aus matt geschliffenem Glas bestehen kann, und *kl* ist ein Schirm für das Auge des Beobachters.

Um dieses sehr einfache Instrument für die Messung von künstlich parallelisirtem Licht oder von directem Sonnenlicht brauchbar zu machen, wird (siehe Fig. 124, Taf. XII) an das äussere Ende des grossen Rohrs ein kleines Rohrstück angefügt, in dem eine Linse mit kurzer Brennweite befestigt ist. Die auf die Linse fallenden Strahlen convergiren nach dem in der kleinen Oeffnung *a* liegenden Brennpunkt und bilden dann einen divergirenden Kegel, so dass man nun ihre Intensitäten bestimmen kann.

Dieses Instrument könnte auch in andern Formen, in der Construction ähnlich mit den von mir für die Photometer mit absorbirendem Mittel adoptirten, angewendet werden. Die beste Anordnung würde sein, zwei solche Photometer auf, an einer geraden Stange befestigten Zapfen aufzustellen und erstere mit einem Schirm und, ähnlich wie bei dem Patent-Sextanten von Herrn P. Adie, mit einer Zugvorrichtung zu versehen, so dass, bei der Stellung der Photometer nach irgend welchen Richtungen, ihre Achsen immer dieselben Winkel mit dem Schirm bilden würden.

Das einzige mir bekannte Instrument zur Messung der Intensität von directem Sonnenlicht und diffussem Tageslicht ist das von Herrn M. Ponton in den Transactions of the Royal Society of Edinburgh vorgeschlagene, aber die von ihm angewandte Methode ist im Princip von der eben beschriebenen verschieden. Auch er trennt kleine Theile des Tageslichts ab, indem er sie durch kleine Oeffnungen gehen lässt, aber die Methode der Werthbestimmung ist die Anwendung von Oeffnungen, deren Durchmesser von  $\frac{1}{10}$  bis zu  $\frac{1}{100}$  Zoll wechseln, wo dann die Intensität des Lichts in jedem Falle durch die relativen Flächeninhalte der zur Hervorbringung desselben Effects erforderlichen Oeffnungen bestimmt wird. Für das oben beschriebene Instrument ist eine einzige Oeffnung genügend, und der ganze von der Unregelmässigkeit der Form herrührende Fehler ist constant. Die Intensitäten werden in jedem Falle gemessen, nicht durch die Flächen der Oeffnungen, wie in dem Ponton'schen Instrument, sondern durch die Abstände des Schirms von dem Mittelpunkt der Divergenz.

# Anhang

zu

„Stevenson, Illumination der Leuchthürme“.

---

## Einleitung.

Der Verfasser behandelt in dem Anhang zu seinem Werk die mathematische Theorie der dioptrischen Leuchthurm-Apparate sehr kurz und nur so weit, wie sie sich auf Berechnung des dioptrischen Reflectors (Seite 25—27, Fig. 15 und 16) der Fresnel'schen total reflectirenden Prismen (Seite 17) und der neuen Rücken-Prismen, wie sie zuerst bei dem Apparat zu Lochindaal angewendet wurden (Seite 46 und 47, Fig. 49) bezieht; er giebt für diese drei Fälle Formeln, die von Professor Swan und von J. T. Chance aufgestellt sind, und verweist im Uebrigen auf das mehrfach citirte Werk von Alan Stevenson: *A rudimentary Treatise on the History, Construction and Illumination of Lighthouses*. London, John Weale, 1850. Da das letztere Werk nur wenig deutschen Lesern zugänglich, die deutsche Litteratur an Arbeiten über Leuchthürme aber arm ist, so gehe ich im Nachfolgenden etwas specieller auf diesen Gegenstand ein. Wenn ich dabei zunächst die Berechnung der Leuchthurm-Höhen entwickle, so geschieht dies, weil namentlich bei Feuern für grosse Sichtweiten die Höhe ein sehr wesentlicher Factor für die ganze Disposition des optischen Apparates ist. Bei der Berechnung der Apparate werde ich mich lediglich auf das dioptrische System beschränken; die Theorie der catoptrischen Apparate ist so einfach, dass sie für den mathematisch gebildeten Leser keiner weiteren Erläuterung bedarf. An englischen und französischen Quellen, welche ich bei dieser allerdings durchaus freien Bearbeitung benutzte, habe ich zu erwähnen:

1) *Formula for constructing Mr. Thomas Stevenson's Totally Reflecting Hemispherical Mirror*. By William Swan, F. R. S. E. (from the Transactions of the Royal Scottish Society of Arts).

2) Alan Stevenson: A rudimentary Treatise etc. etc. (siehe vorstehende Seite).

3) On Optical Apparatus, used in Lighthouses. By James T. Chance, M. A., Assoc. Inst. C. E. Excerpt Minutes of Proceedings of the Institution of Civil Engineers. Vol. XXVI. Session 1866—67. London: Printed by William Clowes & Sons.

4) Memoire sur l'Eclairage et le Balisage des Côtes de France. Par M. Leonce Reynaud, Inspecteur général des Ponts et Chaussées, Directeur du Service des Phares et Balises, etc. Paris, Imprimerie Imperiale. 1864.

5) Report of the Commissioners, appointed to inquire into the Condition and Management of Lights, Buoys and Beacons. Two Volumes. London, printed by George Edward Eyre and William Spottiswoode, 1861.

Hinzugefügt habe ich ausser einigen allgemeinen Betrachtungen und Formeln für dioptrische Prismen und ausser den Formeln für die doppelt wirkenden Prismen namentlich die graphischen Behandlungen einzelner Aufgaben, weil ich gefunden habe, dass man sie beim Entwerfen neuer Apparate mit Vortheil anwenden kann; sie geben, wenn auch nicht so scharf wie die Rechnung, so doch meistens wesentlich schneller als diese die (angenäherten) Formen der Profile, die man ermitteln will, oder die Wege einzelner Lichtstrahlen etc. an; sie bieten ausserdem ein vortreffliches Mittel, nicht nur, um die oft recht langen Rechnungen zu controliren, sondern auch, um dieselben abzukürzen, und sie führen leicht zu speciellen Lösungen, wenn man wegen analytischer Schwierigkeiten auf allgemeine Lösungen verzichten muss. Gleichzeitig erkennt man aus dem graphischen Verfahren meistens sehr deutlich, welchen Weg die Rechnung ohne Zeichnen zu gehen hat. Selbstverständlich müssen bei einem so diffiilen und empfindlichen Gegenstande alle definitiven Maasse und Formbestimmungen auf Grundlage einer strengen Berechnung vorgenommen werden.

### § 1.

#### Ueber die Höhen der Leuchtthürme.

Beim Projectiren eines Leuchtthurms ist, nachdem der Ort desselben bestimmt ist, die nächste Frage die, welche Sichtweite von dem in den Thurm zu stellenden Licht verlangt wird. Hiernach richtet es sich, welche Höhe über dem mittleren Wasserstande

man dem Licht geben muss, denn die Lichthöhe ist eine Function der verlangten Sichtweite und nimmt mit dieser gleichzeitig ab oder zu. — Die Erde hat bekanntlich angenähert die Form eines Rotations-Ellipsoids; für die vorliegende Frage genügt es indessen vollständig, sie einfach als Kugel mit einem Halbmesser gleich dem des Aequators, d. i. in runden Zahlen etwa 860 geographische Meilen, oder 3440 Seemeilen (Nautical Miles), oder 6375 Kilometer, anzusehen. Mit gleichem Recht und gleichem Erfolg könnte man auch die Länge der halben Erdachse als Radius, oder einen mittleren Erdradius einführen. Rein geometrisch gedacht und abgesehen von anderen Umständen, die hier noch in Frage kommen, liegt hiernach die Sache folgendermassen: Man denke sich (siehe Fig. 1, Taf. A) durch den Ort *A* des Leuchthturms, d. i. durch den Lothpunkt des Lichts und durch den Mittelpunkt *O* der Erdkugel eine Ebene gelegt nach der Richtung *AB*, in der die Sichtweite des Lichts gemessen ist. Diese Ebene schneidet die Meeresfläche in einem grössten Kreise, und es ist für ein auf der Meeresfläche befindliches Auge der Bogen *AB* die geographische Sichtweite eines im Punkte *C*, in der Höhe *AC* = *h* über dem Meere befindlichen Lichts, wenn *CB* eine Tangente an den Kreis im Punkte *B* ist. Bezeichnet man den Radius der Erde mit *r*, so ist

$$BC = \sqrt{(r+h)^2 - r^2} = \sqrt{2rh + h^2}, \text{ also:}$$

$$\text{tg } BOC = \text{tg } \alpha = \frac{\sqrt{2rh + h^2}}{r}.$$

Allgemein ist:

$$\text{arc } (\text{tg} = x) = x - \frac{x^3}{3} + \frac{x^5}{5} - \frac{x^7}{7} + \dots$$

demnach:

$$\begin{aligned} \alpha &= \frac{\sqrt{2rh + h^2}}{r} - \frac{\sqrt{2rh + h^2}^3}{3r^3} + \frac{\sqrt{2rh + h^2}^5}{5r^5} - \frac{\sqrt{2rh + h^2}^7}{7r^7} + \dots \\ &= \frac{\sqrt{2rh + h^2}}{r} \left( 1 - \frac{2rh + h^2}{3r^2} + \frac{(2rh + h^2)^2}{5r^4} - \frac{(2rh + h^2)^3}{7r^6} + \dots \right). \end{aligned}$$

Vernachlässigt man in der Klammer alle Glieder, die nach der Eins folgen, so kommt:

$$\alpha = \frac{\sqrt{2rh + h^2}}{r}, \text{ also:}$$

$$\text{Bogen } AB = s = r\alpha = \sqrt{2rh + h^2}.$$

Dies ist dasselbe, als wenn man von vornherein den Bogen  $AB$  gleich der Tangente  $CB$  gesetzt hätte, was hier durchaus zulässig ist. Vernachlässigt man nun auch noch das  $h^2$  unter dem Wurzelzeichen, so wird einfach:

$$s = \sqrt{2rh}, \text{ also } h = \frac{s^2}{2r} = 0,5 \frac{s^2}{r}.$$

Es ist bemerkenswerth, dass, wenn man  $BD$  normal zu  $OA$  zieht, dann auch (nahezu)

$$AD = \frac{s^2}{2r} \text{ und } BD = \sqrt{2rh}$$

ist, so dass man auch  $AD$  für die Höhe  $h$  und  $BD$  für die Sichtweite  $s$  nehmen kann.

Erhebt sich das Auge des Beobachters um eine Höhe  $A_1C_1 = h_1$  über den Meeresspiegel, wie es für Jemand, der sich auf einem Schiff befindet, stets der Fall ist, so sieht es das Licht in  $C$  schon in einer Entfernung, die noch um den Bogen

$$BA_1 = s_1 = \sqrt{2rh_1}$$

grösser ist als  $s$ , so dass man nun für die ganze Sichtweite erhält:

$$s + s_1 = \sqrt{2rh} + \sqrt{2rh_1}.$$

In Wirklichkeit liegt die Sache übrigens etwas anders, als diese Formel angiebt, wegen der Brechung, welche die Lichtstrahlen in der Atmosphäre erleiden. Letztere besteht in den oberen Regionen aus dünneren Luftschichten, als in den unteren Regionen, und der Wechsel ist im Allgemeinen ein continuirlicher, der Art, dass die Dichtigkeit der Schichten von oben nach unten gerechnet stetig zunimmt. Darum wird ein Lichtstrahl, der, von irgend einem leuchtenden Punkt ausgehend, schräg die Atmosphäre durchsetzt, d. h. in einer von der Richtung nach dem Erdmittelpunkt hin abweichenden Richtung, keine gerade Linie, sondern eine stetig gekrümmte Curve bilden. Diese Curve muss, wie sich aus dem allgemeinen Brechungsgesetz ergibt, überall ihre convexe Seite nach oben kehren. Ein Beobachter in dem Punkt, wo der Lichtstrahl die Meeresfläche trifft, sieht daher den leuchtenden Punkt nicht in der geraden Richtung von seinem Auge nach diesem Punkt, sondern in der Richtung der Tangente an den gekrümmten Strahl; jene Richtung ist eine Sehne des gekrümmten Lichtstrahls, wegen der Art der Krümmung des letzteren liegt die Tangente über dieser Sehne, und es erscheint die Lichtquelle höher als sie wirklich ist; demnach muss die atmosphärische Strahlenbrechung eine Ver-

grösserung der Sichtweite des Lichts zur Folge haben. Dieser Umstand ist sowohl für die Berechnung der einem Feuer zu gebenden Höhe, sowie auch für die Disposition des optischen Apparats von Wichtigkeit, und bedarf daher einer genauern Untersuchung.

Es sei, in Fig. 2,  $ABB'$  das Niveau des Meeres,  $OA = r$  dessen Halbmesser,  $C$  der Brennpunkt des Lichts, die gerade  $CEE'$  eine normal zur Vertical-Achse  $AB$  des Thurms gezogene Horizontale;  $BD$  sei parallel zu  $CEE'$ . Ohne die atmosphärische Strahlenbrechung gelangt ein Lichtstrahl von  $C$  nach  $B$  in der geraden Richtung  $CB$ ; an ihre Stelle tritt in Folge der Refraction die Curve  $CB$ , welche in  $C$  die Tangente  $CF$  hat. Es sei  $\angle ECF = \delta$ ; derselbe kann in  $C$  direct mittelst eines Verticalkreises gemessen werden, denn er ist offenbar der Winkel unterhalb der Horizontalen  $CE$ , unter welchem man in  $C$  den Punkt  $B$  sieht, sowie andererseits die Tangente an die Curve  $BC$  im Punkte  $B$  die Richtung angiebt, in der man von  $B$  aus das Licht in  $C$  sieht, letztere Tangente liegt offenbar über der geraden Sehne  $BC$ , weshalb man das Licht von  $B$  aus höher erblickt, als es wirklich ist. Natürlich resultirt hieraus im Ganzen eine grössere Sichtweite des Lichts. — Man hat nun nach der in Fig. 2 angedeuteten Bezeichnung:

$$\overline{BE} = \overline{CE} \cdot \text{tg } \widehat{BCE},$$

$$\text{oder} \quad y = x \cdot \text{tg } (\delta + \varepsilon) = x \frac{\text{tg } \delta + \text{tg } \varepsilon}{1 - \text{tg } \delta \cdot \text{tg } \varepsilon}$$

oder, wenn man die Division ausführt:

$$y = x [\text{tg } \delta + \text{tg } \varepsilon + \text{tg } (\delta + \varepsilon) \cdot \text{tg } \delta \text{ tg } \varepsilon].$$

Erfahrungsmässig ist  $\varepsilon$  unter allen Umständen ein sehr kleiner Winkel; ausserdem erstrecken sich auch diejenigen äussersten Werthe von  $\delta$ , welche practische Bedeutung haben, nur auf wenige Grade; daher kann man in der vorstehenden Formel rechts in der Klammer den dritten Summanden ganz vernachlässigen und den zweiten durch  $\varepsilon$  ersetzen. Dadurch geht die Formel über in

$$y = x \cdot \text{tg } \delta + x \cdot \varepsilon.$$

Nach Airy kann man für Leuchtfeuer, d. i. für die Nachtzeit, im Mittel setzen:

$$\varepsilon = 0,08 \frac{x}{r},$$

so dass 
$$y = x \cdot \text{tg } \delta + 0,08 \frac{x^2}{r} = x \text{tg } \delta + 0,16 \frac{x^2}{2r}.$$

Ausserdem hat man:  $\overline{BE} = \overline{CD} = \overline{AC} + \overline{AD}$ , oder, da nach Früherem nahezu  $\overline{AD} = \frac{x^2}{2r}$ ,

$$y = h + \frac{x^2}{2r}.$$

Setzt man die beiden für  $y$  gefundenen Werthe einander gleich, so erhält man die quadratische Gleichung

$$x \cdot \operatorname{tg} \delta + 0,16 \frac{x^2}{2r} = h + \frac{x^2}{2r},$$

welche für  $x$  die folgende Lösung giebt:

$$x = \frac{r \operatorname{tg} \delta}{0,84} \left( 1 \pm \sqrt{1 - \frac{2h}{r} \cdot \frac{0,84}{\operatorname{tg}^2 \delta}} \right).$$

Es ist leicht einzusehen, dass von den beiden Vorzeichen innerhalb der Klammer nur das untere practische, das obere dagegen rein analytische Bedeutung hat. Letzterem entsprechen in Fig. 2 die Buchstaben mit Index und die punktirten Linien. Man sieht, dass der gekrümmte Lichtstrahl  $CBB'$ , der den Kreis  $ABB'$  sekantenartig schneidet, in Wirklichkeit nur bis nach  $B$ , aber nicht bis nach  $B'$  hinkommen kann. Uebrigens aber erkennt man, dass es nothwendig für den Winkel  $\delta$  einen Werth, der mit  $\Delta$  bezeichnet werden möge, geben muss, für welchen die Punkte  $B$  und  $B'$  zusammenfallen, für welchen also die gekrümmte Sekante  $CBB'$  zu einer gekrümmten Tangente an den Kreis  $ABB'$  wird. Der Berührungspunkt auf dem Kreise ist offenbar derjenige Punkt, in dem das in  $C$  befindliche Licht von einem von  $B'$  nach  $B$  fortschreitenden Beobachter im Niveau des Meeres zuerst erblickt wird; er begrenzt demnach für diesen Beobachter die Sichtweite des Lichts. Sollen nun  $B$  und  $B'$  zusammenfallen, so muss in der Gleichung für  $x$  offenbar der Ausdruck unter dem Wurzelzeichen Null werden, d. h. es muss sein:

$$1 - \frac{2h}{r} \cdot \frac{0,84}{\operatorname{tg}^2 \Delta} = 0,$$

oder

$$\operatorname{tg} \Delta = \sqrt{0,84 \cdot \frac{2h}{r}}.$$

Dieser Werth  $\Delta$  ist der Winkel, den man in  $C$  ablesen würde, wenn man hier das Fernrohr eines Vertikalkreises nach dem Seehorizont richtete, vorausgesetzt, dass bei horizontaler Lage des Fernrohrs dessen Index mit dem Nullpunkt der Limbustheilung

zusammenfiele. — Nennt man die Sichtweite wieder  $s$  und vernachlässigt den ausserordentlich geringen Unterschied zwischen  $s$  und dem correspondirenden  $x$  (vgl. Seite 144 oben), so erhält man aus der Gleichung für  $x$ :

$$s = \frac{r \operatorname{tg} \Delta}{0,84},$$

und wenn man für  $\operatorname{tg} \Delta$  den vorhin gefundenen Werth einsetzt:

$$s = \sqrt{\frac{2rh}{0,84}} = 1,1 \sqrt{2r \cdot h},$$

und hieraus

$$h = 0,42 \frac{s^2}{r}. *)$$

Diese Formeln, verglichen mit den oben ohne Berücksichtigung der atmosphärischen Refraction gefundenen, lassen klar den Einfluss der letzteren erkennen. Für einen Beobachter, dessen Auge sich in einer Höhe  $h_1$  über dem Meeres-Niveau befindet, vergrössert sich die so berechnete geographische Sichtweite um

$$s_1 = \sqrt{\frac{2rh_1}{0,84}} = 1,1 \sqrt{2rh_1},$$

so dass derselbe das Licht aus einer Entfernung

$$s + s_1 = \sqrt{\frac{2rh}{0,84}} + \sqrt{\frac{2rh_1}{0,84}} = 1,1 (\sqrt{2rh} + \sqrt{2rh_1})$$

sieht (vergl. Fig. 3). — In dem „Verzeichniss der Leuchtfeuer aller Meere“, herausgegeben von dem Hydrographischen Bureau

\*) Setzt man, wie S. 144 angegeben wurde,  $r = 3440$  Seemeilen und die Seemeile zu 6082 Fuss englisch, so erhält man für  $h$  in englischen Fussen, wenn  $s$  in Seemeilen angegeben ist:

$$h = \frac{0,42 \cdot s^2 \cdot 6082^2}{3440 \cdot 6082} = \frac{2554}{3440} s^2, = \frac{55}{74} s^2, = \frac{3}{4} s^2, = 0,74257 s^2, = 0,75 s^2.$$

Setzt man  $r = 6375$  Kilometer, so erhält man,  $s$  in Kilometern und  $h$  in Metern ausgedrückt:

$$h = \frac{0,42 \cdot s^2 \cdot 1000^2}{6375 \cdot 1000} = \frac{28}{425} s^2, = \frac{5}{76} s^2, = 0,0659 s^2, = 0,066 s^2,$$

nahezu  $h = \frac{1}{15} s^2$ . —

Für  $s$  in Seemeilen und  $h$  in Metern, à 3,2809 Fuss engl., erhält man:

$$h = \frac{0,42 \cdot s^2 \cdot 6082^2}{3440 \cdot 6082 \cdot 3,2809} = \frac{319305}{1410787} s^2, = \frac{19}{84} s^2, = \frac{7}{31} s^2, = 0,22633 s^2, = 0,226 s^2,$$

nahezu  $h = \frac{2}{9} s^2$ .



der Kaiserlichen Admiralität, 2. Auflage, Berlin 1876“ beziehen sich die angegebenen Sichtweiten auf eine Augenhöhe von 4,6 Meter über Hochwasser bei klarer Luft und mittlerer Refraction; dem entspricht eine Sichtweite  $s_1 = 4,51$  Seemeilen = 8,34 Kilometer.

Führt man in die allgemeine Formel für  $x$  die Grösse  $\text{tg } \Delta$  ein, so erhält man:

$$x = \frac{r \text{tg } \delta}{0,84} \left( 1 - \sqrt{1 - \left( \frac{\text{tg } \Delta}{\text{tg } \delta} \right)^2} \right).$$

Für sehr kleine Winkel kann man setzen:  $\text{tg } \delta = \delta$ ,  $\text{tg } \Delta = \Delta$ , daher für diesen Fall:

$$x = \frac{r \delta}{0,84} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{\Delta^2}{\delta^2}} \right).$$

Da für  $x$  nur reelle Werthe möglich sind, so darf die Wurzelgrösse

$$\sqrt{1 - \left( \frac{\text{tg } \Delta}{\text{tg } \delta} \right)^2}$$

nicht imaginär werden; es muss daher immer die Relation stattfinden:

$$\frac{\text{tg } \Delta}{\text{tg } \delta} \leq 1,$$

und man darf, wenn man mit  $\varphi$  einen Hülfswinkel bezeichnet, setzen:

$$\frac{\text{tg } \Delta}{\text{tg } \delta} = \sin \varphi.$$

Dann wird:

$$x = \frac{r \text{tg } \delta}{0,84} (1 - \cos \varphi) = \frac{r \text{tg } \delta}{0,42} \sin^2 \frac{\varphi}{2}.$$

Diese Gleichung dient zur Bestimmung von  $x$  aus gegebenem  $\delta$  für ein bestimmtes  $h$ . — Umgekehrt findet man, wenn man die allgemeine Gleichung für  $x$  nach  $\delta$  auflöst, zur Bestimmung von  $\delta$  aus gegebenen  $x$  und  $h$ :

$$\text{tg } \delta = \frac{1}{x} \left( h + 0,42 \frac{x^2}{r} \right).$$

Ich werde bei späteren Untersuchungen noch auf diese Gleichungen zurückkommen.

## § 2.

### Bemerkungen über die specielle Anordnung der Apparate und der zugehörigen Lampen etc.

Bevor ich weiter auf die specielle Entwicklung der mathematischen Formeln zur Berechnung der dioptrischen Apparate

eingehet, wird es sich empfehlen, einige Bemerkungen über die in der Praxis üblichen Dimensionen der Apparate und ihrer einzelnen Theile, über die Einrichtung und Leistung der verwendeten Lampen, über die benutzten Oele u. dgl. voraufzuschicken. Hinsichtlich der Apparate werde ich mich zunächst auf diejenigen für Feste-Feuer beschränken.

Man unterscheidet in England sechs verschiedene Ordnungen des gewöhnlichen Frésnel'schen Bienenkorbs, je nach der Grösse desselben, und bezeichnet diese Ordnungen, mit dem grössten Format beginnend, mit Nr. 1 bis 6; in Frankreich bezeichnet man die Nummern 3, 4, 5 und 6 resp. als Nr. 3 grosses Format, Nr. 3 kleines Format, Nr. 4 grosses Format und Nr. 4 kleines Format. Die letzten Nummern sind auch wohl unter dem Namen „Hafenfeuer“ bekannt, ohne gerade ausschliesslich als solche verwendet zu werden. Ich werde im Nachfolgenden die in England übliche Bezeichnung, die meines Wissens in Deutschland ausschliesslich in Gebrauch ist, beibehalten. Die Ordnungsnummern steigen, wie gesagt, mit den abnehmenden Dimensionen der Apparate, und letztere variiren so bedeutend, dass man schon hieraus die Nothwendigkeit erkennt, nicht nur für die einzelnen Ordnungen verschiedene absolute Höhen für den Refractor und die beiden Systeme der Reflectoren einzuführen, sondern auch den ersteren sowohl wie die letzteren bei zunehmender Grösse der Apparate aus einer grösseren Anzahl von Einzel-Elementen zusammenzubauen. Geschähe dieses nicht, so würde man bei den grösseren Apparaten zu Glas-Dimensionen kommen, die man einerseits weder im Guss mit genügender Gleichmässigkeit, ohne Streifen und Blasen, noch bei dem Schleifprocess mit genügender Annäherung an die durch die Berechnung genau vorgeschriebene mathematische Form herstellen könnte; andererseits aber würde man bei zu dicken Gläsern durch übertriebene Verlängerung der Wege, die die einzelnen Lichtstrahlen innerhalb des Glases zurückzulegen haben, zu viel Licht durch Absorption im Innern des Glases verlieren. Als äusserste Grenzen, in denen sich die Glas-Dimensionen der einzelnen Elemente bewegen, können etwa die folgenden genannt werden: Höhe des mittleren Theiles des Refractors: 9 bis 28<sup>zm</sup>; grösste Dicke dieses Theils: 2 bis 3<sup>zm</sup>; kleinste Dicke desselben: 0,4 bis 0,6<sup>zm</sup>; Höhe der einzelnen Linsenringe: 2,5 bis 7<sup>zm</sup>; grösste Dicke derselben: 2,5 bis 4,5<sup>zm</sup>; kleinste Dicke derselben: 0,15 bis 0,5<sup>zm</sup>; längste Seite der Profile der reflec-

tirenden Ringe: 5 bis 11<sup>zm</sup>; Höhe der Profile normal zur längsten Seite gemessen: 2 bis 4,75<sup>zm</sup>. —

Was das Auffallen der Lichtstrahlen auf den Refractor betrifft, so ist klar, dass in dieser Beziehung diejenigen Strahlen am ungünstigsten situirt sind, welche die obersten und untersten Partien des Refractors treffen, aus dem einfachen Grunde, weil hier die Winkel, welche die einfallenden Strahlen in ihren Einfallspunkten mit den in diesen Punkten errichteten Normalen der Glasoberfläche bilden, ihre Maximalwerthe erreichen, die Strahlen hier also am schrägsten auf die Glasfläche treten und somit hier am meisten Licht durch Oberflächen-Reflection verloren geht. A. Fresnel stellte das Maximalmaass des von dem Refractor gespannten Winkels, mit Bezug auf den Brennpunkt in der Flamme als Scheitel, zu 45° fest; jetzt ist man über diese niedrige Grenze hinausgegangen, und der fragliche Winkel liegt bei den heutigen Apparaten zwischen Grenzen von etwa 56° und 67°. Dies rührt zum Theil auch daher, dass man jetzt in der Technik der Ausführung der Apparate eine grössere Vollkommenheit erreicht hat. Es werden nämlich mit der Zunahme des erwähnten Winkels die äussersten Profile immer spitzwinkliger und zerbrechlicher, was zu Fresnel's Zeit ihrer Herstellung natürlich hinderlich sein musste.

Die übrigen Dimensionen der Apparate, so weit sie hier von Interesse sind, ergeben sich aus der folgenden Tabelle:

Ordnungs- Numer.	Durch- messer des Refrac- tors.	Total- Höhen der sämt- lichen Glas- theile.	H ö h e n .				Zahl d. Elemente.			Französische Nummern.
			Untere Reflec- toren.	Re- fractor.	Obere Reflec- toren.	Mitt- lerer Ring des Re- fractors.	Untere Reflectoren.	Refractor.	Obere Reflectoren.	
1	1,84 <sup>m</sup>	2,590 <sup>m</sup>	0,539 <sup>m</sup>	0,980 <sup>m</sup>	1,001 <sup>m</sup>	0,280 <sup>m</sup>	8	17	18	1
2	1,40 <sup>m</sup>	2,069 <sup>m</sup>	0,378 <sup>m</sup>	0,854 <sup>m</sup>	0,810 <sup>m</sup>	0,254 <sup>m</sup>	5	15	15	2
3	1,00 <sup>m</sup>	1,576 <sup>m</sup>	0,278 <sup>m</sup>	0,660 <sup>m</sup>	0,593 <sup>m</sup>	0,212 <sup>m</sup>	4	13	11	3 a
4	0,50 <sup>m</sup>	0,722 <sup>m</sup>	0,144 <sup>m</sup>	0,300 <sup>m</sup>	0,258 <sup>m</sup>	0,140 <sup>m</sup>	3	5	5	3 b
5	0,375 <sup>m</sup>	0,541 <sup>m</sup>	0,105 <sup>m</sup>	0,226 <sup>m</sup>	0,196 <sup>m</sup>	0,105 <sup>m</sup>	3	5	5	4 a
6	0,300 <sup>m</sup>	0,433 <sup>m</sup>	0,084 <sup>m</sup>	0,180 <sup>m</sup>	0,157 <sup>m</sup>	0,084 <sup>m</sup>	3	5	5	4 b

Die in der vorstehenden Tabelle angeführten Zahlen beruhen zum Theil auf Convenienz und auf Rücksichten der practischen Ausführung, und es kommen daher, namentlich in der Zahl der

Elemente bei den kleineren Apparaten, Ausnahmen vor; zum Theil stehen dagegen diese Zahlen in inniger Beziehung zu dem Volumen der in die Apparate gesetzten Flammen und zu der Vertheilung der Licht-Intensität innerhalb dieses Volumens für die einzelnen Apparate, und aus dieser Beziehung resultiren, wie sich weiterhin zeigen wird, zum grossen Theil und häufig allein die nothwendigen Beträge der verticalen Divergenz der von dem Apparat ausgehenden Lichtstrahlen für alle Arten von Feuern, sowie auch die Beträge der azimuthalen Divergenz für alle rotirenden Feuer.

Das in den französischen Leuchthurm-Apparaten früher verwendete Glas hatte einen mittleren Brechungs-Coefficienten von 1,50; jetzt verwendet man ein Glas mit einem etwas höhern Coefficienten, nämlich 1,54. Dasselbe besteht in 100 Theilen aus 72,1 Theilen Kiesel, 12,2 Theilen Soda, 15,7 Theilen Kalk und Spuren von Aluminium und Eisenoxyd. Herr J. T. Chance in Birmingham giebt den mittleren Brechungs-Coefficienten des von ihm verarbeiteten Glases zu 1,52 an. Die Forderungen, denen das in Leuchthürmen verwendete Glas genügen muss, sind etwa die folgenden: dasselbe muss farblos, hart und homogen sein, es darf nur möglichst wenig Licht absorbiren, muss eine gute Politur annehmen und den Einwirkungen der äussern Luft vollkommen widerstehen und darf beim Guss in seinem Innern keine Blasen und Streifen bekommen.

Die in den dioptrischen Apparaten in der Regel angewendete Lichtquelle war bis jetzt eine Lampe mit Rundbrenner, nach Argand's Princip mit doppeltem Luftzug; Argand's Erfindung datirt vom Jahre 1784, doch soll Teulère schon ein Jahr früher dieselbe Idee gehabt haben; als Brennöl benutzte man in der Regel ein gutes reines Rüböl. Da die gewöhnliche Lampe mit einem einzigen Brenner für die grösseren Apparate erstens nicht die nöthige Intensität giebt, andererseits aber auch die Flamme einer solchen Lampe zu klein ist, um den austretenden Lichtstrahlen die nöthige Divergenz zu ertheilen, so ist man zu Lampen mit mehreren Brennern, die sich concentrisch umhüllen, gekommen, und zwar war A. Fresnel derjenige, der das in Rede stehende System auch nach dieser Richtung hin ausbildete. Die grösste Anzahl der benutzten Dochte, mit Anwendung von Rüböl als Brennmaterial, beträgt vier, für Apparate erster Ordnung; dann folgen drei für Apparate zweiter, zwei für solche dritter und

vierter, und endlich ein Docht für Apparate fünfter und sechster Ordnung. Die Erfindung und Verbesserung der Leuchtthurm-Lampen hatte ihre Hauptträger in Argand, Teulère, Carcel, A. Fresnel, Arago, H. Lepaute, Wagner u. A. Carcel liess sich im Jahre 1800 die mechanische oder Uhr-Lampe patentiren; in ihr wird dem Docht das Oel mittelst eines Pumpwerks zugeführt, das durch ein vollständig von dem Oel eingeschlossenes Uhrwerk betrieben wird; man erreicht hierdurch nicht allein eine grosse Stetigkeit der Flamme, sondern es wird auch die Zuführung eines Oelquantums ermöglicht, welches den Betrag des wirklich consumirten Oels erheblich übersteigt. Der letztere Umstand ist für alle grösseren Lampen, die sämmtlich nach dem Princip der künstlichen Oelzuführung eingerichtet sind — obgleich dieser Zweck später von verschiedenen Constructeuren in verschiedener Weise erreicht wurde — von der grössten Wichtigkeit: Da man nämlich annehmen darf, dass bei einer und derselben Lampe das erzeugte Lichtquantum nahezu dem consumirten Oelquantum proportional ist, so bietet diese Einrichtung ein Mittel, um, natürlich innerhalb bestimmter Grenzen, den Lichteffect der Lampe beliebig zu steigern; andererseits erreicht man durch die Zuführung von überflüssigem Oel eine Anwärmung des gesammten, in dem Oelbehälter befindlichen Oels und schützt dieses so im Winter vor Dickwerden; ferner schützt man die Lampendochte vor zu rascher Verkohlung und verhindert dadurch erheblich ein Abnehmen der Lichtintensität mit zunehmender Brennzeit der Lampe im Laufe einer und derselben Nacht. Alle diese Rücksichten haben dazu geführt, dass man in den grösseren Lampen den Dochten das Vierfache des wirklich zu verbrennenden Oelquantums zuführt; selbstverständlich fliessen die drei nicht verbrannten Theile zurück in den Oelbehälter. — Ausser den mechanischen Lampen sind für kleinere Apparate noch die bekannten hydrostatischen Lampen in Gebrauch; sie gestatten jedoch wegen der in und über der Höhe des Brenners und der Flamme befindlichen Constructionstheile keine Anwendung in solchen Fällen, wo man das Licht einer einzigen Flamme über den ganzen Horizont auszubreiten oder in eine grössere Anzahl von regelmässig vertheilten Lichtbündeln zu verdichten hat, und es ist bei Anwendung dieser Lampen das Holophotal-Princip nur dann möglich, wenn man die optischen Apparate zwischen Brenner und Oelbehälter anbringen kann, also eigentlich nur bei catoptrischen Apparaten. Bei den

mechanischen Lampen befindet sich bekanntlich der Oelbehälter direct unterhalb des Brenners. — Sehr wesentlich ist es in Bezug auf die Lampen noch, dass der sogenannte Lampencylinder — Schornstein — der natürlich in seinem untern Theil aus Glas besteht, neben der Flamme keine plötzliche Profil-Verengung habe; ist diese vorhanden, so variiren immer gleichzeitig die Wanddicken des Cylinders, und das auffallende Licht erleidet durch Oberflächen-Reflection, Brechung und innere totale Reflection so unregelmässige Ablenkungen, dass die von aussen durch den Cylinder betrachtete Flamme gerade an den Stellen, die für den ganzen Zweck der Flamme die ergiebigsten Lichtquellen sein sollen, dunkle horizontale Linien zeigt, die der beabsichtigten Wirkung in hohem Grade Abbruch thun. Die Verengung des Cylinders muss ganz allmählich stattfinden.

Um die Lichtintensitäten verschiedener Lampen und Apparate durch photometrische Beobachtungen vergleichen zu können, bedarf man einer Lichteinheit; man hat als solche das Licht einer guten Carcel'schen eindoichtigen Lampe, mit einem Docht-Durchmesser von  $0,020^m$ , die pro Stunde 40 Gramm Rüböl consumirt, gewählt, und man bezieht auf diese Einheit alle photometrischen, auf Leuchtapparate bezüglichen Messungen.

Die Tabelle auf S. 155 giebt verschiedene, auf die Lampen, resp. Flammen und auf die Apparate der verschiedenen Ordnungen bezügliche Zahlenwerthe, deren Kenntniss von Interesse ist. Die in dieser Tabelle aufgeführten Intensitäten nach dem Durchgang der Strahlen durch die respectiven Glasapparate beziehen sich auf solche Feste-Feuer-Apparate, wie sie in der auf S. 151 angegebenen Tabelle characterisirt sind; aus den gegebenen Zahlen leitet man leicht die ungefähren Werthe der Intensitäten für azimuthal condensirte Strahlenbündel ab. — Die beiden letzten Reihen der Tabelle werden weiter unten zur Sprache kommen.

Die Maasse der Lichtintensitäten bestimmen bei entsprechender Höhe der Apparate über dem Wasserspiegel die möglichen Maximal-Sichtweiten der Lichter; über den Zusammenhang beider giebt die nachfolgende Betrachtung einigen Anhalt:

Es bezeichne:

$J$  die Intensität eines Lichts oder das Lichtquantum, welches auf die Flächeneinheit einer Kugelfläche fällt, deren Radius

Ord- nungs- Num- mer.	Art des Oels.	Zahl der Dochte.	Mittlere Durchmesser der Dochte in Millimetern.	Breiten der platt gelegten Dochte in Millimetern.	Dimensionen der vollen Flamme in Millimetern.		Intensität der Flamme ohne optischen Apparat.	Maximal- Intensität des austretenden Strahlen- bündels.	Maximal-Intensität des austretenden paral- lelisirten Strahlen- bündels.		Oel-Consum in Grammen pro Stun- de.		in Kilogr. pro Licht- heit, ohne Appa- rat.	
					Maxi- mal- Durch- messer, <small>ner ab.</small>	Höhe vom Bren- ner			Untere Re- frac- tor.	Obere Re- frac- tor.	pro Stun- de.	pro Licht- heit, ohne Appa- rat.		
1		4	85, 64, 43, 22	132, 97, 65, 34	90	100	23	630	60	440	130	760	33	3040
2		3	69, 46, 24	106, 71, 36	75	80	15	335	25	240	70	500	33,3	2000
3	Rüböl	2	39, 19	61, 30	45	70	5	90	7	65	18	175	35,0	700
4		2	32, 16	48, 24	38	65	3	30	2,5	21,5	6	110	36,7	440
5	Mineral- öl	1	24	38	30	45	1,6	13	1	9,3	2,7	60	37,5	240
6		1	21	33	27	37	1,3	9	0,8	6,4	1,8	50	38,5	200
5		1	26	41	53	25	2,2	24	2	17,5	4,5	65	29,5	260
6		1	26	41	53	25	2,2	18	1,5	13	3,5	65	29,5	260

gleich der Längeneinheit — ein Kilometer, oder eine Seemeile — ist, bei Annahme eines luftleeren, nicht absorbirenden Raumes oder, was dasselbe sagt, einer vollkommen durchsichtigen Atmosphäre, und mit Beziehung auf das von der Carcel'schen Einheitslampe ausgesendete Licht als Lichteinheit;

$\frac{p}{q}$  die relative Absorption des Lichts beim Durchgang durch eine Längeneinheit der wirklichen Atmosphäre, oder den Bruchtheil des Lichts, der beim Durchgang durch eine Längeneinheit der wirklichen Atmosphäre absorbiert wird;

$s$  die Zahl der durchlaufenen Längeneinheiten bis zur Grenze der Sichtweite;

$i$  dasjenige Lichtquantum, welches für ein Auge von normaler Sehkraft auf die Flächeneinheit fallen muss an der Grenze der Sichtweite, oder diejenige Intensität, die wenigstens vorhanden sein muss, wenn das Licht wahrnehmbar sein soll.

Macht man nun die Annahme, dass für einen bestimmten Zustand der Atmosphäre die Grösse  $\frac{p}{q}$  für verschiedene Lichtquellen und für wachsende  $s$  constant ist — eine Annahme, die aber wahrscheinlich nicht ganz zutrifft; vergl. S. 56 des Textes — wobei also die verschiedene Dichtigkeit der Atmosphäre in verschiedenen Höhen über dem Meere vernachlässigt wird, so erkennt man leicht die Richtigkeit der folgenden Gleichung:

$$i = \frac{J \left(1 - \frac{p}{q}\right)^s}{s^2}.$$

Aus dieser Gleichung würde man bei bekannter Intensität  $J$  eines Lichts die Sichtweite  $s$  desselben bestimmen können, sobald man die beiden übrigen Grössen,  $i$  und  $\frac{p}{q}$ , ermittelt hätte. Letzteres muss mittelbar, durch Messung zusammengehöriger Werthe von  $J$  und  $s$  erfolgen; ist nämlich  $J = J_1$  für  $s = s_1$ , und  $J = J_2$  für  $s = s_2$ , so hat man die beiden Gleichungen:

$$i = \frac{J_1 \left(1 - \frac{p}{q}\right)^{s_1}}{s_1^2} \quad \text{und} \quad i = \frac{J_2 \left(1 - \frac{p}{q}\right)^{s_2}}{s_2^2},$$

aus denen sich die beiden Unbekannten  $i$  und  $\frac{p}{q}$  finden lassen. Die Werthe  $J_1$  und  $J_2$  für zwei bestimmte Lichter ergeben sich



direct als Verhältnisszahlen der mit dem Photometer gemessenen Intensitäten dieser Lichter und derjenigen der Einheitslampe, natürlich für denselben Zustand der Atmosphäre und für denselben Abstand von dem fraglichen Licht und der Einheitslampe; die Werthe  $s_1$  und  $s_2$  sind diejenigen Entfernungen von den Lichtern, in denen die Lichter für denselben Zustand der Atmosphäre in Sicht kommen, wenn man sich denselben aus grösseren Entfernungen nähert, resp. verschwinden, wenn man sich von ihnen entfernt. Da Beobachtungen dieser Art indessen sehr difficil sind, so ist es mit so wenigen Beobachtungen nicht gethan. Zahlreiche, in Paris und an französischen Seeleuchten angestellte Beobachtungen haben ergeben, dass für den Kilometer als Längeneinheit  $i = 0,010$ , d. i. für die Seemeile als Längeneinheit  $i = 0,034$  ein Werth ist, den man wohl practisch anwenden kann, obwohl er noch keineswegs die untere Grenze von  $i$  bildet; diese ist abhängig von der Sehkraft des Beobachters, ferner davon, ob derselbe schon längere Zeit beobachtet und dadurch sein Auge schon angestrengt hat, oder ob er erst anfängt zu beobachten, ferner davon, ob ihm das Licht in Sicht oder ausser Sicht kommen soll, und vielleicht noch von mancherlei anderen Umständen. Für  $1 - \frac{p}{q}$  ergaben sich zwar bei den in Paris angestellten Beobachtungen sehr weite Grenzen für verschiedene Zustände der Atmosphäre; doch hat es sich bei einer längeren Beobachtungsreihe an den französischen Küsten herausgestellt, dass während eines Zeitraums von 11 Monaten die mittlere Transparenz der Atmosphäre grösser war als  $1 - \frac{p}{q} = 0,747$ , während 6 Monate grösser als 0,903, während eines Monats grösser als 0,966, für den Kilometer als Längeneinheit; das giebt für die Seemeile resp. die Werthe: 0,582; 0,827; 0,938. Setzt man demnach für  $1 - \frac{p}{q}$  einen dieser Werthe und  $i = 0,010$  resp. 0,034, so kommt man für  $s$  zu Zahlen, die wenigstens einigen Anhalt über die Maximal-Sichtweite eines Feuers von bestimmter Intensität geben. Das beste Mittel, sich in einem concreten Fall über diese Frage zu entscheiden, werden aber wohl immer die Resultate der Praxis bilden, eben wegen der Unbestimmtheit der Werthe von  $1 - \frac{p}{q}$  und von  $i$ , und weil die zu Grunde gelegte Formel wenigstens nicht strenge

wissenschaftlich fundirt ist. Einen Schluss gestattet diese Formel noch, und der ist sehr wichtig: Nimmt man für  $i$  den oben gefundenen oder auch einen hiervon mehr oder weniger abweichenden Werth, und ebenso für  $s$  einen bestimmten Werth an und zeichnet nun in rechtwinkligen Coordinaten eine Curve, deren Abscissen  $1 - \frac{p}{q}$ , deren Ordinaten  $J$  sind, so erkennt man, wie stark sich bei zunehmender Absorption in der Atmosphäre die Anforderung an die Intensität des Lichts steigert; in Fig. 4, Taf. A, ist diese Curve (I) für  $i = 0,010$  und für  $s = 15$  Kilometer gezeichnet. Ebenso zeigt, für ein bestimmtes  $i$  und für eine constante Intensität  $J$ , eine andere Curve II, deren Abscissen  $1 - \frac{p}{q}$ , deren Ordinaten  $s$  sind, wie rasch die Sichtweite eines gegebenen Lichts mit zunehmender Undurchsichtigkeit der Atmosphäre abnimmt. Es wird daraus klar, wie schwierig es ist, Lichter herzustellen, die bei sehr dickem Wetter noch auf grössere Entfernungen sichtbar sein sollen, und dass man hierzu der allerkräftigsten Lichtquellen bedarf. Weitere Details über die wichtige Frage nach der Sichtweite der Lichter findet man in dem oben citirten vortrefflichen Werke von Reynaud.

Mit Einführung der leichten Oele — Kohlenwasserstoffe — als Beleuchtungsmaterial für die Zwecke des gewöhnlichen Lebens musste natürlich der Wunsch aufkommen, von den Vorzügen dieser Oele auch für die Zwecke der Illumination der Leuchtthurm-Apparate zu profitiren. Der Ausführung dieses Wunsches standen für die Feuer der fünften und sechsten Ordnung mit einem Brenner (Docht), soweit sie nicht schwimmende Feuer waren, keine besonderen Schwierigkeiten entgegen. Man bedurfte für diesen Zweck nur Lampen, die principiell nicht wesentlich anders construirt zu sein brauchten, als gewöhnliche Stubenlampen. Zu Ende des Jahres 1864 war man denn auch in Frankreich schon so weit gekommen, dass schon 41 Feuer nicht mehr mit Rüböl, sondern mit einem, in seinem Verhalten dem Petroleum ähnlichen, durch Destillation aus bituminösem Schiefer gewonnenen Mineralöl gespeist wurden. Die benutzte Lampe ist eine hydrostatische, oder auch eine einfache Lampe, in der nur durch die Capillarität des Dochts der Flamme das Oel zugeführt wird; in die Flamme hat man eine kleine horizontale runde Kupferscheibe — Champignon —

gebracht, die den innern Luftstrom auf die Flamme wirft; Durchmesser der Scheibe 28<sup>mm</sup>, Höhe ihres Randes über Oberkante des Brenners 11<sup>mm</sup>. Im Jahre 1865 wurde das Mineralöl für alle dioptrischen französischen Feuer vierter Ordnung — unsere fünfte und sechste Ordnung — eingeführt. Die beiden letzten Reihen der Tabelle auf S. 155, verglichen mit den beiden vorhergehenden Reihen, lassen erkennen, wie sich hierbei die Verhältnisse gegenüber denjenigen für die Apparate derselben Ordnung, so lange diese durch Rüböl illuminirt wurden, gestalteten. — In Rücksicht auf die günstigen, durch jene Tabelle dargestellten Erfolge war man unablässig mit Versuchen beschäftigt, welche darauf ausgingen, auch selbst Apparate erster Ordnung der Verwendung leichter Oele zugänglich zu machen. Bei diesen Versuchen wurde schliesslich das amerikanische Petroleum, als in seiner Zusammensetzung und in seinen Eigenschaften zu veränderlich, gänzlich ausgeschlossen. Da die Kohlenwasserstoffe durchschnittlich um so eher zu Explosionen Veranlassung geben, je leichter sie sind, so handelte es sich in Rücksicht auf die Sicherheit des Dienstes darum, ein in seiner Zusammensetzung constantes, nicht zu leichtes Oel zu finden. Ein solches Oel bot sich, als das beste von allen Probeölen, in dem von Young's Paraffin Light and Mineral Oil Company in Glasgow und Edinburgh gelieferten, aus dem schottischen boghead hergestellten Paraffinöl dar. Die für die Versuche benutzten Lampen mit vier, drei und zwei concentrischen Dochten waren von einem amerikanischen Capitain, Herrn Doty, construiert und führten für das genannte Oel zu folgenden Resultaten: Durch einen Verbrauch von 40 Gramm Oel pro Stunde producirte Lichtintensität nach Carcel-Brennern = 2,18, also Consum pro Lichteinheit und Stunde = 18,3 Gramm; Entzündungs-Temperatur des Oels = 72° C.; Siede-Temperatur = 205°; Dichtigkeit bei einer Temperatur von 0° = 0,833; Ausdehnungs-Coefficient bei einer Temperatur-Steigerung von 0° bis 100° = 0,094. Nach diesen Resultaten schloss man am 1. Januar 1870 mit der genannten schottischen Firma über die Oellieferung für diejenigen französischen Feuer ab, in denen man dasselbe bis dahin verwenden konnte; man begnügte sich dabei mit einer Dichtigkeit des Oels von 0,81 bis 0,82 bei 15° C., und einer als genügend hoch erkannten Entzündungs-Temperatur von 60°, und erzielte so ein Abkommen zu einem Durchschnittspreis von 0,85 Frcs. pro 1 Kilo franco Leuchthurm; Rüböl kostete 1,51 Frcs., also er-

heblich mehr. Weitere Versuche und Experimente, namentlich hinsichtlich der zu verwendenden Brenner, führten dann schliesslich dazu, dass am 29. März 1873 durch Ministerial-Verfügung die von der Leuchtthurm-Commission in Vorschlag gebrachte Verwendung von schottischem Paraffin für sämtliche französischen Feuer, mit Ausnahme der schwimmenden, angeordnet wurde. Die Verbesserung der Brenner, deren man zwei in ihren Resultaten gleich günstige Arten — die von Doty und die von Lepaute — probirt und adoptirt hatte, ermöglichte schliesslich nicht nur die Anwendung von vier, sondern sogar von fünf concentrischen Dochten; diese letztere Zahl hat man für die Apparate erster Ordnung angenommen; für jede Abstufung in der Ordnungs-Nummer der Apparate nimmt auch die Zahl der Dochte um eine Einheit ab, bis zur fünften Ordnung herunter, und der Durchmesser jedes grösseren Dochts übertrifft den des nächstfolgenden kleineren um 20<sup>mm</sup>. Folgende Tabelle zeigt das damit gewonnene System und die Resultate der Versuche:

Ordnungs- Nummer.	Innerer Durch- messer des Apparats.	Zahl der Dochte.	Mittlerer Durch- messer des äussern Dochts.	Durch- messer des Bren- ners.	Intensität		Oel-Consum	
					der Flamme ohne op- tischen Apparat.	mit Feste- Feuer- Apparat, wie Col. 9, Seite 155.	pro Stunde in Gramm.	pro Jahr in Kilogr.
1	1,84 <sup>m</sup>	5	105 <sup>mm</sup>	110 <sup>mm</sup>	30	820	900	3600
2	1,40 <sup>m</sup>	4	85 <sup>mm</sup>	90 <sup>mm</sup>	23	510	630	2520
3	1,00 <sup>m</sup>	3	65 <sup>mm</sup>	70 <sup>mm</sup>	14	250	360	1440
4	0,50 <sup>m</sup>	2	45 <sup>mm</sup>	50 <sup>mm</sup>	6,4	64	160	640
5	0,375 <sup>m</sup>	1	25 <sup>mm</sup>	30 <sup>mm</sup>	2,2	18	55	220

Man erkennt aus dieser Tabelle, gegenüber den für Rüböl angegebenen Zahlen, eine erhebliche Verminderung der Unterhaltungskosten, verbunden mit einem bedeutenden Gewinn an Lichtintensität. — Der Eventualität, dass einmal die Bezugsquelle des gewählten schottischen Oels durch Kriegsverhältnisse abgeschnitten werden, oder dass dieselbe wegen etwaiger übertriebener Preissteigerungen oder aus andern Gründen versiegen könnte, hat man dadurch die Spitze abgebrochen, dass man bei der Einführung dieses neuen Oels an den grösseren Lampen weiter Nichts geändert hat, als dass man die Brenner gewechselt hat, und dass man dieselben

im Uebrigen nach wie vor in gleicher Weise fortbestehen lässt, so dass man, wenn es sein muss, schlimmsten Falls jeden Augenblick zu dem früheren Rüböl zurückkehren kann und nur die Brenner wieder zu wechseln braucht. — Den Umstand, dass Apparat und Flamme streng genommen ein zusammengehöriges Ganzes bilden, das wiederum von der Höhe des Lichts über dem Meeresspiegel abhängig ist, scheint man dabei nur insofern glauben Rechnung tragen zu müssen, dass man die neuen Flammen nur für den Refractor in eine für die Sichtweite der Lichter möglichst günstige Lage bringt; die Quelle, aus der die vorstehenden Notizen entnommen sind — eine Abhandlung von Reynaud unter dem Titel: „Application de l’huile minérale à l’éclairage des phares“, in den Annales des ponts et chaussées, Fevrier 1873 — erwähnt weder hierüber, noch über eine fernere Justirung der Reflectoren für die neuen Flammen Etwas. Während nämlich die durch Vergrösserung des Durchmessers der Flammen für alle rotirenden Feuer vergrösserte azimuthale Divergenz der Strahlen eine angenehme Zugabe ist, und während man da, wo diese vergrösserte Divergenz bei abschneidenden Festen-Feuern nicht erwünscht ist, den Apparat meistens sehr leicht in dieser Beziehung corrigiren kann, ist von Flamme und Apparat für eine bestimmte Höhe hinsichtlich der Sichtweite und der Beleuchtung der See zwischen Horizont und Thurm ein Maximaleffect nur dann zu erwarten, wenn bei der Berechnung der einzelnen Theile des Apparats, resp. bei ihrer Montirung und Justirung nicht nur die Höhe des Lichts, sondern auch die Dimensionen der Flamme, die Structur derselben in Bezug auf die Vertheilung der Lichtintensität in derselben und die Höhenlage der Flamme relativ zum Apparat gebührende Berücksichtigung finden. Es wird sich dies ausführlicher weiter unten herausstellen. Uebrigens bemerkt auch Herr Reynaud, dass die Mineralöl-Flamme mehr Vortheile als Nachtheile habe in dioptrischen Apparaten, „besonders wenn die Reflectoren entsprechend berechnet seien“.

Auch in andern Ländern ausser Frankreich hat man sich in den letzten Jahren eifrig bemüht, das früher gebräuchliche schwere Oel durch leichtes Oel zu ersetzen und die Brenner der Leuchthurm-Lampen hierfür einzurichten. Zur Zeit dürfte im grossen Ganzen dieser Wechsel sich auf der ganzen Erde vollzogen haben. In Schottland sind einige Doty-Brenner eingeführt, im Uebrigen aber benutzt Grossbritannien einen jenem ähnlichen Brenner nach

der Erfindung von Herrn Douglass, Ingenieur von Trinity-House. Dieser Brenner steht dem Doty-Brenner nicht nach, übertrifft ihn vielleicht noch, und geht bis zu sechs (Rund-) Dochten, welche successive folgende mittleren Durchmesser haben, in englischen Zollen: 5, 4,16, 3,32, 2,49, 1,65 und 0,82. Durch verbesserte und erleichterte Luftzuführung zur Flamme hat Douglass es erreicht, dass sein Brenner ein ebenso intensives Licht giebt bei Anwendung von Rüböl wie bei Mineralöl; da indessen bei letzterem die Kosten nur halb so hoch sind wie bei jenem, da ferner die Dochte weniger verkohlen und die Lampen leichter anzuzünden und besser rein zu halten sind, als bei Rüböl, so hat man natürlich dem leichteren Oel — auch hier Young's Paraffinöl — den Vorzug gegeben.

Characteristisch ist es, dass selbst bei Gebrauch von Rüböl durch Einführung der neuen Brenner die Lichtintensitäten bedeutend gesteigert sind, bei gleichzeitiger erheblicher Reduction der Kosten für die Lichteinheit. Und so kann man in der That sagen, dass die Einführung von Mineralöl und der neuen Brenner von Lepaute, Doty und Douglass zu den grössten Verbesserungen zählen, welche seit Einführung des dioptrischen Systems in das Leuchtthurmwesen von A. Fresnel erreicht worden sind. Specielleres über diesen interessanten Gegenstand findet der Leser in dem in der Vorrede angeführten Bericht von Major Elliot.

Ueber die **verschiedenen Charactere der Leuchtfeuer** und über die Mittel, für sie eine genügende Anzahl von Variationen zu erhalten, ist im Text des vorliegenden Werks wiederholt die Rede gewesen. Nachfolgend mögen noch die Bezeichnungen angeführt werden, die das bereits citirte officiële deutsche Verzeichniss der Seeleuchten und Leuchtfeuer der Erde adoptirt hat:

1) Festes-Feuer (fixed light) ununterbrochen und von gleichbleibender Lichtstärke, weiss oder farbig.

2) Festes-Feuer mit Blinken (fixed and flashing), Festes-Feuer, das ausserdem in regelmässigen Zwischenräumen helle weisse (oder rothe) Blinke zeigt und kurz vor und nach diesen Blinken momentan verschwindet.

3) Wechselfeuer (alternating) erscheint abwechselnd roth und weiss ohne Verdunkelungen.

4) Drehfeuer (revolving), allmählich zur grössten Lichtstärke zunehmend und ebenso allmählich bis zur Verdunkelung wieder abnehmend. Die Verdunkelungen treten ein in gleichen Zeiträumen von zwei oder drei Minuten, seltener alle  $\frac{1}{2}$  oder  $\frac{1}{3}$  Minute.

5) Blinkfeuer (flashing) zeigt einen bis fünf Blinks in der Minute.

6) Funkelfeuer. Das hierher zu rechnende feu scintillant der Franzosen zeigt fünf oder mehr Blinks in der Minute.

7) Unterbrochenes Feuer (intermittent light) erscheint plötzlich, bleibt eine Zeit lang sichtbar und verschwindet dann ebenso plötzlich auf kürzere Dauer. \*)

Ueber die Anwendung farbiger Feuer ist Folgendes zu bemerken: Man vermeidet mit Recht farbige Feuer so lange wie möglich, weil das einzige practische Verfahren zur Herstellung von farbigem Licht darauf beruht, dass man von dem von der Lampe producirten Licht durch eine in irgend welcher Weise eingeschaltete farbige Glasschicht diejenigen Lichtstrahlen abscheiden (absorbiren) lässt, die man eben wegnehmen muss, um Strahlen von der bestimmten gewünschten Farbe zu behalten; für rothes Licht muss jene Glasschicht roth sein, für grünes Licht grün etc. Vorwiegend wird, wenn farbige Feuer nöthig sind, rothes Licht verwendet, in vereinzelt Fällen auch wohl grünes. — Bekanntlich erscheinen weisse Lichter aus der Ferne in der Regel um so mehr röthlich, je nebeliger die Luft ist, während rothe Lichter durch eine nebelige Atmosphäre eine noch tiefere rothe Färbung erlangen. In dieser eigenthümlichen Art der Absorption durch die meisten Nebel ist der Grund für die Erscheinung zu suchen, dass die relative raumdurchdringende Kraft der rothen Lichter unter übrigens gleichen Umständen grösser ist, als die der weissen, was sich in der Weise zeigt, dass, wenn man ein rothes und ein weisses Licht aus geringen gleichen Entfernungen beobachtet und für diese die Intensität des weissen Lichts überwiegt, dieser Unterschied bei grösseren Entfernungen zu Gunsten des rothen Lichts abnimmt, und letzteres häufig schliesslich noch erkannt wird, wenn

\*) In Folge der Absorption durch die Atmosphäre, durch welche matteres Licht schon ausgelöscht wird, wenn stärkeres noch deutlich sichtbar ist, variirt selbstverständlich der Character der veränderlichen Feuer, und besonders der Festen-Feuer mit Blinken, jenachdem man sich denselben nähert oder von ihnen entfernt. Dies wird vortreflich illustriert durch die nach Angabe von Allard entworfene Tafel I in dem oben genannten Werke von Reynaud.

das weisse Licht schon ausser Sicht ist. In dieser Hinsicht hat es sich als am günstigsten herausgestellt, für rothes Licht mit Kupferoxydul gefärbtes rothes Glas zu verwenden; im französischen Dienst gilt es als Regel, dass man für solches Glas bei genügend starker Färbung einem Bogen, der roth erscheinen soll, das Doppelte bis Dreifache desjenigen Lichtquantums zuführen muss, welches ein gleich grosser weisser Bogen, der dieselbe Sichtweite haben sollte, verlangen würde. — Grüne Feuer, die übrigens nur in sehr seltenen Fällen Anwendung finden, werden bei Nebel meistens mehr weiss, büssen also dann an ihrer charakteristischen Eigenthümlichkeit ein; ausserdem erfordern sie einen viel grössern Lichtaufwand, als rothe Feuer. — Auch der Umstand, dass die Oelflamme an und für sich eine gelbliche Färbung hat, spielt hierbei eine Rolle. Blau ist die Complementärfarbe zu Gelb, und Grün steht ersterem viel näher als Roth; daher neutralisirt die Eigenfarbe der Oelflamme die durch blaue und grüne Gläser erzielte Färbung des Lichts weit mehr, als die dem Gelb verwandte rothe Färbung. Folglich müssen auch blaue und grüne Gläser bei Anwendung einer rein weissen Flamme — electricisches Licht — relativ viel wirksamer sein, als bei der Oelflamme.

Ein recht theures, aber doch zuweilen unvermeidliches Mittel zur Characterisirung ist das, statt eines einfachen Feuers ein Doppelfeuer herzustellen; am besten ist es für solche Fälle, da, wo es angeht, zwei verschiedene Stationen zu errichten und in diesen die Lichter in gleichen Höhen über dem Meeresspiegel aufzustellen, weil dann Nebel auf beide gleichmässig einwirkt; wo das nicht möglich ist, muss man in einem und demselben Thurm ein Licht über dem andern aufstellen. Die Irradiation des Lichts bestimmt die Grenze, wie weit die beiden Lichter mindestens von einander entfernt sein müssen, um noch deutlich getrennt zu erscheinen. Da die Irradiation von dem Zustand der Atmosphäre abhängig und bei Nebel und Regen stärker ist, als bei klarer Luft, so werden die Lichter für erstere Fälle eher ihren getrennten Character verlieren und in einander zu verlaufen scheinen, d. i. wie ein einziges Licht erscheinen, als im letzteren Fall. Reynaud empfiehlt für die dioptrischen Apparate Ordnung 1 bis 4 den Winkel, dessen Scheitel das Auge des Beobachters, dessen Schenkel die demselben zufallenden Strahlen der beiden Lichter sind, nicht kleiner als  $15'$ , und für Ordnung 5 und 6 nicht kleiner als  $8'$  zu machen. Muss man beide Lichter in



einen Thurm stellen, so wird es sehr selten möglich sein, diese Grenzen inne zu halten; jedenfalls verlangt die angegebene Regel recht viel und auch für getrennte Stationen mehr, als in manchen Fällen zu erreichen ist. Derartige Dispositionen hängen immer sehr stark von localen Umständen ab; wo diese günstig sind, da ist es gewiss rathsam, über jene 15', resp. 8' hinauszugehen; wo sie ungünstig sind, muss man mit weniger zufrieden sein. Alan Stevenson giebt für den fraglichen Winkel 3' 18" als untere Grenze an; diese Zahl lässt sich oft auch noch realisiren, wenn man beide Lichter in einen Thurm stellen muss. —

Ganz dieselben Gesichtspunkte, die bei Doppelfeuern in Frage kommen, sind, ausser anderen, auch bestimmend für die Disposition der sogenannten Richt- oder Leit-Feuer. Hier sollen zwei Feuer, die in getrennten Thürmen brennen, nicht nur als getrennte Feuer erscheinen, sondern sie sollen auch von dem Augenblicke an, wo sie dem Seemann in derselben Vertical-Ebene zu liegen scheinen, eine ganz besondere Eigenthümlichkeit des betreffenden Fahrwassers markiren. Es ist klar, dass für ein in der Fahrt begriffenes Schiff die Lichter um so eher von einander loskommen, sobald das Schiff sich von ihrer gemeinschaftlichen Vertical-Ebene entfernt, je grösser die absolute Entfernung der Lichter von einander ist. Alan Stevenson giebt an, dass man diese absolute Entfernung niemals kleiner machen solle, als ein Sechstel der Sichtweite, für welche die Lichter überhaupt wirken sollen, letztere Entfernung natürlich von dem Thurm aus gerechnet, der zwischen dem Schiff und dem andern Thurm sich befindet. Aus diesem Grunde muss natürlich das Licht in dem letzteren höher sein, als in dem andern Thurm, und es ist gut, jenen so zu bemessen, dass das hintere Licht immer höher als das vordere Licht erscheint. Wo dies nicht zu erreichen ist, weil die Thurmhöhe zu gross werden würde, da ist es oft rathsam, dem hintern Licht relativ zu dem vorderen einen derartigen Character zu geben, dass man immer sofort erkennen kann, welches Licht von beiden das vordere, welches das hintere ist. Auch ist für diesen Fall dem Umstande, dass für einen gewissen Bezirk auf der See das hintere Licht durch das Bauwerk, in dem das vordere aufgestellt ist, verdeckt wird, je nach der Localität gebührend Rechnung zu tragen, am besten wohl in der Weise, dass man das gute Fahrwasser hier mit der Linie abschneiden lässt, in welcher das hintere Licht aufhört, verdeckt zu sein; natürlich muss dann jenseits dieser Linie

noch so viel Seeraum vorhanden sein, dass der Schiffer Zeit behält, einen andern Cours zu nehmen, nachdem er auch das hintere Licht in Sicht bekam. — Ist der hintere Thurm beträchtlich höher als der vordere, so dass das hintere Licht immer das vordere überragt, so ist die Antwort auf folgende Frage wichtig: In welchem Verhältniss steht die Horizontalprojection  $x$  des Winkels, den die von den Lichtern ausgehenden Strahlen am Auge des Beobachters bilden, zu seiner Verticalprojection  $y$  in dem Augenblick, wo es für den Schiffer nicht mehr deutlich bemerkbar ist, dass sich beide Lichter in verschiedenen Verticalebenen befinden, wo sie also beginnen, für ihn in einer einzigen Ebene mit seinem Auge zu liegen? Verschiedene Versuche, die man in Frankreich anstellte, haben zu der folgenden Antwort auf diese Frage geführt:  $y = 1,88x + 0,0054x^3$ , wo  $x$  und  $y$  in Minuten anzugeben sind, und wo  $x$  für die Versuchsreihe im Maximum 16,03' betrug. Nach Reynaud würde  $\sqrt{x^2 + y^2}$  nicht kleiner als 15' resp. 8' sein dürfen; dies beachtet, könnte man für jene Formel mit genügender Annäherung auch die folgende setzen:  $y = 4(x - 4')$ . Man erkennt leicht, dass, wenn diese Formeln wirklich zuverlässig sind, sie dann vollständig das Material zur geometrischen Disposition von Leitfeuern bieten.

Die Preise der Linsen-Apparate richten sich natürlich nach der Art der Combination für den besonderen Fall. Um dem Leser indess hierfür einigen Anhalt zu geben, führe ich nachstehend die Preise für volle Apparate nach dem neuesten Catalog von Herrn Chance an, und zwar in Pfund-Sterling:

Ordnung.	Glastheile.	Vollständiger Apparat mit Lampen etc. und Laterne.
1	1288 bis 1536 £	2488 bis 2984 £
2	788 „ 1131 „	1624 „ 2187 „
3	378 „ 704 „	882 „ 1456 „
4	157 „ 255 „	329 „ 427 „
5	103 „ 195 „	257 „ 349 „
6	circa 70 „	circa 216 „

Die wichtigsten mir bekannten, und ich glaube die einzigen zur Zeit existirenden Firmen, welche sich mit der Anfertigung von Leuchthurm-Apparaten nebst Zubehör, incl. der Laternen, event. auch der Thürme, beschäftigen, sind die folgenden:

- 1) The manufactory of dioptric apparatus for light-houses of Chance Brothers and Company bei Birmingham.
- 2) Henry Lepaute, Faubourg St. Germain, Paris.
- 3) Sautter, Lemonnier & Comp., in der Nähe des Champ de Mars in Paris.
- 4) Barbier & Fenestre, Paris.

Von einem Leuchtfeuer verlangt man, einzelne Ausnahmefälle mit besonderen Bedingungen abgerechnet, in der Regel, dass es einem aus der Ferne kommenden, dem Orte des Feuers sich nähernden Schiffe so früh wie möglich diesen Ort bezeichne; dass es dem Schiffe auch noch genügend Licht zusende, wenn sich dasselbe zwischen dem Punkt, wo das Feuer zuerst in Sicht kam, und dem Ort des Leuchtfeuers befindet, und dass diese Lichtverbreitung sich möglichst nahe an den Ort des Feuers heranziehe. Rationell kann man dabei die Disposition des Feuers, soweit diese aus der Gesamtwirkung von Lichthöhe, Flamme und optischem Apparat hervorgeht, nur dann nennen, wenn von sämtlichen von der Flamme ausgehenden Strahlen so viele, wie irgend möglich, für die genannten Zwecke nutzbar gemacht werden, denn alles übrige Licht geht entweder durch die von Apparat und Lampe nebst den zugehörigen Constructionstheilen etc. verursachte Absorption und fehlerhafte Oberflächen-Reflection, oder durch Ausstrahlung in die Wolken, resp. in den freien Luftraum verloren. Alle diese Factoren sind bei der Wahl des Systems und bei der speciellen detaillirten Bearbeitung eines Entwurfs für einen Leucht-Apparat stets zu berücksichtigen; wie für das dioptrische System der Absorption und der Oberflächen-Reflection, soweit solche von den Glastheilen des Apparats herrühren können, Rechnung zu tragen ist, ist im Allgemeinen schon oben angegeben; es bleibt also nun noch die wichtige Aufgabe zu lösen, die mathematischen Regeln zu entwickeln, nach denen die einzelnen Glastheile zu construiren und nach denen sie und die Lampe zu montiren sind, damit der Apparat überhaupt seiner Bestimmung genüge, und damit der Verlust durch unnütze Ausstrahlung von Licht in die Wolken auf das mögliche Minimum beschränkt werde. Nur wenn diese mathematischen Entwicklungen zu befriedigenden Resultaten führen, ist, unter Voraussetzung der practischen Durchführ-

barkeit der durch die Rechnung festgestellten Forderungen, von Lampe und Apparat überhaupt eine nutzbringende Wirkung zu erwarten; andernfalls würde der Apparat unbrauchbar sein.

### § 3.

#### Formeln für die Berechnung eines einfachen Fresnel'schen Bienenkorb-Apparats für Feste-Feuer.

1) Der ringförmige Refractor ( $RR$  der Figuren 1 und 2, Tafel I).

Es werde für die Berechnung die (wenigstens früher) gewöhnlich auch in der Praxis befolgte Voraussetzung gemacht, dass das Licht nach der wirklich horizontalen Richtung  $CEE'$  (Fig. 2, Taf. A), also normal zur verticalen Achse des Apparats parallelisirt werden soll, wenn der leuchtende Punkt — vorerst soll noch die Flamme als solcher betrachtet werden — mit dem der Rechnung zu Grunde gelegten Brennpunkt zusammenfällt. Dann wird offenbar die Horizontalebene des Brennpunkts genau eine Symmetrie-Ebene des Refractors sein.

Es sei in Fig. 5, Taf. A,  $F$  der Brennpunkt,  $FAX$  der gerade horizontale Schnitt der eben erwähnten horizontalen Symmetrie-Ebene mit der Vertical-Ebene, in der die Figur zu denken ist. Es soll zunächst das Profil eines planconvexen Glaskörpers ermittelt werden; der die Eigenschaft hat, dass alle in der Ebene der Figur, welche letztere einen Normalschnitt dieses Körpers darstellen soll, auf denselben auffallenden, von  $F$  ausgehenden Strahlen nach ihrem Durchgang durch das Glas, durch welches sie alle zwei Mal gebrochen werden, genau unter einander und zur Geraden  $FAX$  parallel austreten. Die Linie  $FAX$  steht normal zur geraden Seite  $AY$  des Profils; die Curve  $GDBG_1$ , welche die convexe Seite des Profils bildet, ist zu ermitteln.  $FCDE$  sei ein beliebiger Lichtstrahl; derselbe trifft bei  $C$  die gerade Seite  $AY$  unter einem Winkel  $\alpha$ , wird gegen das Einfallslot hin gebrochen — Winkel  $\beta$  —, trifft die convexe Curve in  $D$  unter einem Einfallswinkel  $\gamma$ , und wird beim Austritt aus dem Glasquerschnitt in die, gegen die Normale in  $D$  unter einem Winkel  $\delta$ , geneigte Richtung  $DE$  abgelenkt. Hieraus und aus den sonstigen Bezeichnungen der Figur ergeben sich, wenn man den Brechungs-Coefficienten des Glases mit  $\mu$  bezeichnet, sehr leicht die folgenden fünf Gleichungen:

$$\sin \alpha = \mu \cdot \sin \beta \dots \dots \dots (1)$$

$$\sin \gamma = \frac{1}{\mu} \cdot \sin \delta \dots \dots \dots (2)$$

$$\beta + \gamma = \delta \dots \dots \dots (3)$$

$$y = f \cdot \operatorname{tg} \alpha + x \cdot \operatorname{tg} \beta \dots \dots \dots (4)$$

$$\operatorname{tg} \tau = \operatorname{tg} (90 + \delta) = -\frac{1}{\operatorname{tg} \delta} = \frac{d y}{d x} \dots \dots \dots (5)$$

Diese fünf Gleichungen legen, wenn man später noch die auftretende Integrations-Constante feststellt, die Curve  $GDBG_1$  vollständig fest; um zu ihrer Gleichung zu kommen, müsste man die vier Winkel  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  und  $\delta$  eliminiren; da diese Gleichung zwischen den Variablen  $x$  und  $y$  aber zu complicirt und darum unbrauchbar wird, so muss man sich anderweitig zu helfen suchen. Aus den Gleichungen (2) und (3) folgt zunächst:

$$\sin \delta = \mu \cdot \sin (\delta - \beta),$$

und hieraus:

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{\mu \sin \beta}{\mu \cos \beta - 1} \cdot *)$$

Diesen Ausdruck in Gleichung (5) eingesetzt:

$$\frac{d y}{d x} = \frac{1 - \mu \cos \beta}{\mu \sin \beta} = \frac{1 - \mu \cos \beta}{\sin \alpha} \dots \dots \dots (6)$$

Die Gleichungen (1), (4) und (6) enthalten nur noch  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $x$  und  $y$ . Differentiirt man Gleichung (1) und (4), so erhält man:

\*) Um aus gegebenem  $\alpha$  die drei Winkel  $\beta$ ,  $\gamma$  und  $\delta$  durch Construction zu finden, schlage man (Fig. 6, Taf. A) mit dem beliebigen Radius  $k$  und mit  $\mu k > k$  Halbkreise aus  $O$ . Macht man  $\angle AQB = \alpha$ ,  $BC \parallel OA$ , so ist  $\angle COA = \beta$ ,  $\angle OCD = \gamma$ ,  $\angle CDA = \delta$ . Beweis:  $CE = k \cdot \sin \alpha = \mu k \cdot \sin COA = \mu k \cdot \sin \beta$  (nach Gleichung 1), so dass  $\angle COA = \beta$  sein muss; ferner

$$\operatorname{tg} CDA = \frac{CE}{DE} = \frac{\mu k \cdot \sin \beta}{\mu k \cdot \cos \beta - k} = \frac{\mu \sin \beta}{\mu \cos \beta - 1},$$

so dass nach obiger Gleichung  $\angle CDA = \delta$  sein muss. Ferner ist  $\angle CDA = \angle COA + \angle OCD$ , oder  $\angle \delta = \angle \beta + \angle OCD$ , also nach Gleichung 3:  $\angle OCD = \gamma$ . Man kann auch so beweisen: Ist  $OF \parallel CD$ , und sind ferner  $CG$  und  $DH$  normal zu  $OF$ , dann ist:  $CG = OC \cdot \sin COF = \mu k \cdot \sin COF = \mu k \cdot \sin (\widehat{DOF} - \beta)$ ; ferner  $DH = OD \cdot \sin DOF = k \cdot \sin DOF$ . Da nun  $CG = DH$ , so muss sein:  $\mu \sin (\widehat{DOF} - \beta) = \sin DOF$ , so dass nach der vorletzten der obigen Gleichungen  $\angle DOF = \angle CDA = \delta$  sein muss. Da  $\angle DOF = \delta = \angle COF + \beta = \angle OCD + \beta$ , so nach Gleichung 3:  $\angle OCD = \gamma$ . Für  $\beta$  bleibt der Beweis wie vorhin.

$$\cos \alpha \cdot d\alpha = \mu \cos \beta \cdot d\beta,$$

$$dy = f \frac{d\alpha}{\cos^2 \alpha} + x \frac{d\beta}{\cos^2 \beta} + \operatorname{tg} \beta \cdot dx.$$

Mit Hülfe dieser Gleichungen und der unveränderten Gleichung (1) kann man aus Gleichung (6) die folgende Differential-Gleichung ableiten:

$$\frac{\mu - \cos \beta}{\mu \sin \beta \cdot \cos \beta} \frac{dx}{d\beta} + \frac{x}{\cos^2 \beta} + \frac{\mu f \cdot \cos \beta}{(1 - \mu^2 \sin^2 \beta)^{\frac{3}{2}}} = 0.$$

Diese Gleichung ist identisch mit der folgenden:

$$dx = -x \frac{\mu \sin \beta}{\cos \beta (\mu - \cos \beta)} d\beta - \frac{\cos \beta}{\mu - \cos \beta} \cdot \frac{\mu^2 f \cdot \sin \beta \cdot \cos \beta}{(1 - \mu^2 \sin^2 \beta)^{\frac{3}{2}}} d\beta$$

$$= -x \frac{\mu \sin \beta}{\cos \beta (\mu - \cos \beta)} d\beta + \frac{\cos \beta}{\mu - \cos \beta} d\left(-\frac{f}{\sqrt{1 - \mu^2 \sin^2 \beta}} + c\right),$$

wobei  $c$  eine vorläufig noch beliebige Constante bezeichnet. In Rücksicht auf Gleichung (1) kann man auch kürzer schreiben:

$$dx = -x \frac{\mu \sin \beta}{\cos \beta (\mu - \cos \beta)} d\beta + \frac{\cos \beta}{\mu - \cos \beta} d\left(-\frac{f}{\cos \alpha} + c\right);$$

setzt man:

$$\frac{\cos \beta}{\mu - \cos \beta} = u, \quad -\frac{f}{\cos \alpha} + c = v,$$

so geht diese Gleichung über in:

$$dx = -x \frac{\mu \sin \beta}{\cos \beta (\mu - \cos \beta)} d\beta + u \cdot v^I,$$

und bringt man in diese Gleichung

$$v \cdot u^I = \left(-\frac{f}{\cos \alpha} + c\right) \frac{\mu \sin \beta}{(\mu - \cos \beta)^2} d\beta$$

hinein, so ergibt sich:

$$dx = \frac{x}{\left(-\frac{f}{\cos \alpha} + c\right) \left(\frac{\cos \beta}{\mu - \cos \beta}\right)} \cdot v u^I + u v^I$$

$$= \frac{x}{v u} \cdot v u^I + u v^I.$$

Aus dieser Form erkennt man auf der Stelle, dass  $x = uv$ , d. i.

$$x = \left(c - \frac{f}{\cos \alpha}\right) \frac{\cos \beta}{\mu - \cos \beta} \dots \dots \dots (7)$$

die Lösung der oben entwickelten Differential-Gleichung sein muss. Um die Bedeutung der Constanten  $c$  zu erkennen, setze man  $x = 0$ ; dies führt, da  $\cos \beta = 0$ , also  $\beta = \pm 90^\circ$  nicht möglich ist, zu

der einzigen Lösung:  $c - \frac{f}{\cos \alpha} = 0$ . Den Werth, den das  $\alpha$  dieser Gleichung hat, erkennt man leicht als den Maximalwerth von  $\alpha$ , als  $\alpha_{\max}$ . Demnach ist:

$$c = \frac{f}{\cos \alpha_{\max}} \dots \dots \dots (8)$$

so dass also die von  $F$  nach den Punkten  $G$  und  $G_1$ , in denen die Curve die  $Y$ -Achse schneidet, gezogenen Geraden  $FG$  und  $FG_1 = c$  sind. — Will man nicht von bestimmten Punkten  $G$  und  $G_1$ , sondern von einer bestimmten Dicke,  $AB = d$ , der Linse für  $y = 0$  und  $\alpha = 0$ , also auch  $\beta = 0$  ausgehen, so wird

$$x = d = (c - f) \frac{1}{\mu - 1},$$

also

$$c = f + (\mu - 1) d \dots \dots \dots (9)$$

Setzt man die in Gleichung (8) und (9) für  $c$  ermittelten Werthe in Gleichung (7) ein, so nimmt diese die folgenden Formen an:

$$x = \left( \frac{f}{\cos \alpha_{\max}} - \frac{f}{\cos \alpha} \right) \left( \frac{\cos \beta}{\mu - \cos \beta} \right) \dots \dots \dots (10)$$

$$x = \left( f + (\mu - 1) d - \frac{f}{\cos \alpha} \right) \left( \frac{\cos \beta}{\mu - \cos \beta} \right) \dots \dots (11)$$

Ob  $c$  durch einen gegebenen Maximalwerth von  $\alpha$  oder durch ein gegebenes  $d$  bestimmt ist, ist für die weitere Rechnung ziemlich gleichgültig, da die Sache in beiden Fällen sehr einfach ist. Die Abscissen  $x$  erreichen ihren Maximalwerth für  $x = AB = d$ , und die Curve kehrt in ihrem ganzen Verlauf zwischen  $G$  und  $G_1$  der  $Y$ -Achse ihre concave Seite zu. — Die Bestimmung zusammgehöriger Werthe von  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\frac{dy}{dx}$ ,  $x$  und  $y$  aus den Gleichungen (1), (4), (6) und (7), resp. (10) und (11) durch Rechnung hat keinerlei Schwierigkeit, so dass man hiernach die Mittel in Händen hat, die Curve für einen concreten Fall mit einem beliebigen Grad von Genauigkeit zu verzeichnen. Direct, d. h. ohne Rechnung, lässt sich die Curve in folgender Weise festlegen (Fig. 7, Taf. A): Man beschreibe aus  $F$  mit dem Radius  $FG = FG_1 = c$  den Kreis  $GG_1$ , so dass  $CH = c - \frac{f}{\cos \alpha}$  ist; ferner aus  $F$  mit  $FJ = k$  und  $FK = \mu k$ , wo  $k$  beliebig ist, die Kreise  $JJ_1$  und  $KK_1$ . Zieht man  $LM \parallel FX$ , so ist  $\angle MFX = \beta$ ;  $CD_1 \parallel FM$ . Durch  $N$  ziehe man  $OO_1$  normal zu  $FX$ ; dann ist  $FO = k \cos \beta$ ,  $OK = \mu k - k \cos \beta$ , und daher,

wenn  $OK_1 = OK$ ,  $OP = CH$ , ist  $OQ = x$  (vergl. Gleichung 7), wenn  $PQ \parallel K_1F$ . Macht man endlich  $AB = OQ$  und zieht  $RD$  normal zu  $FX$ , bis sie die  $CD_1$  in  $D$  schneidet, so ist  $RD = y$ . Die Normale der Curve im Punkte  $D$  ist parallel zu der Geraden  $MJ$  und bildet mit  $FX$  den Winkel  $\delta$ . Zur Berechnung der Länge des Krümmungshalbmessers der Curve dient der bekannte Ausdruck:

$$\frac{\left\{1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2\right\}^{\frac{3}{2}}}{\frac{d^2y}{dx^2}}.$$

Nach Gleichung (6) ist:

$$\frac{dy}{dx} = \frac{1 - \mu \cos \beta}{\mu \sin \beta} = \frac{1 - \mu \cos \beta}{\sin \alpha},$$

also:

$$\frac{d^2y}{dx^2} = \frac{\mu - \cos \beta}{\mu \sin^2 \beta} \cdot \frac{d\beta}{dx}.$$

Entnimmt man  $\frac{d\beta}{dx}$  aus der oben angegebenen Differential-Gleichung der Curve (zwischen  $x$  und  $\beta$ ), und setzt dann alle diese Werthe in den vorstehenden Ausdruck für den Krümmungshalbmesser ein, so erhält man bei Berücksichtigung der Gleichung (1) für diesen Werth:

$$(1 + \mu^2 - 2\mu \cdot \cos \beta)^{\frac{3}{2}} \left(\frac{\cos \beta}{\mu - \cos \beta}\right)^2 \left(\frac{f}{\cos^3 \alpha} + \frac{x}{\mu \cos^3 \beta}\right).$$

Die Construction dieses Ausdrucks ist sehr einfach und kann hier füglich übergangen werden; (der Ausdruck innerhalb der ersten Klammer bezeichnet das Quadrat der dritten Seite eines Dreiecks, dessen andere beiden Seiten 1 und  $\mu$  den Winkel  $\beta$  einschliessen; in Fig. 7, Taf. A, ist  $\overline{JM}^2 = k^2 [1 + \mu^2 - 2\mu \cos \beta]$ ).

Da man ausserdem nach dem oben angegebenen Verfahren für irgend einen Punkt der Curve ihre Normale genau verzeichnen kann, so kann man nun auch ihre Evolute bestimmen.

Die gefundenen Formeln liefern demnach vollständig das Material zur Bestimmung der theoretischen Querschnittsform des Refractors; der letztere ist nämlich derjenige Körper, der beschrieben wird, wenn man die Curve  $GBG_1$  um eine durch  $F$  gehende, zu der geraden Seite  $GAG_1$  des Profils parallele Achse rotiren lässt. — Nach Gleichung (7) muss man jedes Mal zu einer andern Curve kommen, wenn man der Integrations-Constanten  $c$  einen andern Werth beilegt, und alle einzelnen so erhaltenen Curven müssen den Anforderungen der Aufgabe genügen. Mit wachsendem  $c$



wächst nach Formel (9) auch die Dicke  $d$  des Refractors, und damit die Dicke desselben im Allgemeinen, d. h. für gleiche Werthe des Winkels  $\alpha$ . Vergl. Fig. **8a** und **8b**, Taf. A. Um die Dicke des Glaskörpers zu reduciren, kann man ihn, anstatt ihn aus einem einzigen Stück herzustellen, in der Weise ausbilden, wie die Figuren **8** in den schraffirten Partieen zeigen, so dass dann also das Profil aus einem mittleren segmentartigen Theil und mehreren äusseren trapezartigen Stücken besteht. Man erreicht dadurch, ausser verschiedenen Vortheilen, die sich auf die practische Ausführung des Glaskörpers beziehen, auch noch die, dass derselbe an Gewicht leichter wird, und dass weniger Licht beim Durchgang durch denselben absorbtirt wird. Practisch kann man ferner die theoretisch richtigen Curven nicht herstellen, muss vielmehr statt derselben Kreisbögen einführen und kann nun die Radien dieser Bögen so wählen, dass die Annäherungs-Profile in ihren Wirkungen auf die Lichtstrahlen denjenigen der theoretisch richtigen Profile möglichst nahe kommen. Man kann dabei von der Bedingung ausgehen, dass die Maximaldicken der einzelnen Theile alle gleich sein sollen (der mittlere Theil gestattet hinsichtlich der Zerbrechlichkeit des Glases wegen seiner grössern Breite eine etwas geringere Dicke als die übrigen Theile); ebenso kann man auch die Minimaldicken der einzelnen Theile gleich machen, wenn man überhaupt die dünnen, sonst scharfen Enden der Profile bricht; für die Refractoren der Festen-Feuer und für die ringförmigen Linsen geschieht letzteres immer, und man braucht in den betreffenden Formeln nur die Minimaldicken gleich Null zu setzen, wenn es nicht geschehen soll. Die geraden Endlinien der einzelnen Profile können entweder normal zu den inneren geraden Seiten der letzteren stehen (Fig. **8a**), oder den Richtungen der entsprechenden, einmal gebrochenen Strahlen folgen (Fig. **8b**); im ersteren Fall, der bei grösseren (Rüböl-) Flammen fast ausschliesslich in Gebrauch ist, ist an dem breiteren Ende eines jeden Profils ein Dreieck vorhanden, welches optisch gar nicht zu nutzbringender Wirkung kommt, so dass hierdurch nur das Gewicht der Glastheile (unnöthig) vermehrt wird; die letztere Anordnung, in der Ausführung wesentlich difficiler als die andere, findet aus Gründen, die man später leicht erkennen wird, Anwendung bei Flammen von kleiner Höhenausdehnung.

Um nun zunächst das mittlere Profil zu bestimmen, sind also (siehe Fig. 9, Taf. A) die Grössen  $d$ ,  $e$ ,  $f$  und  $\mu$  gegeben. Führt man die Bedingung ein, dass der Radius  $\rho$  für die äussere Begrenzung des Profils so bestimmt werden soll, dass der durch die äusserste Ecke dieses Profils gehende Strahl mathematisch richtig abgelenkt wird, so erhält man nach der in der Figur eingeführten Bezeichnung die folgenden Formeln zur Bestimmung von  $h_0$ ,  $\rho_0$  und  $\alpha_0$  (und  $\alpha_0$ ,  $\beta_0$  und  $\delta_0$ ):

- I.  $\sin \alpha_0 = \mu \cdot \sin \beta_0.$   
 II.  $\sin \delta_0 = \mu \cdot \sin (\delta_0 - \beta_0),$  oder  $\operatorname{tg} \delta_0 = \frac{\mu \sin \beta_0}{\mu \cos \beta_0 - 1}.$   
 III.  $h_0 = f \operatorname{tg} \alpha_0 + e \operatorname{tg} \beta_0.$   
 IV.  $h_0 = \frac{d - e}{\operatorname{tg} \frac{\delta_0}{2}}.$   
 V.  $\rho_0 = \frac{h_0}{\sin \delta_0}.$   
 VI.  $\alpha_0 = \frac{h_0}{\operatorname{tg} \delta_0} - e.$

Rechnet man, so findet man aus den ersten vier Gleichungen die zunächst nöthige Grösse  $h_0$ , und die zugehörigen Winkel  $\alpha_0$ ,  $\beta_0$  und  $\delta_0$  durch Probiren; aus Gleichung V und VI ergeben sich dann weiter  $\rho_0$  und  $\alpha_0$ . — Um die Aufgabe durch Zeichnung zu lösen, construire man in Polar-Coordinationen, mit dem Winkel  $\alpha$  als unabhängige Variable, die beiden Gleichungen:

$$r^I = f \operatorname{tg} \alpha + e \operatorname{tg} \beta,$$

$$r^{II} = \frac{d - e}{\operatorname{tg} \frac{\delta}{2}};$$

für  $\alpha$ ,  $\beta$  und  $\delta$  gelten natürlich die beiden Gleichungen I und II, wenn man dort überall den Index weglässt. Der Fahrstrahl  $h_0$  des Durchschnittspunkts der beiden Curven ist gegen die  $X$ -Achse unter einem Winkel  $\alpha_0$  geneigt. Die Construction der Curven (siehe Fig. 10, Taf. A) hat mit Rücksicht auf die Anmerkung auf S. 169 (Fig. 6) keine Schwierigkeit; sie ist in Fig. 10 für einen Werth  $\alpha$  angedeutet. Aus  $\alpha_0$  findet man  $\beta_0$  und  $\delta_0$ , und dann weiter  $\rho_0$  und  $\alpha_0$ . —

Ausser der vorstehenden Methode giebt es noch eine zweite zur Bestimmung eines practischen Profils für den mittleren Theil des Refractors, die ich jetzt erläutern werde.

Aus Gleichung II kann man die folgende Gleichung ableiten:

$$\sin \delta_0 = \frac{\mu \sin \beta_0}{\sqrt{1 + \mu^2 - 2\mu \cos \beta_0}}.$$

Aus dieser Gleichung und aus Gleichung V folgt für  $\rho_0$  der Werth:

$$\rho_0 = \frac{h_0}{\mu \sin \beta_0} \sqrt{1 + \mu^2 - 2\mu \cos \beta_0}.$$

Es bezeichne Fig. 11, Taf. A, das theoretisch richtige Profil; ( $MoN$  sei die Evolute der convexen Curve), dann ist der vorstehende Werth  $\rho_0 = CO_0$ , wo  $O_0$ , der Schnittpunkt der äussersten Krümmungshalbmesser, auf der Linie  $FB$  liegt. Den Krümmungshalbmesser  $Bo$  für den Scheitel  $B$  der Curve erhält man, wenn man in dem oben angegebenen allgemeinen Ausdruck des Krümmungshalbmessers  $\alpha = 0$  und  $\beta = 0$  setzt; dies giebt:

$$Bo = \left(f + \frac{d}{\mu}\right) (\mu - 1).$$

Die für die Berechnung des Profils zu machende Annahme besteht nun darin, dass man dasselbe (siehe Fig. 12, Taf. A) nach einem Radius  $CO = \rho_0^1$  krümmt, der gleich dem arithmetischen Mittel aus  $CO_0 + Bo$  (Fig. 11) ist. Demnach erhält man für den vorliegenden Fall mit Beziehung auf Fig. 12 die folgenden sechs Gleichungen:

$$\text{I. } \sin \alpha_0 = u \sin \beta_0.$$

$$\text{II. } h_0 = f \operatorname{tg} \alpha_0 + e \operatorname{tg} \beta_0.$$

$$\text{III. } h_0 = \frac{d - e}{\operatorname{tg} \frac{\lambda}{2}}. *)$$

$$\text{IV. } \rho_0^1 = \frac{\frac{h_0}{\mu \sin \beta_0} \sqrt{1 + \mu^2 - 2\mu \cos \beta_0} + \left(f + \frac{d}{\mu}\right) (\mu - 1)}{2}$$

$$\text{V. } \rho_0^1 = \frac{h_0}{\sin \lambda}.$$

$$\text{VI. } \alpha_0 = \frac{h_0}{\operatorname{tg} \lambda} - e.$$

Diese sechs Gleichungen genügen, um aus den gegebenen Grössen  $d$ ,  $e$ ,  $f$  und  $\mu$  die sechs Unbekannten  $h_0$ ,  $\rho_0^1$ ,  $\alpha_0$ ,  $\alpha_0$ ,  $\beta_0$  und  $\lambda$  zu bestimmen. Am einfachsten geschieht dies wieder auf

\*) Da der äusserste Strahl nicht genau richtig abgelenkt wird, so muss die Gleichung:  $\sin \delta_0 = \mu \sin (\delta_0 - \beta_0)$  hier ausfallen;  $\lambda$  ist nicht mit diesem  $\delta_0$  identisch.

graphischem Wege, etwa in folgender Weise: Zunächst construirt man mit Hülfe von  $\sin \alpha = \mu \sin \beta$  (Gleichung I) die Curve der Gleichung:  $h = f \operatorname{tg} \alpha + e \operatorname{tg} \beta$  (Gleichung II), ganz wie dies in Fig. 10 geschehen ist; damit findet man graphisch den Zusammenhang zwischen  $\alpha$  und  $h$ . Nach Formel IV kann man nun für irgend ein  $h$  das zugehörige  $\rho$  finden, und die betreffende Construction ist sehr einfach; zeichnet man für dieses  $h$  und für dieses  $\rho$ , und für das gegebene  $e$  den zugehörigen Kreis, so kann man die daraus resultierende Linsendicke abgreifen. Letztere als Abscisse und das zugehörige  $h$  als Ordinate betrachtet, erhält man bei Wiederholung des Verfahrens eine zweite Curve. Der Abscisse  $d =$  gegebener Linsendicke entspricht die Ordinate  $h = h_0$ ; für letzteren Werth kann man das zugehörige  $\rho = \rho_0^1$  wieder direct construiren oder auch aus einer dritten Curve entnehmen, deren Abscissen die  $\rho$ , deren Ordinaten die  $h$  sind.  $\alpha_0$  und weiter  $\beta_0$ , dem  $h_0$  entsprechend, findet man leicht aus der ersten Curve.\*)  $\lambda$  und  $\alpha_0$  ergeben sich nun ohne Weiteres.

Practisch ist es ziemlich gleichgültig, welche der beiden erwähnten Annahmen man für den Krümmungsradius des Profils wählt; die erhaltenen Kreisbögen liegen in allen zur Ausführung kommenden Fällen sich gegenseitig und dem theoretisch richtigen Profil sehr nahe; natürlich wird für die letzte Annahme, bei gleichen Werthen von  $d$  und  $e$ , die Höhe  $h_0$  etwas kleiner als im ersteren Fall, wegen des kleineren Radius, während die Höhe des theoretisch richtigen Profils zwischen beiden liegt.

Nachdem für einen Bienenkorb-Apparat der mittlere Theil des Refractors berechnet ist, gelangt man in folgender Weise successive zu den einzelnen trapezartigen Profilen (Fig. 13, Taf. B): Es sei

\*) Scheinbar liegt in diesen Constructionen etwas Absurdes, nämlich das, dass die vier Unbekannten  $\alpha_0$ ,  $\beta_0$ ,  $h_0$  und  $\rho_0^1$  aus nur drei Gleichungen, I, II und IV, ermittelt sind. Implícite ist jedoch die durch Elimination von  $\lambda$  aus den Gleichungen III und V folgende Relation  $\frac{d-e}{h_0} = \frac{h_0}{2\rho - (d-e)}$ , und zwar dadurch eingeführt, dass gesetzt wurde: Linsendicke  $= d$ , so dass also doch vier Gleichungen benutzt sind. Darum müssen auch die beiden Werthe für  $\lambda$ , die aus III und V für die gefundenen Werthe von  $h_0$  und  $\rho_0^1$  folgen, gleich sein. — Man hätte auch statt der zweiten Curve —  $h$  und Linsendicke — noch eine zweite Curve für  $h$  und  $\rho$  nach der obigen Relation:  $\frac{d-e}{h} = \frac{h}{2\rho - (d-e)}$  zeichnen können; ihr Schnittpunkt mit der nach IV gezeichneten Curve würde auch  $h_0$  und  $\rho_0^1$  festlegen.

$BCDE$  das zu berechnende, in der Figur überall durch den Index  $n$  bezeichnete Profil, während sich der Index  $m$  auf das unmittelbar vorhergehende, der Geraden  $FA$  näher belegene Profil bezieht; wollte man statt der zu  $AY$  normalen Fugen  $EB$  und  $CD$  die in Fig. 8b, Taf. A, angedeutete Fugenrichtung wählen, so würde  $B_1CD_1E_1$  das entsprechende Profil sein, da  $E_1B_1$  und  $D_1C$  die Richtungen der beiden äussersten, einmal gebrochenen Strahlen dieses Profils sind. Als gegebene Grössen hat man die folgenden fünf:  $f$ ,  $d$ ,  $e$ ,  $\alpha_m$  und  $\mu$ , sowie ferner die Grössen:  $\beta_m$ ,  $\delta_m$  und  $h_m$ , die sich aus jenen fünf durch folgende Beziehungen ermitteln lassen:

$$\begin{aligned}\sin \alpha_m &= \mu \sin \beta_m, \\ \sin \delta_m &= \mu \sin (\delta_m - \beta_m), \\ h_m &= f \operatorname{tg} \alpha_m + e \operatorname{tg} \beta_m.\end{aligned}$$

Unbekannt sind die folgenden sieben Grössen, wenn man annimmt, dass die beiden, bei  $H$  und bei  $D_1$  in das Profil eintretenden Strahlen an ihren Austrittsstellen bei  $B_1$  und  $C$  mathematisch richtig abgelenkt werden sollen:  $\alpha_n$ ,  $\beta_n$ ,  $\delta_n$ ,  $\rho_n$ ,  $\alpha_n$ ,  $b_n$  und  $h_n$ . Für diese sieben Unbekannten ergeben sich sieben Bestimmungsgleichungen:

$$\begin{aligned}\text{I.} \quad & \sin \alpha_n = \mu \sin \beta_n, \\ \text{II.} \quad & \sin \delta_n = \mu \sin (\delta_n - \beta_n), \\ \text{III.} \quad & h_n = f \operatorname{tg} \alpha_n + e \operatorname{tg} \beta_n.\end{aligned}$$

Wäre  $CD > EH = e$ , also etwa  $= e_1$ , so müsste in Gleichung III dieses  $e_1$  statt  $e$  stehen. — Eine zweite Gleichung für  $h_n$  findet man so: Den kleinen Bogen  $BB_1$  kann man ohne irgend welchen Nachtheil als gerade Linie ansehen, die in  $B_1$  normal steht zum Radius  $B_1O_n$  der gekrümmten Seite des Profils, so dass  $\angle B_1BH = 90 - \delta_m$  ist. Dann ist:

$$\begin{aligned}HB &= HB_1 \cdot \frac{\sin HB_1B}{\sin HBB_1}, \\ &= HC \cdot \frac{\sin HCB_1}{\sin HB_1C} \cdot \frac{\sin HB_1B}{\sin HBB_1},\end{aligned}$$

oder:

$$\begin{aligned}d - e &= (h_n - h_m) \frac{\sin \left( \frac{\delta_m + \delta_n}{2} \right)}{\sin \left[ 90 - \left( \frac{\delta_m + \delta_n}{2} - \beta_m \right) \right]} \cdot \frac{\sin (90 + \delta_m - \beta_m)}{\sin (90 - \delta_m)}, \\ &= (h_n - h_m) \frac{\sin \left( \frac{\delta_m + \delta_n}{2} \right)}{\cos \left( \frac{\delta_m + \delta_n}{2} - \beta_m \right)} \cdot \frac{\cos (\delta_m - \beta_m)}{\cos \delta_m}.\end{aligned}$$

Diese Gleichung nach  $h_n$  aufgelöst, giebt:

$$\text{IV. } h_n = h_m + (d - e) \frac{\cos \delta_m \cdot \cos \left( \frac{\delta_m + \delta_n}{2} - \beta_m \right)}{\sin \left( \frac{\delta_m + \delta_n}{2} \right) \cdot \cos (\delta_m - \beta_m)}. *$$

Für  $\rho_n$  findet man aus dem gleichschenkligen Dreieck  $O_n B_1 C$ :

$$\rho_n = O_n B_1 = O_n C = \frac{\frac{1}{2} B_1 C}{\sin \frac{B_1 O_n C_1}{2}} = \frac{\frac{1}{2} B_1 C}{\sin \frac{\delta_n - \delta_m}{2}}.$$

Aus Dreieck  $B_1 CH$  folgt:

$$B_1 C = HC \cdot \frac{\sin B_1 HC}{\sin H B_1 C},$$

$$= (h_n - h_m) \frac{\sin (90 - \beta_m)}{\sin \left[ 90 - \left( \frac{\delta_m + \delta_n}{2} - \beta_m \right) \right]} = \frac{(h_n - h_m) \cos \beta_m}{\cos \left( \frac{\delta_m + \delta_n}{2} - \beta_m \right)}.$$

Diesen Werth von  $B_1 C$  eingesetzt, erhält man für  $\rho_n$ :

$$\text{V. } \rho_n = (h_n - h_m) \frac{\cos \beta_m}{2 \sin \left( \frac{\delta_n - \delta_m}{2} \right) \cdot \cos \left( \frac{\delta_m + \delta_n}{2} - \beta_m \right)}. *$$

\*) Ist  $CD = e_1 \gtrless HE = e$ , so trifft die durch  $H$  parallel zu  $AY$  gezogene Gerade die Sehne  $BC$  nicht in  $C$ , sondern links oder rechts von  $C$ . Will man in diesem Fall die angenommene Maximaldicke  $d$  genau innehalten, so kommt man durch eine Rechnung, die der obigen völlig analog ist, statt IV und V zu den Formeln:

$$\text{IVa. } h_n = \left\{ \begin{array}{l} h_m + (e - e_1) \cotg \left( \frac{\delta_m + \delta_n}{2} \right) \\ + (e - e_1) \frac{\cos \delta_m \cos \left( \frac{\delta_m + \delta_n}{2} - \beta_m \right)}{\sin \left( \frac{\delta_m + \delta_n}{2} \right) \cos (\delta_m - \beta_m)} \end{array} \right\},$$

$$\text{Va. } \rho_n = \left\{ \begin{array}{l} \frac{e - e_1}{2 \sin \left( \frac{\delta_n - \delta_m}{2} \right) \sin \left( \frac{\delta_n + \delta_m}{2} \right)} \\ + \left( h_n - h_m - (e - e_1) \cotg \frac{\delta_m + \delta_n}{2} \right) \frac{\cos \beta_m}{2 \sin \frac{\delta_n - \delta_m}{2} \cos \left( \frac{\delta_m + \delta_n}{2} - \beta_m \right)} \end{array} \right\}.$$

Statt dieser complicirten Formeln erhält man practische Näherungsformeln, wenn man in IV und V die Grösse  $h_m$  einfach durch  $h_m - (e - e_1) \tg \beta_m$  und ferner  $d - e$  durch  $d - e_1$  ersetzt; je nachdem  $e - e_1 \gtrless 0$ , erhält man dadurch die wirkliche Maximaldicke  $\lesseqgtr d$ ; da indessen  $e - e_1$  in Wirklichkeit immer sehr klein sein wird, so kann die, übrigens meistens ganz gleichgültige Differenz

Schliesslich hat man noch:

$$\text{VI. } \alpha_n = \rho_n \cos \delta_n - e,$$

$$\text{VII. } b_n = \rho_n \sin \delta_n - h_n.$$

Um aus diesen sieben Gleichungen die sieben Unbekannten zu finden, zeichne man, genau so wie in Fig. 10, Taf. A, also in Polar-Coordinaten mit  $\alpha$  als unabhängig veränderlicher Grösse, die Curve der Gleichung III; darauf zeichne man in demselben Coordinaten-System die Curve der Gleichung IV, was auch wegen der Einfachheit der hier verlangten graphischen Constructionen keine Schwierigkeit hat. Beide Curven schneiden sich in einem Punkt, dessen Amplitude  $\alpha_n$  und dessen Fachstrahl  $h_n$  ist. Nachdem diese beiden Grössen gefunden sind, kann man dann alle übrigen direct construiren.

Nach einer andern Auffassung nimmt man für die trapezartigen Profile die Grössen  $f$ ,  $d$ ,  $e$ ,  $\mu$ ,  $h_m$  und  $h_n$  als gegeben an und bestimmt dann  $\rho_n$ ,  $\alpha_n$  und  $b_n$  so, dass der unter dem Winkel  $\frac{\alpha_m + \alpha_n}{2}$  auffallende mittlere Strahl richtig abgelenkt wird. Die

nie bedeutend werden. Zieht man durch  $C$  eine Parallele zu  $AY$ , bis sie die Gerade  $HB_1$  in  $H_1$  schneidet, darauf durch  $H_1$  eine Parallele zu  $AX$ , bis sie den (verlängerten) Kreis in  $B^1$  schneidet, und arbeitet nun wie oben mit den Dreiecken  $B_1H_1B^1$  und  $B_1H_1C$ , so gelangt man, indem man angenähert  $H_1B^1 = d - e_1$  setzt, zu diesen Näherungsformeln.

Will man geneigte Fugen haben, dabei aber die Maximaldicke  $d$  voll beibehalten, so erhält man statt IV Folgendes: Es ist dann:  $B_1G = d - e$ , also  $B_1G = d - e = B_1H \cdot \cos GB_1H = B_1H \cdot \cos \beta_m$ .

$$B_1H = (h_n - h_m) \frac{\sin \frac{\delta_m + \delta_n}{2}}{\cos \left( \frac{\delta_m + \delta_n}{2} - \beta_m \right)},$$

also:

$$\text{IVb. } h_n = h_m + (d - e) \frac{\cos \left( \frac{\delta_m + \delta_n}{2} - \beta_m \right)}{\sin \left( \frac{\delta_m + \delta_n}{2} \right) \cos \beta_m}.$$

Alles Uebrige bleibt unverändert. Ist  $CD$  nicht gleich  $HE$ , so erhält man hier wie vorhin:

$$h = h_m + (e - e_1) \cotg \frac{\delta_m + \delta_n}{2} + (d - e) \frac{\cos \left( \frac{\delta_m + \delta_n}{2} - \beta_m \right)}{\sin \left( \frac{\delta_m + \delta_n}{2} \right) \cos \beta_m}.$$

Auch hier könnte man in IVb angenähert setzen:  $h_m - (e - e_1) \tg \beta_m$  statt  $h_m$  und  $d - e_1$  statt  $d - e$ . — Unter  $h_m$  und  $h_n$  sind natürlich die Abstände der Punkte  $H$  und  $C$  von der  $X$ -Achse zu verstehen.

Winkel  $\alpha_m$ ,  $\alpha_n$  und  $\beta_m$ ,  $\beta_n$  findet man leicht aus den Gleichungen:

$$\alpha_m = \mu \sin \beta_m, \text{ und } h_m = f \operatorname{tg} \alpha_m + d \operatorname{tg} \beta_m,$$

$$\alpha_n = \mu \sin \beta_n, \text{ und } h_n = f \operatorname{tg} \alpha_n + e \operatorname{tg} \beta_n,$$

entweder durch Rechnung oder durch Construction (Fig. 10, Taf. A). Die Bestimmung von  $\rho_n$ ,  $a_n$  und  $b_n$  durch Zeichnung ist hier sehr einfach: Die zu lösende Aufgabe ist offenbar die, einen Kreis zu zeichnen, der durch zwei gegebene Punkte  $B$  und  $C$  geht und eine gegebene Gerade  $LL$  unter einem gegebenen Winkel schneidet (Fig. 14, Taf. B). Dieser Winkel ist offenbar der Winkel  $\gamma$ , der den folgenden drei Gleichungen, in denen  $\alpha = \frac{\alpha_m + \alpha_n}{2}$  ist, entspricht:

$\sin \alpha = \mu \sin \beta$ ;  $\sin \delta = \mu \sin \gamma$ ;  $\beta + \gamma = \delta$ ; der Winkel  $\gamma$  wird nach Fig. 6, Taf. A, bestimmt. — Man ziehe die Gerade  $JJ$  normal zu  $BC$  und durch die Mitte von  $BC$ ; auf  $JJ$  liegt der gesuchte Mittelpunkt  $O$ . Man nehme auf  $JJ$  den Punkt  $o$  beliebig an, ziehe  $od$  normal zu  $LL$  und beschreibe aus  $o$  mit  $\frac{od}{\sin \gamma} = op$

(siehe Fig. 14a) einen Kreis, der die Verbindungslinie des Schnittpunkts  $K$  und des Punkts  $B$  in  $p$  schneidet. Zieht man nun  $BO$  parallel zu  $po$ , so ist  $O$  der gesuchte Mittelpunkt, und  $BO$  der gesuchte Radius =  $CO$ . Die Richtigkeit der Lösung lässt sich

so beweisen: Nach der Construction ist  $\frac{od}{op} = \sin \gamma$ ; zieht man  $OD$  normal zu  $LL$ , so ist:

$$\frac{od}{OD} = \frac{oK}{OK} = \frac{op}{OB} = \frac{op}{OQ},$$

also:

$$\frac{od}{op} = \sin \gamma = \frac{OD}{OQ}.$$

Nun soll aber sein:  $\sin \gamma = \frac{OD}{\rho_n}$ , so dass also  $OQ = \rho_n$  sein

muss;  $a_n$  und  $b_n$  findet man, indem man von  $O$  eine Normale auf  $AF$  zieht. — Im Allgemeinen wird es zwei Werthe für  $\rho_n$  geben, da der mit  $op$  aus  $o$  beschriebene Kreis die Linie  $KB$  im Allgemeinen zwei Mal schneidet; man erkennt aber aus dem Anblick der Figur sofort, welchen Kreis man zu nehmen hat. Die Lösung durch Construction kann hier, wie die Figur zeigt, nicht sehr scharf ausfallen, weil man zu spitze Schnitte erhält; ich will hier indess darauf verzichten, den ziemlich umständlichen Weg der Rechnung zu verfolgen, da die Annahme, nur den mittleren Strahl



richtig abzulenken, eigentlich nicht rationell ist, weil sie kein Limitum für die Differenz  $h_n - h_m$  giebt. Je grösser dieses Maass angenommen wird, desto mehr werden die äussersten Strahlen fehlerhaft dirigirt. Nimmt man  $h_n - h_m$  ungefähr eben so gross, wie es sich, unter übrigens gleichen Umständen, bei der andern Annahme ergibt, so wird es practisch wohl ziemlich einerlei sein, ob man  $\rho_n$  nach der einen oder nach der andern Annahme bestimmt.

Etwas rationeller wird die Construction der Fig. 14 auch dadurch, dass man  $d_1$  statt  $d$  (vergl. Fig. 13) als gegeben voraussetzt und nun einen Kreis durch die Punkte  $B_1$  und  $C$  führt, der die Gerade  $LL$  unter einem Winkel  $\gamma$  schneidet.

Construirt man einen dioptrischen Refractor mit Zugrundelegung der im Vorstehenden berechneten Profile mit horizontal austretenden Strahlen und stellt in den für alle Profile gemeinschaftlichen Brennpunkt einen leuchtenden Punkt — oder eine Flamme oder dgl. von sehr geringer Ausdehnung —, so ist klar, dass ein solcher Refractor den Zweck eines Seefeuers durchaus nicht erfüllen kann; denn da alle Strahlen wirklich horizontal austreten, wenn man von der geringen Divergenz der austretenden Strahlen, die von der Abweichung der practischen Profile von den theoretischen, von Arbeitsfehlern etc. herrühren, absieht, so kann bei einiger Erhebung des Apparats über den Meeresspiegel kein einziger Lichtstrahl nutzbar auf die See fallen und noch weniger den Seehorizont erreichen, vielmehr wird alles Licht in die Wolken geschickt und geht vollständig verloren. Es wird sich weiterhin zeigen, dass man durch Erhebung des leuchtenden Punkts über den der Rechnung zu Grunde gelegten Brennpunkt den austretenden Strahlen zwar eine Neigung abwärts gegen die See ertheilen kann, die Divergenz der Strahlen in der Verticalebene wird aber dadurch nicht erheblich vermehrt, sie können deshalb auf der See auch nur einen schmalen Ring bestreichen und für den Schiffer immer nur wenige Secunden in Sicht kommen. Demnach würde auch ein solcher Apparat für den kleinen electricischen Funken völlig unbrauchbar sein. Für die Flamme einer Lampe liegt zwar die Sache wesentlich anders, denn hier bedingt die Grösse der Flamme schon an und für sich eine bestimmte Divergenz der austretenden

Strahlen in der Verticalebene; immerhin aber hat man, wie man auch die hellsten Theile der Flamme relativ zum Brennpunkt stellen mag, auch hier die Divergenz nicht in der Gewalt, dieselbe geht vielmehr immer nach einem bestimmten Gesetz aus der Grösse der Flamme und dem Durchmesser des Apparats hervor. Von diesem Zwang kann man sich dadurch befreien, dass man Profile berechnet, die den durch sie hindurchgegangenen Strahlen eine bestimmte Convergenz oder Divergenz ertheilen, nicht dieselben parallelisiren. Glücklicherweise wachsen für eine derartige Disposition nur die Schwierigkeiten der Berechnung, nicht gleichzeitig auch die der practischen Ausführung der Profile, und es ist darum kein Grund vorhanden, dieselbe nicht zu acceptiren, wenn sie übrigens wünschenswerth und vortheilhaft erscheint. Die nöthigen mathematischen Entwicklungen sollen im Nachfolgenden gegeben werden.

Zunächst will ich den Weg andeuten, den man zu gehen hat, um ein theoretisch richtiges Profil zu ermitteln. In Fig. 15, Taf. B, seien  $FC_1$  und  $FC_2$  zwei von dem Brennpunkt  $F$  ausgehende, gegen die  $AF$  unter dem Winkel  $\alpha_1$  und  $\alpha_2$  geneigte Strahlen, für welche festgestellt sei, dass sie resp. um die Winkel  $\varepsilon_1$  und  $\varepsilon_2$  abgelenkt werden sollen. Für irgend einen, gegen  $AF$  unter einem Winkel  $\alpha$  geneigten Strahl  $FC$  möge das Maass der Ablenkung  $\varepsilon$  festgelegt sein durch die Relation:  $\frac{\varepsilon - \varepsilon_1}{\alpha - \alpha_1} = \frac{\varepsilon_2 - \varepsilon_1}{\alpha_2 - \alpha_1}$ ; jede andere, an ihre Stelle gesetzte Relation führt natürlich zu einer andern Curve. Man hat die folgenden sechs Gleichungen:

$$\sin \alpha = u \sin \beta \dots \dots \dots (1)$$

$$\sin \delta = u \sin \gamma \dots \dots \dots (2)$$

$$\varepsilon = \alpha - \beta + \delta - \gamma \dots \dots \dots (3)$$

$$y = f \operatorname{tg} \alpha + x \operatorname{tg} \beta \dots \dots \dots (4)$$

$$\operatorname{tg} \tau = \operatorname{tg} (90 + \delta + \alpha - \varepsilon) = -\operatorname{cotg} (\alpha + \delta - \varepsilon) = \frac{dy}{dx} \quad (5)$$

$$\frac{\varepsilon - \varepsilon_1}{\alpha - \alpha_1} = \frac{\varepsilon_2 - \varepsilon_1}{\alpha_2 - \alpha_1} \dots \dots \dots (6)$$

Mit diesen sechs Formeln würde man in ganz analoger Weise zu operiren haben, wie auf Seite 168 bis 172 für horizontal austretende Strahlen mit den dortigen fünf Formeln geschehen ist; da die Rechnungen aber zu complicirt werden und sofort zu transcendenten Ausdrücken führen, so will ich sie in Anbetracht ihres geringen practischen Werths hier nicht weiter verfolgen.

Für die Berechnung eines trapezartigen Profils (Fig. 16, Taf. B) werde durchweg die Bezeichnung aus Fig. 13 beibehalten, und nur noch hinzugefügt, dass die äussersten Strahlen des Profils, die dasselbe unter den Winkel  $\alpha_m$  und  $\alpha_n$  treffen, um die Winkel  $\varepsilon_m$  und  $\varepsilon_n$  abgelenkt werden sollen. In der vor Beginn der Rechnung nothwendigen Festlegung von  $\varepsilon_n$  liegt eine gewisse Schwierigkeit, wenn man die Querdimensionen  $d$  und  $e$  des Profils festhalten will, da dann der mit  $\varepsilon_n$  correspondirende Werth  $\alpha_n$  unbekannt ist. Zuweilen wird man, wenn  $\varepsilon = \varepsilon_0$  für  $\alpha = \alpha_0$ , und  $\varepsilon = \varepsilon_m$  für  $\alpha = \alpha_m$  ist, annehmen können, dass eine Beziehung wie beispielsweise die folgende stattfinden soll:

$$\frac{\varepsilon_n - \varepsilon_0}{\alpha_n - \alpha_0} = \frac{\varepsilon_0 - \varepsilon_m}{\alpha_0 - \alpha_m},$$

so dass also  $\varepsilon$  proportional mit  $\alpha$  wächst; diese Beziehung soll nachstehend eingeführt werden. Unter andern Umständen kann es practisch erscheinen, statt  $\varepsilon_n$  den Winkel  $B_1 J C = v$ , unter dem sich die (verlängerten) austretenden äussersten Strahlen des Profils schneiden, vorweg zu bestimmen, so dass sich alles durch das Profil abgelenkte Licht über diesen Winkel  $v$  ergiesst, insofern  $J$  wenigstens angenähert ein für alle zwischen  $C$  und  $B_1$  austretenden Strahlen gemeinschaftlicher Punkt ist; dieser Fall wird z. B. eintreten können, wo man derartige Profile für die Prismen der Linsenschirme für azimuthal condensirende Feuer anwendet. Oder man kann statt  $\varepsilon_n$  eine der Coordinaten von  $J$ , etwa  $p_n$  — und damit nahezu auch  $q_n$  — festlegen, obwohl bei gegebenem  $\varepsilon_m$ ,  $q_m$  immer noch von der Lage von  $B_1$  abhängig ist. Oder endlich, man kann  $d$ , als fest bestimmt, aufgeben, dafür  $h_n$  und damit auch  $\alpha_n$ , und weiter  $\varepsilon_n$  als Function von  $\alpha_n$  einführen; dies wird in vielen Fällen rathsam sein, da es die Rechnung wesentlich erleichtert und ein strictes Festhalten an einem bestimmten Maass von  $d$  nur in sehr vereinzelt Fällen nothwendig sein dürfte. Uebrigens bieten die folgenden Rechnungen alles Material dar, um irgend einer dieser Annahmen, denen man wohl noch andere hinzufügen könnte, zu genügen und darnach das Profil zu bestimmen, da die Bestimmungsgleichungen an und für sich dieselben, und in ihnen nur andere Grössen als unbekannt zu betrachten sind. —

Mit Bezug auf die gemachte Annahme und auf Fig. 16 sind nun die folgenden Grössen gegeben:  $f$ ,  $d$ ,  $e$ ,  $u$ ,  $\alpha_m$ ,  $\varepsilon_m$  und die Gleichung:

$$\frac{\varepsilon_n - \varepsilon_0}{\alpha_n - \alpha_0} = \frac{\varepsilon_0 - \varepsilon_m}{\alpha_0 - \alpha_m},$$

also:

$$\varepsilon_n = \varepsilon_0 + \frac{\varepsilon_0 - \varepsilon_m}{\alpha_0 - \alpha_m} (\alpha_n - \alpha_0),$$

wofür gesetzt werden möge:  $\varepsilon_n = \varepsilon_1 + k \cdot \alpha_n$ , wo  $k$  ein constanter Factor ist. Mit diesen Grössen sind bekannt:  $\beta_m, \gamma_m, \delta_m, h_m$ , durch die Gleichungen:

$$\sin \alpha_m = \mu \sin \beta_m,$$

$$\sin \delta_m = \mu \sin \gamma_m,$$

$$h_m = f \operatorname{tg} \alpha_m + e \operatorname{tg} \beta_m,$$

$$\varepsilon_m = \alpha_m - \beta_m + \delta_m - \gamma_m.$$

Unbekannt sind die acht Grössen:  $\alpha_n, \beta_n, \gamma_n, \delta_n, \rho_n, \alpha_n, b_n$  und  $h_n$ ; für diese kann man eben so viele Bestimmungsgleichungen aufstellen, in folgender Weise:

$$\text{I. } \sin \alpha_n = \mu \sin \beta_n,$$

$$\text{II. } \sin \delta_n = \mu \sin \gamma_n,$$

$$\text{III. } h_n = f \operatorname{tg} \alpha_n + e \operatorname{tg} \beta_n,$$

$$\text{IV. } \varepsilon_n = \alpha_n - \beta_n + \delta_n - \gamma_n = \varepsilon_1 + k \cdot \alpha_n.$$

Genau in derselben Weise wie auf Seite 177 und Seite 178 die Gleichungen IV und V entwickelt wurden, ergeben sich hier die Gleichungen:

$$\text{V. } h_n = h_m + (d - e) \frac{\cos \left( \frac{\beta_m + \gamma_m + \beta_n + \gamma_n}{2} - \beta_m \right) \cos (\beta_m + \gamma_m)}{\sin \left( \frac{\beta_m + \gamma_m + \beta_n + \gamma_n}{2} \right) \cdot \cos \gamma_m},$$

$$\text{VI. } \rho_n = \left( \frac{h_n - h_m}{2} \right) \frac{\cos \beta_m}{\cos \left( \frac{\beta_m + \gamma_m + \beta_n + \gamma_n}{2} - \beta_m \right) \cdot \sin \left( \frac{\beta_n + \gamma_n}{2} - \frac{\beta_m + \gamma_m}{2} \right)}.$$

Endlich hat man:

$$\text{VII. } \alpha_n = \rho_n \cos (\beta_n + \gamma_n) - e,$$

$$\text{VIII. } b_n = \rho_n \sin (\beta_n + \gamma_n) - h_n.$$

Um durch Construction diese Gleichungen zum Spruch zu bringen, zeichne man wieder, wie in Fig. 10, Taf. A, die Curve der Gleichung III in Polar-Coordinationen, mit  $\alpha$  als unabhängig variabel und  $h_n$  als Fahrstrahl; in gleicher Weise stelle man Gleichung V graphisch dar. Die Winkeladditionen der letzten Gleichung haben keine Schwierigkeit; zu den einzelnen Winkeln  $\beta, \gamma$  und  $\delta$  gelangt

man so: Aus  $\alpha_n$  construirt man ohne Weiteres  $\beta_n$  nach Fig. 6, Taf. A; dann giebt Gleichung IV:

$$\delta - \gamma = \varepsilon_1 + (k - 1) \alpha + \beta.$$

Alle Grössen der rechten Seite sind hier bekannt, darum ist  $\delta - \gamma$  für ein angenommenes  $\alpha$  bekannt; wenn man nun in Fig. 6 den Winkel  $BOC = \delta - \gamma$  macht,  $BC$  und dazu parallel  $OA$  zieht, so ist offenbar  $\angle COA = \gamma$  und  $\angle BOA = \delta$ . Darnach ist die zweite Curve zu construiren; sie schneidet die erste in dem Punkte:  $\alpha = \alpha_n$ ,  $h = h_n$ . Alle übrigen Grössen sind dann direct zu construiren und erfordern auch hier nur einfache Operationen mit Lineal und Cirkel.

Nachträglich kann man nun noch die Coordinaten des Punkts  $B_1$ , nämlich  $AK = x_n$  und  $KB_1 = y_n$ , sowie die Coordinaten  $p_n$  und  $q_n$  des Schnittpunkts  $J$  als des zu  $F$  conjugirten Brennpunkts des Profils und den Winkel  $v$  bestimmen. Da, wie bereits erwähnt, diese Grössen bei andern Vorbedingungen der Aufgabe bestimmend auftreten, so mögen die betreffenden Gleichungen hier noch Platz finden:

$$\begin{aligned} x_n &= EH + B_1 G = e + B_1 H \cdot \cos GB_1 H \\ &= e + (h_n - h_m) \frac{\sin \frac{\delta_m + \delta_n}{2}}{\cos \left( \frac{\delta_m + \delta_n}{2} - \beta_m \right)} \cdot \cos \beta_m, \\ y_n &= AE + HG = h_m + B_1 H \cdot \sin GB_1 H \\ &= h_m + (h_n - h_m) \frac{\sin \frac{\delta_m + \delta_n}{2}}{\cos \left( \frac{\delta_m + \delta_n}{2} - \beta_m \right)} \cdot \sin \beta_m. \end{aligned}$$

Ferner: Die austretenden Strahlen und die  $X$ -Achse schneiden sich unter den spitzen Winkeln  $\varepsilon_m - \alpha_m$  und  $\varepsilon_n - \alpha_n$ , und darnach ergeben sich für  $p_n$  und  $q_n$  die beiden Beziehungen:

$$\frac{q_n - y_n}{p_n + x} = \operatorname{tg} (\varepsilon_m - \alpha_m),$$

$$\frac{q_n - h_n}{p_n + e} = \operatorname{tg} (\varepsilon_n - \alpha_n).$$

Endlich erhält man für  $v$ :

$$v = \varepsilon_n - \alpha_n - (\varepsilon_m - \alpha_m).$$

Was den Fall betrifft, wo  $CD$  und  $HE$  nicht gleich sind, so erledigt derselbe sich hier in ganz analoger Weise, wie es für den Fall horizontal austretender Strahlen in der Anmerkung auf

Seite 178 und 179 erörtert ist; ganz dasselbe gilt, wenn man statt der zu  $AY$  normalen Fugen geneigte Fugen einführen will; ich verweise hier daher auf das dort Gesagte.

Je nach den gegebenen Bedingungen, denen das zu berechnende Profil genügen soll, wird die Form desselben eine andere werden. Unter den gegebenen oder zu bestimmenden Grössen können mehrere mit dem Vorzeichen minus auftreten, und es kann z. B. auch  $h_n < h_m$  werden; von diesen Umständen hängt es ab, ob  $J$  links oder rechts von  $B_1C$  liegt, ob also die austretenden Strahlen gleich divergiren oder erst convergiren, ob das Profil planconvex oder planconcav ist, ob das breitere Ende des Profils unter oder über dem schmälern Ende liegt etc. Die angegebenen Formeln bleiben natürlich für alle diese Fälle gültig.

Für einen Feste-Feuer-Apparat hat es für den Fall convergirend oder divergirend austretender Strahlen noch Interesse, wie der mittlere Ring des Refractors zu ermitteln ist. Da die Linie  $AX$  für den Refractor jetzt nicht mehr Symmetrie-Linie sein kann, so muss der mittlere Ring, wenn man auch für ihn an der Dicke  $d$  als Maximum und an der Dicke  $e$  als Minimum für die beiden Enden festhält, nach zwei Kreisen von verschiedenen Radien gekrümmt werden, die da, wo sie zusammenstossen, eine im Abstände  $d$  zur Linie  $AY$  parallele Tangente haben; für ein planconcaves Profil ist hier  $e$  statt  $d$  und  $d$  statt  $e$  zu setzen. In Rücksicht auf die Ausführung wird man in dem Berührungspunkt der beiden Kreise das Profil durch eine horizontale Fuge in zwei einzelne Theile zerlegen; für die Rechnung hat dies gar keinen Einfluss, und für die Wirkung des Apparats hat es nur geringen Nachtheil, namentlich bei guter Ausführung und besonders, wenn man die Fuge mit Canada-Balsam füllt. Da man von vornherein nicht weiss, wo der Berührungspunkt liegt, so ist für diesen Fall auch  $h_m$  als unbekannt Grösse einzuführen; dadurch wird auch eine neue Bestimmungsgleichung nöthig, die man ohne Weiteres niederschreiben kann, wenn man bedenkt, dass für diesen Fall der Punkt  $B$  Berührungspunkt sein muss. Die Gleichung ist:  $\rho_n = a_n + d$ .

2. Die total reflectirenden Prismen ( $PP$  der Figuren 1 und 2, Tafel I).

Da bei den total reflectirenden Prismen ausser dem Brechungsgesetz auch das Gesetz der totalen (innern) Reflection in Frage kommt, so will ich dieses hier zunächst kurz erläutern:

Das Brechungsgesetz besteht bekanntlich darin, dass, wenn (siehe Fig. 18, Taf. B) ein Lichtstrahl  $AB$  in  $B$  die Grenzfläche zweier durchsichtiger Medien von verschiedener Dichtigkeit trifft, derselbe dann beim Durchschreiten dieser Grenzfläche nach dem Einfallslothe  $NBN_1$  des Punkts  $B$  hin abgelenkt wird, wenn er aus einem dünneren in ein dichteres Medium übergeht, und umgekehrt, falls das erstere Medium das dichtere ist. Das Maass dieser Ablenkung wird durch den relativen Brechungs-Coefficienten  $\mu$  der beiden Medien bestimmt. Ist in Fig. 17 das dünnere Medium oberhalb des Punkts  $B$ , ist ferner  $\angle ABN = \alpha$  der Einfallswinkel des Lichtstrahls,  $\angle N_1BC = \beta$  der Brechungswinkel, der als solcher die Richtung  $BC$  festlegt, in welcher der gebrochene Strahl in dem dichteren Medium weiter geht, so besteht das Brechungsgesetz in folgender Gleichung:

$$\sin \alpha = \mu \cdot \sin \beta.$$

Diese Gleichung hat unbegrenzte Gültigkeit für den Uebergang des Lichts aus einem dünneren in ein dichteres Medium, nicht umgekehrt, obwohl man die Richtung der Lichtbewegung im Uebrigen umkehren darf. Da nemlich  $\alpha$  und  $\beta$  beide zwischen  $0$  und  $\frac{\pi}{2}$  liegen müssen, und da ferner unter allen Umständen für den Uebergang des Lichts aus Luft in Glas der Brechungs-Coefficient  $\mu > 1$  ist, so wachsen zwar  $\alpha$  und  $\sin \alpha$  mit wachsendem  $\beta$  und  $\sin \beta$ , dabei kann aber  $\alpha$  höchstens gleich  $\frac{\pi}{2}$ , d. i.  $\sin \alpha$  höchstens gleich Eins werden; es ist daher die Grenze der Brechung bestimmt durch die Gleichung:

$$\mu \sin \beta_0 = 1, \text{ also:}$$

$$\beta_0 = \arcsin \left( \sin = \frac{1}{\mu} \right).$$

Sobald  $\beta$  diesen Werth  $\beta_0$  erreicht, resp. überschreitet, giebt es kein  $\alpha$  mehr, welches der obigen Gleichung:  $\sin \alpha = \mu \sin \beta$  genügen könnte, es hört also die Möglichkeit der Brechung auf; darum werden für Luft und Glas alle Lichtstrahlen, die sich im Innern des Glases bewegen, nicht mehr gebrochen, sobald der Winkel der Strahlen mit dem Einfallslot zwischen  $\arcsin \sin = \frac{1}{\mu}$  und  $\frac{\pi}{2}$  liegt. Sie erleiden vielmehr in der Ebene des Strahls  $CB$  und des Einfallsloths  $N_1B$  totale Reflection, und die Grenzfläche des Glases wirkt für diese Strahlen wie ein gewöhnlicher

Spiegel, nur mit dem Unterschied, dass bei der innern Reflection kein Licht verloren geht, daher „totale“ Reflection. Soll also ein Lichtstrahl, der sich innerhalb eines Glaskörpers bewegt, überhaupt wieder aus demselben heraustreten, so muss er irgendwo eine Grenzfläche des Glases unter einem Winkel, der kleiner ist als  $\beta_0$ , treffen. Man nennt diesen Winkel  $\beta_0$  den kritischen Winkel.

Für $\mu = 1,414 = \sqrt{2}$	ist $\beta_0 = 45^\circ$ ,
„ $\mu = 1,50$	„ $\beta_0 = 41^\circ 48' 37''$ ,
„ $\mu = 1,55$	„ $\beta_0 = 40^\circ 10' 40''$ ,
„ $\mu = 1,60$	„ $\beta_0 = 38^\circ 40' 56''$ .

Nach diesen Vorbemerkungen gehe ich nun zur mathematischen Bestimmung des Profils der Prismen über. Eigentlich sind die fraglichen Glaskörper für einen Feste-Feuer-Apparat keine Prismen in der mathematischen Bedeutung dieses Worts, sondern, wie aus der generellen Beschreibung ihrer Disposition, Entstehung und Wirkung auf S. 17 im Text hervorgeht, Rotationskörper; da jedoch die Bezeichnung Prismen für sie conventionell ist, so werde ich dieselbe beibehalten. — Aus Fig. 18, Taf. B, ist deutlich zu ersehen, wie diese Prismen wirken sollen. Es bezeichnet  $ABC$  das Profil des Prismas, die Seiten  $AB$  und  $AC$  sind gerade, die Seite  $BC$  ist gekrümmt.  $F$  ist der leuchtende Punkt; der von  $F$  ausgehende Strahlenbüschel  $AFB$  wird durch das Profil in einen Büschel  $CGA$  verwandelt, so dass die Strahlen nach ihrem Durchgang durch das Prisma zunächst nach dem Punkt  $G$  hin convergiren und von hier aus weiter gehend divergiren. Der Weg eines beliebigen mittleren Strahls  $FD$  ist  $FDJEG$ ; die äussersten Strahlen  $FA$  und  $FB$  gehen die Wege  $FACG$  und  $FBAG$ . Der Fall, dass die austretenden Lichtstrahlen in parallelen Richtungen aus dem Glaskörper kommen, ist ein Specialfall, in demselben Sinne, wie solches früher bei den einfachen Refractoren erwähnt ist; hier soll gleich der allgemeine Fall behandelt werden.

Da zwischen zwei aufeinander folgenden Prismen kein Licht hindurchgehen darf, weil es dann verloren sein würde, so kann man auch hier, ähnlich wie bei den Refractoren, irgend ein  $q$ tes Profil nur mit Zugrundelegung einzelner, von dem vorhergegangenen  $p$ ten Profil hergeholten Daten bestimmen. Eigentlich giebt es nur zwei solcher Daten, welche für die geometrische Lage eines Profils bestimmend sind. Man wählt, wenn man eine grössere



Flamme als Lichtquelle hat, im Allgemeinen nicht dieselben Brennpunkte  $F$  für die einzelnen Profile; jedenfalls aber müssen die von dem Brennpunkt  $F$  und von dem Punkt  $A$  des  $q$ ten Prismas ausgehenden untern Strahlen, — wenn es sich beispielsweise um die obern Reflectoren handelt — von den Ecken  $B$  und  $C$  des  $p$ ten Prismas freigehehen, d. h. sie dürfen als Grenzstrahlen mathematisch nicht unter diesen Ecken hinwegehen, aus leicht begreiflichen Gründen; es muss ferner der Strahl  $FA$  des  $q$ ten Prismas durch den Punkt  $B$  des  $p$ ten Prismas gehen, und es darf nur der Strahl  $AG$  des  $q$ ten Prismas über die Ecke  $C$  des  $p$ ten Prismas hinweggehen. Der letztere Umstand gestattet es, die Punkte  $A$  sämtlicher Profile in dieselbe Verticale zu bringen, sobald dies aus andern Gründen erwünscht ist (vergl. die Fig. 32, 34, 38 und 39, Taf. III und IV); sollen ausserdem auch die sämtlichen Punkte  $B$  auf derselben Verticalen liegen, so richten sich danach die Grössen der Winkel  $AFB$ ; statt der Verticalen könnte man auch eine beliebige Curve einführen. Alle diese Verhältnisse sind geometrisch so einfach, dass sie hier keiner specielleren Behandlung bedürfen; auch ist es nicht schwer, für irgend ein Profil die Coordinaten der drei Eckpunkte  $A$ ,  $B$  und  $C$  für ein beliebiges Coordinatensystem  $XY$  mit dem Anfangspunkt  $F$  festzulegen, sobald die Winkel  $AFX$ ,  $BFX$  und  $BAC$ , sowie der Abstand  $h_q$  des Punktes  $A$  von der  $X$ -Achse und die Längen  $AB$  und  $AC$  bekannt sind. Diese verschiedenen Grössen sind, wie gesagt, theil direct aus den Vorbedingungen für das betreffende Profil bekannt, theils ergeben sie sich aus der Berechnung des Profils selbst. Letztere soll hier daher einfach ohne Beziehung auf ein bestimmtes Coordinatensystem durchgeführt, und es soll dabei  $FA = f$  gesetzt werden, so dass also

$$f = \frac{h_q}{\sin AFX}.$$

Zunächst ist der Winkel  $BAC$  zu bestimmen. Bildet (Fig. 19, Tafel B) eine in  $A$  normal zu  $AB$  gezogene Gerade mit  $FA$  und  $AC$  die Winkel  $\theta$  und  $\varphi_1$ , so muss, da der Strahl  $FA$  in  $A$  nach der Richtung  $AC$  gebrochen werden soll, stattfinden:

$$\sin \theta = \mu \cdot \sin \varphi_1, \text{ also: } \varphi_1 = \arcsin \left( \sin \theta = \frac{\sin \theta}{\mu} \right).$$

Nach Vorstehendem ist  $\angle BAC = 90^\circ + \varphi_1$ ; es bildet also die in  $A$  zu  $AC$  gezogene Normale mit  $AC$  ebenfalls den Winkel  $\varphi_1$ ;

darum muss weiter, da  $F BAG$  der Weg eines in  $A$  gebrochenen Strahls ist, der Austrittswinkel dieses Strahls bei  $A$  gleich  $\theta$  sein. Setzt man nun den als bekannt anzunehmenden Winkel  $HAG$ , den die Verlängerung von  $FA$  mit  $AG$  bildet, gleich  $\delta$ , so ist ohne Weiteres aus der Figur zu entnehmen:

$$\angle FAG = 2\theta + \left(\frac{\pi}{2} - \varphi_1\right) = \pi - \delta,$$

oder:

$$\varphi_1 = 2\theta + \delta - \frac{\pi}{2},$$

oder nach der zwischen  $\theta$  und  $\varphi_1$  gefundenen Beziehung:

$$\arcsin\left(\sin \theta = \frac{\sin \varphi_1}{\mu}\right) = 2\theta + \delta - \frac{\pi}{2},$$

oder:

$$\sin \theta = \mu \cdot \sin\left(2\theta + \delta - \frac{\pi}{2}\right) = -\mu \cos(2\theta + \delta).$$

Aus dieser Gleichung kann man  $\theta$  durch Probiren finden, was mit Hülfe der Logarithmen der trigonometrischen Functionen so einfach auf directem Wege geschieht, dass es sich nicht der Mühe lohnt, die Gleichung analytisch weiter zu verfolgen. — Um den Winkel  $\theta$  durch Construction zu finden, könnte man die Curven der beiden Gleichungen:  $\rho_1 = k \cdot \sin \theta$ ,  $\rho_2 = -\mu k (\cos(2\theta + \delta))$  für Polar-Coordinationen, wenn  $k$  eine beliebige Länge ist, construiren, und zwar mit dem unabhängig veränderlichen Winkel  $\theta$ . Der Durchschnidungspunkt beider Curven bestimmt den gesuchten Werth von  $\theta$ . Die Construction fällt genauer aus, wenn man gemischte Coordinaten  $\theta$  und  $y$  einführt und in der Weise, wie es Fig. 20, Taf. B, zeigt, die Curven der beiden Gleichungen:  $y_1 = k \cdot \sin \theta$ ,  $y_2 = -\mu k \cos(2\theta + \delta)$  bis zu ihrem Durchschnidungspunkt zeichnet. Die erste Curve ist offenbar ein Kreis vom Radius  $k$ ; die zweite kann man von vornherein ziemlich eng begrenzen. Practisch interessirt nur  $\sin \theta \geq 0$ , also nach der Gleichung  $\cos(2\theta + \delta) \leq 0$ , also  $270^\circ \leq 2\theta + \delta \leq 90^\circ$ ; die obere Grenze lässt sich aber noch viel enger ziehen, denn da  $k \cdot \sin \theta$  höchstens gleich  $k$  werden kann, so kann auch  $\mu k \cdot \cos(2\theta + \delta)$  höchstens  $= -k$ , also  $\angle 2\theta + \delta$  höchstens gleich  $\angle AOB$  werden. Jedenfalls liegt also der gesuchte Werth  $\theta$  so, dass  $\angle AOB \leq 2\theta + \delta \leq \angle AOC$  ist. Demnach genügen wenige Punkte für die Curve II; schneidet sie den Kreis I im Punkte  $D$ , so ist  $\angle DOA$  der gesuchte Werth von  $\theta$  und  $\angle EOA = \varphi_1$ , wenn  $DE$  parallel  $OA$  ist (vergl. Fig. 6, Taf. A). Mit  $\varphi_1$  ist nun auch der Winkel  $BAC = 90^\circ + \varphi_1$  in Fig. 19 gefunden.

Jetzt handelt es sich um die Bestimmung der Curve *BJC* (Fig. 19). Nach der in der Figur eingeführten Bezeichnung hat man sofort die folgenden fünf Gleichungen:

$$\sin(\theta - n\alpha) = \mu \sin \varphi \dots \dots \dots (1)$$

$$x = AD - DK = f \frac{\sin(n\alpha)}{\cos(\theta - n\alpha)} - y \cdot \text{tg } \varphi \quad (2)$$

$$\frac{dy}{dx} = - \text{tg}(i - \varphi) \dots \dots \dots (3)$$

$$2i + \varphi_1 - \varphi - \psi = 90^\circ \dots \dots \dots (4)$$

$$\sin(\theta + m\beta - \beta) = \mu \sin \psi \dots \dots \dots (5)$$

In diesen fünf Gleichungen haben die folgenden Grössen bestimmte Werthe: *f*,  $\mu$ ,  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\theta$  und  $\varphi_1$ ; variabel sind: *n*,  $\varphi$ , *i*,  $\psi$ , *m*, *x* und *y*; also hat man für sieben Grössen nur fünf Bestimmungsgleichungen, so dass noch eine Grösse durch irgend eine Annahme näher bestimmt und durch die andern ausgedrückt werden muss. Eine solche Annahme bezieht man am besten auf eine der Grössen *m* und  $\psi$ , und jede andere Annahme führt natürlich zu einer andern Curve. — Aus Gleichung (3) und (4) folgt:

$$\frac{dy}{dx} = - \frac{\cos(\varphi_1 + \varphi - \psi)}{1 + \sin(\varphi_1 + \varphi - \psi)} \dots \dots \dots (6)$$

und führt man in diese Gleichung beispielsweise die Annahme:

$$\psi = \psi_2 + n(\psi_1 - \psi_2) = \psi_2 + n(\varphi_1 - \psi_2),$$

oder:

$$\varphi_1 + \varphi - \psi = (\varphi_1 - \psi_2)(1 - n) + \varphi$$

ein, so erhält man:

$$\frac{dy}{dx} = - \frac{\cos [(\varphi_1 - \psi_2)(1 - n) + \varphi]}{1 + \sin [(\varphi_1 - \psi_2)(1 - n) + \varphi]} \dots \dots \dots (7)$$

Damit sind *i* und  $\psi$  eliminirt; *m* kann man nachträglich aus  $\psi$  bestimmen, da es nur in der Gleichung (5) vorkommt. Es bleiben also die Gleichungen (1), (2) und (7) mit *n*,  $\varphi$ , *x* und *y*. Aus Gleichung (1) folgt durch Differentiiren:

$$\alpha \cdot dn = - \frac{\mu \cos \varphi}{\sqrt{1 - \mu^2 \sin^2 \varphi}} d\varphi,$$

ebenso aus Gleichung (2) mit Rücksicht auf Gleichung (1):

$$dx = f \cdot \alpha \cdot dn \frac{\cos \theta}{1 - \mu^2 \sin^2 \varphi} - \frac{y}{\cos^2 \varphi} d\varphi - \text{tg } \varphi \cdot dy.$$

Aus diesen beiden Gleichungen  $\alpha \cdot dn$  herausgebracht, giebt:

$$dx = - \left( f \frac{\mu \cos \theta \cos \varphi}{(1 - \mu^2 \sin^2 \varphi)^{\frac{3}{2}}} d\varphi + \frac{y}{\cos^2 \varphi} d\varphi + \text{tg } \varphi \cdot d\varphi \right) \dots (8)$$

Aus Gleichung (7) und (8) ist  $dx$  zu eliminiren; dies ergibt:

$$dy = \frac{\cos [(\varphi_1 - \psi_2)(1-n) + \varphi]}{1 + \sin [(\varphi_1 - \psi_2)(1-n) + \varphi]} \left\{ f \cdot \frac{\mu \cos \theta \cdot \cos \varphi}{(1 - \mu^2 \sin^2 \varphi)^{\frac{3}{2}}} d\varphi + \frac{y}{\cos^2 \varphi} d\varphi + \operatorname{tg} \varphi dy \right\} \quad (9)$$

Aus dieser Gleichung ist noch  $n$  mit Hülfe der aus Gleichung (1) folgenden Beziehung:

$$n = \frac{\theta - \arcsin(\sin \mu \sin \varphi)}{\alpha}$$

zu eliminiren, und diese Elimination führt nun schliesslich zu der folgenden reinen Differential-Gleichung zwischen  $y$  und  $\varphi$ :

$$dy = \left\{ \frac{\cos \left( (\varphi_1 - \psi_2) \left( 1 - \frac{\theta - \arcsin(\sin \mu \sin \varphi)}{\alpha} \right) + \varphi \right)}{1 + \sin \left( (\varphi_1 - \psi_2) \left( 1 - \frac{\theta - \arcsin(\sin \mu \sin \varphi)}{\alpha} \right) + \varphi \right)} \cdot \left\{ f \cdot \frac{\mu \cos \theta \cos \varphi}{(1 - \mu^2 \sin^2 \varphi)^{\frac{3}{2}}} d\varphi + \frac{y}{\cos^2 \varphi} d\varphi + \operatorname{tg} \varphi dy \right\} \right\} \dots \quad (10)$$

Diese Gleichung ist so complicirt, dass man auf ihre allgemeine Integration verzichten muss; auch andere Annahmen für  $m$  oder  $\psi$ , z. B. die Annahme  $m = n$ , führen zu keiner einfachen Schlussgleichung. Nur für den Specialfall, wo die austretenden Strahlen unter einander parallel sind, wird die Lösung möglich, denn in diesem Fall ist  $\psi = \psi_2 = \varphi_1$ , also  $\varphi_1 - \psi_2 = 0$ , also der erste Klammerfactor in Gleichung (9) gleich  $\frac{\cos \varphi}{1 + \sin \varphi}$ , so dass diese Gleichung übergeht in:

$$dy + y \left( -\frac{1}{\cos \varphi} d\varphi \right) = \mu f \cos \theta \frac{\cos^2 \varphi}{(1 - \mu^2 \sin^2 \varphi)^{\frac{3}{2}}} d\varphi \dots \quad (11)$$

Bekanntlich ist nun, wenn  $dy + y F(\varphi) d\varphi = f(\varphi) d\varphi$  ist:

$$y = e^{-\int F(\varphi) d\varphi} \cdot \left\{ \int e^{\int F(\varphi) d\varphi} \cdot f(\varphi) d\varphi + C \right\}.$$

Mit Hülfe dieser Formel lässt sich die Gleichung (11) lösen. Es ist:

$$F(\varphi) = -\frac{1}{\cos \varphi}; \quad f(\varphi) = \mu f \cos \theta \frac{\cos^2 \varphi}{(1 - \mu^2 \sin^2 \varphi)^{\frac{3}{2}}};$$

$$\int F(\varphi) d\varphi = \int -\frac{d\varphi}{\cos \varphi} = -l(\sec \varphi + \operatorname{tg} \varphi)$$

$$= -l\left(\frac{1 + \sin \varphi}{\cos \varphi}\right) = -l\left(\frac{\cos \varphi}{1 - \sin \varphi}\right),$$

also:

$$e^{\int F(\varphi) d\varphi} = \frac{\cos \varphi}{1 + \sin \varphi}, \quad e^{-\int F(\varphi) d\varphi} = \frac{\cos \varphi}{1 - \sin \varphi},$$

also:

$$y = \frac{\cos \varphi}{1 - \sin \varphi} \left\{ \int \mu f \cos \theta \cdot \frac{(1 - \sin \varphi) \cos \varphi}{(1 - \mu^2 \sin^2 \varphi)^{\frac{3}{2}}} d\varphi + C \right\}.$$

Das noch stehende Integral ist:

$$\frac{f \cos \theta}{\mu} \cdot \frac{\mu^2 \sin^2 \varphi - 1}{(1 - \mu^2 \sin^2 \varphi)^{\frac{3}{2}}} + C,$$

oder, mit Rücksicht auf Gleichung (1):

$$\frac{f \cos \theta}{\mu} \cdot \frac{\mu \sin(\theta - n\alpha) - 1}{\cos(\theta - n\alpha)} + C.$$

Setzt man diesen Ausdruck für  $y$  ein, zieht den Factor  $\frac{f \cos \theta}{\mu}$  und setzt die Constante innerhalb der Klammer gleich  $k$ , so erhält man als Lösung der Gleichung (10):

$$y = \frac{f \cos \theta}{\mu} \left\{ \frac{\mu \sin(\theta - n\alpha) - 1}{\cos(\theta - n\alpha)} + k \right\} \frac{\cos \varphi}{1 - \sin \varphi} \dots \quad (12)$$

Die Constante  $k$  bestimmt sich aus der Bedingung, dass  $y = 0$  für  $n = 1$  werden muss. Darnach ergibt sich:

$$k = \frac{1 - \mu \sin(\theta - \alpha)}{\cos(\theta - \alpha)}.$$

Dies verwandelt Gleichung (12) in:

$$y = \frac{f \cos \theta}{\mu} \left\{ \frac{\mu \sin(\theta - n\alpha) - 1}{\cos(\theta - n\alpha)} - \frac{\mu \sin(\theta - \alpha) - 1}{\cos(\theta - \alpha)} \right\} \frac{\cos \varphi}{1 - \sin \varphi} \quad (13)$$

Nachdem diese Gleichung gefunden, ist es nicht schwer, zusammengehörige Werthe von  $x$  und  $y$  aus Gleichung (2) und aus dieser Gleichung (13) zu ermitteln, indem man von verschiedenen Werthen von  $\theta - n\alpha$  ausgeht und die zwischen diesem Winkel und dem Winkel  $\varphi$  stattfindende Beziehung aus Gleichung (1) zu Hilfe nimmt.

(Es ist interessant, zu sehen, wie sich aus den Gleichungen (2) und (12) Parabel-Gleichungen entwickeln, wenn man annimmt, dass an der Fläche  $BC$  des Profils Oberflächen-Reflection, keine innere Reflection stattfindet, d. h. wenn man  $\mu = 1$  setzt. In diesem Falle wird  $\theta - n\alpha = \varphi$ , also:

$$x = f \sin \theta - (f \cos \theta + y) \operatorname{tg} \varphi,$$

$$y + f \cos \theta = k \frac{\cos \varphi}{1 - \sin \varphi}.$$

Eliminirt man den Winkel  $\varphi$  aus diesen Gleichungen, so ergibt sich:

$$(y + f \cos \theta)^2 = 2k(f \sin \theta - x) + k^2.$$

Setzt man nun:

$$y + f \cos \theta = y_1, \quad x - f \sin \theta - \frac{k}{2} = x_1,$$

und kehrt endlich noch die Richtung der neuen  $X$ -Achse um, so erhält man die gewöhnliche Parabelgleichung:

$$y^2 = 2kx;$$

sie repräsentirt eine Schaar von Parabeln, die sämmtlich die auf fallenden Strahlen nach der Richtung der Parabel-Achse parallelisiren.)

Für den Krümmungshalbmesser  $\rho$  hat man:

$$\rho = \frac{\left[1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2\right]^{\frac{3}{2}}}{\frac{d^2y}{dx^2}}.$$

Nach Gleichung (6) ist jetzt, da  $\varphi_1 = \psi$ ,

$$\frac{dy}{dx} = \frac{-\cos \varphi}{1 + \sin \varphi},$$

also:

$$\frac{d^2y}{dx^2} = \frac{1}{1 + \sin \varphi} \cdot \frac{d\varphi}{dy} \cdot \frac{dy}{dx} = \frac{-\cos \varphi}{(1 + \sin \varphi)^2} \cdot \frac{dy}{dy}.$$

Setzt man hierin für  $\frac{d\varphi}{dy}$  seinen Werth aus der Differential-Gleichung (10), so erhält man leicht:

$$\rho = \frac{2^{\frac{3}{2}}(1 + \sin \varphi)^{\frac{1}{2}}}{\cos^2 \varphi} \left( y + \mu f \cos \theta \frac{\cos^3 \varphi}{\cos^3(\theta - n\alpha)} \right) \dots (14)$$

Um die Richtung der Tangenten an die Curve in den Punkten  $B$  und  $C$  festzulegen, hat man jetzt, da  $\psi = \varphi_1$  ist, aus den Gleichungen (3) und (4) die folgende Gleichung:

$$\frac{dy}{dx} = -\operatorname{tg} \left( 45 - \frac{\varphi}{2} \right).$$

Dem Punkt  $C$  entspricht  $\varphi = \varphi_1$ , so dass hier

$$\frac{dy}{dx} = -\operatorname{tg} \left( 45 - \frac{\varphi_1}{2} \right) = -\operatorname{tg} \left( 90^\circ - \angle \frac{BAC}{2} \right),$$

so dass die Tangente in  $C$  normal zur Halbirungslinie von  $BAC$  steht, was übrigens a priori zu ersehen gewesen wäre. — Im Punkt  $B$  hat man  $\varphi = \varphi_2$  aus der Gleichung:  $\sin(\theta - \alpha) = \mu \sin \varphi_2$

und 
$$\frac{dy}{dx} = -\operatorname{tg}\left(45 - \frac{\varphi_2}{2}\right).$$

Für die Länge  $AB$  findet man aus dem Dreieck  $AFB$ :

$$AB = f \frac{\sin \alpha}{\cos(\theta - \alpha)}.$$

Bezeichnet man die Coordinaten des Punkts  $C$  mit  $x_0$  und  $y_0$ , so ergibt sich  $x_0$  aus Gleichung (2), indem man  $n = 0$ ,  $\varphi = \varphi_1$  setzt, zu:

$$x_0 = -y_0 \operatorname{tg} \varphi_1;$$

dagegen  $y_0$  aus Gleichung (13) zu:

$$y_0 = \frac{f \cos \theta}{\mu} \left\{ \frac{\mu \sin \theta - 1}{\cos \theta} - \frac{\mu \sin(\theta - \alpha) - 1}{\cos(\theta - \alpha)} \right\} \frac{\cos \varphi_1}{1 - \sin \varphi_1}.$$

Für die Länge  $AC$  hat man einfach:

$$AC = \frac{y_0}{\cos \varphi_1}.$$

Hiermit kann die Bestimmung der theoretisch richtigen Profilmform für den Specialfall, dass die austretenden Strahlen unter einander parallel sein sollen, als erledigt angesehen werden. In der Praxis ersetzt man die theoretische Curve allgemein durch einen Kreisbogen, der durch den Punkt  $B$  geht, hier die theoretische Curve tangirt und (dicht bei  $C$ ) die Linie  $AC$  unter demselben Winkel schneidet, den hier die Tangente der theoretischen Curve mit  $AC$  bildet. Ich werde jetzt diesen Kreis durch Rechnung und Zeichnung festlegen, dabei aber gleich den allgemeinen Fall betrachten, dass die beiden äussersten Strahlen genau (und die übrigen Strahlen angenähert) nach einem Punkt  $G$  (Fig. 19) hin convergiren. In diesem Falle ist keine besondere Bedingung für eine der beiden Grössen  $\psi$  oder  $m$  nöthig, wie es für die theoretische Curve der Fall war; die Vorschrift, dass die Curve jetzt ein Kreis sein soll, ersetzt jene Bedingung. Nach Fig. 21, Taf. B, hat man nun zunächst aus dem Brechungsgesetz:

$$\begin{aligned} \text{für den Punkt } A: & \sin \theta = \mu \cdot \sin \varphi_1; \\ \text{„ „ „ } B: & \sin(\theta - \alpha) = \mu \cdot \sin \varphi_2; \\ \text{„ „ „ } C: & \sin(\theta - \beta) = \mu \cdot \sin \psi_2. \end{aligned}$$

Ist  $O$  der Mittelpunkt des zu bestimmenden Kreisbogens  $BC$ ,  $OB = OC = \rho$  dessen Radius, so sind  $BO$  und  $CO$  die Normalen

der Curve (des Kreises) für die Punkte  $B$  und  $C$ ; es sind also die Winkel  $ABO$  und  $ACO$  Specialwerthe des in der Figur allgemein mit  $i = \frac{< DJE}{2}$  bezeichneten Einfallswinkels auf die gekrümmte Seite des Profils resp. für die Eckpunkte  $B$  und  $C$ . Nun ist allgemein (vergl. Gleichung (4), S. 191):

$$i = \frac{1}{2} \left( \frac{\pi}{2} + \varphi + \psi - \varphi_1 \right).$$

Für  $B$  ist:  $\varphi = \varphi_2, \psi = \varphi_1,$

„  $C$  „  $\varphi = \varphi_1, \psi = \varphi_2,$

daher

$$\text{für den Punkt } B: \angle ABO = \frac{1}{2} \left( \frac{\pi}{2} + \varphi_2 \right);$$

$$\text{„ „ „ } C: \angle ACO = \frac{1}{2} \left( \frac{\pi}{2} + \varphi_2 \right).$$

Denkt man sich die Punkte  $O$  und  $A$  durch eine gerade Linie verbunden und diese über den Punkt  $A$  hinaus verlängert, so erkennt man die Richtigkeit der Gleichung:

$$\angle BOC = \angle BAC - (\angle ABO + \angle ACO),$$

oder, für die einzelnen Winkel ihre Werthe eingesetzt:

$$\angle BOC = \varphi_1 - \frac{\varphi_2 + \psi_2}{2},$$

so dass  $\angle BOC$  durch lauter bekannte Winkel bestimmt ist. Weiter folgt nun:

$$\angle OBC = \angle OCB = \frac{\pi}{2} - \angle BOC = \frac{\pi}{2} - \frac{1}{2} \left( \varphi_1 - \frac{\varphi_2 + \psi_2}{2} \right),$$

daher:

$$\angle ABC = \angle OBC - \angle ABO = \frac{\pi + \psi_2}{4} - \frac{2\varphi_1 + \varphi_2}{4},$$

$$\angle ACB = \angle OCB - \angle ACO = \frac{\pi + \varphi_2}{4} - \frac{2\varphi_1 + \psi_2}{4}.$$

Jetzt sind im Dreieck  $ABC$  alle drei Winkel bekannt; da ausserdem die Seite

$$AB = f \frac{\sin \alpha}{\cos(\theta - \alpha)},$$

so findet man weiter:

$$AC = AB \frac{\sin ABC}{\sin ACB} = f \frac{\sin \alpha}{\cos(\theta - \alpha)} \cdot \frac{\sin \left( \frac{\pi + \psi_2}{4} - \frac{2\varphi_1 + \varphi_2}{4} \right)}{\sin \left( \frac{\pi + \varphi_2}{4} - \frac{2\varphi_1 + \psi_2}{4} \right)},$$

$$BC = AB \frac{\sin BAC}{\sin ACB} = f \frac{\sin \alpha}{\cos(\theta - \alpha)} \cdot \frac{\cos \varphi_1}{\sin \left( \frac{\pi + \varphi_2}{4} - \frac{2\varphi_1 + \psi_2}{4} \right)}.$$



$BC$  ist die Sehne des zu bestimmenden Kreisbogens, daher dessen Radius:

$$OB = OC = \frac{BC}{2} \cdot \frac{1}{\sin \frac{BOC}{2}},$$

oder:

$$\rho = \frac{1}{2} f \frac{\sin \alpha}{\cos(\theta - \alpha)} \cdot \frac{\cos \varphi_1}{\sin\left(\frac{\pi + \varphi_2}{4} - \frac{2\varphi_1 + \psi_2}{4}\right)} \cdot \frac{1}{\sin\left(\frac{\varphi_1}{2} - \frac{\varphi_2 + \psi_2}{4}\right)}.$$

Hiermit kann die Lösung der Aufgabe durch Rechnung als erledigt angesehen werden. — Man erkennt aus dem für  $i$  gefundenen Werth, dass, wenn der auf S. 188 definirte kritische Winkel wieder mit  $\beta_0$  bezeichnet wird, die Möglichkeit eines solchen Prismas, wie es hier verlangt wird, an die Bedingung gebunden ist:

$$\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi + \psi - \varphi_1}{2} > \beta_0.$$

Ist diese Bedingung auch für diejenigen Strahlen erfüllt, die nicht von dem als Brennpunkt  $F'$  angenommenen Punkt der Flamme, sondern von andern Punkten ausgehen, so werden auch diese natürlich in dem Prisma total reflectirt.

Es erübrigt nun noch, die Lösung der vorliegenden Aufgabe, die Profilform eines Fresnel'schen Prismas zu bestimmen, auf dem Wege der Construction durchzuführen. Diese Lösung ist sehr einfach:

Die Winkel  $\theta$ ,  $\varphi_1$  und  $ABC$ , Fig. 21, construirt man in der Weise, wie es auf S. 190 angegeben wurde (vergl. Fig. 20); damit sind dann auch die Richtung  $AB$  und ihr Schnittpunkt  $B$  mit der (bekannten) Richtung  $FB$ , sowie die Richtung  $FC$  gefunden. Die Winkel  $ABO$  und  $ACO$ , resp. gleich

$$\frac{1}{2}\left(\frac{\pi}{2} + \varphi_2\right) \quad \text{und} \quad \frac{1}{2}\left(\frac{\pi}{2} + \psi_2\right)$$

sind bekannt, sobald  $\varphi_2$  und  $\psi_2$  gefunden sind; dies Letztere geschieht, in Rücksicht auf die beiden Gleichungen:  $\sin(\theta - \alpha) = \mu \sin \varphi_2$  und  $\sin(\theta - \beta) = \mu \sin \psi_2$ , nach dem in der Anmerkung auf Seite 169 (vergl. Fig. 6) angegebenen Verfahren. Jetzt kann man von  $B$  aus eine Gerade —  $BO$  — ziehen, auf der der Mittelpunkt  $O$  liegen muss. Ferner kann man, da  $\angle BOC = \varphi_1 - \frac{\varphi_2 + \psi_2}{2}$  ist, den Winkel

$$CBO = \frac{\pi}{2} - \frac{1}{2}\left(\varphi_1 - \frac{\varphi_2 + \psi_2}{2}\right)$$

bestimmen, also auch die Linie  $BC$  ziehen und so den Punkt  $C$  festlegen. Eine die Sehne  $BC$  halbirende Normale dieser Linie schneidet die Richtung  $BO$  in dem Mittelpunkt  $O$ , womit die Aufgabe gelöst ist. Als Controle hat man:  $\sphericalangle BCO = \sphericalangle CBO$ , ferner:

$$\sphericalangle ACO = \frac{1}{2} \left( \frac{\pi}{2} + \psi_2 \right).$$

## § 4.

### Formeln für die Berechnung der übrigen, in Leuchtthurm-Apparaten verwendeten Profile.

Aus dem Text des vorliegenden Werks ist bekannt, wie sich aus den im vorigen Abschnitt berechneten einzelnen Profilen der Verticalschnitt eines Fresnel'schen Feste-Feuer-Apparats aufbaut, und wie der letztere geometrisch dadurch entsteht, dass man diesen Verticalschnitt um die Vertical-Achse des Apparats rotiren lässt. Ferner ist bekannt, dass, wenn man denselben Verticalschnitt statt um eine einzige Vertical-Achse, um mehrere, im Grundriss regelmässig vertheilte horizontale Achsen rotiren lässt, und die dadurch entstehenden Linsengebilde nur so weit ausführt, bis sich je zwei benachbarte derselben durchdringen, man dadurch zu denjenigen Fresnel'schen Apparaten gelangt, die auf die Richtung der Strahlen nicht nur in der verticalen, sondern auch in der horizontalen Ebene einwirken (vergl. Fig. 30, 31 und 32, Taf. III, und andere). Es ist daher nicht nöthig, für diese Art von Apparaten besondere Formeln für die Berechnung der Profile aufzustellen; es genügen vielmehr im Allgemeinen die bis jetzt ermittelten Profilformen, und es können höchstens die Vorbedingungen der Rechnung etwas andere werden, als bei den bis jetzt betrachteten Feste-Feuer-Apparaten. Ueber den letzteren Punkt wird weiter unten noch specieller die Rede sein. —

Es sind demnach jetzt noch Formeln zu entwickeln für ein allgemeineres Refractor-Profil (mit gekrümmter Innenseite), für die neuen Rücken-Prismen (Fig. 49, 69, 70 u. 88, Taf. V, VII u. X), für die doppelt wirkenden Prismen (Fig. 71 und 71a, Taf. VIII) und für die Profile des sphärischen dioptrischen Reflectors (Fig. 15 und 16, Taf. II; Fig. 39, Taf. IV; Fig. 49, Taf. V, und andere).

#### 1. Allgemeinere Form des Refractors.

Die allgemeinere Form des zu berechnenden Profils soll darin bestehen, dass die Innenseite desselben nicht gerade, sondern nach

einem Kreise vom Radius  $oE = oD = r$  (Fig. 22, Taf. C) gekrümmt ist, dessen Mittelpunkt  $o$  nicht mit dem Brennpunkt  $F$  zusammenfällt. Im Uebrigen soll für dieses Profil die Sache ähnlich liegen, wie für das Profil in Fig. 16, mit dem Unterschied, dass die geraden Endlinien  $EB$  und  $DC$  mit den Richtungen der ein Mal gebrochenen Strahlen zusammenfallen sollen. Die Maximaldicke des Profils soll  $d$ , die Minimaldicke  $e$  sein;  $O$  (Coordinationen  $a$  und  $b$ ) ist der Mittelpunkt desjenigen Kreises vom Radius  $\rho$ , nach welchem die äussere Begrenzung  $BC$  des Profils gekrümmt ist;  $J$  ist der Punkt, nach welchem hin die äussersten Strahlen  $FE$  und  $FD$  (und die zwischenliegenden Strahlen angenähert ebenfalls) nach ihrem Durchgang durch das Profil convergiren sollen; der Strahl  $FE$  soll um einen Winkel  $\varepsilon_1$  abgelenkt werden. Die weitere Bezeichnung ergibt sich zur Genüge aus der Figur.

In ähnlicher Weise, wie bei den Profilen für den einfachen Bienenkorb-Apparat, wird man auch hier aus einer Reihe von Profilen nicht ohne Weiteres ein beliebiges herausgreifen können, sondern man wird successive von einem Profil zu dem folgenden fortschreiten müssen, um den Winkel  $\omega_1$  der  $X$ -Achse und des Strahles  $FE$ , welcher gleichzeitig letzter, resp. erster Strahl der beiden Profile ist, als bekannt einführen zu können. In der Figur sind für das zu berechnende Profil alle dem untern Strahl entsprechenden Grössen von denjenigen, die dem obern Strahl zugehören, durch einen Index unterschieden. — Welche Grössen als bekannt anzusehen sind, das hängt natürlich von der Natur der vorliegenden Aufgabe ab; die aufzustellenden Gleichungen sind aber unter allen Umständen dieselben, und nur die Art ihrer Behandlung kann eine andere werden, sobald andere Grössen als Unbekannte auftreten. Hier mögen als gegeben eingeführt werden:

Punkt  $F$  (Coordinationen  $f$  und  $g$ ), Punkt  $J$  (Coordinationen  $p$  und  $q$ ),  $r$ ,  $d$ ,  $e$ ,  $\omega_1$  und  $\varepsilon_1$ .

Die Berechnung einer theoretisch richtigen Curve unter der Voraussetzung, dass alle auf das fragliche Profil fallenden Strahlen nach ihrem Durchgang durch dasselbe solche Richtungen haben sollen, dass ihre Verlängerungen genau durch den Punkt  $J$  gehen, ist für den vorliegenden Fall sehr schwierig, da die auftretende Differential-Gleichung nicht integrirbar ist; es soll daher gleich das practisch allein Werth habende Näherungsprofil bestimmt werden. Als Unbekannte hat man dann die folgenden Grössen einzuführen:

1)  $\alpha_1, \beta_1, \gamma_1, \delta_1, \nu_1, \tau_1, \theta_1$ ;

2)  $\alpha, \beta, \gamma, \delta, \nu, \tau, \theta, \omega, \varepsilon, S, \rho, a$  und  $b$ ;

die erste Reihe bezieht sich auf den untern Strahl  $FE$ , die letzte auf den obern Strahl  $FD$  und auf den äussern Krümmungskreis des Profils; beide Reihen können getrennt von einander bestimmt werden. Die Rechnung macht sich in folgender Weise:

1. Für die Unbekannten mit Index.

Aus Dreieck  $G_1 E o$  folgt:

$$\sin \alpha_1 = \frac{r - f - g \cotg \omega_1}{r} \cdot \sin \omega_1 \dots \dots \dots (1)$$

ferner:

$$\tau_1 = \omega_1 - \alpha_1 \dots \dots \dots (2)$$

ferner hat man nach dem Brechungsgesetz:

$$\sin \alpha_1 = \mu \sin \beta_1 \dots \dots \dots (3)$$

Aus diesen drei Gleichungen ergeben sich  $\alpha_1, \tau_1$  und  $\beta_1$ .

Aus den Dreiecken  $H_1 K_1 o$  und  $K_1 B E$  hat man:

$$\nu_1 - \tau_1 = \beta_1 + \gamma_1 \dots \dots \dots (4)$$

$JB$  bildet mit der  $X$ -Achse einen Winkel, der gleich  $\nu_1 - \delta_1$  und gleich  $\omega_1 - \varepsilon_1$  ist, so dass

$$\nu_1 - \delta_1 = \omega_1 - \varepsilon_1 \dots \dots \dots (5)$$

Aus (4) und (5) folgt durch Elimination von  $\nu_1$ :

$$\delta_1 = (\beta_1 + \varepsilon_1 + \tau_1 - \omega_1) + \gamma_1;$$

mit Hilfe der zweiten aus dem Brechungsgesetz folgenden Gleichung:

$$\sin \delta_1 = \mu \cdot \sin \gamma_1 \dots \dots \dots (6)$$

bestimmen sich hieraus  $\beta_1$  und  $\gamma_1$ , (graphisch nach Anmerkung Seite 169 und Fig. 6, Taf. A), so dass aus Gleichung (4), (5) und (6) die drei Werthe  $\gamma_1, \delta_1$  und  $\nu_1$  hervorgehen. — Endlich folgt aus Dreieck  $EB o$ :

$$\sin \theta_1 = \frac{r}{r + d} \sin \beta_1 \dots \dots \dots (7)$$

hieraus  $\theta_1$ , und damit ist die letzte der sieben Unbekannten mit Index bestimmt.

2. Für die Unbekannten ohne Index.

Man nehme zunächst einen Werth für  $\omega$  an, von dem man glaubt, dass er dem gesuchten  $\omega$  nahe liegen müsse. Dann ergeben die folgenden drei, aus dem Dreieck  $G D o$  und aus dem Brechungsgesetz abgeleiteten Gleichungen:

$$\text{I. } \sin \alpha = \frac{r - f - g \cotg \omega}{r} \cdot \sin \omega,$$

$$\text{II. } \tau = \omega - \alpha,$$

$$\text{III. } \sin \alpha = \mu \cdot \sin \beta,$$

die dem angenommenen  $\omega$  entsprechenden Werthe von  $\alpha$ ,  $\eta$  und  $\beta$ ; ferner ergibt sich aus dem Dreieck  $DCo$  die Gleichung:

$$\text{IV. } \sin \theta = \frac{r}{r+e} \cdot \sin \beta,$$

und daraus, da  $\beta$  bekannt, der Winkel  $\theta$ . Die Linie  $CJ$  bildet mit der  $X$ -Achse einen Winkel  $\nu - \delta$ , für den man findet:

$$\text{tg } (\nu - \delta) = \frac{oC \cdot \sin COA - q}{oC \cdot \cos COA - (r - p)}, \quad \text{oder:}$$

$$\text{V. } \text{tg } (\nu - \delta) = \frac{(r+e) \sin (\eta + \beta - \theta) - q}{(r+e) \cos (\eta + \beta - \theta) - (r - p)};$$

daraus ist die Differenz  $\nu - \delta$  zu bestimmen. Diese Differenz dient dazu, um aus der Gleichung

$$\text{VI. } \nu - \delta = \omega - \varepsilon,$$

welche sich auf den Winkel der Linie  $JC$  mit der  $X$ -Achse bezieht, den Winkel  $\varepsilon$  abzuleiten. — Die beiden Dreiecke  $HKo$  und  $KCD$  ergeben die Gleichung:

$$\text{VII. } \nu - \eta = \beta + \gamma,$$

$$\text{so dass } \delta = \eta + \beta - (\nu - \delta) + \gamma.$$

Diese Gleichung, combinirt mit der zweiten aus dem Brechungsgesetz folgenden Gleichung:

$$\text{VIII. } \sin \delta = \mu \sin \gamma,$$

führt nun in bekannter Weise zu den Werthen von  $\gamma$  und  $\delta$ , und da  $\nu - \delta$  bereits gefunden, so ist endlich auch der Winkel  $\nu$  bekannt.

Alle diese Operationen, welche dazu dienen, die einem willkürlich angenommenen Werthe von  $\omega$  zugehörigen Werthe der Winkel  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ,  $\delta$ ,  $\nu$ ,  $\eta$ ,  $\theta$  und  $\varepsilon$  zu ermitteln, bieten keine besonderen Schwierigkeiten dar, einerlei, ob man den Weg der Rechnung oder den der Construction einschlägt. Die nächste Aufgabe ist nun die, denjenigen Werth von  $\omega$  zu bestimmen, welcher der vorgeschriebenen Minimal-Dicke  $e$  entspricht. Die hierfür nöthige Bedingungsgleichung ergibt sich aus dem Dreieck  $oBC$ :

$$oB \cdot \sin oCB = oC \cdot \sin oBC, \quad \text{oder:}$$

$$\text{IX. } (r+d) \cos \left( \frac{\nu - \nu_1}{2} - \gamma - \theta \right) = (r+e) \cos \left( \frac{\nu - \nu_1}{2} + \gamma_1 + \theta_1 \right).$$

Construirt man nun mit Zugrundelegung von Polar-Coordinationen die Curven der beiden Gleichungen:

$$r_1 = (r + d) \cos \left( \frac{\nu - \nu_1}{2} - \gamma - \theta \right),$$

$$r_2 = (r + e) \cos \left( \frac{\nu - \nu_1}{2} + \gamma_1 + \theta_1 \right),$$

und zwar für  $\omega$  als unabhängig Veränderliche, was keine Schwierigkeit hat, da alle dem Winkel  $\omega_1$  und einem bestimmten Werth  $\omega$  entsprechenden Winkel der vorstehenden Gleichungen bekannt sind oder vielmehr gefunden werden können, so entspricht dem Durchschnittspunkt der beiden Curven der gesuchte Werth von  $\omega$  als Amplitude; für diesen Werth von  $\omega$  führt nun derselbe Gang der Rechnung oder Zeichnung, wie er soeben allgemein angedeutet ist, zu den wahren Werthen der übrigen Winkel, so wie sie von der Lösung der Aufgabe verlangt werden.

Es fehlen nun noch die Sehne  $BC = S$ , der Radius  $BO = CO = \rho$  und die Coordinaten  $a$  und  $b$  des Mittelpunkts  $O$ .

Aus Dreieck  $BoC$  hat man:

$$BC = oB \cdot \frac{\sin BoC}{\sin BC_o} = oC \cdot \frac{\sin BoC}{\sin CB_o},$$

oder:

$$\begin{aligned} \text{X. } S &= (r + d) \frac{\sin [\gamma_1 + \beta - \theta - (\gamma_1 + \beta_1 - \theta_1)]}{\cos \left( \frac{\nu - \nu_1}{2} - \gamma - \theta \right)} \\ &= (r + e) \frac{\sin [\gamma_1 + \beta - \theta - (\gamma_1 + \beta_1 - \theta_1)]}{\cos \left( \frac{\nu - \nu_1}{2} + \gamma_1 + \theta_1 \right)}. \end{aligned}$$

Nachdem aus dieser Gleichung  $S$  ermittelt ist, folgt aus Dreieck  $OBC$ :

$$\text{XI. } \rho = \frac{1}{2} S \cdot \frac{1}{\sin \left( \frac{\nu - \nu_1}{2} \right)}.$$

Für die Coordinaten  $a$  und  $b$  von  $O$  hat man:

$$\begin{aligned} a &= oA - oB \cdot \cos BoA + BO \cdot \cos BH_1A \\ &= oA - oC \cdot \cos CoA + CO \cdot \cos CHA; \\ b &= oB \cdot \sin BoA - BO \cdot \sin BH_1A \\ &= oC \cdot \sin CoA - CO \cdot \sin CHA, \end{aligned}$$

oder:

$$\text{XII. } \begin{aligned} a &= r - (r + d) \cos (\gamma_1 + \beta_1 - \theta_1) + \rho \cos \nu_1 \\ &= r - (r + e) \cos (\gamma_1 + \beta - \theta) + \rho \cos \nu. \end{aligned}$$

$$\text{XIII. } \begin{aligned} b &= (r + d) \sin (\gamma_1 + \beta_1 - \theta_1) - \rho \sin \nu_1 \\ &= (r + e) \sin (\gamma_1 + \beta - \theta) - \rho \sin \nu. \end{aligned}$$

Jetzt sind die oben angeführten dreizehn Unbekannten sämtlich gefunden und das Profil ist damit vollständig festgelegt. Die Coordinaten der Eckpunkte schreibt man direct aus der Figur ab:

- B.  $r - (r + d) \cos(\gamma_1 + \beta_1 - \theta_1)$  und  $(r + d) \sin(\gamma_1 + \beta_1 - \theta_1)$ ,  
 C.  $r - (r + e) \cos(\gamma + \beta - \theta)$  „  $(r + e) \sin(\gamma + \beta - \theta)$ ,  
 D.  $r(1 - \cos \gamma)$  „  $r \cdot \sin \gamma$ ,  
 E.  $r(1 - \cos \gamma_1)$  „  $r \cdot \sin \gamma_1$ .

Häufig liegen die Verhältnisse so, dass es ziemlich gleichgültig ist, wo der Punkt  $J$  liegt; man braucht sich dann um die Coordinaten  $p$  und  $q$  dieses Punkts, die man übrigens nachträglich auch noch bestimmen könnte, nicht zu kümmern. Es müssen in solchen Fällen aber Beziehungen gegeben sein, welche die Grösse der Gesamtablenkung für jeden Strahl bestimmen, so dass man damit wieder neue Bedingungsgleichungen erhält; ist z. B.  $\varepsilon = \varepsilon_1$  für  $\omega = \omega_1$ ,  $\varepsilon = \varepsilon_2$  für  $\omega = \omega_2$ , so kann man folgende Bedingung aufstellen:

$$\frac{\varepsilon - \varepsilon_1}{\varepsilon_2 - \varepsilon_1} = \frac{\omega - \omega_1}{\omega_2 - \omega_1},$$

statt dessen könnte man auch folgende Bedingung:

$$\omega - \varepsilon = (\omega_1 - \varepsilon_1) \frac{\omega}{\omega_1},$$

oder je nach Lage der Verhältnisse noch eine andere einführen. Diese Bedingung bestimmt sofort  $\varepsilon$  aus  $\omega$ , also auch  $\omega - \varepsilon$ , also nach Gleichung VI auch  $\nu - \delta$ , so dass man nun Gleichung V, die einzige, welche die Coordinaten  $p$  und  $q$  enthält, in der That nicht mehr braucht. Nachträglich ergeben sich dann  $p$  und  $q$ , wenn man die Projectionen der Linien  $BJ$  und  $CJ$  auf die Achsen bestimmt und mit den Coordinaten von  $B$  und  $C$  combinirt. — Sieht man die Maximaldicke  $d$  des Glases als Unbekannte an, d. h. ist man mit der Dicke zufrieden, die sich oben ergibt, so kann man  $\omega_1$  und  $\omega$  beide annehmen und kommt dann rascher zum Ziele, als wenn man den oben angegebenen Gang stricte verfolgt, da man dann in Gleichung IX nicht so scharf an einen gegebenen Werth von  $d$  gebunden ist; in manchen Fällen ist ein derartiges Verfahren wohl zulässig.

Ist für den Ablenkungswinkel  $\varepsilon$  eine allgemeine Bedingung gegeben, so bedarf man für ein etwa zu berechnendes Mittelprofil noch einer besondern Bedingung, wenn man nicht von vornherein weiss, dass eine bestimmte durch den Punkt  $F$  gezogene Gerade Symmetrie-Linie der ganzen Profil-Combination ist. Die Sache

liegt ähnlich, wie es Seite 186 für den dortigen Fall angegeben wurde. Im vorliegenden Fall soll in dem Theilungsschnitt des fraglichen Profils der Kreis vom Radius  $\rho$  den Kreis vom Radius  $r + d$ , resp.  $r + e$  tangiren; dies wird ausgesprochen dadurch, dass  $OB$  und  $oB$  in eine einzige Gerade fallen müssen, dass also  $\gamma_1 + \theta_1 = 0$ , event.  $\gamma_1 + \theta_1 = \pi$ , also  $\sin \gamma_1 = \sin \theta_1$  werden. Diese Gleichung ersetzt den unbekanntem Werth von  $\omega_1$ , der dem fraglichen Berührungspunkt entspricht, und dient in Verbindung mit den übrigen Gleichungen zur Bestimmung dieses Werthes  $\omega_1$  und der übrigen Unbekannten.

Specialfälle. Diejenigen Fälle, für welche die Innenseite des Profils gerade ist, d. h. einen Krümmungshalbmesser  $r = \infty$  hat, erledigt man besser nach den früher für diesen Zweck abgeleiteten Formeln, als nach den hier entwickelten allgemeineren Formeln.

Für die Profile der äussern Linsenschirme in Fig. 72, Taf. VIII, ist:  $f = r$ ,  $g = 0$ ,  $r = r$ ,  $p$  unbekannt,  $q$  unbekannt,  $\varepsilon = \varepsilon_1$  für  $\omega = \omega_1$ ,  $\varepsilon = \varepsilon_2$  für  $\omega = \omega_2$ .

Für die Concav-Concavlinse der Fig. 74, Taf. VIII, ist:  $f = \infty$ ,  $g = 0$ ,  $r = r$ ,  $p = r$ ,  $q = 0$ .

Nach Einführung dieser Specialwerthe ergibt sich alles Uebrige ohne Schwierigkeit aus den obigen Formeln.

2) Die neuen Rückenprismen. (Fig. 49, Taf. V; Fig. 69 und 70, Taf. VII; Fig. 87 und 88, Taf. X.)

Diese Prismen werden im Text erwähnt auf S. 46 und 47, S. 63 und auf S. 87, und es mag hier zunächst nach dort verwiesen werden. Ich will mich hier auf eine einfache Bestimmung der Form eines solchen Prismas aus gegebenen Daten beschränken; wie diese Daten zu ermitteln sind, darüber gelten im Allgemeinen ähnliche Grundsätze, wie solche S. 188 und 189 für die Fresnel'schen total reflectirenden angegeben sind; hiernach wird es nicht schwer sein, für einen concreten Fall die Berechnung einzuleiten.

In Fig. 23, Taf. B, ist ein Prisma, wie es hier berechnet werden soll, gezeichnet:

$F$  ist der Brennpunkt in der Achse der Flamme. Der Lichtwinkel  $BFD = \alpha$  soll so abgelenkt werden, dass die Strahlen nach ihrem Durchgang durch das Prisma den Winkel  $EGC = \beta$  bilden.  $ABC$  ist das ideelle, für diesen Zweck construirte Prisma;



die äussere Begrenzung  $BC$  ist kreisförmig (mit dem Radius  $BO = CO = \rho$  und dem Mittelpunkt  $O$ ), und ist der Krümmungskreis so bestimmt, dass die äussersten Strahlen genau durch den Punkt  $G$  gehen, während dieses für die zwischenliegenden Strahlen nur angenähert der Fall sein kann, weil der Kreisbogen  $BC$  die theoretische Curve  $BC$  nicht mathematisch genau deckt. Principiell ist die Sache sonst so zu verstehen, dass alle von  $F$  ausgehenden Strahlen auf der Geraden  $AB$  gebrochen, dann auf der Curve  $BC$  total reflectirt, darauf auf der Geraden  $AC$  wieder gebrochen werden und nun nach ihrem Austritt aus dem Profil alle genau durch den Punkt  $G$  gehen. Das Stück  $DAE$  kommt nicht zur Wirkung und kann abgeschnitten werden, so dass  $BCED$  das eigentliche Profil ist.\*)

Es werde vorausgesetzt, dass der Einfallswinkel  $\theta$  des Strahles  $FB$  bei  $B$  gleich sei dem Austrittswinkel des correspondirenden Strahles  $EG$  bei  $E$ . Hieraus ergibt sich der Eintrittswinkel bei  $D$  gleich  $\theta - \alpha$ , der Austrittswinkel bei  $C$  gleich  $\theta + \beta$ . Bezeichnet man weiter mit  $\varphi_1$ ,  $\varphi_2$  und  $\psi_1$  die Brechungswinkel bei  $D$  und bei  $B$  und den innern Einfallswinkel bei  $C$ , so folgen aus dem Brechungsgesetz die drei Gleichungen:

$$\begin{aligned}\sin \theta &= \mu \sin \varphi_2, \\ \sin (\theta - \alpha) &= \mu \sin \varphi_1, \\ \sin (\theta + \beta) &= \mu \sin \psi_1,\end{aligned}$$

so dass alle drei Winkel  $\varphi_1$ ,  $\varphi_2$  und  $\psi_1$  mit  $\theta$  bestimmt sind. Letzteres zu thun, soll jetzt Aufgabe sein.

Die Totalablenkung des Strahls  $FB$ , nämlich der Winkel  $HJG$  sei  $= \delta$ . — Bei der Bestimmung von  $\theta$  ist es nöthig und möglich, die Dimensionen der Flamme so weit zu berücksichtigen, dass auch die excentrischen Strahlen eine bestimmte Ablenkung durch das Profil erleiden. Es handle sich beispielsweise um einen Schnitt normal zur Achse der Flamme, und es sei der in der Figur aus  $F$  beschriebene kleine Kreis die Aussenbegrenzung der letzteren. Offenbar müssen diejenigen Strahlen, welche die Curve  $BC$  unter den kleinsten Einfallswinkeln treffen, also gegen sie am steilsten einfallen, an der Curve noch total reflectirt werden und dürfen hier keine Brechung erleiden, weil sie sonst schon an der Fläche  $BC$  aus dem Prisma heraustreten und verloren gehen würden. Diese Strahlen sind diejenigen, welche in der Figur

\*) Wegen der excentrischen Strahlen vergl. weiter unten S. 207 und 208.

rechts von dem, von  $F$  ausgehend zu denkenden Strahl auf den betreffenden Punkt der Geraden  $BD$  fallen. Da es sich hier nur um die äussersten Strahlen des Winkels  $BFD$  handelt, so kann dieser Umstand nur für den Tangentialstrahl  $F_1B$  berücksichtigt werden. Geht man für diesen Strahl bei seinem Auffallen auf die Fläche  $BC$ , nachdem er zuvor bei  $B$  gebrochen ist, an die Grenze der totalen Reflection, lässt ihn also auf  $BO$  unter einem Winkel

$$\arcsin\left(\sin = \frac{1}{\mu}\right)$$

auffallen, bezeichnet man ferner den Winkel  $F_1BF$  mit  $\varepsilon$ , und die Ablenkung des Strahls  $F_1B$  in Folge seiner Brechung bei  $B$  mit  $\Delta$ , so muss folgende Gleichung stattfinden:

$$\pi - 2 \arcsin\left(\sin = \frac{1}{\mu}\right) + 2\Delta = \delta + 2\varepsilon,$$

also:

$$\Delta = \arcsin\left(\sin = \frac{1}{\mu}\right) + \varepsilon + \frac{\delta}{2} - \frac{\pi}{2}.$$

Die Richtigkeit dieser Gleichung ist aus Fig. 24, Taf. B, abzuleiten. Diese Figur soll dasjenige Profil  $ABK$  bezeichnen, welches zum Vorschein kommt, wenn man in Fig. 23, Taf. B, in  $B$  eine Tangente zieht und diese bis zu ihrem Schnittpunkt  $K$  auf der Linie  $AC$  verlängert. Die Strahlen  $FL$  und  $F_1L$  treffen die Fläche  $AB$  bei  $L$  unter den Einfallswinkeln  $\vartheta$  und  $\vartheta + \varepsilon_1$ , und werden dann bei  $M$  und  $M_1$  total reflectirt. Da der Strahl  $MP$  bei  $P$  unter einem Winkel  $\vartheta$  austritt, so muss die Normale  $MN$  Symmetrie-Achse sein für alle Winkel, die für den Strahl  $FL$  in Frage kommen; da ferner die Normale  $MN$  parallel ist zu der Normalen  $M_1N_1$ , so muss letztere für die Winkel des Strahls  $F_1L$  ebenfalls Symmetrie-Achse sein, und es muss daher auch der Austrittswinkel bei  $P_1$  gleich  $\vartheta + \varepsilon_1$  sein. Ist nun  $\Delta_1$  der Ablenkungswinkel des Strahls  $F_1L$  bei seiner Brechung in  $L$ , so erleidet derselbe Strahl bei seiner Brechung in  $P_1$  dieselbe Ablenkung  $\Delta_1$ . Ausserdem wird er durch totale Reflection um

$$\pi - LM_1P_1 = \pi - 2\gamma$$

abgelenkt, und es beträgt daher die totale Ablenkung dieses Strahls  $\pi - 2\gamma + 2\Delta_1$ . Aus der Figur erkennt man aber weiter, dass, wenn der Strahl  $FL$  eine Gesamtablenkung  $\delta_1$  erleidet, dann die Gesamtablenkung des Strahls  $F_1L$  gleich  $\delta_1 + 2\varepsilon_1$  sein muss, so dass man hat:

$$\pi - 2\gamma + 2\Delta_1 = \delta_1 + 2\varepsilon_1.$$

Geht man nun an die in Fig. 23 geforderte Grenze, d. h. rückt man den Punkt  $L$  nach  $B$ , so fallen zunächst  $M$  und  $M_1$  beide auch mit  $B$  zusammen; ferner wird dann:

$$\vartheta = \theta, \quad \varepsilon_1 = \varepsilon, \quad \Delta_1 = \Delta, \quad \delta_1 = \delta, \quad \gamma = \arcsin\left(\sin = \frac{1}{\mu}\right),$$

und so ergibt sich die geforderte Gleichung:

$$\Delta = \arcsin\left(\sin = \frac{1}{\mu}\right) + \varepsilon + \frac{\delta}{2} - \frac{\pi}{2}. *)$$

Practisch ist es rathsam, den Winkel  $\gamma$  um ein geringes Maass grösser zu machen, als

$$\arcsin\left(\sin = \frac{1}{\mu}\right);$$

der Winkel  $\Delta$  wird dann um dasselbe Maass grösser. Der Winkel  $\gamma$  erreicht seinen grössten Werth, wenn  $\mu$  seinen kleinsten Werth hat; da  $\Delta$  mit  $\gamma$  wächst und abnimmt, so ist für die Bestimmung von  $\Delta$  der Minimalwerth von  $\mu$ , für die äussersten rothen Strahlen des Spectrums, einzuführen.

Zugleich ergibt sich hier die Gleichung für Fig. 23:

$$\angle ABO = \angle \frac{BAC}{2} = \frac{A}{2}.$$

Ferner erkennt man, dass die excentrischen Strahlen zwischen  $FB$  und  $F_1B$  den Winkel  $\beta$  der austretenden Strahlen in einem Winkel  $\varepsilon$  verstärken, der sich unterhalb des Strahls  $EG$  an diesen Strahl anlegt und so den oberen Theil der Strahlen nach ihrem Durchgang durch den Punkt  $G$  überdeckt. Endlich erkennt man, dass, wenn in Fig. 23 der Punkt  $E$  dem Strahl  $FB$  entspricht, man das Profil nicht nach der Linie  $DE$ , sondern nach der Linie  $DE_1$  abschneiden muss, für welche sich die Länge  $AE_1$ , entsprechend  $AP_1$  in Fig. 24, so bestimmt: Fällt  $L$  mit  $B$ , also auch  $M_1$  mit  $B$  zusammen, so bildet  $BP_1$  mit  $AB$  einen spitzen Winkel

$$B + \gamma - \frac{\pi}{2} = B + \arcsin\left(\sin = \frac{1}{\mu}\right) - \frac{\pi}{2};$$

aus dem dann entstandenen Dreieck  $ABP_1$  findet man:

---

\*) Selbstverständlich ist die obige auf den Strahl  $F_1B$  bezügliche Untersuchung nur als ein Beispiel zu betrachten, und es bedarf daher nur kurz der Erwähnung, dass dieser Strahl hier allgemein die Stelle des entsprechenden äussersten Strahls der Flamme vertritt, natürlich in einer Ebene, die durch den Brennpunkt  $F$  und durch die Erzeugungs-Achse des Glaskörpers gelegt ist.

$$\begin{aligned}
 AP_1 &= AB \cdot \frac{\sin \left[ B + \arcsin \left( \sin = \frac{1}{\mu} \right) - \frac{\pi}{2} \right]}{\sin \left[ A + B + \arcsin \left( \sin = \frac{1}{\mu} \right) - \frac{\pi}{2} \right]}, \\
 &= AB \cdot \frac{\cos \left[ B + \arcsin \left( \sin = \frac{1}{\mu} \right) \right]}{\cos \left[ A + B + \arcsin \left( \sin = \frac{1}{\mu} \right) \right]}.
 \end{aligned}$$

Nachdem der Winkel  $\Delta$  gefunden ist, ergibt das Brechungsgesetz:

$$\sin(\theta + \varepsilon) = \mu \cdot \sin(\theta + \varepsilon - \Delta), \quad \text{oder:}$$

$$\operatorname{tg}(\theta + \varepsilon) = \frac{\mu \sin \Delta}{\mu \cos \Delta - 1},$$

aus welcher Gleichung der gesuchte Winkel  $\theta$ , also auch  $\frac{\pi}{2} - \theta$  und damit die Richtung der Geraden  $BA$  gegen  $BF$  folgt, so dass man  $BA$  ziehen kann, wenn man von vornherein  $B$  festgelegt hat; in der Regel wird Letzteres für  $D$  der Fall sein, auch dann kann man  $ADB$  ziehen und ferner  $DB$  berechnen, sobald  $FD = f$  gegeben ist.

Die Winkelsumme des Vierecks  $AEJB$  ergibt:

$$A + \left( \frac{\pi}{2} + \theta \right) + (\pi - \delta) + \left( \frac{\pi}{2} + \theta \right) = 2\pi,$$

also:

$$A = \delta - 2\theta.$$

Hieran reiht sich nun die Bestimmung der übrigen Elemente:

$$\angle ABE = \angle BEC - \angle BAC$$

$$= \frac{\pi}{2} - \varphi_2 - A,$$

$$\angle ACD = \angle BDC - \angle BAC$$

$$= \frac{\pi}{2} - \varphi_1 - A.$$

Der Strahl  $FB$  wird im Ganzen um einen Winkel  $\delta$  abgelenkt; hiervon kommt auf Rechnung der Brechung  $2(\theta - \varphi_2)$ , der Rest ist gleich:

$$2 \left( \frac{\pi}{2} - OBE \right),$$

so dass

$$\delta = A + 2\theta = 2(\theta - \varphi_2) + 2 \left( \frac{\pi}{2} - OBE \right),$$

also:

$$\angle OBE = \frac{\pi}{2} - \frac{A}{2} - \varphi_2.$$

Der Strahl  $FD$  wird im Ganzen um  $\delta - \alpha + \beta$  abgelenkt; hiervon kommt auf Rechnung der Brechung  $[(\theta - \alpha) - \varphi_1] + [(\theta + \beta) - \psi_1]$ , der Rest ist gleich

$$2\left(\frac{\pi}{2} - OCD\right),$$

so dass:

$$\delta - \alpha + \beta = A + 2\theta - \alpha + \beta = \theta - \alpha - \varphi_1 + \theta + \beta - \psi_1 + 2\left(\frac{\pi}{2} - OCD\right),$$

also:

$$\begin{aligned} \angle OCD &= \frac{\pi}{2} - \frac{A}{2} - \frac{\varphi_1 + \psi_1}{2}, \\ \angle ABO &= \angle OBE - \angle ABE \\ &= \frac{\pi}{2} - \frac{A}{2} - \varphi_2 - \left(\frac{\pi}{2} - \varphi_2 - A\right) = \frac{A}{2}, \end{aligned}$$

wie schon oben gefunden wurde.

$$\begin{aligned} \angle ACO &= \angle OCD - \angle ACD \\ &= \frac{\pi}{2} - \frac{A}{2} - \frac{\varphi_1 + \psi_1}{2} - \left(\frac{\pi}{2} - \varphi_1 - A\right) \\ &= \frac{A}{2} + \frac{\varphi_1}{2} - \frac{\psi_1}{2}, \end{aligned}$$

$$\angle BOC = \angle BAC - (\angle ABO + \angle ACO),$$

(indem man durch  $O$  eine Gerade  $OA$  zieht und diese über  $A$  hinaus verlängert), oder:

$$\begin{aligned} \angle BOC &= A - \left(\frac{A}{2} + \frac{A}{2} + \frac{\varphi_1}{2} - \frac{\psi_1}{2}\right) = \frac{\psi_1}{2} - \frac{\varphi_1}{2}, \\ \angle OBC &= \angle OCB = \frac{\pi}{2} - \frac{\angle BOC}{2} = \frac{\pi}{2} + \frac{\varphi_1}{4} - \frac{\psi_1}{4}. \end{aligned}$$

Demnach:

$$\begin{aligned} \angle ABC &= \angle OBC - \angle ABO \\ &= \left(\frac{\pi}{2} + \frac{\varphi_1}{4} - \frac{\psi_1}{4}\right) - \frac{A}{2} = \frac{\pi - A}{2} + \frac{\varphi_1 - \psi_1}{4}. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \angle ACB &= \angle OCB - \angle ACO \\ &= \frac{\pi}{2} + \frac{\varphi_1}{4} - \frac{\psi_1}{4} - \left(\frac{A}{2} + \frac{\varphi_1}{2} - \frac{\psi_1}{2}\right) \\ &= \frac{\pi - A}{2} - \frac{\varphi_1 - \psi_1}{4}, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \angle BCD &= \angle ACB - \angle ACD \\ &= \frac{\pi - A}{2} - \frac{\varphi_1 - \psi_1}{4} - \left(\frac{\pi}{2} - \varphi_1 - A\right) \\ &= \frac{1}{4}(2A + 3\varphi_1 + \psi_1), \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \angle CBE &= \angle ABC - \angle ABE \\
 &= \frac{\pi - A}{2} + \frac{\varphi_1 - \psi_1}{4} - \left( \frac{\pi}{2} - \varphi_2 - A \right) \\
 &= \frac{1}{4} (2A + 4\varphi_2 + \varphi_1 - \psi_1).
 \end{aligned}$$

Oben wurde bereits gefunden:

$$\angle ABE_1 = B + \arcsin \left( \sin = \frac{1}{\mu} \right) - \frac{\pi}{2} \dots \text{(Fig. 24);}$$

es ist:

$$\angle B = \angle ABK = \angle OBK - \angle ABO = \frac{\pi}{2} - \frac{A}{2} \dots \text{(Fig. 23),}$$

also:

$$\begin{aligned}
 \angle ABE_1 &= \frac{\pi}{2} - \frac{A}{2} + \arcsin \left( \sin = \frac{1}{\mu} \right) - \frac{\pi}{2} \\
 &= \arcsin \left( \sin = \frac{1}{\mu} \right) - \frac{A}{2}; \\
 \angle EBE_1 &= \angle ABE - \angle ABE_1 \\
 &= \frac{\pi}{2} - \varphi_2 - A - \left[ \arcsin \left( \sin = \frac{1}{\mu} \right) - \frac{A}{2} \right] \\
 &= \frac{\pi}{2} - \frac{A}{2} - \varphi_2 - \arcsin \left( \sin = \frac{1}{\mu} \right); \\
 \angle E_1EB &= \angle AEB = \pi - (\angle ABE + \angle BAC) \\
 &= \pi - \left( \frac{\pi}{2} - \varphi_2 - A + A \right) = \frac{\pi}{2} + \varphi_2,
 \end{aligned}$$

was übrigens auch Voraussetzung ist.

Jetzt sind alle Winkel, um die es sich handeln kann, bestimmt, und das Profil kann durch Rechnung oder Zeichnung ohne Weiteres festgelegt werden. Zunächst berechnet man  $\theta$ , dann bei gegebenem  $FE = f$  die Längen  $BC$  und  $CD$  aus Dreieck  $BCD$ , dann  $CE$  und  $BE$  aus Dreieck  $CBE$ , dann  $EE_1$  aus Dreieck  $EBE_1$ , endlich  $OB = OC = \rho$  aus Dreieck  $OBC$ . Damit ist das Profil bestimmt.

3) Die doppelt wirkenden Prismen (Fig. 71 und 71a, Taf. VIII).

Auf S. 64 und 65 im Text ist erklärt, wie man die in Fig. 71, Taf. VIII, skizzierten Prismen benutzen kann, um die von zwei verschiedenen Holophoten ausgehenden parallelisirten Strahlen über einen bestimmten Horizontalwinkel zu zerstreuen. Dieser Horizontalwinkel ist gleich der Summe der beiden Winkel, die von

den beiden getrennten Holophoten Licht empfangen. Sollen diese beiden Winkel wirklich an einander anschliessen, also zusammen einen einzigen Winkel bilden, so ist es nöthig, dass einer der beiden äussersten Strahlen, die von je einem Holophot durch ein solches Prisma gehen, nach seinem Austritt normal stehe auf der geraden Fläche der Prismen, auf welche die parallelen Strahlen auffallen. Welcher von den beiden äussersten Strahlen normal zur Eintrittsfläche aus dem Prisma herauskömmt, ist an und für sich gleichgültig; ist es der an der vordern Spitze des Prismas austretende Strahl, so hat man nur so zu disponiren, dass der andere Strahl von dem Nachbarprisma frei gehe; ist dies nicht möglich, so muss man die Wahl umkehren. In letzterer Weise sind die Fig. 71 und 71a zu verstehen. Um indess gleich beide Fälle zu treffen, habe ich im Nachfolgenden angenommen, dass beide äussersten Strahlen unter den Winkeln  $\lambda_1$ , resp.  $\lambda_2$  gegen die Normale der Eintrittsfläche geneigt austreten. Ferner habe ich angenommen, dass das zu berechnende Prisma  $ABC$  (Fig. 25, Taf. B) symmetrisch zur Normalen  $AE$  geformt sei; diese Annahme setzt voraus, dass jedes Holophot die Hälfte des ganzen zu beleuchtenden Winkels mit Licht versorge. Liegt eine andere Bedingung vor, so führt die etwas complicirtere Rechnung, deren Durchführung ich dem Leser überlasse, zu einem zur Linie  $AE$  unsymmetrischen Profil.

Für die Untersuchung sollen die folgenden vier Grössen gegeben sein: die Maximaldicke  $AE = d$ , die Winkel  $\lambda_1$  und  $\lambda_2$ , und der Brechungscoefficient  $\mu$  des Glases. Der Bogen  $AB$  soll ein aus dem Mittelpunkt  $O$  beschriebener Kreisbogen sein. Als Unbekannte treten dann folgende elf Grössen auf:  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma_1$ ,  $\delta_1$ ,  $\gamma_2$ ,  $\delta_2$ ,  $h$ ,  $S$ ,  $\rho$ ,  $a$  und  $b$ ; es bezeichnen:  $\alpha$  den Eintrittswinkel und  $\beta$  den Brechungswinkel der von den Holophoten kommenden parallelen Strahlen;  $\gamma_1$  und  $\delta_1$ , resp.  $\gamma_2$  und  $\delta_2$ , den innern Einfallswinkel und Brechungswinkel der Strahlen für die beiden Punkte  $A$  resp.  $B$  auf dem Bogen  $BC$ ;  $h = BE = EC$  die halbe Länge der Vorderseite des Profils; die übrigen Bezeichnungen sind ohne Weiteres klar. Zur Bestimmung der genannten elf Unbekannten sind elf Gleichungen nöthig, die sich wie folgt finden:

$$1) \sin \alpha = \mu \sin \beta.$$

Allgemein hat man:

$$\text{und} \quad \sin \delta = \mu \sin \gamma,$$

$$\delta + \lambda = \beta + \gamma.$$

Diese Gleichungen, für die Punkte  $A$  und  $B$  angewendet, erhält man:

- 2)  $\sin \delta_1 = \mu \sin \gamma_1$ ;
- 3)  $\sin \delta_2 = \mu \sin \gamma_2$ ;
- 4)  $\delta_1 + \lambda_1 = \beta + \gamma_1$ ;
- 5)  $\delta_2 + \lambda_2 = \beta + \gamma_2$ .

Ferner:

$$\angle OBA = \frac{\pi}{2} - \frac{\delta_2 + \lambda_2 - (\delta_1 + \lambda_1)}{2},$$

$$\angle OBC = \frac{\pi}{2} - (\delta_2 + \lambda_2),$$

also:

$$\angle CBA = \angle OBA - \angle OBC = \frac{\delta_1 + \delta_2 + \lambda_1 + \lambda_2}{2}.$$

Ausserdem ist auch:

$$\angle CBA = \angle ACB = \frac{\pi}{2} - \beta,$$

so dass

$$6) \frac{\pi}{2} - \beta = \frac{\delta_1 + \delta_2 + \lambda_1 + \lambda_2}{2}.$$

Ferner:

$$CE = BE = AE \cdot \operatorname{tg} \widehat{CAE},$$

oder:

$$7) h = d \cdot \operatorname{tg} \beta.$$

$$BA = CA = AE \cdot \frac{1}{\cos \widehat{CAE}},$$

oder:

$$8) S = \frac{d}{\cos \beta}.$$

Ferner:

$$OA = OB = \frac{AB}{2} \cdot \frac{1}{\sin \frac{AOB}{2}},$$

oder:

$$9) \rho = \frac{S}{2} \cdot \frac{1}{\sin \left( \frac{\delta_2 + \lambda_2 - (\delta_1 + \lambda_1)}{2} \right)}.$$

Ferner:

$$BD = OB \cdot \sin \widehat{BOD},$$

$$OD = OB \cdot \cos \widehat{BOD},$$

oder:

$$10) a = \rho \cdot \sin (\delta_2 + \lambda_2);$$

$$11) b = \rho \cdot \cos (\delta_2 + \lambda_2).$$



Von diesen elf Gleichungen enthalten Nummer 2) bis 6) nur die fünf Unbekannten:  $\beta$ ,  $\gamma_1$ ,  $\delta_1$ ,  $\gamma_2$  und  $\delta_2$ ; diese fünf Grössen müssen zunächst bestimmt werden.

Addirt man die Gleichungen (4) und (5) und vergleicht die Summengleichung mit Gleichung (6), nachdem diese mit zwei multiplicirt ist, so erhält man die von  $\delta_1$  und  $\delta_2$  freie Gleichung:

$$\pi - 2\beta = 2\beta + \gamma_1 + \gamma_2, \quad \text{oder:}$$

$$\beta = \frac{\pi}{4} - \frac{\gamma_1 + \gamma_2}{4} \dots \dots \dots (12)$$

Substituirt man aus den Gleichungen (4) und (5) die Werthe von  $\delta_1$  und  $\delta_2$  in die Gleichungen (2) und (3), so erhält man:

$$\sin [\gamma_1 + (\beta - \lambda_1)] = \mu \sin \gamma_1 \dots \dots \dots (13)$$

$$\sin [\gamma_2 + (\beta - \lambda_2)] = \mu \sin \gamma_2 \dots \dots \dots (14)$$

Aus diesen Gleichungen ergeben sich, wenn man sie nach  $\gamma_1$  und  $\gamma_2$  auflöst, die Beziehungen:

$$\text{tg } \gamma_1 = \frac{\sin (\beta - \lambda_1)}{\mu - \cos (\beta - \lambda_1)} \dots \dots \dots (13a)$$

$$\text{tg } \gamma_2 = \frac{\sin (\beta - \lambda_2)}{\mu - \cos (\beta - \lambda_2)} \dots \dots \dots (14a)$$

Will man nun durch Rechnung weiter gehen, so hat man in die Gleichungen (13a) und (14a) so lange verschiedene Werthe von  $\beta$  einzuführen, bis die entsprechenden Werthe von  $\gamma_1$  und  $\gamma_2$  der Gleichung (12) genügen; sobald dies der Fall ist, sind  $\beta$ ,  $\gamma_1$  und  $\gamma_2$  gefunden. Dabei kann man beachten, dass nach Gleichung (13) und (14) der Winkel  $\beta$  grösser sein muss, als der grösste der beiden Winkel  $\lambda_1$  und  $\lambda_2$ .

Durch Zeichnung findet man für einen bestimmten Werth von  $\beta$ , in Rücksicht auf die Gleichungen (13) und (14), die correspondirenden Werthe von  $\gamma_1$  und  $\gamma_2$  nach der in der Anmerkung auf S. 169 angegebenen Methode (vergl. Fig. 6, Taf. A). Man gebe nun  $\beta$  verschiedene Werthe, construire die zugehörigen Werthe von  $\gamma_1$  und  $\gamma_2$ , und zeichne dann im rechtwinkligen Coordinatensystem eine Curve, deren Abscissen die Bögen  $k - \beta$ , deren Ordinaten die Bögen

$$k \left( \frac{\pi}{4} - \frac{\gamma_1 + \gamma_2}{4} \right)$$

sind, wo  $k$  eine beliebige Länge ist. Zieht man durch den Coordinaten-Anfang eine Gerade, die unter  $45^\circ$  gegen die positive X-Achse geneigt ist, so muss nach Gleichung (12) der Schnitt-

punkt dieser Geraden mit der gezeichneten Curve eine solche Abscisse,  $k \cdot \beta$ , haben, dass dieses  $\beta$  den gesuchten Brechungswinkel der einfallenden Strahlen repräsentirt. Aus  $\beta$  findet man auf Grundlage der Gleichungen (13), (14), (2), (3) und (1), immer nach der auf S. 169 angegebenen Methode, die geforderten Werthe von  $\gamma_1$ ,  $\gamma_2$ ,  $\delta_1$ ,  $\delta_2$  und  $\alpha$ . Sowohl für die Rechnung, wie für die Zeichnung sind keine Schwierigkeiten mehr vorhanden, sobald der Winkel  $\beta$  gefunden ist.

Soll der bei  $B$  einfallende äusserste Strahl normal zur Vorderfläche  $BC$  austreten, so hat man nur  $\lambda_2 = 0$  zu setzen; ebenso könnte  $\lambda_1 = 0$  werden. — Falls die Ecken des Profils bei  $B$  und  $C$  zu scharf ausfielen und daher gebrochen werden müssten, könnte man ohne weitere neue Rechnung die für diese Ecken geforderte Minimaldicke links von der Fläche  $BC$  hinzufügen.

4) Die Profile des sphärischen dioptrischen Reflectors (Fig. 15 und 16, Taf. II).

Auf S. 25 bis 27 im Text ist mit Bezugnahme auf die beiden Figuren 15 und 16 ausführlich erörtert, wie man die sphärischen Oberflächen-Reflectoren aus Metall oder versilbertem Glas ersetzen kann durch dioptrische Glas-Apparate, die in vollkommener Weise mittelst totaler Reflection zu demselben Ziele führen, welches man durch jene Reflectoren erreicht. Was dort an Fig. 16 erklärt wurde, und namentlich die Behauptung, dass die äusseren Begrenzungslinien der fraglichen Profile streng genommen Parabelbögen mit einem gemeinschaftlichen Brennpunkt sein müssen, das ergibt sich noch etwas klarer aus Fig. 26, Taf. B. Zwei Parabeln  $MJM_1$  und  $NJ_1N_1$ , die beide einen und denselben Brennpunkt  $F$  und denselben Parameter  $FA = p$  haben, sind so auf einander gelegt, dass ihre Achsen in dieselbe Gerade fallen, aber entgegengesetzt gerichtet sind, so dass der Abstand der beiden Scheitel  $J$  und  $J_1$  gleich  $p$  wird. Das Profil  $BACDE$  wird begrenzt durch die beiden gleichen und congruenten Parabelbögen  $AB$  und  $AC$ , die jeder einzeln einem Winkel  $\frac{\psi}{2}$  am Brennpunkt  $F$  entsprechen — das äusserte zulässige Maass für  $\psi$  erfordert eine besondere Bestimmung —, ferner durch die beiden nach dem Brennpunkt  $F$  gerichteten Geraden  $BE$  und  $CD$ , und durch den aus  $F$  mit  $FD = FE$  beschriebenen Kreisbogen  $DE$ .

In der Ausführung ersetzt man natürlich auch hier die theoretischen Parabelbögen durch Kreisbögen; es sind jetzt die letzteren festzulegen, und ausserdem ist das zulässige Maximalmaass des Winkels  $\psi$  zu bestimmen. Zunächst soll für den Kreisbogen die Annahme gemacht werden, dass er für den Parabelbogen, für den jetzt  $p$  und auch schon der Winkel  $\psi$  als bekannt zu denken sind, in einem bestimmten Punkte desselben Krümmungskreis sein solle. Ist in Fig. 27, Taf. B der Punkt  $M$  dieser Punkt, und ist der Winkel  $AFM = \gamma$ , so findet man die Coordinaten  $x_1$  und  $y_1$  von  $M$  wie folgt: Nach der Parabelgleichung ist

$$y_1^2 = 2p \cdot x_1.$$

Ferner:

$$\overline{FM}^2 = \overline{FP}^2 + \overline{PM}^2,$$

oder:

$$\overline{FM}^2 = \left(\frac{p}{2} - x_1\right)^2 + y_1^2 = \left(\frac{p}{2} - x_1\right)^2 + 2px_1 = \left(\frac{p}{2} + x_1\right)^2,$$

also:

$$\overline{FM} = \frac{p}{2} + x_1.$$

Nun ist:

$$\sin \gamma = \frac{\overline{FP}}{\overline{FM}} = \frac{\frac{p}{2} - x_1}{\frac{p}{2} + x_1},$$

und indem man diese Gleichung nach  $x_1$  auflöst:

$$\begin{aligned} x_1 &= \frac{p}{2} \cdot \frac{1 - \sin \gamma}{1 + \sin \gamma} = \frac{p}{2} \cdot \frac{1 - \sin \gamma}{1 + \sin \gamma} \cdot \frac{1 - \sin \gamma}{1 - \sin \gamma} \\ &= \frac{p}{2} \left( \frac{1 - \sin \gamma}{\cos \gamma} \right)^2. \end{aligned}$$

Demnach

$$y_1^2 = 2p \cdot x_1 = p^2 \left( \frac{1 - \sin \gamma}{\cos \gamma} \right)^2,$$

also:

$$y_1 = p \cdot \frac{1 - \sin \gamma}{\cos \gamma}.$$

Damit sind die Coordinaten  $x_1$  und  $y_1$  des Punktes  $M$  als Functionen von  $\gamma$  (und  $p$ ) gefunden, und man kann nun weiter für den Punkt  $M$  den Krümmungshalbmesser  $\rho$ , und die Coordinaten  $a$  und  $b$  des Mittelpunkts  $O$  des Krümmungskreises bestimmen.

Die allgemeinen Formeln für  $\rho$ ,  $a$  und  $b$  sind bekanntlich folgende:

$$\rho = \pm \frac{\left[1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2\right]^{\frac{3}{2}}}{\frac{d^2y}{dx^2}},$$

$$a = x - \frac{1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2}{\frac{d^2y}{dx^2}} \cdot \frac{dy}{dx},$$

$$b = y + \frac{1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2}{\frac{d^2y}{dx^2}}.$$

Für die Parabel:  $y^2 = 2px$  ist:

$$\frac{dy}{dx} = \frac{p}{y},$$

$$\frac{d^2y}{dx^2} = -\frac{p^2}{y^3}.$$

Werden diese Werthe eingesetzt, so erhält man nach einigen Umformungen:

$$\rho = \frac{(p^2 + y^2)^{\frac{3}{2}}}{p^2},$$

$$a = p + 3x,$$

$$b = -\frac{y^3}{p^2}.$$

(Für  $\rho$  kommt nur das obere Vorzeichen  $+$  in Betracht.) — Werden in diese Ausdrücke statt  $x$  und  $y$  die oben für  $x_1$  und  $y_1$  gefundenen Werthe substituirt, so ist damit die Aufgabe gelöst. Um die Formeln für logarithmische Rechnung bequem zu gestalten, kann man setzen:

$$1 - \sin \eta = 1 - \cos 2\varphi = 2 \sin^2 \varphi,$$

so dass also:

$$\eta + 2\varphi = \frac{\pi}{2},$$

also:

$$\varphi = \frac{\pi}{4} - \frac{\eta}{2}$$

wird. Man erhält dann:

$$x_1 = \frac{p}{2} \left( \frac{1 - \sin \eta}{\cos \eta} \right)^2 = 2p \cdot \left( \frac{\sin^2 \varphi}{\cos \eta} \right)^2,$$

$$y_1 = p \cdot \frac{1 - \sin \eta}{\cos \eta} = 2p \cdot \frac{\sin^2 \varphi}{\cos \eta},$$

$$\rho = 2^{\frac{3}{2}} \cdot p \cdot \frac{(1 - \sin \eta)^{\frac{3}{2}}}{\cos^3 \eta} = 8p \left( \frac{\sin \varphi}{\cos \eta} \right)^3,$$

$$a = p + \frac{3}{2} p \left( \frac{1 - \sin \eta}{\cos \eta} \right)^2 = p \left[ 1 + 6 \left( \frac{\sin^2 \varphi}{\cos \eta} \right)^2 \right],$$

$$b = -p \left( \frac{1 - \sin \eta}{\cos \eta} \right)^3 = -8p \left( \frac{\sin^2 \varphi}{\cos \eta} \right)^3.$$

Da die Achse  $OY$  völlig ausserhalb des Profils und ausserhalb der Lichtquelle liegt, so ist es bequemer, die Mittelpunkts-Coordinaten auf das Achsensystem  $FA$ ,  $FX$  zu beziehen; bezeichnet man dann die Abscisse des Mittelpunkts mit  $a_1$ , so dass  $FK = a_1$ , so wird:

$$a_1 = p + 3x - \frac{p}{2} = \frac{p}{2} + 3x$$

$$= \frac{p}{2} + \frac{3}{2} p \left( \frac{1 - \sin \eta}{\cos \eta} \right)^2 = p \left[ \frac{1}{2} + 6 \left( \frac{\sin^2 \varphi}{\cos \eta} \right)^2 \right];$$

$b$  bleibt ungeändert.

Am rationellsten scheint es mir bei Anwendung der vorstehenden Formeln zu sein, wenn man den in Fig. 27 mit  $\eta$  bezeichneten Winkel gleich  $\frac{\psi}{4}$  in Fig. 26 setzt, so dass  $\varphi = \frac{2\pi - \psi}{8}$  wird; dann wird der mittlere, für einen einzelnen Parabelbogen in Frage kommende Strahl mathematisch richtig abgelenkt und damit die Maximalabweichung von dem theoretischen Profil wenigstens angenähert, vielleicht strenge, zum Minimum, was sich durch eine bezügliche Untersuchung nachweisen liesse. Die Rechnung selbst hat für diese Annahme keine Schwierigkeit.

Eine andere Annahme, die der Rechnung nach zu einer etwas grösseren Abweichung von der theoretischen Curve führt, obwohl auch hier diese Abweichung noch innerhalb der Fehlergrenzen der practischen Ausführung liegt, ist die, dass man den Krümmungskreis im Punkt  $A$  tangiren lässt, also  $\eta = 0$  setzt. Dann wird:

$$x_1 = \frac{p}{2}; \quad y_1 = p;$$

$$\rho = 2^{\frac{3}{2}} p = 2\sqrt{2} p = 2,82843 p;$$

$$a = \frac{5}{2} p, \text{ also: } a_1 = 2p;$$

$$b = -\bar{p}.$$

Jetzt sind noch die Coordinaten derjenigen Punkte zu berechnen, welche an die Stelle der Punkte  $A$ ,  $B$  und  $C$  des theo-

retischen Profils in Fig. 26 treten. Diese Aufgabe lässt sich gleich allgemein lösen, indem man für einen Punkt  $R$  (Fig. 28, Taf. B), der einem Winkel  $AFR = \lambda$  entspricht, die Coordinaten  $u$  und  $v$  bestimmt:

Im Dreieck  $OSR$  ist

$$\overline{OS^2} + \overline{SR^2} = \overline{OR^2}, \quad \text{oder:} \\ (a_1 + u)^2 + (b + v)^2 = \rho^2.$$

Im Dreieck  $FQR$  ist ferner:

$$\frac{u}{v} = \text{tg } \lambda.$$

Aus diesen beiden Gleichungen ergeben sich nach einigen Reductionen die folgenden Werthe von  $u$  und  $v$ :

$$u = \left\{ \begin{array}{l} -(a_1 \sin \lambda + b \cos \lambda) \\ + \sqrt{[\rho + (a_1 \cos \lambda + b \sin \lambda)][\rho - (a_1 \cos \lambda + b \sin \lambda)]} \end{array} \right\} \sin \lambda, \\ v = \left\{ \begin{array}{l} -(a_1 \sin \lambda + b \cos \lambda) \\ + \sqrt{[\rho + (a_1 \cos \lambda + b \sin \lambda)][\rho - (a_1 \cos \lambda + b \sin \lambda)]} \end{array} \right\} \cos \lambda.$$

Für den Punkt  $A$  (Fig. 26) erhält man, da hierfür  $\lambda = 0$  ist:  $u = 0$ ;  $v = -b + \sqrt{\rho^2 - a_1^2}$ ; der letztere Werth ist immer etwas kleiner als  $p$ , so lange  $\eta > 0$ , also auch für  $\eta = \frac{\psi}{4}$ ; er wird gleich  $p$  für  $\eta = 0$ . Für die Punkte  $B$  und  $C$  (Fig. 26) sind die Werthe von  $u$  gleich, aber haben entgegengesetztes Vorzeichen, während die Werthe von  $v$  identisch sind; man erhält beide, indem man in den vorstehenden Formeln  $\lambda = \frac{\psi}{2}$  setzt.

Für die graphische Behandlung der vorliegenden Aufgabe mag es genügen, daran zu erinnern, dass, wenn der Punkt  $M$  (Fig. 27) ein Punkt der Parabel  $y^2 = 2px$  ist, dann für diesen Punkt die Subtangente  $= 2x_1$ , die Subnormale  $PV = p$  ist; darnach kann man die Normale  $MO$  für den Punkt  $M$  ziehen. Zieht man nun weiter  $VW$  normal zu  $MO$  bis zum Durchschnittspunkt  $W$  auf der (verlängerten)  $MF$ , und ferner  $WO$  normal zu  $MW$  bis zum Schnittpunkt  $O$  mit der Normalen  $MO$ , so ist  $O$  der Mittelpunkt des Krümmungskreises für den Punkt  $M$ . (Es ist

$$\overline{FM} = \frac{p}{2} + x_1; \quad \overline{FV} = p - \left(\frac{p}{2} - x\right) = \frac{p}{2} + x_1;$$

demnach ist das Dreieck  $FMV$  gleichschenkelig, also:

$$\cos \widehat{FMV} = \frac{\overline{MV}}{2\left(\frac{p}{2} + x_1\right)} = \frac{\overline{MV}}{p + 2x_1} = \frac{\sqrt{p^2 + y_1^2}}{p + 2x_1}.$$

Ferner ist:

$$\begin{aligned} \overline{MO} &= \frac{\overline{MW}}{\cos \overline{FMV}} = \frac{\overline{MV}}{\cos^2 \overline{FMV}} = \sqrt{p^2 + y_1^2} \cdot \frac{(p + 2x_1)^2}{p^2 + y_1^2} \\ &= \frac{(p^2 + 2px_1)^2}{p^2 \sqrt{p^2 + y_1^2}} = \frac{(p^2 + y_1^2)^{\frac{3}{2}}}{p^2}; \end{aligned}$$

dies ist derselbe Werth, der oben für  $\rho$  gefunden wurde.)

Statt die Parabelbögen des theoretischen Profils durch Berührungskreise dieser Bögen zu ersetzen, kann man auch solche Kreise einführen, die den äussersten Strahlen  $FA$ ,  $FB$  und  $FC$  (Fig. 26) eine mathematisch richtige Ablenkung sichern. Derartige Kreise werden in folgender Weise festgelegt: Der Strahl  $FM$  (Fig. 27) wird in  $M$  total reflectirt nach der Richtung  $MN$ , darum ist  $\sphericalangle FMO = \sphericalangle OMN$ , und da beide Winkel zusammen  $= \frac{\pi}{2} - \eta$  sind, so ist jeder einzelne  $= \frac{\pi}{4} - \frac{\eta}{2}$ ; es bleibt also für den Winkel zwischen der Tangente in  $M$  und dem Strahl  $FM$  übrig  $\frac{\pi}{4} + \frac{\eta}{2}$ , und da ausserdem  $\sphericalangle MFJ = \frac{\pi}{2} - \eta$  ist, so muss der Winkel der Tangente mit der  $X$ -Achse  $= \frac{\pi}{4} + \frac{\eta}{2}$  sein. Dieser Winkel wird für die Punkte  $A$  und  $B$ , Fig. 26, resp. zu  $\frac{\pi}{4}$  und  $\frac{\pi}{4} + \frac{\psi}{4}$ , da für diese Punkte  $\eta = 0$ , resp.  $= \frac{\psi}{2}$  ist. Nun ist klar, dass, wenn die Strahlen  $FA$  und  $FB$  richtig reflectirt werden sollen, die Tangenten an den Kreis in den Punkten  $A$  und  $B$  mit der  $X$ -Achse die eben genannten Winkel bilden müssen, und daraus ergibt sich für die Bestimmung des Kreises die in Fig. 29, Taf. C, gezeichnete Disposition, für welche man leicht die Richtigkeit der eingeschriebenen Winkelmaasse erkennt. Aus Dreieck  $ABF$ , in welchem  $AF = p$  oder  $BF = d$  als gegebene Länge anzusehen ist, und in welchem  $AB = s$  gesetzt ist, hat man dann:

$$\begin{aligned} s &= p \cdot \frac{\sin \frac{\psi}{2}}{\sin \left( \frac{3}{4} \pi - \frac{3}{8} \psi \right)} = p \cdot \frac{\sin \frac{\psi}{2}}{\cos \left( \frac{\pi}{4} - \frac{3}{8} \psi \right)} \\ &= d \cdot \frac{\sin \frac{\psi}{2}}{\sin \left( \frac{\pi}{4} - \frac{\psi}{8} \right)}; \end{aligned}$$

$$d = p \cdot \frac{\sin\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\psi}{8}\right)}{\cos\left(\frac{\pi}{4} - \frac{3}{8}\psi\right)}.$$

Ferner aus Dreieck  $AOB$ :

$$AO = BO = \rho = \frac{s}{2 \sin \frac{AOB}{2}} = \frac{s}{2 \sin \frac{\psi}{8}}.$$

Ferner hat man leicht:

$$FK = a_1 = \rho \cdot \sin \frac{\pi}{4},$$

$$\begin{aligned} OK = b &= -\left(\rho \cdot \cos \frac{\pi}{4} - p\right) \\ &= -\left[\rho \cdot \cos\left(\frac{\pi}{4} + \frac{\psi}{4}\right) - d \cdot \cos \frac{\psi}{2}\right]. \end{aligned}$$

Für Punkt  $B$ :

$$u = d \cdot \sin \frac{\psi}{2},$$

$$v = d \cdot \cos \frac{\psi}{2}.$$

Damit ist die Aufgabe durch Rechnung gelöst; die Zeichnung derselben ist jetzt ohne Weiteres möglich.

Selbstverständlich sind die Radien und Mittelpunkts-Coordinaten der Kreisbögen, durch welche man die Parabeln ersetzen kann, verschieden, je nachdem man die eine oder die andere der hier behandelten Annahmen einführt; procentisch sind aber die Unterschiede der Resultate so gering, und letztere weichen so wenig von den theoretisch verlangten Resultaten ab, dass es, namentlich bei der durch die Dimensionen der Flamme bedingten Divergenz, meistens ziemlich gleichgültig sein wird, welche Annahme man der Rechnung zu Grunde legt.

Es soll jetzt das zulässige Maximalmaass des Winkels  $BFC = \psi$  (Fig. 26, Taf. B), welches einem einzigen Profil entspricht, bestimmt werden. Diese Bestimmung muss mit Berücksichtigung der von der Flamme ausgehenden excentrischen Strahlen erfolgen, und die Bedingung, die zu erfüllen ist, ist die, dass für alle Strahlen die totale Reflection an den Flächen  $AB$  und  $AC$  gesichert sein muss, dass also die Strahlen an diesen Flächen nicht gebrochen werden und verloren gehen. Nach Seite 187 hängt die Möglichkeit, resp. Nothwendigkeit der totalen Reflection für irgend einen Strahl ab von



der Grösse des innern Einfallswinkels dieses Strahles, insofern der sinus dieses Winkels  $\geq \frac{1}{\mu}$  sein muss, wo das obere Zeichen für die Grenze der Reflection gilt. Es ist also zunächst der kleinste innere Einfallswinkel zu bestimmen. Für die von  $F$  ausgehenden centralen Strahlen wird dieser Winkel zum Minimum, wenn der Winkel  $\eta$  (Fig. 27) sein Maximum erreicht, d. i. für  $\eta = \frac{\psi}{2}$ , und zwar wird er dann  $= \frac{\pi}{4} - \frac{\psi}{4}$ , für die Punkte  $B$  und  $C$  in Fig. 26, Taf. B, und Fig. 30, Taf. C. Für den Punkt  $B$  beispielsweise ist nun weiter leicht ersichtlich, dass der Einfallswinkel für alle Strahlen, die von den Theilen der Flamme, welche nicht mit  $B$  auf derselben Seite der Centralen  $FA$  liegen, kleiner wird, als der eben angegebene Werth. Handelt es sich nun einfach um einen normalen Querschnitt der Flamme, so folgt hieraus weiter, dass derjenige Lichtstrahl, dessen Weg durch die Linien  $F_1K$  und  $KB$  angegeben wird, der in  $F_1$  den Querschnittskreis der Flamme berührt und in  $K$  gebrochen wird, den absolut kleinsten Einfallswinkel haben muss. Liegt  $G$  in der Verlängerung von  $BD$ , und ist  $BH$  die Normale für den Punkt  $B$ , so muss demnach sein:

$$\sin \widehat{GBH} \geq \frac{1}{\mu}.$$

Den Winkel  $GBH$  findet man so:

$$\sin \widehat{FKF}_1 = \frac{d}{r}.$$

$FK$  steht normal auf dem Bogen  $ED$ , daher:

$$\sin \widehat{FKG} = \frac{1}{\mu} \sin \widehat{FKF}_1 = \frac{d}{\mu \cdot r}.$$

Ferner ist im Dreieck  $FBK$ :

$$\frac{\sin \widehat{FBG}}{\sin \widehat{FKG}} = \frac{FK}{FB} = \frac{r}{e+r},$$

oder, indem man für  $\sin \widehat{FKG}$  den bereits gefundenen Werth einführt:

$$\sin \widehat{FBG} = \frac{d}{\mu \cdot r} \cdot \frac{r}{e+r} = \frac{d}{\mu(e+r)},$$

also:

$$\angle FBG = \arcsin \left( \sin = \frac{d}{\mu(e+r)} \right).$$

Da nun

$$\angle FBH = \frac{\pi}{4} - \frac{\psi}{4}$$

ist, so ist der gesuchte Einfallswinkel

$$< GBH = \frac{\pi}{4} - \frac{\psi}{4} - \arcsin\left(\sin = \frac{d}{\mu(e+r)}\right),$$

und man erhält demnach für den Winkel  $\psi$  die Bedingung.

$$\frac{\pi}{4} - \frac{\psi}{4} - \arcsin\left(\sin = \frac{d}{\mu(e+r)}\right) \geq \arcsin\left(\sin = \frac{1}{\mu}\right),$$

oder:

$$\psi \leq \pi - 4 \left\{ \arcsin\left(\sin = \frac{1}{\mu}\right) + \arcsin\left(\sin = \frac{d}{\mu(e+r)}\right) \right\}.$$

Vernachlässigt man rechts die kleine Grösse  $e^*$ , die Minimalstärke oder Randstärke des Profils, so wird der Klammerausdruck grösser, also die ganze rechte Seite kleiner, also auch die Grenze für  $\psi$  ein wenig enger gezogen; will man dies zulassen, so erhält man die etwas bequemere Formel:

$$\psi \leq \pi - 4 \left\{ \arcsin\left(\sin = \frac{1}{\mu}\right) + \arcsin\left(\sin = \frac{d}{\mu \cdot r}\right) \right\}.$$

Das oberste Zeichen giebt die äusserste zulässige Grenze an, von der man sich aber besser etwas entfernt hält. Betrachtet man  $\mu$  als variabel, so erkennt man aus den gefundenen Formeln, dass  $\psi$  gleichzeitig mit  $\mu$  seinen kleinsten Werth erreicht: darum ist für  $\mu$  derjenige Werth einzuführen, der den äussersten rothen, d. i. den am wenigsten brechbaren Strahlen des Spectrums entspricht.\*\*)

Ausser dem Umstande, dass der zulässige Werth von  $\psi$  mit wachsendem  $d$  ab-, dagegen mit wachsendem  $\mu$  und  $r$  zunimmt (vergl. Text Seite 26 und 27), verdient noch Folgendes Beachtung: Werden zwei verschiedene Brechungs-Coefficienten mit  $\mu_0$  und  $\mu_1$  bezeichnet, und wird der erstere, als für die äussersten rothen Strahlen geltend, bei der Bestimmung von  $\psi$  zu Grunde gelegt, so kann man zunächst allgemein setzen:

$$\frac{\psi}{4} = \frac{\pi}{4} - \left\{ \arcsin\left(\sin = \frac{1}{\mu_0}\right) + \arcsin\left(\sin = \frac{d}{\mu_0 \cdot r}\right) \right\} - \delta,$$

wobei  $\delta = 0$  wird, wenn man in den obigen Formeln das Gleichzeichen wählt; und ferner:

$$< GBH = \frac{\pi}{4} - \frac{\psi}{4} - \arcsin\left(\sin = \frac{d}{\mu_1 \cdot r}\right),$$

\*) Practisch macht man  $e$  so klein wie möglich, wegen der Absorption; doch muss die Linie  $BC$  freigehen von dem Bogen  $ED$ , daher die Bedingung:

$$(r + e) \cos \frac{\psi}{2} \geq r.$$

\*\*) Siehe Anmerkung Seite 207.

für den betreffenden Strahl  $F_1KB$ , der dem Coefficienten  $\mu_1$  entspricht. Dieser letztere Strahl wird in  $B$  total reflectirt, so lange

$$\langle GBH \rangle \text{ arc} \left( \sin = \frac{1}{\mu_1} \right)$$

ist, oder in Rücksicht auf vorstehende Gleichungen, so lange

$$\text{arc} \left( \sin = \frac{1}{\mu_0} \right) + \text{arc} \left( \sin = \frac{d}{\mu_0 \cdot r} \right) + \delta - \text{arc} \left( \sin = \frac{d}{\mu_1 \cdot r} \right) \\ > \text{arc} \left( \sin = \frac{1}{\mu_1} \right).$$

Ist  $\mu_1 < \mu_0$ , so ist diese Ungleichung unbedingt nicht erfüllt, wenn  $\delta = 0$  ist, und auch nicht für solche Werthe von  $\delta$ , die einen bestimmten Werth nicht überschreiten. Nun giebt es aber wirklich Strahlen, deren Brechungs-Coefficient  $\mu_1$  kleiner ist als das  $\mu_0$  der extremen rothen Strahlen, das sind die ultra-rothen, nicht leuchtenden Wärmestrahlen des Spectrums, die bekanntlich zum grössten Theil am rothen Ende des Spectrums ausserhalb der Farben des letzteren liegen. Daher folgt weiter, dass, wenn der Winkel  $\psi$  nach den entwickelten Regeln bestimmt wird, an den Ecken  $B$  und  $C$  des Profils und weiter auch noch für bestimmte Strecken der Bögen  $BA$  und  $CA$  der grösste Theil der auffallenden Wärmestrahlen nicht total reflectirt werden kann, sondern nach erfolgter Brechung aus dem Profil heraustreten muss. Diese Wärmestrahlen gehen also nicht zurück in die Nähe von  $F$ , erhitzen hier also auch Docht und Oel nicht unnöthig, und es liegt hierin ein sehr willkommener Vortheil des dioptrischen Reflectors gegenüber den Oberflächen-Reflectoren, welche letztere Licht- und Wärmestrahlen in gleicher Weise nach der Flamme zurückschicken.

Ferner findet in dem sphärischen dioptrischen Reflector noch eine weitere Filtration der Licht- und Wärme-Strahlen in Folge des Umstandes statt, dass das Glas die Wärmestrahlen, die in dasselbe hineintreten, viel stärker absorbirt, als Lichtstrahlen unter denselben Verhältnissen. — Im Uebrigen wird es in solchen Fällen, wo man den Reflector benutzt, um das Licht solcher Winkel, die keiner Beleuchtung bedürfen, mit zu verwerthen, häufig zulässig sein, dass man den Brennpunkt des Reflectors etwas oberhalb desjenigen des Refractors in der verticalen Achse des Apparats legt. Man hält dadurch die reflectirten Wärmestrahlen von dem Docht ab, und die reflectirten Lichtstrahlen gehen besser von Brenner und Lampe frei; die Folge aber ist — wie sich im

folgenden Paragraphen zeigen wird — dass die von dem Haupttheil des Apparats, dem Refractor, verarbeiteten reflectirten Strahlen mehr auf den Seeraum zwischen Thurm und Seehorizont gerichtet werden, als nach letzterem, während die obern und untern Reflectoren die von dem sphärischen Reflector empfangenen Strahlen in diesem Fall mehr nach den entfernteren Gegenden der See und theilweise wohl auch in die Wolken schicken.

### § 5.

#### **Bemerkungen über die Divergenz der austretenden Strahlen, über die Wahl der Brennpunkte und über die Prüfung und Justirung der Apparate.**

In den vorigen Kapiteln ist wiederholt darauf hingewiesen, dass ein inniger Zusammenhang besteht zwischen den Dimensionen und der Disposition eines Leuchthurm-Apparats, dem Volumen der in einen solchen Apparat gestellten Flamme und namentlich auch der Vertheilung der Licht-Intensität innerhalb dieses Volumens, der absoluten Höhe des Apparats über dem Meeresspiegel, dem nothwendigen Betrag der azimuthalen Divergenz bei rotirenden Feuern, der grössten Sichtweite und der Art der Beleuchtung der Wasserfläche zwischen dem, von der Höhe des Apparats über Wasser abhängigen Seehorizont und dem Leuchthurm selbst (vergl. S. 152, 160 u. 161, 167 u. 168, 181 u. 182). Die aus diesem Zusammenhang resultirenden Bedingungen erfordern nun schliesslich noch eine besondere Betrachtung, denn mit ihrer Erfüllung steigt und sinkt nicht nur der Werth des ganzen Feuers, sondern es steht und fällt mit ihr überhaupt die Brauchbarkeit desselben. Eine Seeleuchte, die ihr bestes Licht nicht auf die See, sondern gegen den Himmel in die Wolken sendet, ist eigentlich keine Seeleuchte, da sie mit ihrer besten Kraft nicht der Seeschiffahrt dient und — höchstens der Luftschiffahrt nützen könnte.

Für irgend einen optischen Constructionstheil kann der mathematischen Berechnung seines Profils nur ein mathematischer Punkt als leuchtender Punkt oder Brennpunkt zu Grunde gelegt werden. Dieser Bedingung kommt nur das electriche Licht so nahe, dass man sie hier practisch fast als genau erfüllt betrachten kann. Bei den Flammen der gewöhnlichen Lampen giebt es ausser dem der Rechnung zu Grunde gelegten Punkt, wegen der räumlichen Ausdehnung der Flamme, über, unter und neben diesem noch

unendlich viele leuchtende Punkte, von denen jeder eine Strahlenkugel aussendet. Selbstverständlich erleiden alle diese Strahlen bei ihrem Durchgang durch den optischen Apparat andere Ablenkungen, als wenn sie von dem Hauptbrennpunkt ausgingen. Die Art und Grösse dieser Ablenkungen sind für die practische Brauchbarkeit des ganzen Systems von der grössten Wichtigkeit, denn aus ihnen resultiren die Hauptbeträge der Divergenz der austretenden Strahlenbündel für diejenigen Apparate, bei deren Berechnung man Parallelisirung der Strahlen zu Grunde gelegt hat, während sie in allen andern Fällen die Divergenz der austretenden Strahlenbündel modificiren, indem sie dieselbe vergrössern. Durch diese Thatsache wird nun der theoretischen Untersuchung allgemein die folgende Aufgabe gestellt:

„Auf irgend einen Punkt der Innenfläche eines Leuchtturm-Apparats fällt ein nicht von dem Brennpunkt des letztern ausgehender Lichtstrahl; es sind die Richtung des Strahls nach seinem Durchgang durch den Apparat, namentlich auch die Lage desselben gegen den austretenden correspondirenden Brennpunktstrahl, und der Winkel, den beide mit einander bilden, zu bestimmen.“

Diese Aufgabe ist indessen in allgemeinen Formeln so gut wie unlösbar, weil die mathematischen Ausdrücke zu schwerfällig werden und man wegen der vielen transcendenten Grössen als Schlussresultate sehr wenig durchsichtige Näherungsformeln erhält. Auch steht die bei solchen Lösungen aufzuwendende Mühe in keinem Verhältniss zu dem practischen Werth der Resultate. Dies letztere wird man sofort einsehen, wenn man sich den wechselnden Character der Flammen, für die man rechnet, vergegenwärtigt. Obwohl man bei der Construction und Unterhaltung der Lampen alles Mögliche thut, um eine möglichst grosse stabile Flamme zu erzielen, so ist letztere doch von allerlei Zufälligkeiten abhängig, welche dieselbe bald in dieser, bald in anderer Weise modificiren. Auch ist es selbst bei einer ganz ruhigen stetigen Flamme sehr schwer, genau anzugeben, welche relative Lichtquantitäten die einzelnen Theile der Flamme hergeben; ja sogar schon die Bestimmung derjenigen horizontalen Ebene, in welcher sich die am meisten leuchtenden Punkte einer Flamme befinden, hat ihre grossen Schwierigkeiten. Ueber alle diese Punkte müsste man aber vollständig im Klaren sein, wenn eine allseitige strenge Lösung der obigen Aufgabe practischen Werth haben sollte. Man

kann sich daher ruhig damit begnügen, den allgemeinen Character der Lösung in einzelnen Fällen klar zu legen, das Uebrige dagegen allgemeinen Reflectionen und der practischen Erfahrung, sowie auch der letzten Justirung der einzelnen Theile der Apparate zu überlassen; letzteres um so mehr, als selbst eine scheinbar nur geringe Verrückung irgend eines Glassegments aus der der Rechnung zu Grunde gelegten Lage desselben und eine geringe Abweichung seines Profils von der durch die Rechnung vorgeschriebenen Form, sowie auch die veränderliche Brechung und Absorption des Lichts durch die Atmosphäre bei verschiedenen Zuständen derselben den Werth einer strengen Lösung jener Aufgabe sofort illusorisch machen würden.

Aus der Theorie der optischen Linsen, die man in jedem physikalischen Lehrbuch findet, ist bekannt, dass, wenn von einem ausserhalb der Achse einer Linse befindlichen Punkt Lichtstrahlen auf die letztere fallen, es unter allen diesen Strahlen einen giebt, dessen Richtung nach seinem Durchgang durch die Linse der ursprünglichen Richtung parallel ist. Ist der Winkel, den Strahl und Achse mit einander bilden, nur klein, so kann man bei Vernachlässigung der Linsendicke sagen, dass der austretende Strahl nicht nur dem einfallenden parallel ist, sondern dass er in die Verlängerung der letzteren fällt, dass beide somit eine einzige Gerade bilden und der Strahl ungebrochen durch die Linse hindurchgeht. Diesen Strahl, den man bekanntlich den Hauptstrahl des betreffenden Punktes nennt, findet man, wenn man von diesem Punkt aus durch die Mitte der Linse eine Gerade zieht; bei Vernachlässigung der Linsendicke kann man für letzteren Punkt auch den Punkt nehmen, in welchem die Achse der Linse deren Oberfläche auf derjenigen Seite trifft, auf welcher der leuchtende Punkt liegt.

Die vorstehend erwähnten Beziehungen lassen sich nun ohne Weiteres auf die Refractoren der Leuchthurm-Apparate übertragen und führen dann zu einem angenäherten Maass für die Divergenz der austretenden Lichtstrahlen, für jeden Punkt des Refractors. Zieht man nemlich von dem irgendwo in der Flamme belegenen Brennpunkt des Refractors, letzteren als für parallele Horizontalstrahlen berechnet gedacht, eine Normale auf dessen innere Fläche, so gehen nach Vorstehendem alle von der Flamme ausgehenden excentrischen Strahlen, die den Fusspunkt dieser Normalen treffen, ungebrochen durch den Refractor hindurch und

bilden demnach nach ihrer Brechung so gut wie vorher einen kegelartigen Strahlenbündel, dessen Spitze in jenem Fusspunkt liegt. Da die Strahlen sich sämmtlich in letzterem Punkt schneiden, so muss der zweite Kegel eine symmetrische Umbildung des ersten sein. — Hiermit ist aber nur die Divergenz in jenem einen Fusspunkt bestimmt. Es bleibt also zu ermitteln, wie sich die Sache für die übrigen Punkte auf der Innenfläche gestaltet. Von jedem leuchtenden Punkt einer Flamme geht eine Strahlenkugel aus, und auf irgend einen Punkt des Refractors muss demnach von jedem leuchtenden Punkt aus ein Lichtstrahl fallen. Zieht man nach jenem Punkt hin auch einen Brennpunktstrahl, so wird dieser nach Maassgabe der Berechnung des Profils gebrochen. Wird der gebrochene Strahl als Achse eines Kegels genommen, der dem zweiten bereits erwähnten Kegel congruent ist, so stellt dieser die Divergenz der austretenden Strahlen für den betreffenden Punkt des Refractors dar.

In rein mathematischem Sinne ist die Frage mit diesen allgemeinen Sätzen zwar lange nicht erschöpft; sie sind nur angenähert, aber in dem Maasse richtig, dass sie selbst noch für solche Apparate, die für geneigt oder divergent austretende Brennpunktstrahlen berechnet sind, genügen, um den allgemeinen Character der Sachlage richtig zu beurtheilen. Streng gerechnet wachsen für irgend einen Punkt des Refractors die Divergenzwinkel der austretenden Strahlen, je weiter sich der Punkt von der Achse entfernt, während gerade umgekehrt die Winkel, welche die von der Flamme auf jenen Punkt fallenden Strahlen mit einander bilden, mit zunehmender Entfernung von der Achse abnehmen. — Auch für Linsenschirme und andere secundäre Constructionstheile, die nur durch Brechung des Lichts wirken, lässt sich hiernach der Gang der auf sie fallenden excentrischen Strahlen angenähert bestimmen, und das genügt in der Regel.

Für gewöhnliche Fresnel'sche Apparate hat es hauptsächlich Interesse, untersuchen zu können, wie sich ein durch die verticale Achse des Apparats — und event. auch durch eine horizontale Achse einer Wand des polygonalen Refractors — gelegter Verticalschnitt durch die austretenden Strahlen gestaltet. Beschränkt man diese Untersuchung auf diejenigen Strahlen, die in dem Verticalschnitt liegen, so bekommt man schon ein recht gutes Näherungsbild des Sachverhalts, und die ganze Frage reducirt sich dann auf die Lösung der folgenden einfachen Aufgabe: „Auf

das normale Profil  $BCDE$  (Fig. 31, Taf C) eines Refractorringes fällt in der Ebene des Profils ein excentrischer Strahl  $GH$  auf den Punkt  $H$ ; welches ist der Weg des ein Mal gebrochenen und derjenige des austretenden Strahls? "

Bei der aus der Figur ersichtlichen Bezeichnung hat man für den ersten Brechungswinkel  $\beta$  die Gleichung:

$$\sin \beta = \frac{\sin(\alpha + \varepsilon)}{\mu}$$

Ferner aus dem Dreieck  $HOJ$ , in welchem  $HJ$  der ein Mal gebrochene Strahl ist:

$$\sin HJO = \sin JHO \cdot \frac{HO}{JO},$$

oder:

$$\sin \gamma = \sin\left(\beta + \frac{\pi}{2} + \widehat{KHO}\right) \frac{\overline{HO}}{\rho}.$$

Für  $\angle KHO = \lambda$  findet man aus Dreieck  $KHO$ :

$$\operatorname{tg} KHO = \operatorname{tg} \lambda = \frac{a}{b+h};$$

für  $HO$  aus demselben Dreieck:

$$HO = \frac{a}{\sin \lambda}.$$

Also:

$$\sin \gamma = \sin\left(\beta + \frac{\pi}{2} + \lambda\right) \frac{a}{\rho \cdot \sin \lambda} = \frac{\cos(\beta + \lambda)}{\sin \lambda} \cdot \frac{a}{\rho}.$$

Ferner ist:

$$\sin \delta = \mu \cdot \sin \gamma = \mu \frac{a}{\rho} \cdot \frac{\cos(\beta + \lambda)}{\sin \lambda}.$$

Für die Coordinaten von  $J$  findet man (im System  $YFX$ ):

$$\rho \cdot \cos(\beta + \gamma) + f - a \quad \text{und} \quad \rho \cdot \sin(\beta + \gamma) + b;$$

für die Länge  $HJ$ , die der Strahl innerhalb des Glases durchläuft:

$$\begin{aligned} HJ = OH \cdot \frac{\sin HOJ}{\sin HJO} &= \frac{a}{\sin \lambda} \cdot \frac{\sin\left(\frac{\pi}{2} - (\lambda + \beta + \gamma)\right)}{\sin \gamma} \\ &= \frac{a}{\sin \lambda} \cdot \frac{\cos(\lambda + \beta + \gamma)}{\sin \gamma}. \end{aligned}$$

Will man noch den Abstand  $d$  des Strahles  $GH$  vom Brennpunkt  $F$ , normal zum Strahl gemessen, einführen, so hat man:

$$\sin \varepsilon = \frac{d}{FH} = \frac{\bar{d}}{\sqrt{f^2 + h^2}} = \frac{d}{f} \cdot \cos \alpha;$$

führt man dagegen das Stück  $\overline{FG} = e$  ein, welches der Strahl



$GH$  auf der verticalen  $Y$ -Achse abschneidet, so hat man aus Dreieck  $FGH$ :

$$\frac{FG}{FH} = \frac{e}{f \cdot \frac{1}{\cos \alpha}} = \frac{\sin FGH}{\sin FGH} = \frac{\sin \varepsilon}{\sin \left( \frac{\pi}{2} - (\alpha + \varepsilon) \right)},$$

also:

$$\frac{e \cdot \cos \alpha}{f} = \frac{\sin \varepsilon}{\cos (\alpha + \varepsilon)},$$

und hieraus:

$$\operatorname{tg} \varepsilon = \frac{e \cdot \cos^2 \alpha}{f + e \cdot \sin \alpha \cdot \cos \alpha}.$$

In diesen Entwicklungen können  $\varepsilon$ ,  $d$  und  $f$  auch negative Werthe annehmen; der Strahl  $GH$  liegt dann oberhalb des Brennpunktstrahls, und er fällt mit diesem zusammen, wenn jene Werthe gleich Null sind. \*)

\*) Für diejenigen Leser, die Interesse daran haben, möge hier noch der Weg angedeutet werden, wie man die vorliegende Aufgabe für irgend einen excentrischen Strahl strengte löst.

Bei Anwendung von räumlichen Orthogonal-Coordinationen falle von dem Punkte  $abc$  ein Lichtstrahl auf den Punkt  $x_1 y_1 z_1$  eines Glaskörpers, der eingeschlossen ist zwischen den Flächen:  $z = f(x, y)$  — in dieser Fläche liege der Punkt  $x_1 y_1 z_1$  — und  $z = \varphi(x, y)$ ; welches sind die Gleichungen des zwei Mal gebrochenen austretenden Strahls?

Die Gleichungen des gegebenen Strahls sind:

$$\left. \begin{aligned} x - a &= \frac{a - x_1}{c - z_1} (z - c) \\ y - b &= \frac{b - y_1}{c - z_1} (z - c) \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (1)$$

Die Gleichungen der Normalen für die Fläche  $z = f(x, y)$  im Punkte  $x_1 y_1 z_1$  sind:

$$\left. \begin{aligned} x - x_1 &= - \frac{\partial f}{\partial x} (z - z_1) \\ y - y_1 &= - \frac{\partial f}{\partial y} (z - z_1) \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (2)$$

Beide Linien bilden mit einander den Einfallswinkel  $\alpha$ , und es ist:

$$\cos \alpha = \frac{1 - \frac{a - x_1}{c - z_1} \cdot \frac{\partial f}{\partial x} - \frac{b - y_1}{c - z_1} \cdot \frac{\partial f}{\partial y}}{\sqrt{1 + \left( \frac{a - x_1}{c - z_1} \right)^2 + \left( \frac{b - y_1}{c - z_1} \right)^2} \sqrt{1 + \left( \frac{\partial f}{\partial x} \right)^2 + \left( \frac{\partial f}{\partial y} \right)^2}} \dots \dots (3)$$

Hieraus findet sich  $\sin \alpha$ , und dann ist ferner:

$$\sin \beta = \frac{\sin \alpha}{\mu}, \text{ also } \cos \beta = \sqrt{1 + \frac{\sin^2 \alpha}{\mu^2}} \dots \dots \dots (4)$$

Um die Gleichung des ein Mal gebrochenen Strahls zu finden, ist zunächst die Gleichung der Ebene herzustellen, in der er liegt. Diese Ebene geht durch

Abgesehen von absolut genauen Zahlenwerthen, die man für die Ablenkungen excentrischer Strahlen ableiten könnte, ist das wesentlichste Resultat der vorstehenden Betrachtungen dieses:

Wenn man die in einen Leuchtthurm-Refractor gestellte Flamme hebt oder senkt, so senkt oder hebt man damit die austretenden Strahlen, und die Winkelbewegungen dieser Strahlen und der Flamme, mit Beziehung auf eine durch den Brennpunkt gezogene Horizontale als Anfangsrichtung und auf den Fusspunkt dieser Horizontalen auf der Innenfläche des Refractors als Scheitelpunkt, sind (angenähert) dieselben. Dieser Satz gilt sowohl für die Elemente über der horizontalen Brennpunkts-Ebene, wie für diejenigen unter dieser Ebene, und mit den entsprechenden Modificationen auch für solche Apparate, die nicht für horizontale Brennpunkts-Strahlen berechnet sind.

den Strahl (Gleichung 1) und durch die Normale des Einfallspunkts (Gleichung 2), oder, was dasselbe ist, durch die Punkte  $abc$  und  $x_1 y_1 z_1$  und durch die Normale. Ist die Gleichung dieser Ebene:

$$p_1 x + q_1 y + r_1 z = 1 \dots\dots\dots (5)$$

so erhält man für  $p_1, q_1$  und  $r_1$  die Bestimmungsgleichungen:

$$p_1 a + q_1 b + r_1 c = 1;$$

$$p_1 x_1 + q_1 y_1 + r_1 z_1 = 1;$$

eine dritte Gleichung erhält man, wenn man in der Gleichung der Normalen etwa  $z = 0$  setzt; diesem  $z$  entsprechen die Werthe:

$$x = \frac{\partial f}{\partial x} z_1 + x_1, \quad y = \frac{\partial f}{\partial y} z_1 + y_1,$$

daher die dritte Gleichung:

$$p_1 \left( \frac{\partial f}{\partial x} z_1 + x_1 \right) + q_1 \left( \frac{\partial f}{\partial y} z_1 + y_1 \right) + r_1 \cdot 0 = 1.$$

Aus diesen drei Gleichungen findet man  $p_1, q_1$  und  $r_1$ . — Der ein Mal gebrochene Strahl geht durch den Punkt  $x_1 y_1 z_1$ , seine Gleichungen haben also die Form:

$$\begin{aligned} x - x_1 &= m_1 (z - z_1) \\ y - y_1 &= n_1 (z - z_1) \end{aligned} \dots\dots\dots (6)$$

Zur Bestimmung von  $m_1$  und  $n_1$  hat man die Bedingungen, dass der Strahl in der Ebene der Gleichung (5) liegen und mit der Normalen den Winkel  $\beta$  bilden soll; dies führt zu den Gleichungen:

$$p_1 m_1 + q_1 n_1 + r_1 = 0;$$

$$\cos \beta = \frac{1 - \frac{\partial f}{\partial x} m_1 - \frac{\partial f}{\partial y} n_1}{\sqrt{1 + m_1^2 + n_1^2} \sqrt{1 + \left(\frac{\partial f}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial y}\right)^2}}.$$

Aus diesen Gleichungen findet man  $m_1$  und  $n_1$ . Der ein Mal gebrochene Strahl (Gleichung 6) schneidet die Fläche  $z = \varphi(x, y)$  in dem Punkte  $x_n y_n z_n$ . Die Normale dieses Punkts hat die Gleichungen:

Für die total reflectirenden Prismen findet genau das Umgekehrte statt: Hebt man die Flamme, so heben sich auch die austretenden Strahlen, indem sie eine aufwärts gerichtete Drehbewegung ausführen, und dieses gilt sowohl für die Elemente über dem Refractor, wie für diejenigen unterhalb desselben; das Umgekehrte tritt ein, wenn man die Flamme senkt. Man überzeugt sich hiervon sehr leicht, wenn man statt der total reflectirenden Prismen gewöhnliche gekrümmte Oberflächen-Reflectoren eingeführt denkt (Fig. 32, Taf. C). Werden durch solche Reflectoren die Strahlen  $FB$  und  $Fb$  nach den, ganz oder nahezu horizontalen Richtungen  $BC$  und  $bc$  abgelenkt, so weichen die von dem, über  $F$  gelegenen Punkt  $F_1$  ausgehenden Strahlen nach ihrer Ablenkung um dieselben Winkel  $\varepsilon_1$  und  $\omega_1$  über  $BC$  und  $bc$  von diesen

$$\left. \begin{aligned} x - x_n &= -\frac{\partial \varphi}{\partial x} (z - z_n) \\ y - y_n &= -\frac{\partial \varphi}{\partial y} (z - z_n) \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (7)$$

Der Winkel  $\gamma$ , den der ein Mal gebrochene Strahl mit dieser Grad bildet, ist bestimmt durch:

$$\cos \gamma = \frac{1 - \frac{\partial \varphi}{\partial x} \cdot m_1 - \frac{\partial \varphi}{\partial y} \cdot n_1}{\sqrt{1 + m_1^2 + n_1^2} \sqrt{1 + \left(\frac{\partial \varphi}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial \varphi}{\partial y}\right)^2}} \dots \dots (8)$$

Daraus findet sich  $\sin \gamma$  und dann weiter:

$$\sin \delta = \mu \cdot \sin \gamma, \text{ also } \cos \delta = \sqrt{1 - \mu^2 \sin^2 \gamma} \dots \dots \dots (9)$$

Die Ebene des zwei Mal gebrochenen Strahls geht durch die beiden Grad der Gleichungen (6) und (7); ist ihre Gleichung:

$$p_n x + q_n y + r_n z = 1 \dots \dots \dots (10)$$

so erhält man zur Bestimmung von  $p_n, q_n, r_n$  die folgenden Gleichungen:

$$p_n x_n + q_n y_n + r_n z_n = 1,$$

da die Geraden (6) und (7) durch den Punkt  $x_n, y_n, z_n$  gehen; ferner, wenn man in (6)  $z = 0$  setzt:

$$p_n (-m_1 z_1 + x_1) + q_n (-n_1 z_1 + y_1) + r_n \cdot 0 = 1;$$

und wenn man ebenso in (7)  $z = 0$  setzt:

$$p_n \left( \frac{\partial \varphi}{\partial x} z_n + x_n \right) + q_n \left( \frac{\partial \varphi}{\partial y} z_n + y_n \right) + r_n \cdot 0 = 1.$$

Der zwei Mal gebrochene Strahl geht durch den Punkt  $x_n, y_n, z_n$ , hat also Gleichungen von der Form:

$$\left. \begin{aligned} x - x_n &= m_n (z - z_n) \\ y - y_n &= n_n (z - z_n) \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (11)$$

$m_n$ , und  $n_n$  findet man aus den Bedingungen, dass diese Grade in der Ebene (10) liegt und mit der Normalen (7) den Winkel  $\delta$  bildet, daher:

$$p_n m_n + q_n n_n + r_n = 0.$$

Richtungen ab, welche die Strahlen  $FB$  und  $F_1B$ , resp.  $Fb$  und  $F_1b$  vorher mit einander bildeten. Umgekehrt liegt die Sache für solche Strahlen, welche von einem unter  $F$  gelegenen Punkt  $F''$  ausgehen. Schaltet man statt der Spiegel reflectirende Prismen ein, so bleibt der Character der Erscheinung derselbe, nur die Zahlenverhältnisse für die Winkelgrößen werden etwas geändert. Um sich von letzteren Rechenschaft geben zu können, wird es genügen, die vorhin für einen Refractor-Ring gelöste Aufgabe jetzt in gleicher Weise auch für einen Reflector-Ring zu behandeln.

In Figur 33, Taf. C sei  $GHJKL$  der Weg eines excentrischen Strahls; der Strahl  $GH$  sei derartig bestimmt, dass man seinen Einfallswinkel für die Fläche  $A$ , und die Länge  $GH$  finden kann. Nach der auf Seite 195 bis 197 durchgeführten Berechnung des Profils

$$\cos \delta = \frac{1 - \frac{\partial \varphi}{\partial x} \cdot m'' - \frac{\partial \varphi}{\partial y} \cdot n''}{\sqrt{1 + m''^2 + n''^2} \sqrt{1 + \left(\frac{\partial \varphi}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial \varphi}{\partial y}\right)^2}}.$$

Nun ist der zwei Mal gebrochene, austretende Strahl vollständig bestimmt. — Führt man ganz dieselbe Rechnung durch für den Fall, dass  $abc$  die Coordinaten des Brennpunkts sind, so erhält man als Schlussgleichungen die Gleichungen des Brennpunktsstrahls; sind diese Gleichungen:

$$\begin{aligned} x - x'' &= m'' (z - z''), \\ y - y'' &= n'' (z - z''), \end{aligned}$$

so bilden beide Strahlen nach ihrem Durchgang durch den Glaskörper, den sie übrigens in verschiedenen Punkten verlassen, einen Winkel  $\varepsilon$  mit einander, dessen Cosinus sich aus der Gleichung findet:

$$\cos \varepsilon = \frac{1 + m''m'' + n''n''}{\sqrt{1 + m''^2 + n''^2} \sqrt{1 + m''^2 + n''^2}}.$$

Für den Fall eines Leuchthurm-Apparats kann man es immer so einrichten, dass  $a = 0$  ist, da es sich nicht um den absoluten Ausgangspunkt eines Strahles, sondern nur um seine Richtung handelt. Ebenso kann man für Feste-Feuer immer die horizontale Ordinate  $y$  des Einfallspunkts dadurch gleich Null machen, dass man die  $XZ$ -Ebene durch diesen Punkt legt; dasselbe gilt aber auch für die Feuer, deren Glaskörper durch Drehung um horizontale Achsen entstanden sind, da man für sie nur einen durch eine solche Achse gelegten Schnitt zu untersuchen braucht und dafür denjenigen nehmen kann, der in der verticalen  $XZ$ -Ebene liegt. Dann liegt auch immer die Normale des Einfallspunkts in dieser Coordinaten-Ebene. — Für  $z = \varphi(x, y)$  hat man Rotationsflächen, die entstanden sind durch Rotation eines Kreises um die  $Z$ -Achse oder um die  $X$ -Achse. Sind die Mittelpunkts-Coordinaten des Kreises in der Ebene  $XZ$  etwa  $v$  und  $w$ , sein Radius  $r$ , so sind die Gleichungen dieser Flächen:

$$\begin{aligned} (\sqrt{x^2 + y^2} - v)^2 + (z - w)^2 &= r^2. \quad (Z\text{-Achse als Achse}). \\ (x - v)^2 + (\sqrt{y^2 + z^2} - w)^2 &= r^2. \quad (X\text{-Achse als Achse}). \end{aligned}$$

$ABC$  sind in dem Dreieck  $ACO$  bekannt: die Seiten  $AC$  und  $CO$  und der Winkel  $ACO$ ; man kann also den Winkel  $CAO$  und die Seite  $AO$  finden. Im Dreieck  $AHO$  ist  $AH$  gegeben,  $AO$  ist eben gefunden, und Winkel  $HAO$  ist gleich  $2\pi - (BAC + CAO)$ ; es lassen sich also die Winkel  $AHO$  und die Seite  $HO$  finden. Aus dem Einfallswinkel bei  $H$ , der bekannt ist, findet sich nach dem Brechungsgesetz der Winkel  $JHA$ , so dass nun in dem Dreieck  $HJO$  bekannt sind: die Seiten  $OH$  und  $OJ$  und der Winkel  $JHO = JHA + AHO$ . Daraus ergibt sich  $\sphericalangle HJO$ , der gleich der Hälfte von  $\sphericalangle HJK$  ist; ferner:

$$\sphericalangle JKA = 2\pi - (JHA + BAC + HJK)$$

Das Brechungsgesetz

$$\cos CKC = \mu \cdot \cos JKA$$

führt dann zu dem Winkel  $CKL$  und damit zu der Richtung  $KL$  des austretenden Strahles  $KL$ . Ferner sind im Viereck  $AHJK$  nun alle vier Winkel und die Seite  $AH$  bekannt, also lässt sich auch die Summe der beiden Seiten  $HJ + JK$ , d. i. der Weg des Strahls innerhalb des Glases berechnen\*).

Die bis jetzt durchgeführten Untersuchungen für excentrische Strahlen geben zugleich den Weg an, ähnliche Untersuchungen anzustellen für die übrigen, weniger gebräuchlichen Profile; doch haben diese zu sehr einen speciellen Character, um hier noch weiter auf derartige Betrachtungen einzugehen. Principielle Schwierigkeiten für solche Fälle giebt es indessen nicht.

Nachdem nunmehr die Untersuchung über die Richtung der exfocalen Strahlen nach ihrem Durchgang durch den Glasapparat als erledigt zu betrachten ist, wird jetzt die folgende Frage zu beantworten sein:

„Unter welchem Winkel muss ein von dem Apparat ausgehender Lichtstrahl gegen den wirklichen Horizont des Lichts, d. i. gegen die Normale der verticalen Achse des Apparats geneigt sein, wenn er bei gegebener Lichthöhe den Seehorizont oder einen bestimmten Punkt auf der See zwischen Seehorizont und Thurm treffen soll, und welchen Einfluss hat eine Vergrößerung oder Verkleinerung dieses Winkels für die Beleuchtung der See?“

Das Material zur Beantwortung dieser Frage findet sich be-

\*) Die allgemeinere Aufgabe, den Weg eines Strahls zu finden, der nicht in der Ebene des Profils liegt, kann in ähnlicher Weise mit Hilfe der analytischen Geometrie des Raumes gelöst werden, wie es Seite 229 ff. Anmerkung für den Refractor geschehen ist.

reits in dem früheren Kapitel „Ueber die Höhen der Leuchttürme“ (pag. 143—149), denn es handelt sich augenblicklich offenbar um die Beziehungen zwischen den Grössen  $h$ ,  $x$  und  $\delta$  (resp.  $\Delta$  für den Seehorizont) der Fig. 2, Taf. A. Diese Beziehungen sind ausgesprochen in folgenden, in jenem Kapitel entwickelten Formeln:

$$\begin{aligned} x &= \frac{r \cdot \operatorname{tg} \delta}{0,84} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2h}{r} \cdot \frac{0,84}{\operatorname{tg}^2 \delta}} \right) \\ &= \frac{r \cdot \operatorname{tg} \delta}{0,84} \left[ 1 - \sqrt{1 - \left( \frac{\operatorname{tg} \Delta}{\operatorname{tg} \delta} \right)^2} \right] \\ &= \frac{r \cdot \operatorname{tg} \delta}{0,42} \cdot \sin^2 \frac{\varphi}{2}, \end{aligned}$$

oder umgekehrt:

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{1}{x} \left( h + 0,42 \frac{x^2}{r} \right),$$

wobei

$$\operatorname{tg} \Delta = \sqrt{0,84 \cdot \frac{2h}{r}},$$

$$\sin \varphi = \frac{\operatorname{tg} \Delta}{\operatorname{tg} \delta};$$

ferner:

$$s = \frac{r \cdot \operatorname{tg} \Delta}{0,84} = \sqrt{\frac{2 \cdot r \cdot h}{0,84}} = 1,1 \sqrt{2 \cdot r \cdot h},$$

und umgekehrt:

$$h = 0,42 \cdot \frac{s^2}{r};$$

dabei ist

$$\begin{aligned} r &= 3440 \text{ Seemeilen, } \text{à } 6082 \text{ Fuss engl.} \\ &= 6375 \text{ Kilometer.} \end{aligned}$$

In diese Formeln müssen für solche Fälle, wie sie in der Praxis vorkommen, für die Höhe  $h$  bestimmte Zahlenwerthe eingeführt werden; die Resultate, zu denen man dann gelangt, werden wieder am klarsten durch graphische Darstellung. In Fig. 34, Taf. C, die darum als ein verzerrtes Bild gezeichnet werden musste, weil es nöthig war, die Höhe  $h$  übertrieben gross aufzutragen, sind schematisch (beliebige) neun von der Flamme ausgehende Strahlen gezeichnet, die durch folgende Bedingungen festgelegt sind:

- 1)  $x = x_1 = s \dots \dots \delta = \delta_1 = \Delta$  (Seehorizont).
- 2)  $x = x_2 \dots \dots \delta = \delta_2 = \frac{5}{4} \Delta$ .
- 3)  $x = x_3 \dots \dots \delta = \delta_3 = 2 \Delta$ .
- 4)  $x = x_4 = 2 \text{ Seemeilen} \dots \delta = \delta_4$ .
- 5)  $x = x_5 = 1 \dots \dots \delta = \delta_5$ .

- 6)  $x = x_6 \dots \dots \delta = \delta_6 = \delta_5 + \delta_1 = \delta_5 + \Delta$ .  
 7)  $x = x_7 = \frac{3}{4}$  Seemeilen  $\dots \delta = \delta_7$ .  
 8)  $x = x_8 = \frac{1}{2}$  „  $\dots \delta = \delta_8$ .  
 9)  $x = x_9 = \frac{1}{4}$  „  $\dots \delta = \delta_9$ .

Für diese neun Lichtstrahlen nun sind in den Fig. 35 und 36, Taf. D, unter Annahme verschiedener Lichthöhen, bis zu  $h = 500'$  engl. über dem Meeresspiegel, zwei Systeme von Curven gezeichnet, die in folgender Weise aufzufassen sind: In beiden Figuren sind auf der verticalen Ordinaten-Achse die successive wachsenden Lichthöhen, also die steigenden Werthe von  $h$  aufgetragen; in Fig. 35 bilden die zugehörigen Werthe der Grössen  $x_1, x_2 \dots x_9$ , in Fig. 36 dagegen die correspondirenden Werthe der als Längen dargestellten Winkel  $\delta_1, \delta_2 \dots \delta_9$  die horizontalen Abscissen. Die auf diese Weise für specielle Werthe von  $h$  festgelegten Punkte sind durch continuirliche Curvenzüge verbunden, und diese Curven stellen demnach, allgemein gesprochen, die zwischen den Variabeln  $h$  und  $x$ , resp.  $h$  und  $\delta$  stattfindenden Beziehungen graphisch dar. Diese Beziehungen sind niedergelegt in den oben für  $x$  und  $\text{tg } \delta$ , resp.  $s$  und  $\text{tg } \Delta$  mitgetheilten Gleichungen, und da irgend einer der neun fraglichen Lichtstrahlen bestimmt ist durch eine (willkürliche) Annahme für  $x$  oder für  $\delta$ , so findet man in diesen Gleichungen, sobald man  $h$  einen bestimmten Werth beilegt, die Mittel, zusammengehörige Curven-Coordinationen zu berechnen, da weitere Unbekannte in jenen Gleichungen nicht enthalten sind. — Für  $h = 500$  Fuss engl., d. i. bei einer Lichthöhe, wie sie wohl kaum jemals vorkommen wird, ist  $\Delta = 0^\circ 21' 46,95''$ ; da  $\Delta$  mit  $h$  zu- und abnimmt, so ist demnach für alle practisch vorkommenden Fälle der Winkel  $\Delta$  noch so klein, dass man nicht nur  $\text{tg } \Delta = \Delta$ , sondern auch  $\text{tg } (n \cdot \Delta) = n \cdot \Delta$  setzen kann, wenn  $n$  nicht zu gross ist; beispielsweise weichen für einen Winkel von  $30'$  beide Werthe erst in der siebenten, und bei  $15'$  erst in der achten Decimale von einander ab. Jedenfalls ist also diese Annäherung für die Strahlen 1, 2, und 3, also für  $n = 1, \frac{5}{4}$  und 2 zulässig, und sie verwandelt die Curven beider Gattungen (Fig. 35 und 36) für diese drei Strahlen in gewöhnliche Parabeln, wie sich in folgender Weise zeigen lässt: Es ist

$$\text{tg } \Delta = \Delta = \sqrt{0,84 \cdot \frac{2h}{r}},$$

also:

$$\operatorname{tg} \delta = \operatorname{tg} (n \cdot \Delta) = \delta = n \cdot \Delta = n \sqrt{0,84 \cdot \frac{2h}{r}},$$

also:

$$\delta^2 = \frac{2 \cdot 0,84 \cdot n^2}{r} \cdot h \dots \dots \dots (a)$$

Für  $x$  hat man nun:

$$\begin{aligned} x &= \frac{r \cdot \operatorname{tg} \delta}{0,84} \left[ 1 - \sqrt{1 - \left( \frac{\operatorname{tg} \Delta}{\operatorname{tg} \delta} \right)^2} \right] \\ &= \frac{r \cdot \delta}{0,84} \left[ 1 - \sqrt{1 - \left( \frac{\Delta}{\delta} \right)^2} \right] \\ &= \frac{r \cdot n \sqrt{0,84 \cdot \frac{2h}{r}}}{0,84} \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{1}{n^2}} \right], \\ &= \sqrt{\frac{2 r h}{0,84}} (n - \sqrt{n^2 - 1}), \end{aligned}$$

also:

$$x^2 = \frac{(2n^2 - 1 - 2n \sqrt{n^2 - 1}) r}{0,42} \cdot h \dots \dots \dots (b)$$

Die Gleichungen (a) und (b) sind Parabel-Gleichungen. -- Für  $n = 1$  wird  $x = x_1 = s$ ; für  $n = \frac{5}{4}$  wird:

$$x = x_2 = s \left[ \frac{5}{4} - \sqrt{\left( \frac{5}{4} \right)^2 - 1} \right] = 0,5 \cdot s = 0,5 \cdot x_1;$$

für  $n = 2$  wird:

$$x = x_3 = s (2 - \sqrt{2^2 - 1}) = 0,26795 \cdot s = 0,26795 \cdot x_1;$$

Demnach ist:

$$s - x_1 = 0,5 \cdot s_1,$$

$$s - x_2 = 0,73205 \cdot s_1, \text{ nahezu } = 0,75 \cdot s_1.$$

Die Fig. 35 und 36, resp. die Formeln, welche zu diesen Figuren führten, und die vorhergegangene Untersuchung über die Richtung der exfocalen Strahlen dienen dazu, Regeln anzugeben für die Wahl der Brennpunkte der einzelnen Glasprofile und für die, bei Berechnung der letzteren für die austretenden Lichtstrahlen aufzustellenden Bedingungen, im Allgemeinen und für bestimmte Specialfälle. Ich werde mich dabei indess auf den allgemeinen Fall beschränken, da alle Specialfälle sich nach denselben Gesichtspunkten erledigen; vorher muss ich jedoch noch Folgendes anführen:

In Fig. 34, Taf. C denke man sich den Punkt  $A$  als identisch mit dem Punkt, in welchem in Fig. 37, Taf. C die horizontale



Linie  $OAH$  die Innenseite des Refractors trifft (diese Annahme involvirt für Fig. 35 und die bezüglichen Formeln eine Vernachlässigung des Radius des Apparats gegen die auf der See zu messenden Längen, was natürlich unter allen Umständen zulässig ist). Es ist dann nöthig, die Länge  $Os = z$ , welche ein unter einem Winkel  $\delta$  gegen die Horizontale  $AH$  geneigter Lichtstrahl  $sAS$  auf der verticalen Achse abschneidet, zu kennen, da, wenn diese Länge bekannt ist, man aus ihr umgekehrt auf die Richtung eines von  $s$  ausgehenden Strahls und auf die Entfernung vom Leuchtturm, in der er die See trifft, schliessen kann. Man hat nun offenbar:

$$z = r \cdot \operatorname{tg} \delta^*),$$

wo  $r$  der Abstand des Punktes  $A$  von der verticalen Achse des Apparats ist (siehe Tabelle auf S. 151). In Fig. 38, Taf. C, ist eine Curve  $AM$  gezeichnet, deren Abscissen die Winkel  $\delta$  in derselben Weise aufgetragen, wie in Fig. 36, Taf. D, deren Ordinaten die entsprechenden, in natürlicher Grösse aufgetragenen Werthe von  $r \cdot \operatorname{tg} \delta$  sind, und zwar für  $r = 92^{\text{cm}}$ , d. i. für einen Apparat erster Ordnung. In derselben Figur sind noch die Transversalen  $A I, A II \dots A VI$  gezogen; sie bilden mit der Ordinaten-Achse Winkel, deren trigonometrische Tangenten successive gleich

$$\frac{92}{92}, \frac{70}{92}, \frac{50}{92}, \frac{25}{92}, \frac{18,75}{92} \text{ und } \frac{15}{92}$$

sind; in diesen Brüchen sind die Zähler die Radien der Apparate erster bis sechster Ordnung, in Centimetern. Daraus folgt, dass, wenn  $AP = \delta$ , also  $PM = z = r \cdot \operatorname{tg} \delta = 92^{\text{cm}} \cdot \operatorname{tg} \delta$ , und ausserdem  $Mm$  parallel zu  $AP$  ist, dann die Strecken  $1m, 2m \dots 6m$  die Werthe von  $z$  successive für die Apparate erster, zweiter ... sechster Ordnung darstellen müssen.

\*) Sind  $z'$  und  $z''$  die Maasse, um welche der höchste und niedrigste Punkt der Flamme über der Horizontalen  $AH$  liegen, entsprechend den Winkeln  $\delta'$  und  $\delta''$ , so hat man:

$$\delta' = \operatorname{arctg} \frac{z'}{r}, \quad \delta'' = \operatorname{arctg} \frac{z''}{r},$$

also die ganze von der Flamme erzeugte Divergenz

$$= \delta' + \delta'' = \operatorname{arctg} \frac{z'}{r} + \operatorname{arctg} \frac{z''}{r} = \operatorname{arctg} \frac{\frac{z'}{r} + \frac{z''}{r}}{1 - \frac{z' z''}{r^2}},$$

d. i. sehr nahe

$$= \frac{z' + z''}{r}.$$

Im Allgemeinen, d. h. in den allermeisten Fällen, verlangt man nun von einem Seefeuer, dass es seine hellsten Strahlen nach dem, der Höhe des Feuers über dem Meeresspiegel entsprechenden Seehorizont schicke, damit es einem herannahenden Schiffe möglichst früh in Sicht komme, und dass es auch den Seeraum zwischen Horizont und Leuchthurm bis möglichst nahe an den letzteren heran noch genügend beleuchte. Für diesen Zweck berechnet man die einzelnen Elemente der Apparate in der Regel mit Zugrundelegung paralleler horizontaler Brennpunktstrahlen; hierfür ist natürlich kein zwingender Grund vorhanden, und es hat dies Verfahren nur das für sich, dass man für verschiedene Lichthöhen bei Apparaten einer und derselben Ordnung zu congruenten Profilen kommt.\*) Der Nachtheil dieses Verfahrens ist, wie bereits früher erwähnt, eine von dem Verhältniss der Flammhöhe zum Radius des Apparats abhängige, und darum sehr geringe verticale Divergenz der austretenden Strahlen bei niedrigen Flammen. In der neuern Zeit construirt man daher auch wohl Apparate mit geneigten, resp. divergirend austretenden Brennpunktstrahlen, beschränkt aber diese Art der Berechnung, wenn man nicht gerade für das electriche Licht rechnet, meistens auf die Reflectoren, um nicht dem Seeraum zwischen Seehorizont und Thurm auf Kosten des ersteren zu viel Licht zuzuführen. Für Feste-Feuer

---

\*) Streng genommen ist eine vollkommene Congruenz der Profile bei den Refractoren und gleichzeitig bei den Reflectoren für verschiedene Lichthöhen nur durch einen geringen Lichtverlust zu erkaufen. Hat man nemlich durch Heben der Flamme diese für einen bestimmten Fall in die richtige relative Lage zu dem Refractor gebracht, so ist noch ein Heben der Reflectoren nöthig, und das Maas dieser Hebung ist für verschiedene Lichthöhen verschieden. Durch dieses Heben nähern sich die untern Reflectoren dem Refractor, die oberen entfernen sich von ihm. Will man nun ausser für den Refractor auch noch congruente Profile für die Reflectoren haben, so muss man zwischen jenem und diesen Zwischenräume, resp. Ueberdeckungen von bestimmter Grösse zu Grunde legen, die sich natürlich höchstens für eine einzige bestimmte Lichthöhe durch die für die Reflectoren nöthige Hebung genau eliminiren können, für andere Höhen aber einen Lichtverlust zur Folge haben müssen. Zu beachten ist dabei, dass bei grossen Apparaten zwischen dem Refractor und den Reflectoren horizontale Rahmenstücke nöthig sind. — Statt die Prismen zu heben, kann man die einzelnen Segmente auch um horizontale Achsen drehen, bis die mittleren Neigungen der reflectirenden Flächen derartig sind, dass die Brennpunktstrahlen nach dem Seehorizont gehen. Ein kleiner Lichtverlust muss offenbar auch hieraus resultiren, aber auf diese Weise ist die Beibehaltung congruenter Profile für verschiedene Lichthöhen möglich.

haben derartige Dispositionen natürlich nicht die geringsten Schwierigkeiten, und über die bei polygonalen rotirenden Feuern anzuwendenden Mittel ist im Text dieses Werkes ausführlich die Rede gewesen. \*)

Als Brennpunkt könnte man für jeden einzelnen Glasring einen besondern Punkt wählen; dies ist jedoch nicht üblich und, wie man leicht aus den bisherigen Mittheilungen ersieht, auch nicht practisch. Man nimmt vielmehr in der Regel für den Refractor, für die untern und für die obern Reflectoren je besondere gemeinschaftliche Brennpunkte an, und es ist jetzt zu untersuchen, nach welchen Regeln man diese dreierlei verschiedenen Brennpunkte zu wählen hat.

Was zunächst den Refractor, diesen als für horizontale Brennpunktsstrahlen berechnet vorausgesetzt, betrifft, so geht, wenn man in ihn eine Flamme von räumlicher Ausdehnung stellt, von jedem Punkt seiner Oberfläche ein Lichtkegel mit horizontaler Achse aus. In einiger Entfernung von dem Leuchtturm verschwinden gegen diese Entfernung die Dimensionen des Apparats, und es erscheinen die austretenden Strahlen im Verticalschnitt wie von einem Punkt ausgehend. Da die hellsten Theile der Flamme näher bei dem Brenner als bei der Spitze der Flamme liegen\*\*), so befindet sich in einem solchen Schnitt die grösste

\*) Auf S. 173 wurde mit Beziehung auf Fig. 8a, Taf. A bereits erwähnt, dass kleine Dreiecke an den dicken Enden der Refractorprofile optisch keine nutzbringende Wirkung haben; man erkennt jetzt, dass für geneigte austretende Strahlen diese Dreiecke eigentlich schaden, wenigstens für die untern Profile, insofern sie die auf ihre horizontalen Seiten auffallenden, von den Nachbarprofilen bereits richtig dirigirten Strahlen theils durch Oberflächen-Reflection, theils durch Refraction von ihren Richtungen ablenken und theilweise in die Wolken schicken. Dies hat einen kleinen Lichtverlust zur Folge, im Uebrigen aber für hohe Flammen keine weitem Nachtheile. Für sehr kleine und niedrige Flammen würde diese Anordnung aber auf der See dunkle oder schwach beleuchtete Streifen oder Kreise zur Folge haben, und darum wendet man für solche Fälle die Anordnung Fig. 8b an.

\*\*) Die Bestimmung der Lage des hellsten Punkts einer Flamme für eine bestimmte Richtung ist eine keineswegs leichte Aufgabe der Photometrie, und es gehören lange Beobachtungsreihen dazu, hier die richtigen Maasse zu treffen. Ein brauchbares Hilfsmittel kann dabei die Photographie sein; exponirt man die lichtempfindliche Platte der Einwirkung der Flamme nach der betreffenden Richtung während verschieden langer Zeitintervalle, so zeigen die hiernach angefertigten positiven Bilder für die hellste Gegend der Flamme hellere Töne und bieten demnach ein Mittel, die Lage des hellsten Strahls nach dem Augenschein wenigstens angenähert zu bestimmen.

Lichtintensität etwas oberhalb der Mitte, vorausgesetzt, dass der Brennpunkt des Refractors und der hellste Punkt der Flamme coïncidiren. Zu beiden Seiten dieses Maximums nimmt die Intensität erst langsam, dann rasch ab und reducirt sich schliesslich beiderseitig auf Null. Dem entspricht eine Curve der Art, wie Fig. 39, Taf. C, zeigt, in der die verticalen Ordinaten als die Neigungen des betreffenden Strahls des Verticalschnitts gegen die horizontale Achse  $aa$ , die horizontalen Abscissen die zugehörigen Intensitäten sind. Je grösser die Intensitäten sind, desto grösser sind auch die entsprechenden Sichtweiten; darnach erkennt man die folgende Disposition als die beste: Man dirigire die Strahlenachse  $aa$ , in der sich die grösste Intensität findet, so, dass nicht sie, sondern etwa eine oberhalb gelegene Linie  $a_1a_1$  dem Seehorizont zugeordnet werde; dadurch leidet die Maximal-Sichtweite nur wenig, da  $a_1a_1$  nur wenig kürzer als  $aa$  ist, man gewinnt aber mehr Licht für die Beleuchtung des Seeraums zwischen Horizont und Thurm, als wenn die Achse  $aa$  der grössten Intensität nach dem Horizont gerichtet würde. Dieses ist um so wesentlicher, als gerade in der Nähe der Horizontstrahlen — das Wort Nähe ist hier so zu sagen in Winkelmaass zu verstehen — kleinen Winkeln grosse Entfernungen auf der See entsprechen, man also aus einer geringen Einbusse für die Beleuchtung des Seehorizonts grossen Vortheil für die Beleuchtung des Seeraums zwischen Horizont und Thurm zieht. Selbstverständlich gehen die Strahlen über  $a_1a_1$  für die Zwecke der Beleuchtung verloren — abgesehen von dem kleinen Theil, welcher wegen der Augenhöhe des Seemanns, so lange sich das Auge über dem Horizontalstrahl befindet, erfordert wird — da sie oberhalb des Seehorizonts, zum Theil sogar oberhalb des wirklichen mathematischen Horizonts liegen; dieser Lichtverlust ist jedoch in der Natur der Sache begründet, und es giebt kein Mittel, ihn zu vermeiden. Legt man, um das Quantum des auf diese Weise verlorenen Lichts auf ein äusserstes Minimum zu reduciren, den Horizontstrahl, also die Linie  $a_1a_1$  in Fig. 39 zu hoch, so verliert man beträchtlich an Intensität für den Horizont, ohne hierfür ein genügendes Aequivalent zu finden in der geringen Länge, um welche die Beleuchtung der See dichter an den Ort des Lichts herantritt, während das kräftigste Licht,  $aa$ , vielleicht schon so nahe an den Thurm heranrückt, dass seine Intensität hier nicht mehr ausgenutzt wird und wohl gar durch zu starkes Blenden nachtheilig wirkt. Sehr klar werden diese Ver-

hältnisse durch Betrachtung der Fig. 35 und 36, Taf. D, die gerade für diesen Zweck gezeichnet sind. — Man erkennt also, dass die ganze Aufgabe darauf hinauskommt, die Horizontalebene der grössten Intensität zu bestimmen und sie in die relativ richtige Lage zum Refractor zu bringen und in dieser Lage zu erhalten. Nach Reynaud liegen in Apparaten erster Ordnung bei voll entwickelter (Rüböl-) Flamme die hellsten Punkte 15 bis 50<sup>mm</sup> über der Oberkante des Brenners, und man stellte im französischen Dienst für alle Lichthöhen von 45 bis 100<sup>m</sup> über dem Meeresspiegel die Oberkante des Brenners 28<sup>mm</sup> unter den in der verticalen Achse des Apparats belegenen Brennpunkt des Refractors.

Diese Einführung eines gleichen Maasses bei so grossen Differenzen in den Lichthöhen ist gewiss nicht rationell zu nennen und steht mit der Theorie in directem Widerspruche, denn nach der Formel auf S. 234 ergibt sich  $\Delta = 11' 53''$  für  $h = 45^m$ , dagegen  $\Delta = 17' 39''$  für  $h = 100^m$ ; sie lässt sich höchstens aus der Unsicherheit über die Lage der hellsten Punkte einigermaassen begründen. Nimmt man jene 28<sup>mm</sup> als normal an für eine Höhe  $h = 70^m$ , so muss für Lichthöhen  $h_1 > 100^m$  dieses Maass von 28<sup>mm</sup> reducirt, die Lampe mit der Flamme muss gehoben werden. Das Maass der Hebung ist mit Bezug auf Fig. 38, Taf. C, offenbar die Differenz der beiden Werthe von  $z$ , welche sich ergeben, wenn man  $r = 92^{\text{cm}}$ , und ein Mal  $\delta = \Delta$  für  $h = 70^m$ , ein anderes Mal  $\delta = \Delta_1$  für  $h = h_1$  macht. Für  $h = 70^m$  ist  $\Delta = 14' 47''$ , und beispielsweise für  $h_1 = 140^m$  ist  $\Delta_1 = 20' 41''$ ; ist nun  $Ap = \Delta$ ,  $Ap_1 = \Delta_1$ ,  $no \parallel pp_1^*$ , so ist offenbar  $on_1$  das Maass, um welches die Lampe für  $h = 140^m$  über die erwähnte Normalstellung gehoben werden müsste. Dieses Verfahren wurde nach Reynaud in Frankreich in der That beobachtet, als man noch Rüböl brannte. Für kleinere Apparate gelten, statt jener 28<sup>mm</sup> bei 70<sup>m</sup> Höhe für Apparate erster Ordnung, folgende Zahlen:

Ordnung 1 . . . . .	28 <sup>mm</sup>	bei 70 <sup>m</sup> ;
„ 2 . . . . .	26 <sup>mm</sup>	„ 45 <sup>m</sup> ;
„ 3 (3 und 4 deutsch)	24 <sup>mm</sup>	„ 25 <sup>m</sup> ;
„ 4 (5 „ 6 „ )	22 <sup>mm</sup>	„ 12 <sup>m</sup> .

Bei polygonalen Linsen-Apparaten, deren Refractoren also durch Rotation der Profile um horizontale Achsen entstanden sind, kann man die richtige Neigung der Strahlen auch durch Neigung der

\*) Die Punkte  $n$  und  $n_1$  liegen auf der Curve  $AM$ , resp. auf den Ordinaten von  $p$  und  $p_1$ ; der Punkt  $o$  liegt auf  $p_1 n_1$ .

„Stevenson, Illumination der Leuchthürme“ (Anhang).

Linsen nach auswärts erreichen; bei Feste-Feuer-Apparaten geht das natürlich nicht.

Für die Wahl der Brennpunkte der untern Reflectoren treten der Brenner und die Lampe als bestimmende Factoren mit auf, da viele derjenigen Strahlen, welche die Richtung nach diesen Reflectoren nehmen, vom Brenner und Lampe aufgefangen werden und verloren gehen, so dass demnach die Disposition für die übrigen Strahlen möglichst vortheilhaft getroffen werden muss. Durch das Auffangen eines Theils der Strahlen wird die mittlere verticale Ausdehnung der Flamme und damit auch die verticale Divergenz der austretenden Strahlen reducirt und in um so engere Grenzen eingeschlossen, je niedriger der betreffende Ring liegt. Wollte man also diese Profile so disponiren, dass sie einen Theil der auf sie fallenden Strahlen auf die See in der Nähe des Thurms würfen, so würde der Seehorizont von ihnen gar kein Licht empfangen; nur bei sehr geringen Höhen des Lichts über dem Seespiegel würden noch einige Strahlen nach dem Horizont gehen. Daher ist es, um überhaupt das beste Licht nach dem Seehorizont zu bringen, am vortheilhaftesten, eine solche Anordnung zu treffen, dass von den für irgend ein Profil übrig bleibenden Strahlen die hellsten nach dem Horizont gehen, während dann alle niedrigeren Strahlen auf die See fallen und alle höheren verloren gehen. Je niedriger die Ringe liegen, desto mehr Strahlen werden, wie gesagt, von Brenner und Lampe aufgefangen, desto höher müssen also auch die Brennpunkte liegen. Bei Annahme eines gemeinschaftlichen Brennpunkts erreicht man denselben Zweck, wenn man diesen Brennpunkt aus der verticalen Achse des Apparats herausrückt und denselben in die äussere Peripherie der Flamme zwischen Achse und Profile legt. Sind dann die Profile für parallel und horizontal austretende Brennpunktstrahlen berechnet, so hat man dieselben bei feststehend gedachter Flamme so hoch zu heben, dass jene Strahlen nach dem Seehorizont gehen. Nach Reynaud liegen die Brennpunkte über dem Brennpunkt des Refractors, in der Achse, bei Apparaten der

Ordnung 1 um 10, 14, 18, 22, 26, 29, 32<sup>mm</sup>;

„ 2 „ 10, 14, 19, 25, 32<sup>mm</sup>;

„ 3a „ 10, 14, 18, 22<sup>mm</sup>;

„ 3b „ 8, 13, 20<sup>mm</sup>;

„ 4a „ 7,5, 12,5, 18,75<sup>mm</sup>;

„ 4b „ 6, 10, 15<sup>mm</sup>.

Die Depression der Brennpunktstrahlen muss dann entweder bei der Berechnung der Profile gleich eingeführt, oder diese müssen vertical gehoben, oder die einzelnen Glassegmente müssen um horizontale Achsen um ein Geringes gedreht werden, so weit, dass die mittlere Neigung der reflectirenden Fläche eines jeden Segments die hellsten Strahlen nach dem Seehorizont dirigirt.

Wesentlich anders als für die untern liegt die Sache für die obern Reflectoren, die man für eine ausgedehnte Beleuchtung des offenen Seeraums disponiren kann, ohne wesentlich an Intensität für den Horizont einzubüssen. Ersteres ist um so wesentlicher, als diese Reflectoren noch Licht auf die See schicken, wenn zufällig wegen zu geringer, nicht normaler Flammenhöhe der Refractor für diesen Zweck den Dienst versagt. Herr Chance legt daher den gemeinschaftlichen Brennpunkt der sämtlichen Profile der obern Reflectoren in die Horizontalebene des Brennpunkts des Refractors, etwas hinter die verticale Achse, und rechnet dann sowohl für diese, wie für die untern Reflectoren geneigte Strahlen, was gewiss das rationellste Verfahren ist und auch practisch sehr gut durchführbar wird, wenn man für verschiedene Lichthöhen eine mittlere Depression einführt. — Nach Reynaud liegt für die Apparate der beiden ersten Ordnungen der gemeinschaftliche Brennpunkt der obern Reflectoren  $10^{\text{mm}}$  über demjenigen des Refractors, fällt dagegen für kleinere Apparate mit diesem zusammen; für die den Strahlen zu gebende Neigung gilt dasselbe, was vorhin bei den untern Reflectoren gesagt wurde.

Alle bislang angegebenen Zahlen über die Lage der Brennpunkte beziehen sich auf die alte Rüböl-Flamme; die Flamme des jetzt eingeführten Boghead-Oels hat, wie bereits früher erwähnt, eine andere Structur als diese, und muss daher auch für die Brennpunkte zu wesentlich andern Zahlen führen; leider sind solche in dem Bericht nach Reynaud nicht angegeben. Die Flamme des Douglass-Brenners (siehe Seite 162) soll sich besonders dadurch auszeichnen, dass in ihr die Zone der grössten Licht-Intensität schärfer markirt und enger begrenzt ist, als bei der alten Rüböl-Flamme. Da nun diese Intensität auch absolut grösser ist, als bei der alten Flamme, während diese selbst niedriger ist, als die neue Mineralöl-Flamme, so ergiebt sich hieraus nach dem Gesagten ein erheblicher Vortheil zu Gunsten der neuen Brenner. Die folgenden Maasse der Entfernung der Zone der grössten Intensität über Oberkante-Brenner werden jetzt

von Trinity-House als normal angenommen, für Brenner von 6 Dochten abwärts bis zu 1 Docht: 19, 17,5, 16, 15, 14 und 13 Millimeter.

Aus Allem, was bis jetzt über die Disposition und Berechnung der dioptrischen Apparate gesagt ist, geht zur Genüge hervor, dass das ganze Verfahren ein einigermaassen complicirter Process ist, der eine ganz klare Uebersicht über das Ziel, welches man erreichen will, und über die hierfür disponibeln Mittel und deren Natur verlangt. Nicht minder schwierig sind die Manipulationen, welche nöthig sind, um den auf dem Papier fertigen Entwurf des Ingenieurs auszuführen, und besonders difficil sind das Schleifen der einzelnen Glastheile nach den durch die Rechnung festgelegten Profilformen und die Zusammenstellung oder Montirung der einzelnen Stücke in ihrem Rahmenwerke im Leuchtturme selbst. Die ganze Aufgabe ist so sehr mathematischer Natur, dass man auf eine den Anforderungen der Praxis vollständig genügende Lösung derselben unter allen Umständen nur dann rechnen kann, wenn man Mittel findet, jeden Augenblick die practisch geleistete Arbeit direct mit den Anforderungen der Theorie vergleichen zu können. Ein dioptrischer Apparat ist in dieser Beziehung nichts Anderes, als jedes andere mathematische Instrument, dessen Theorie und Construction erst dann als fertig zu betrachten sind, wenn beide vereint hinreichende Mittel bieten, um die Construction mit den Anforderungen ihrer Theorie so weit in Einklang zu bringen, wie es die Praxis nothwendig macht. — Es ist eine eigenthümliche Thatsache in der Geschichte des Leuchtturmwesens, dass Herr Augustin Fresnel bereits im Jahre 1822 sein berühmtes Memoire über die Construction dioptrischer Apparate schrieb, und dass es von diesem Zeitpunkt an noch beinahe 40 Jahre dauerte, bis sich eine allen Anforderungen der Praxis genügende Methode zur Prüfung und Justirung der Apparate etablirte\*), eine Methode,

\*) Für die Refractoren allein hatte schon früher Herr Alan Stevenson ein Verfahren zur Prüfung ihrer Form angegeben, welches darauf beruht, die eventuelle Abweichung eines, zu einem bestimmten leuchtenden Punkt conjugirten Brennpunkts von seiner durch Rechnung, nach den bekannten Formeln aus der Theorie der Linsen, bestimmten Lage festzustellen und so ein Criterium für die Uebereinstimmung oder Nichtübereinstimmung des durch Schleifen hergestellten Profils mit der berechnenden Profilform zu gewinnen; ein Verfahren, welches aber augenscheinlich besser für die Werkstatt, als für die Montirung in der Laterne geeignet ist.



die in ihrer Theorie und in ihrer Ausführung so einfach ist, dass man sich darüber wundern muss, dass dieselbe nicht momentan mit dem ersten Entwurf eines dioptrischen Apparats ins Leben trat. Dies ist um so auffallender, als ein ähnliches Verfahren schon angewendet wurde für die über dem Refractor aufgestellten Spiegel bei der Montirung des ersten dioptrischen Apparats im Tour de Cordouan (vergl. Seite 35 ff. im Text), ohne dass dasselbe im Laufe des eben genannten Zeitraums auf die, an die Stelle solcher Spiegel getretenen catadioptrischen Reflectoren und auf die Refractoren übertragen wurde. Erst in den Jahren 1858 bis 1861, als die britische Leuchtfeuer-Commission arbeitete (vergl. deren auf Seite 143 unter 5) citirten Bericht), gab der Secretair dieser Commission, Herr J. F. Campbell, die Idee der neuen Methode an, die dann in kürzester Zeit von ihm und den Herren Airy, Faraday und besonders von J. T. Chance in Birmingham ausgebildet wurde. — Will man von einer Theorie dieser Methode überhaupt reden, so besteht dieselbe einzig und allein in dem Satze, dass ein Lichtstrahl, um von einem Punkt  $B$  nach einem andern Punkt  $A$  zu gelangen, in umgekehrter Richtung genau dieselbe Bahn verfolgt, die ein anderer Strahl nimmt, der von  $A$  nach  $B$  geht, einerlei, welche Medien der Strahl auf seiner Bahn antrifft. Denkt man sich dementsprechend das Auge eines Beobachters in dem Brennpunkt eines Profils befindlich, welches derartig berechnet, ausgeführt und montirt ist, dass die von diesem Brennpunkt ausgehenden Strahlen den Seehorizont treffen, so muss das nach dem Profil blickende Auge, wenn Ausführung und Montirung correct sind, in dem Profil den Seehorizont erblicken. An dieser Thatsache baut sich das ganze Verfahren auf, und es ist wesentlich dasselbe, einerlei, ob es sich um die Prüfung der Form oder um diejenige der Montirung und um die Justirung der letzteren handelt, und wird nur durch die Oertlichkeit, an der diese beiden Prüfungen vorgenommen werden müssen, etwas modificirt. Im erstern Fall — ich folge von jetzt ab, zum Theil fast wörtlich, der Beschreibung von Herrn Chance in der auf Seite 143 unter 3) citirten Abhandlung — befestigt man das zu prüfende Glasstück (das einem gewöhnlichen Feste-Feuer-Apparat angehörend gedacht wird) in einem provisorischen Rahmen in seiner richtigen Stellung relativ zum Brennpunkt des correspondirenden Theils des Apparats (resp. zu dem, dem Stück zugehörigen besonderen Brennpunkt), welcher Punkt durch ein dazu geeignetes Instrument markirt wird. Auf

der entgegengesetzten Seite des Rahmens wird ein scharf markirtes Object in der Horizontal-Ebene, welche den zu prüfenden Theil\*) des Glasstücks halbirt, aufgestellt. Ein in passender Entfernung hinter dem Brennpunkt befindliches Auge erkennt dann die Richtung, in der das Bild des äussern Objects auf der Mitte des Schnittes von dem Prisma in der durch den Brennpunkt und das Object gelegten Vertical-Ebene erscheint und bemerkt sofort eine etwa vorhandene Abweichung (von der durch den Brennpunkt gehenden Richtung resp.) von dem Brennpunkt. Durch Bewegung des Auges auf- und abwärts in der Vertical-Ebene ist es leicht, die Lage des wirklichen Brennpunkts des ganzen Profils für den von dem Centrum des Objects kommenden Strahl zu fixiren, sowie auch anzugeben, ob das Glas zu stark convergirend oder zu stark divergirend wirkt.\*\*)

Je weiter das Object von dem Glassegment entfernt ist, desto näher wird der für dieses Object gefundene Brennpunkt demjenigen für parallele Strahlen sein. Lässt man schliesslich das Glassegment um eine Achse, die mit derjenigen der Rotation für die Erzeugung des Segments zusammenfällt, rotiren, so kann man jeden Meridianschnitt desselben in gleicher Weise behandeln. Im Allgemeinen wird jedoch, nach einiger Uebung, die einfache Bewegung des Auges, sogar mit Beibehaltung der festen Stellung des äussern Objects, genügen, um die Prüfung auf einen grössern Theil des Glases auszudehnen. (So lange die Profile bei dieser Prüfung den an sie gestellten Anforderungen noch nicht genügen, ist der Schleifprocess noch nicht als beendet anzusehen.)

Die schliessliche Justirung und Verificirung der verschiedenen Theile des Apparats in ihrem definitiven Rahmenwerk erfolgt in ganz ähnlicher Weise, nur mit dem Unterschiede, dass das äussere Object successive in die Seehorizont-Richtung für jede einzelne Zone gestellt wird, statt in die horizontale Linie. (Für die einzelnen Theile der Refractoren, deren relative Stellung zu einander

\*) In dem Fall eines verticalen Rings oder Segments ist dieser Theil natürlich ein von der Vertical-Ebene durch die Erzeugungssache gemachter Schnitt.

\*\*) Streng genommen müssten die erzeugenden Schnitte der reflectirenden Zonen mit den zugehörigen Lagen ihrer Seehorizonts-Brennpunkte harmoniren; und, als eine im Allgemeinen zulässige Annäherung, könnten diese Schnitte angefertigt und fürs Erste geprüft werden für eine bestimmte Depression des Horizonts, für Apparate erster Ordnung etwa für einen Winkel von  $10^{\circ}$ . (Vergl. in Fig. 36, Taf. D die Werthe von  $\Delta$  für verschiedene Werthe von  $h$ .)

in Folge ihres Aufbaus unveränderlich ist, da sie sich in ebenen (oder ringförmigen) Flächen berühren und demnach die Stellung eines einzelnen Theils nicht geändert werden kann, ohne auch die übrigen in Mitleidenschaft zu ziehen, bleibt dann als letzte Correction das Mittel, die Lampe so weit zu heben, oder zu senken, bis diejenigen Strahlen nach dem Seehorizont gehen, die dafür bestimmt sind; die einzelnen Glaswände von polygonalen Apparaten könnte man auch nach auswärts neigen. Anders liegt die Sache für die Reflectoren, welche einzeln eine geringe Drehung um horizontale Achsen gestatten, bis so zu sagen der mittlere Effect derselben mit den beim Entwurf des Apparats gemachten Voraussetzungen genügend scharf zusammenfällt; dabei ist auch ein directes Heben oder Senken der Reflectoren nicht ausgeschlossen.

Bei kleineren Apparaten, deren geringer innerer Durchmesser ein Hineintreten in dieselben zum Zweck innerer Beobachtung nicht gestattet, für den Fall, dass man sich nach erfolgter definitiver Aufstellung in der Laterne von dem Gange der von der Flamme ausgehenden Strahlen überzeugen will, könnte man sich allenfalls durch Spiegel helfen; doch stehen solche Apparate ihrer Natur gemäss immer in geringen Höhen über dem Meeresspiegel, und ist darum eine scharfe Justirung derselben für den Seehorizont in der Laterne selbst von geringerer Bedeutung als bei den grösseren Apparaten, und man kann sich im Allgemeinen mit den Prüfungen, die der Fabrikant in seiner Werkstatt vornehmen muss, begnügen, vorausgesetzt, dass diese sowohl für die Form der Glastheile allein während des Schleifens, wie auch für die Stellung und Befestigung derselben in dem definitiven Rahmenwerk vorgenommen werden.)

Eins ist übrigens noch in Bezug auf die letzte Justirung der Apparate zu bemerken: Es ist klar, dass kein Glassegment in einen Apparat gestellt werden darf, bevor nicht das ganze Rahmenwerk zusammengesetzt ist, genau so, wie es an seinem definitiven Bestimmungsort sein soll, und bevor dasselbe genau nivellirt ist. Nichts könnte unwissenschaftlicher sein, als das früher häufig beliebte Verfahren, dass die Fabrikanten von Leuchthurm-Apparaten nur die einzelnen Fächer lieferten, in denen sie die Glassegmente definitiv befestigt hatten, während ein anderer Constructeur beauftragt wurde, dieselben zusammenzufügen. Es giebt vielerlei ernste Einwände gegen ein solches Verfahren. Zunächst ist es beinahe unausführbar, gleich das erste Mal genügende Genauigkeit zu garantiren, wenn beim Justiren der Gläser der Apparat in successiven

Theilen und nicht als Ganzes behandelt wird. Ferner wird die erste Justirung, wie sorgfältig sie auch gemacht sein möge, stets eine Aenderung erleiden in den Händen eines Andern, denn ein Fehler von nur einem Hundertstel eines Zoll in der horizontalen Lage irgend eines Theils verursacht eine bedeutende Ablenkung der Lichtstrahlen. Endlich wird auch die Verantwortlichkeit eine getheilte. Vielleicht ist es kaum nöthig, hinzuzufügen, dass während der Justirung der Glaszonen das Rahmenwerk des Apparats nicht in irgend welcher Weise afficirt oder gestört werden darf. Stützt sich z. B. während dieser Arbeit ein Arbeiter auf das Rahmenwerk, so kann dadurch die Stellung desselben geändert werden, und auch in dem Fall eines Drehfeuers sollte jeder horizontalen Schwingung des Apparats so viel wie irgend möglich vorgebeugt werden.

#### Druckfehler.

Seite 5, Anmerkung, Zeile 2 von unten, lies: Crownglas (Kronglas) statt Craveglas.

Seite 83, Zeile 16 von oben, lies: Baak statt Bank.

„ 142, „ 4 „ unten, „ Formulae statt Formular.



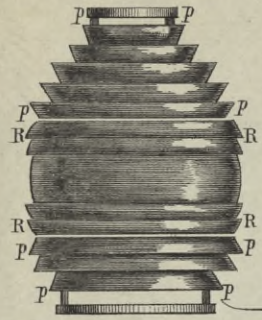


Fig. 1.

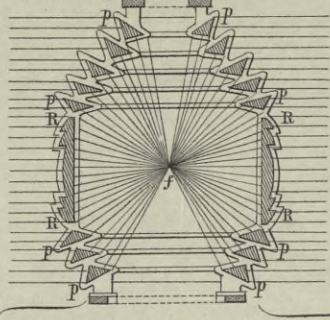


Fig. 2.

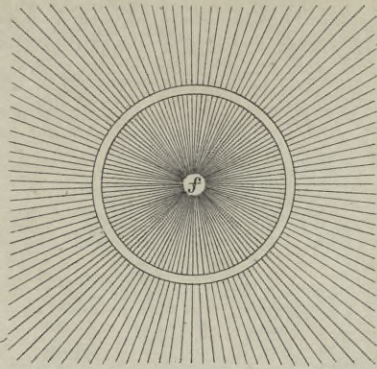


Fig. 3.

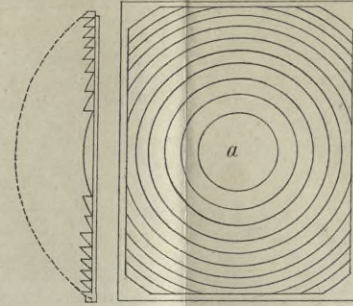


Fig. 4.

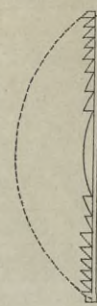


Fig. 5.

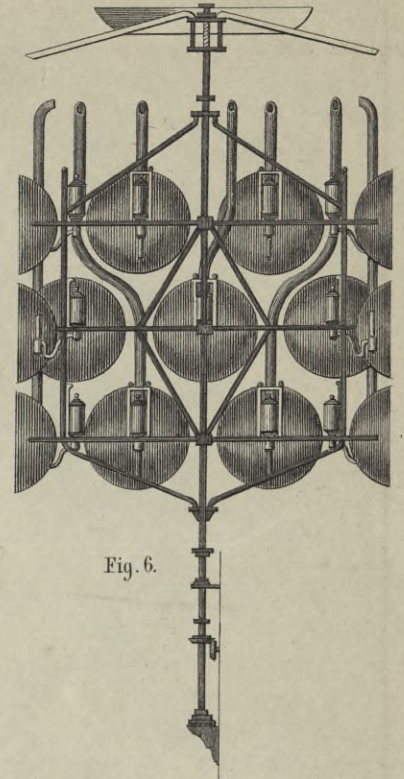


Fig. 6.

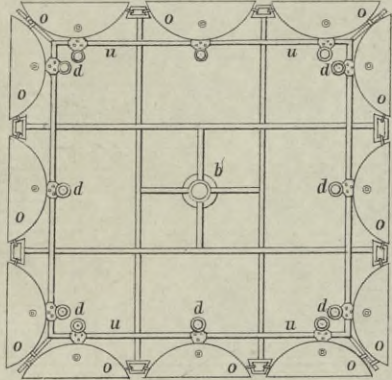


Fig. 7. (zu Fig. 6)

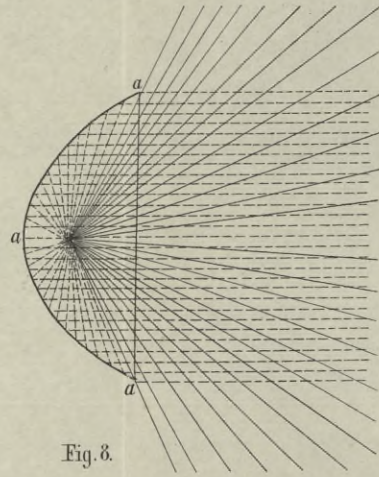


Fig. 8.

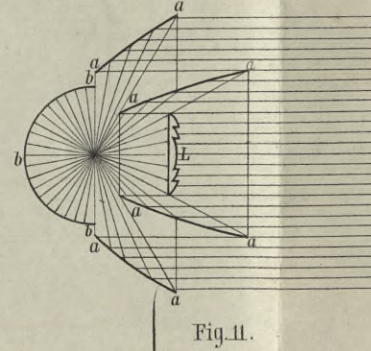


Fig. 11.

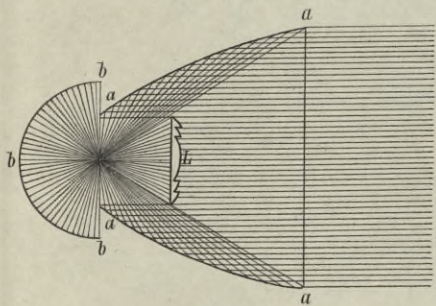


Fig. 9.

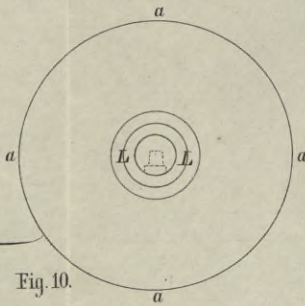


Fig. 10.

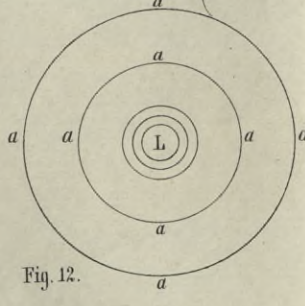


Fig. 12.

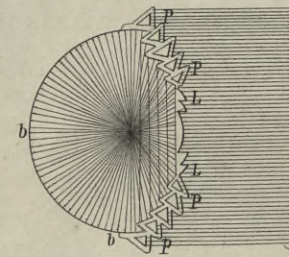


Fig. 13.

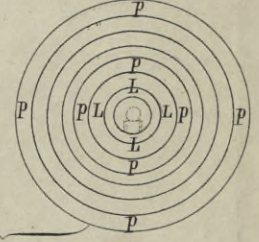


Fig. 14.



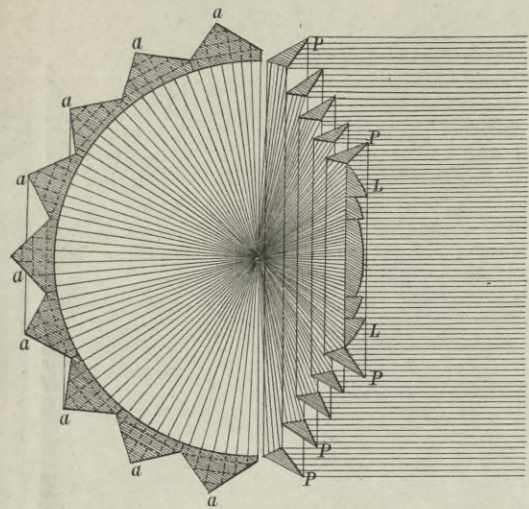


Fig. 15.

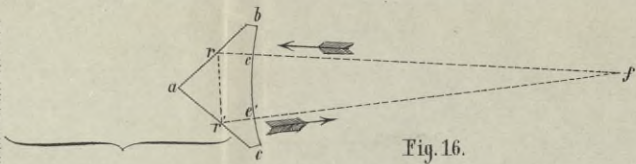


Fig. 16.

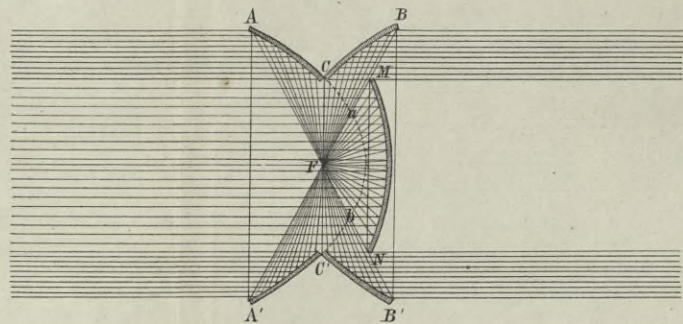


Fig. 18.

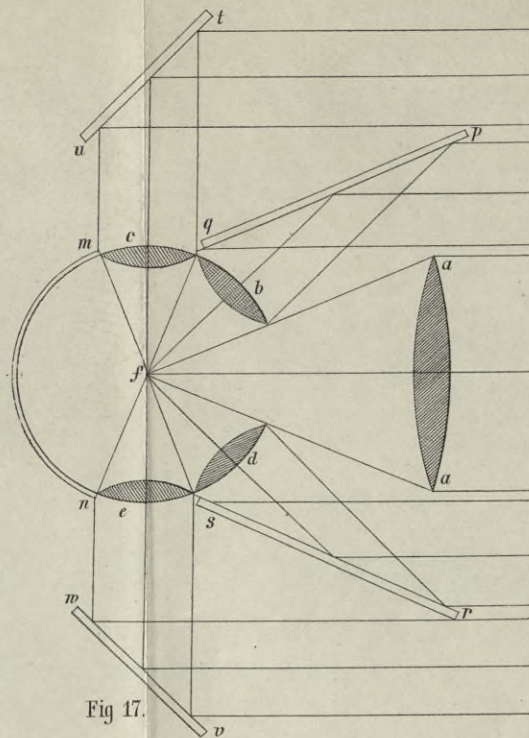


Fig. 17.

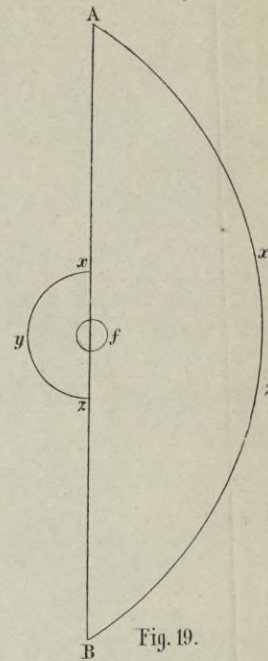


Fig. 19.

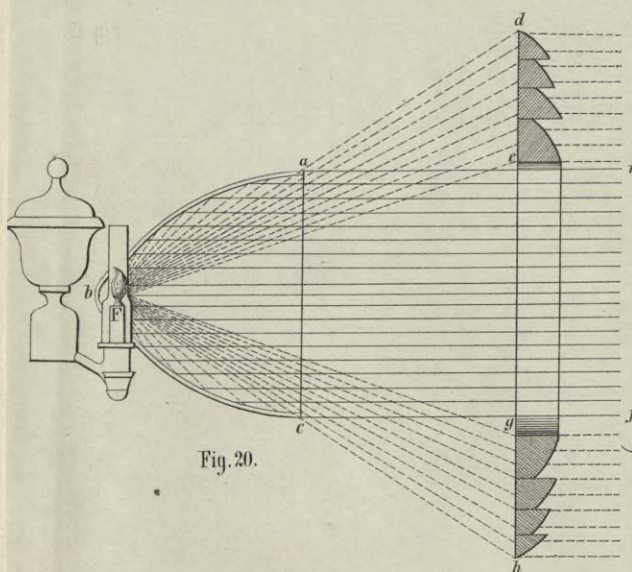


Fig. 20.

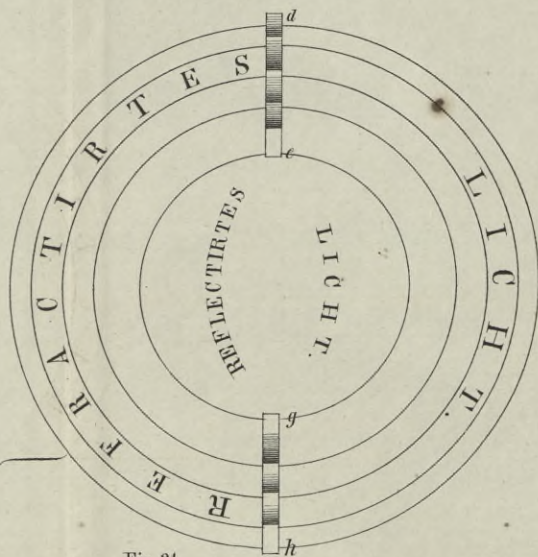


Fig. 21.

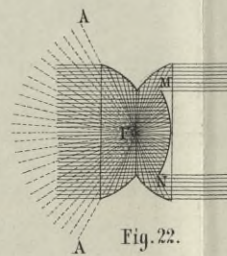


Fig. 22.

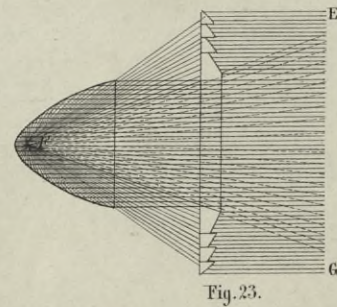


Fig. 23.

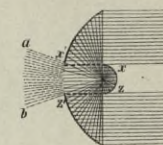


Fig. 24.

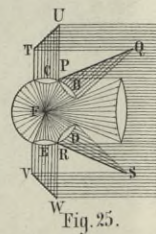


Fig. 25.

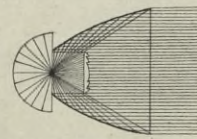


Fig. 26.

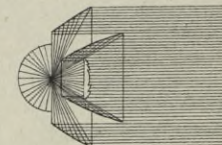


Fig. 27.





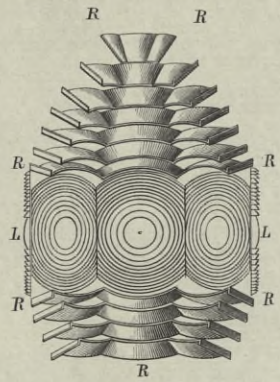


Fig. 28.

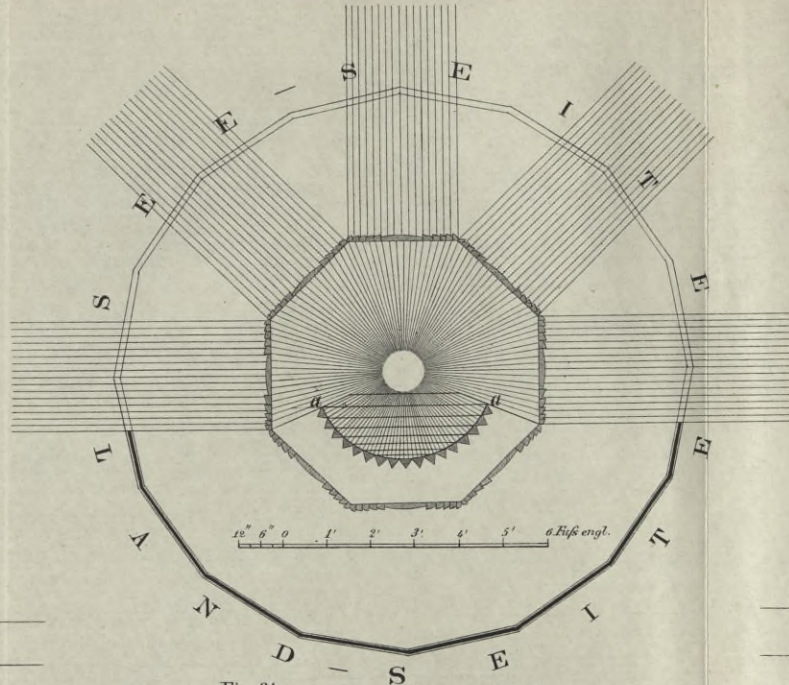


Fig. 31.

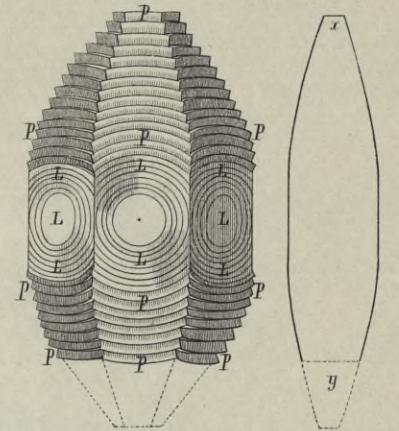


Fig. 30.

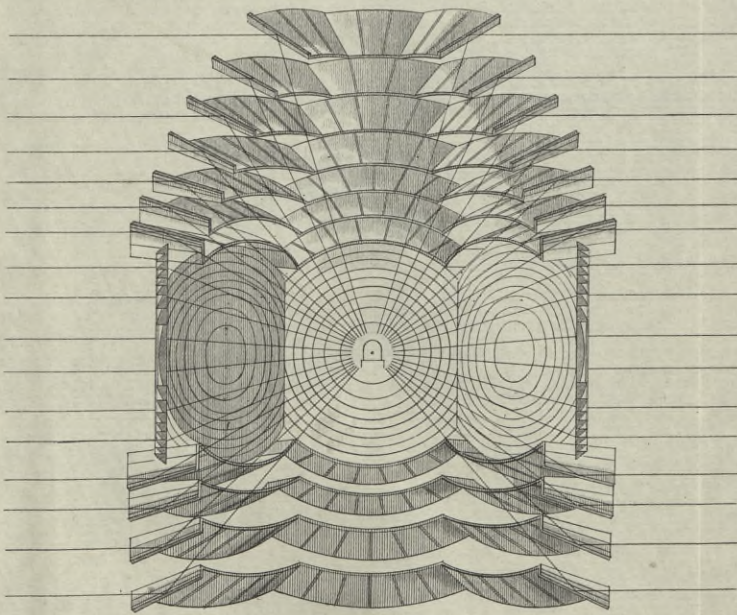


Fig. 29.

12" 6" 0 1' 2' 3' 4' 5 Fuß engl.

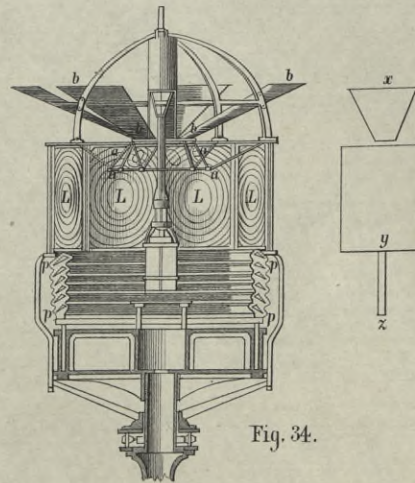


Fig. 34.

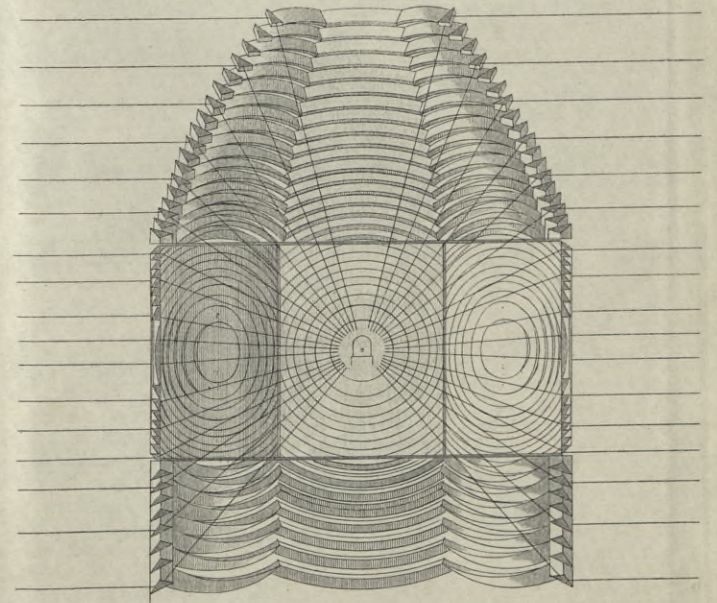


Fig. 32.

12" 6" 0 1' 2' 3' 4' 5 Fuß engl.



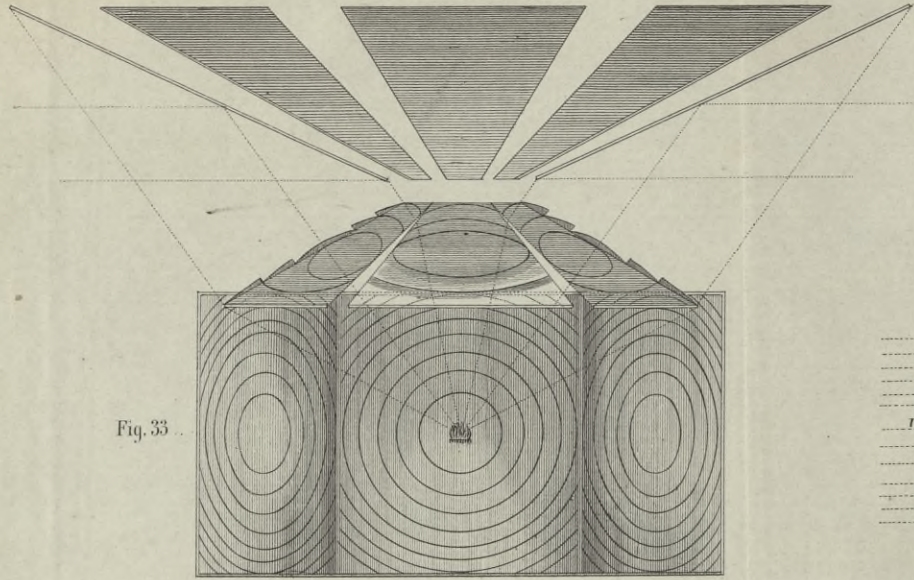


Fig. 33.

Aus „ PHARES ET FANAUX des Côtes de France  
L. Fresnel PARIS 1842.”

12' 6" 0' 1' 2' 3' 4' 5' 6 Fuß englisch

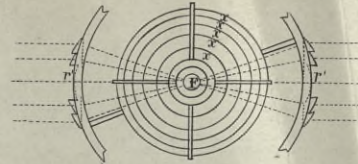


Fig. 37.

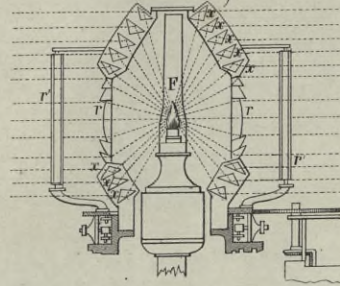


Fig. 36.

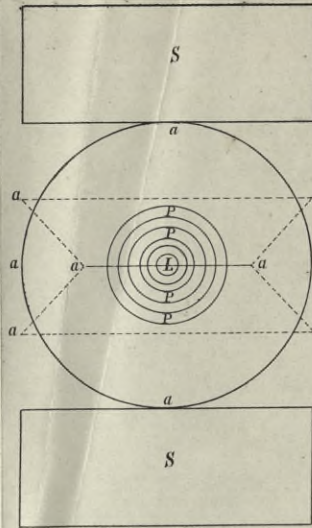


Fig. 41.

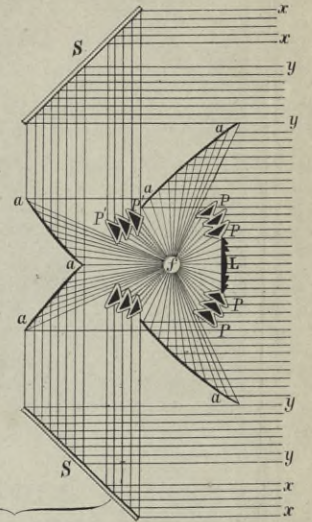


Fig. 42.

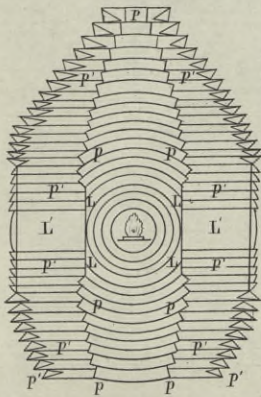


Fig. 35.

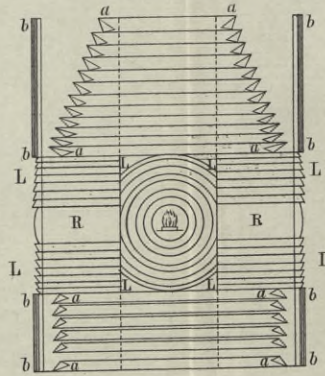


Fig. 38.

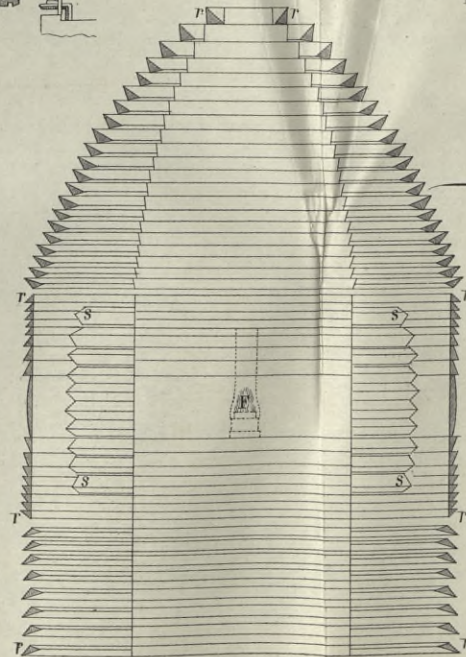


Fig. 39.

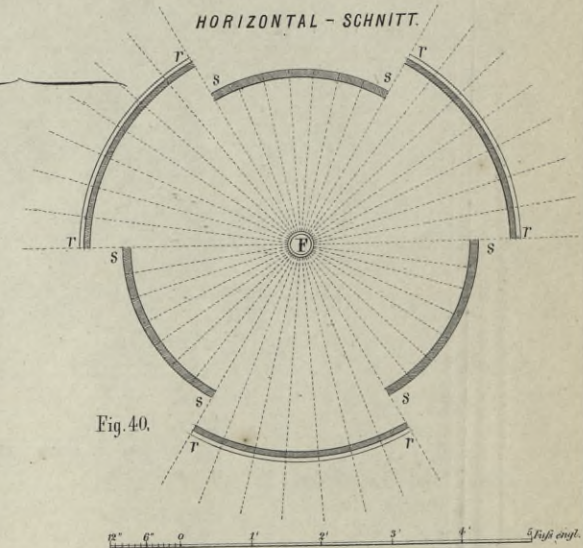


Fig. 40.

12' 6" 0' 1' 2' 3' 4' 5' 6 Fuß englisch



Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej  
Kraków 1922



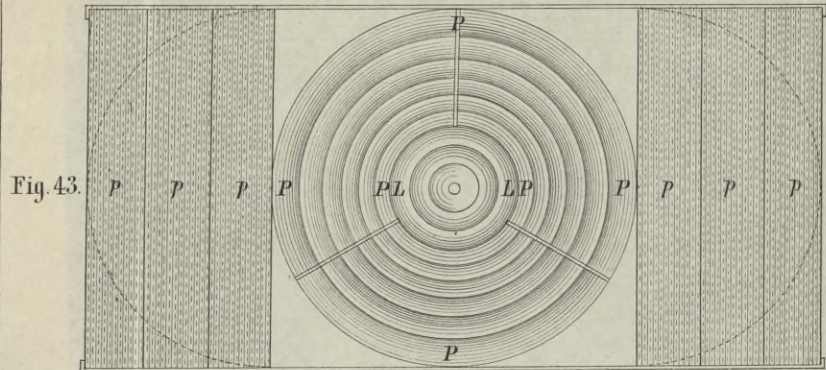


Fig. 43.

Vorder-Ansicht.

Mittlerer Horizontal-Schnitt.

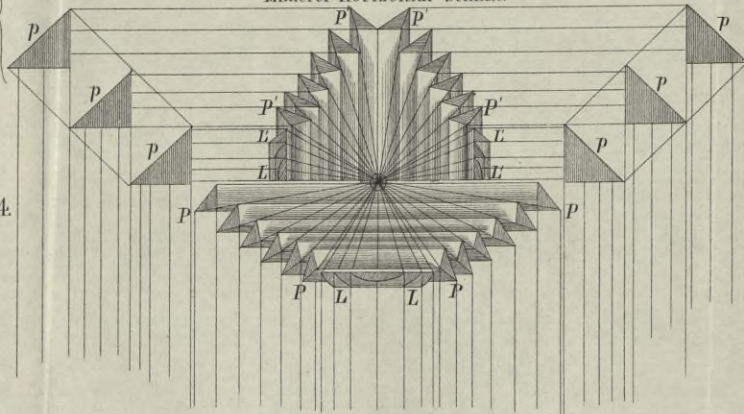


Fig. 44.

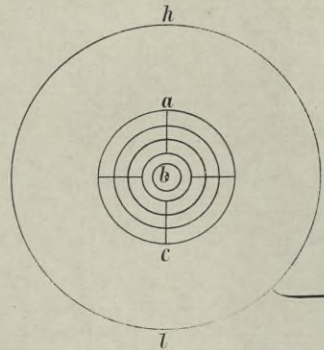


Fig. 45.

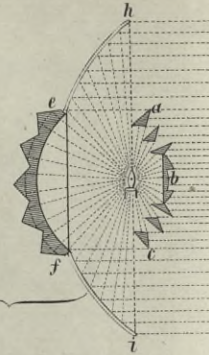


Fig. 46.

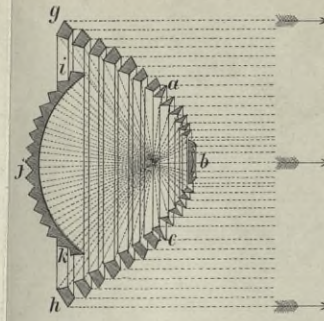


Fig. 49.

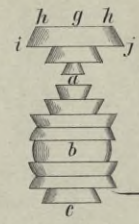


Fig. 47.

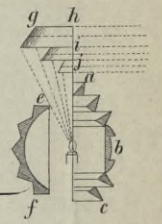


Fig. 48.

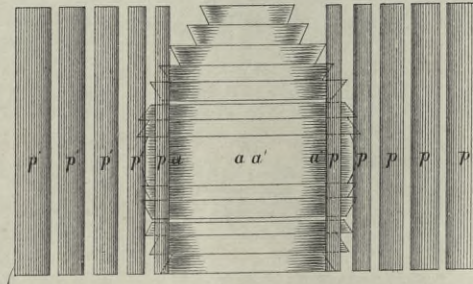


Fig. 51.

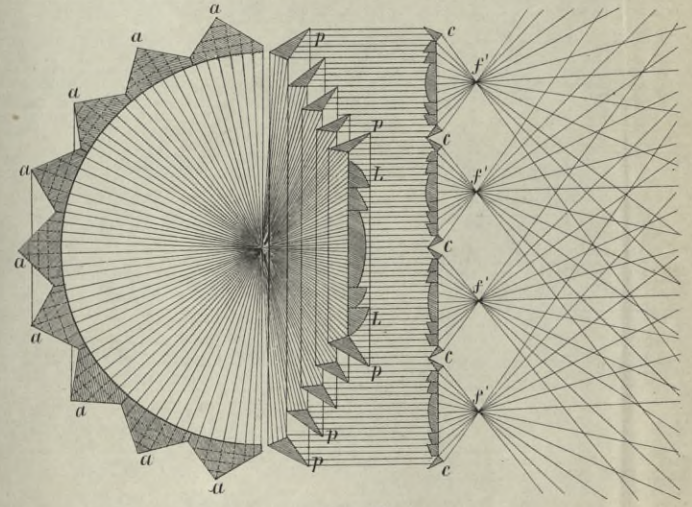


Fig. 55.

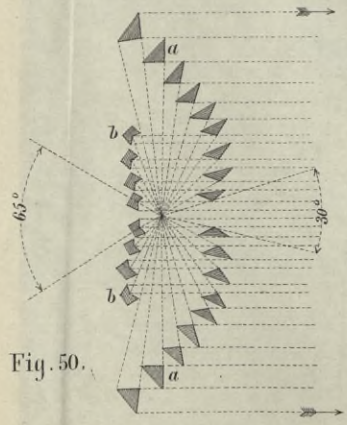


Fig. 50.

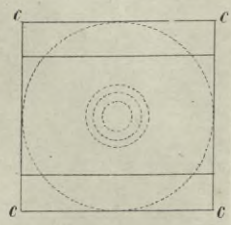


Fig. 54. (zu Fig. 55)

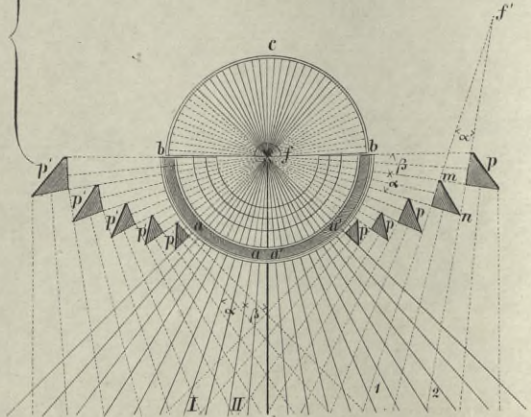


Fig. 52.

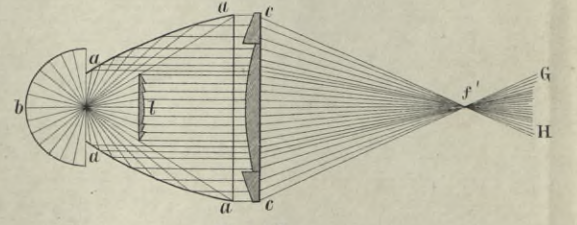


Fig. 53.



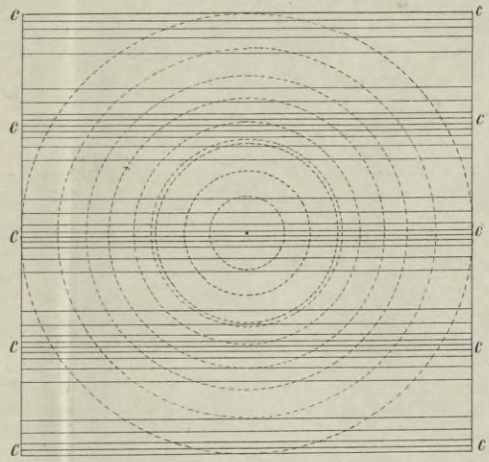


Fig. 56. (zu Fig. 55)

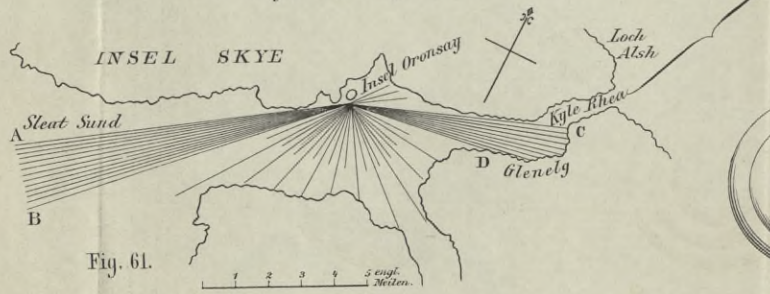


Fig. 61.

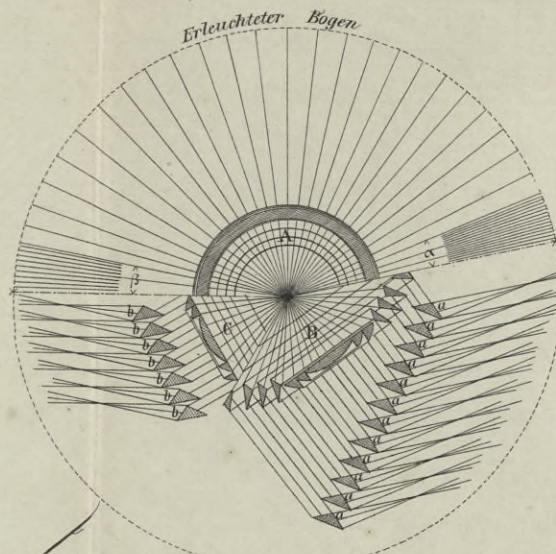


Fig. 62.

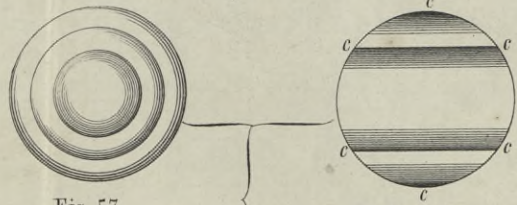


Fig. 57.

Fig. 58.

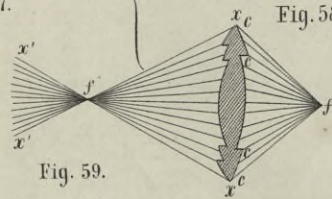


Fig. 59.

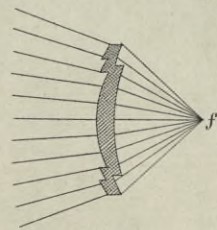


Fig. 60.

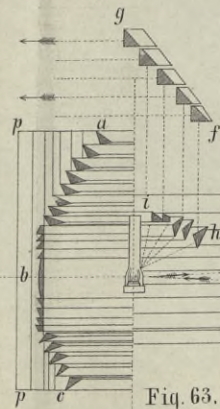


Fig. 63.

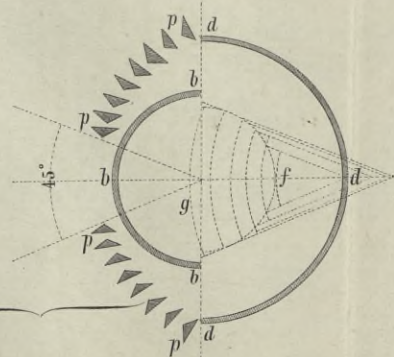


Fig. 64.

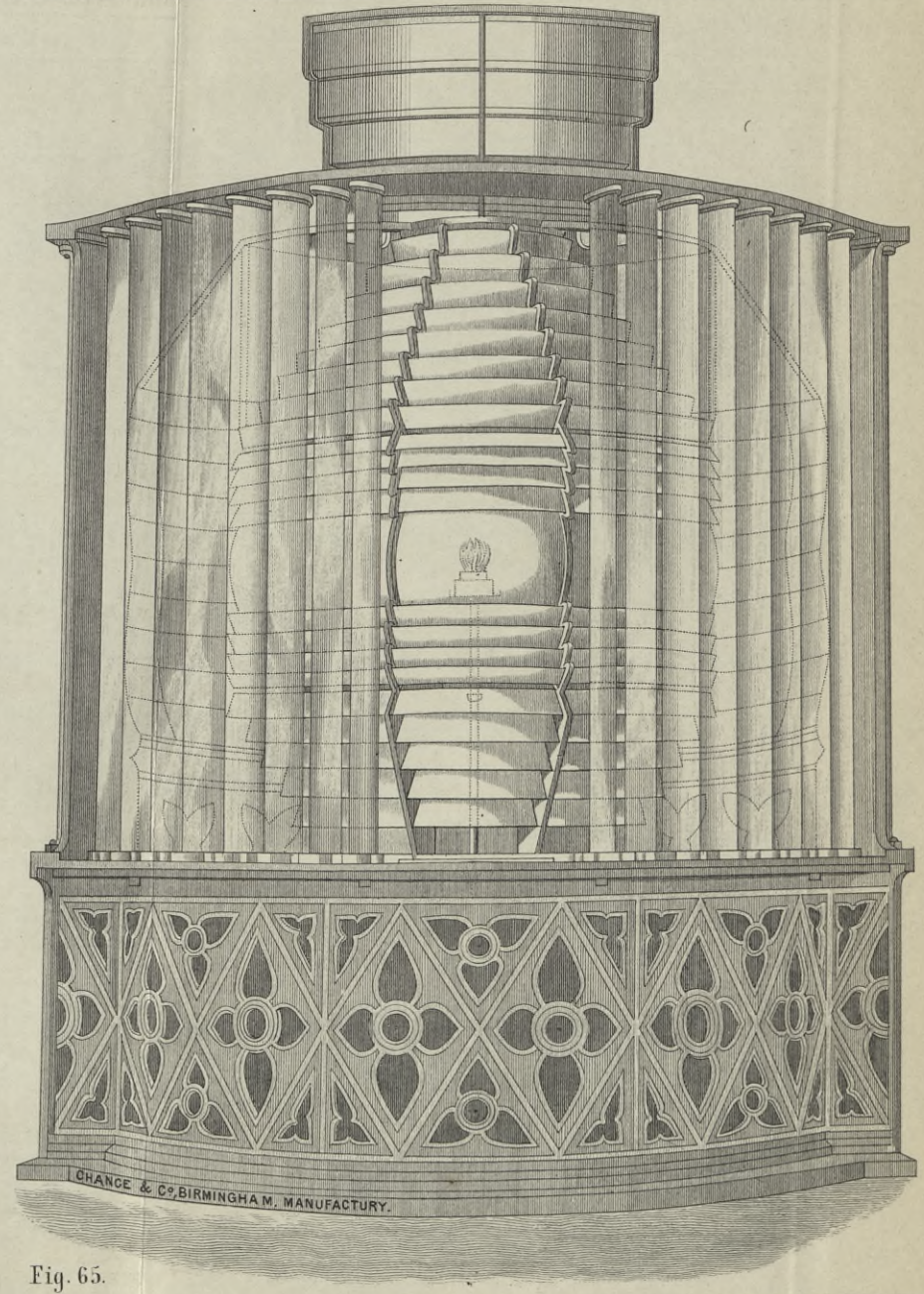


Fig. 65.





Fig. 66.

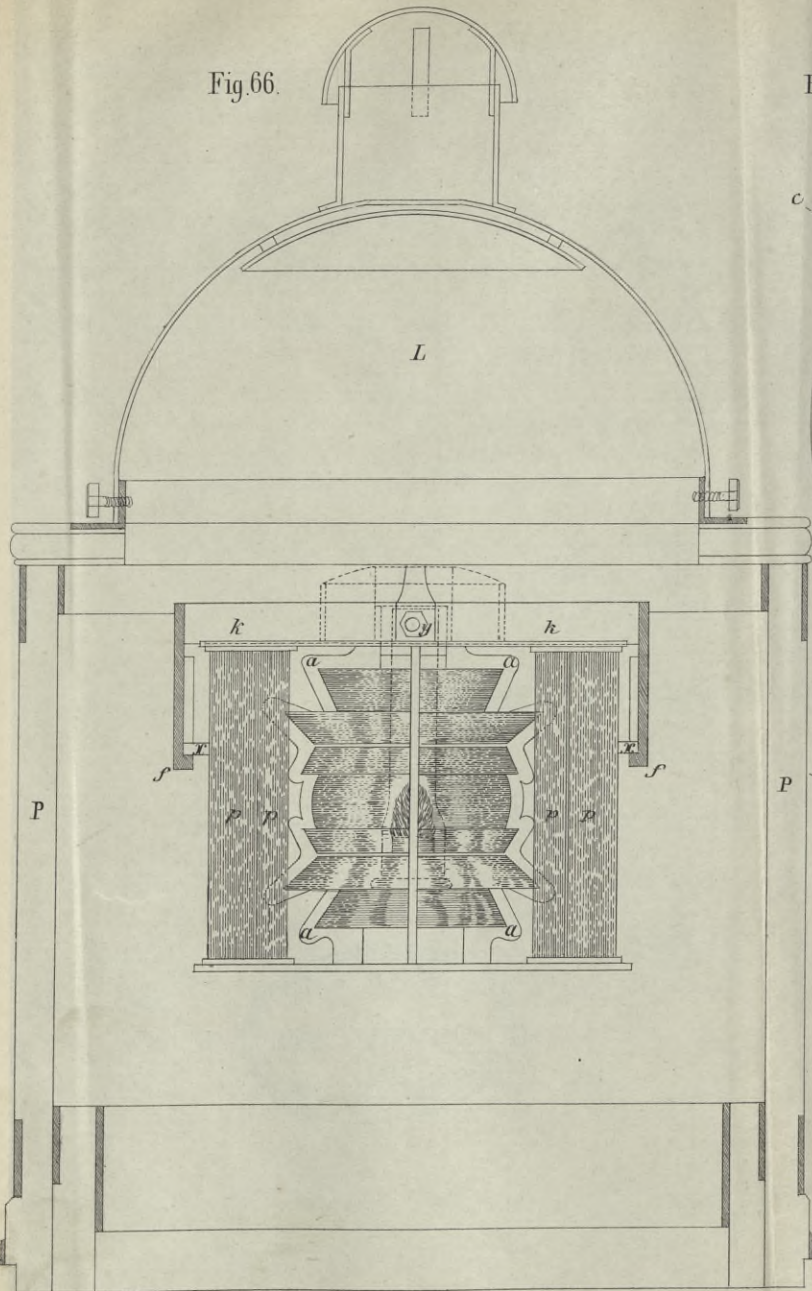


Fig. 67.

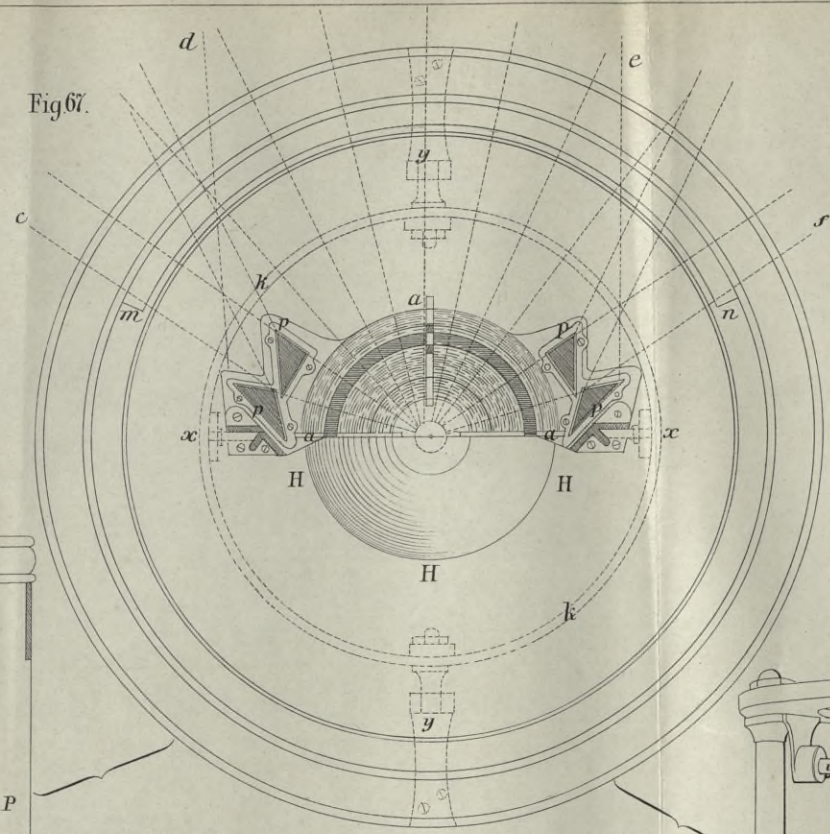


Fig. 69.

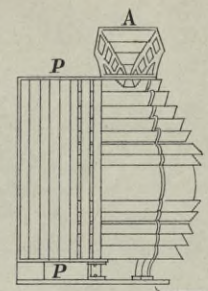


Fig. 70.

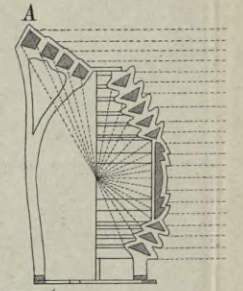
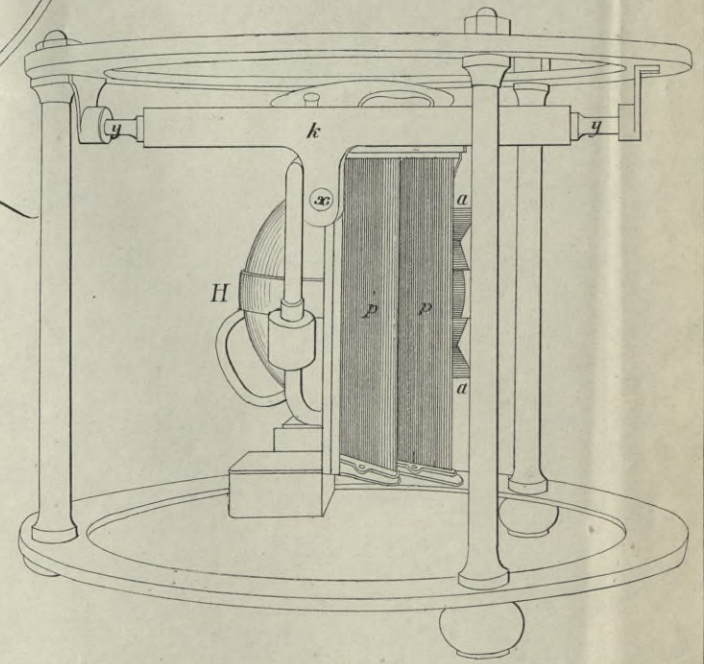


Fig. 68.





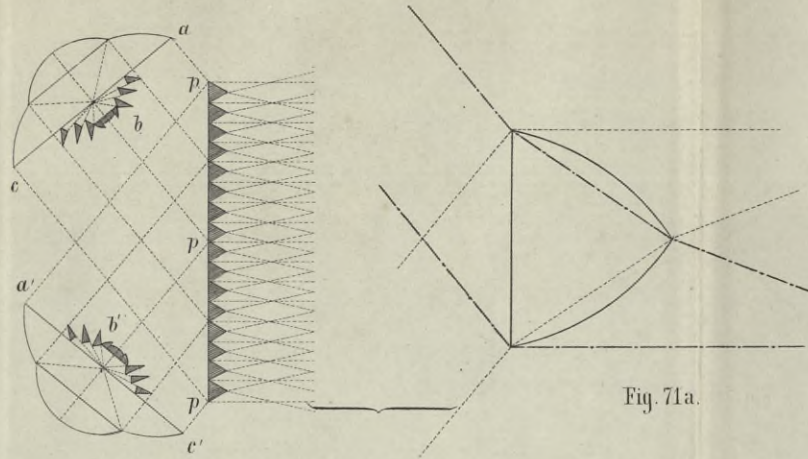


Fig. 71.

Fig. 71a.

Fig. 72.

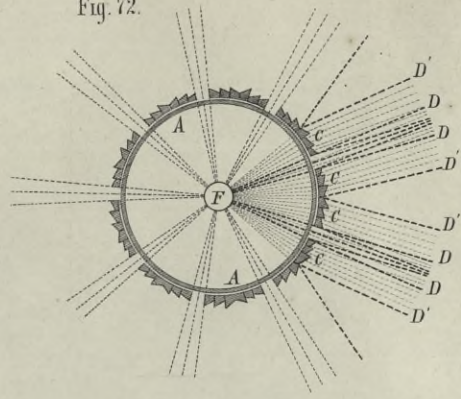


Fig. 74.

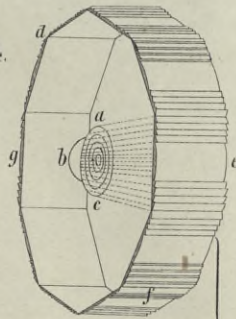


Fig. 73.

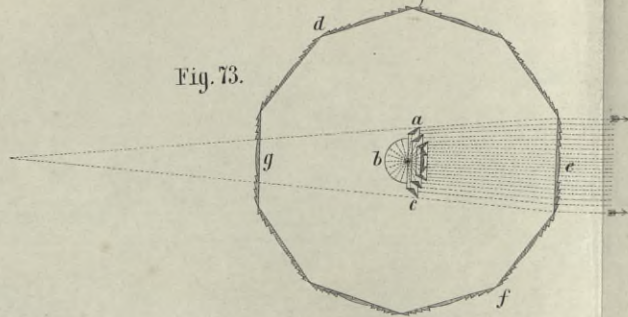


Fig. 75.

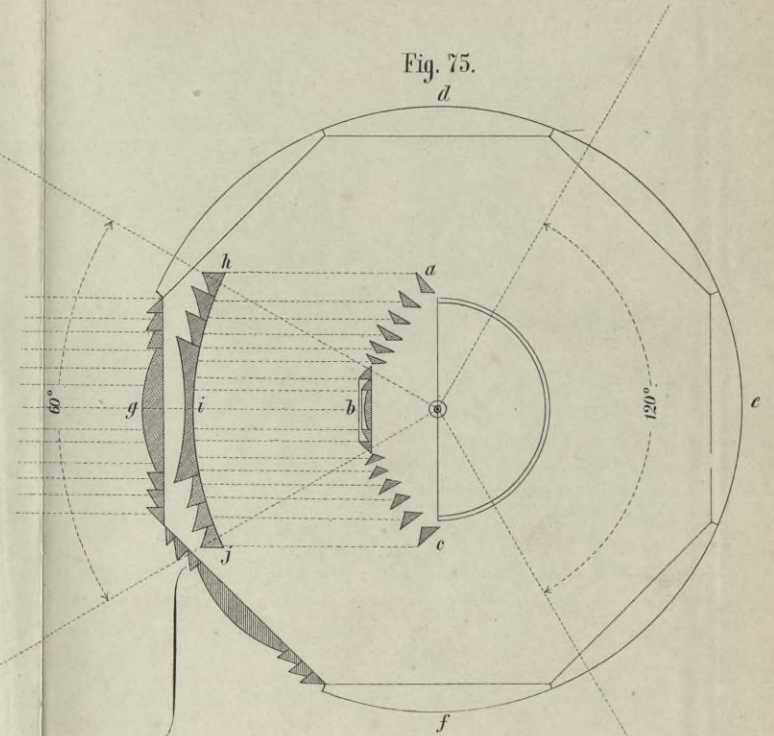


Fig. 76.

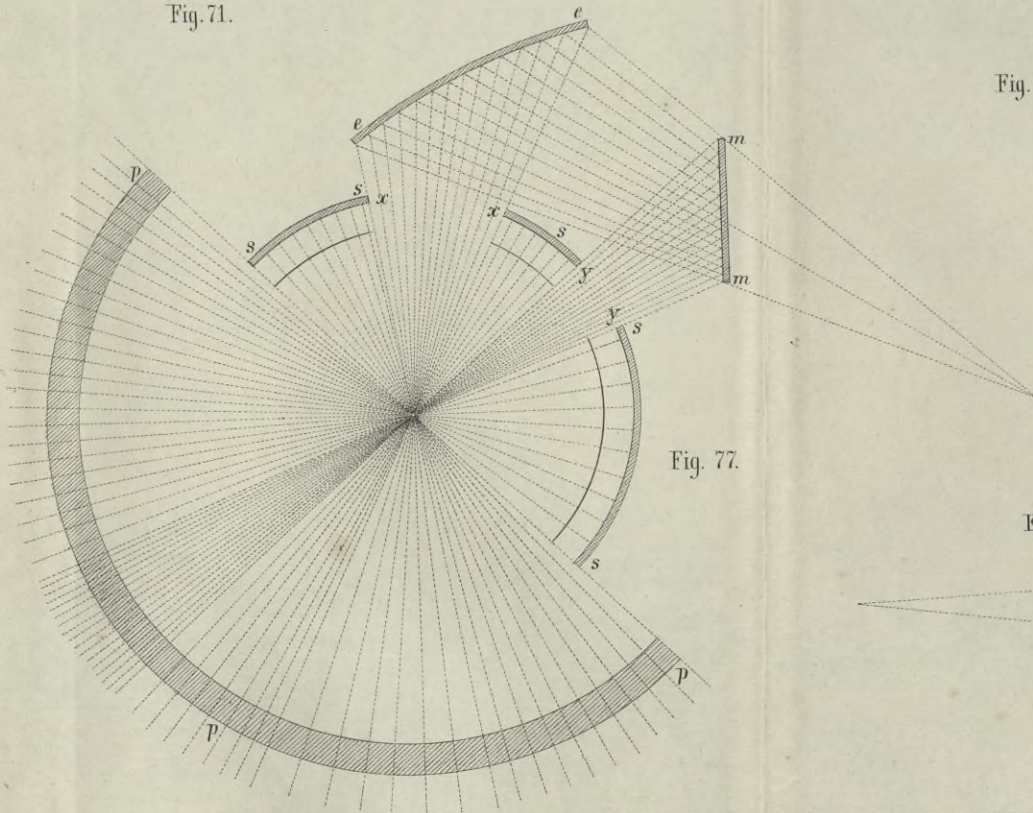
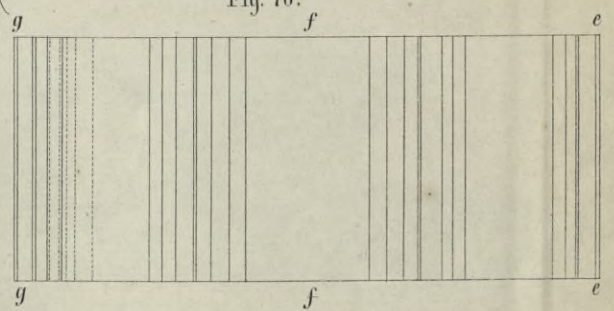


Fig. 77.





Fig. 81.

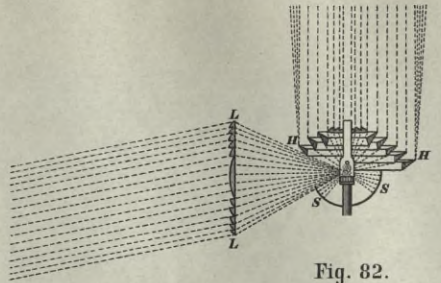
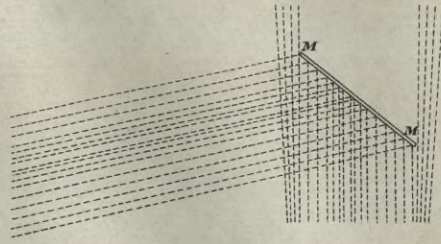


Fig. 82.



Fig. 83.

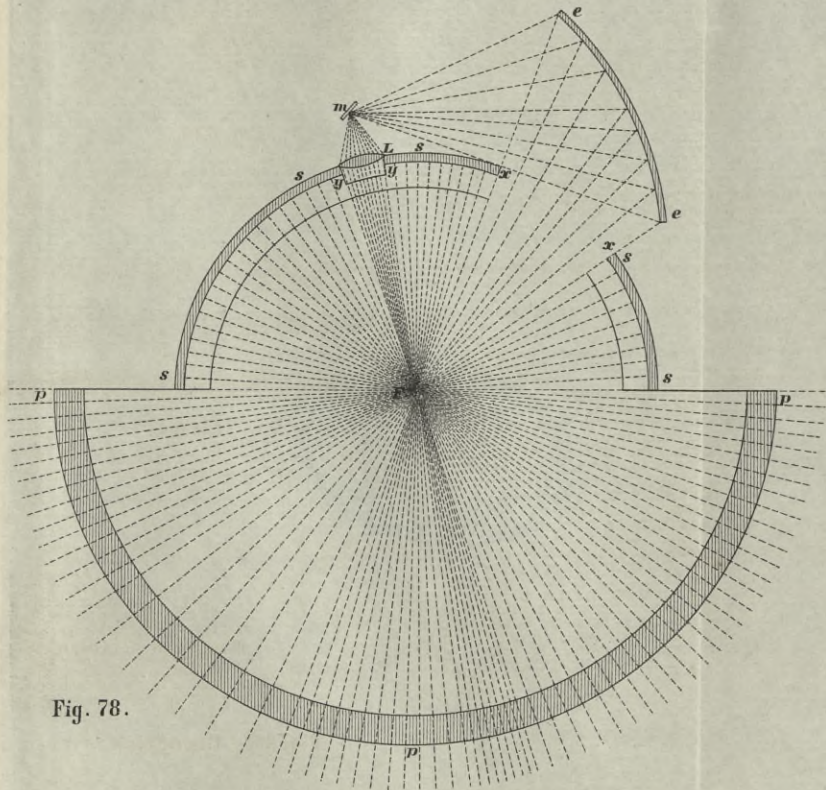


Fig. 78.

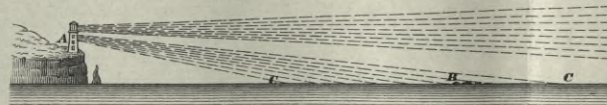


Fig. 79. Ansicht.

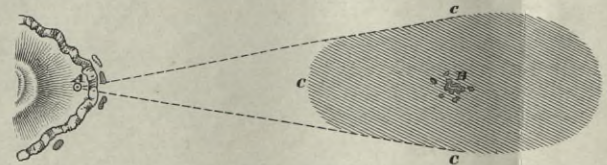


Fig. 80. Grundriss.

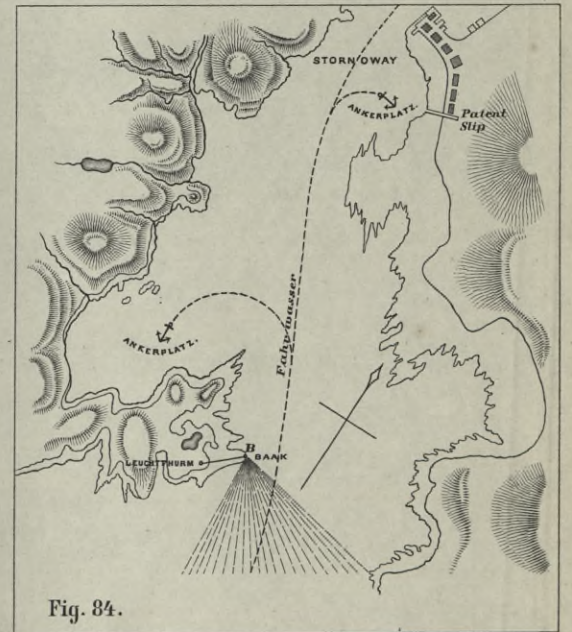


Fig. 84.



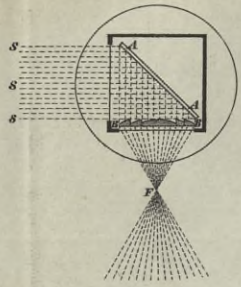


Fig. 85.

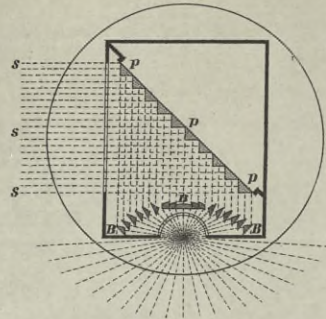


Fig. 86.

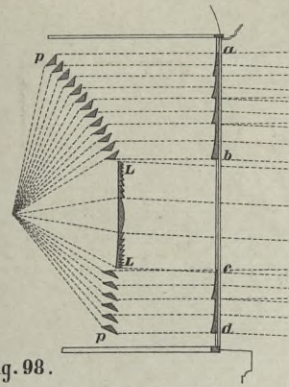


Fig. 98.

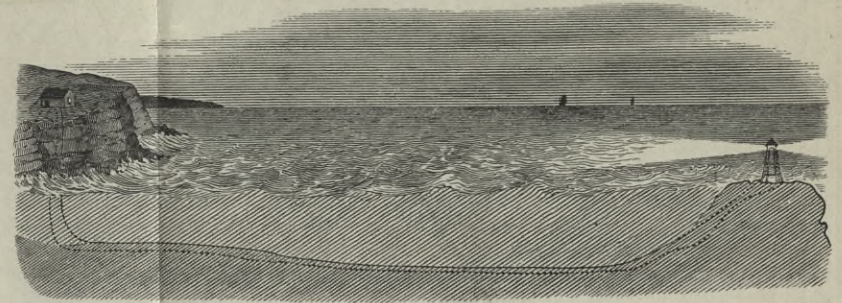


Fig. 91.

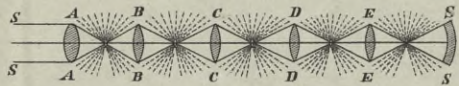


Fig. 89.

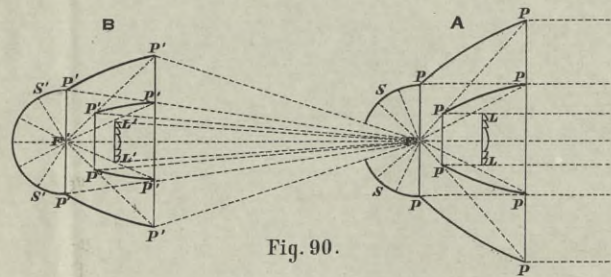


Fig. 90.

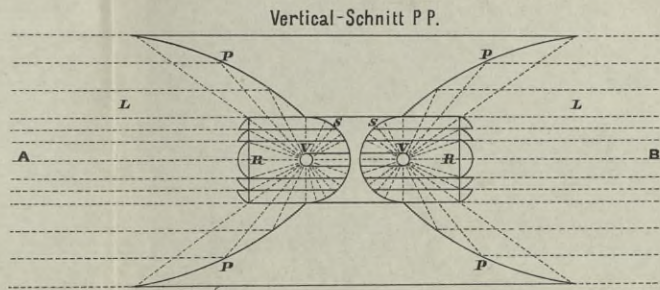


Fig. 92.

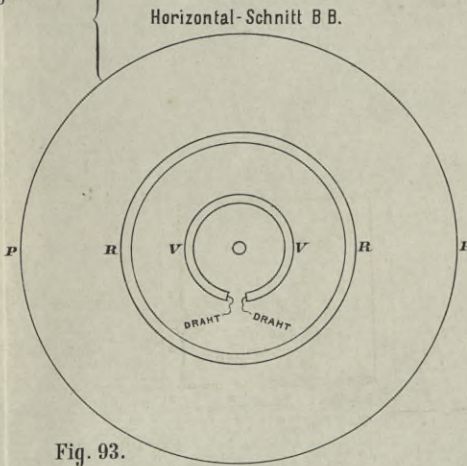


Fig. 93.

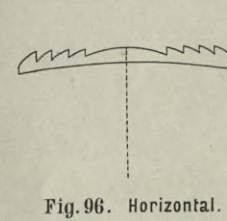


Fig. 96. Horizontal.

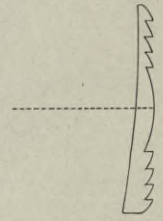


Fig. 97 Vertical.

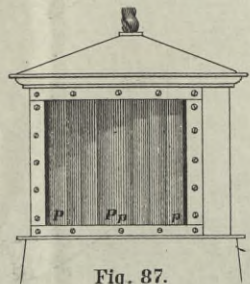


Fig. 87.

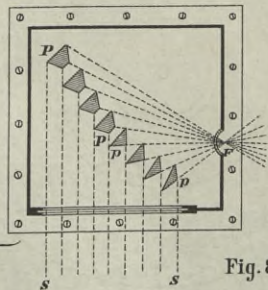


Fig. 88.

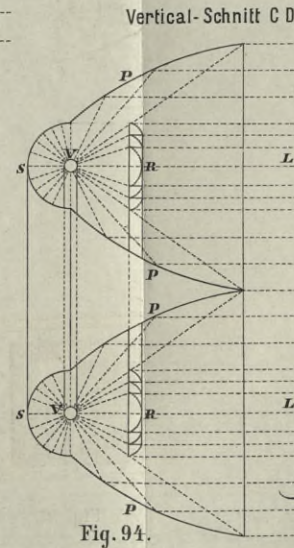


Fig. 94.

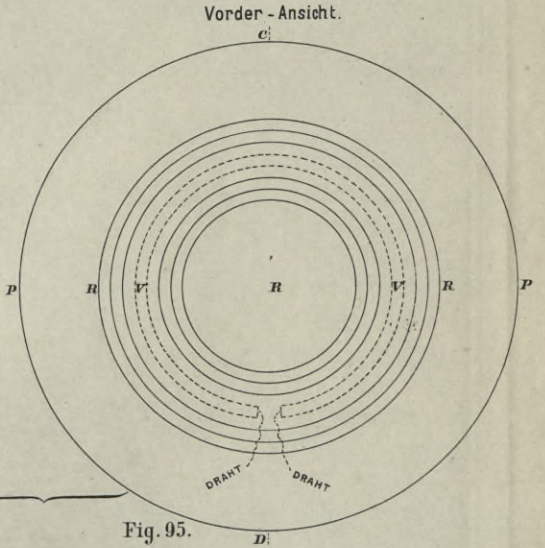


Fig. 95.





Fig.101.

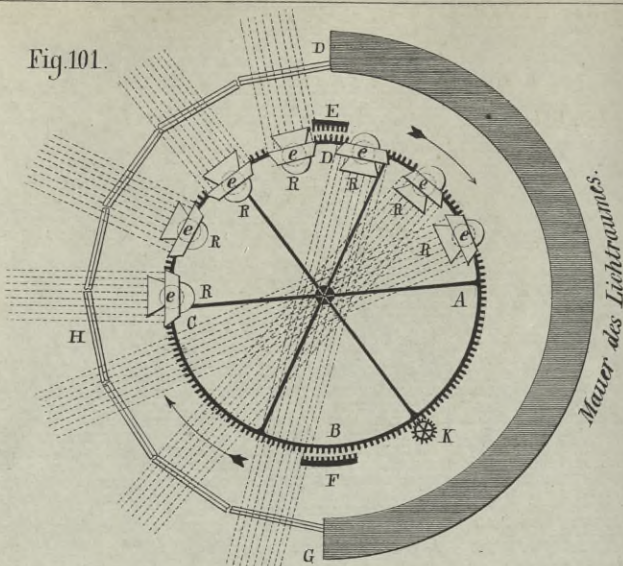


Fig.102.

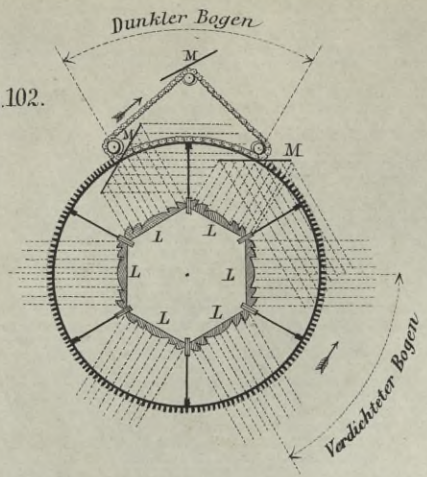


Fig.103.

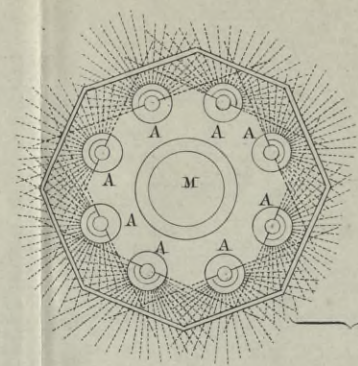


Fig.104.

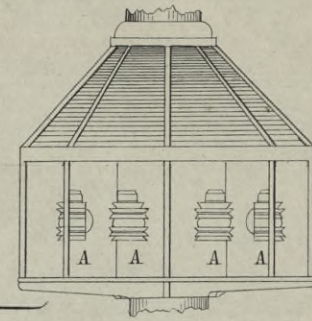


Fig.99.

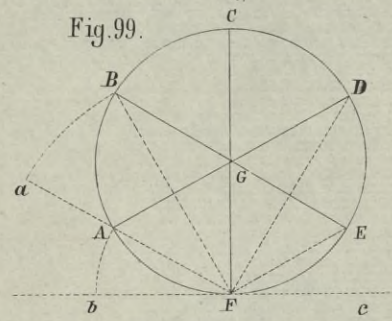


Fig.100.

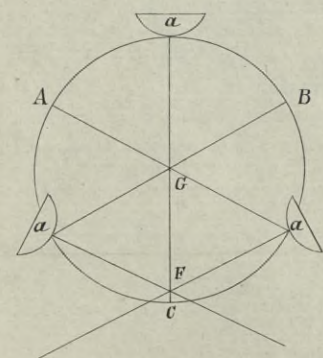


Fig.108.

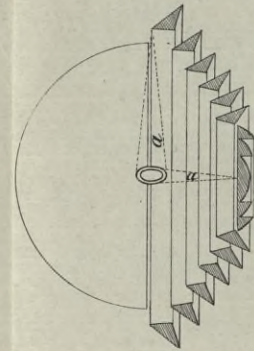


Fig.105.

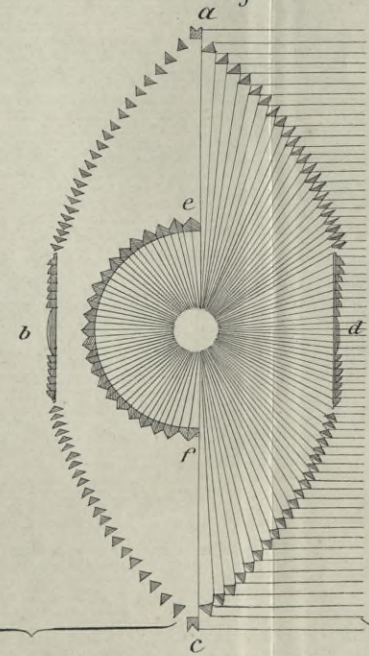


Fig.106.

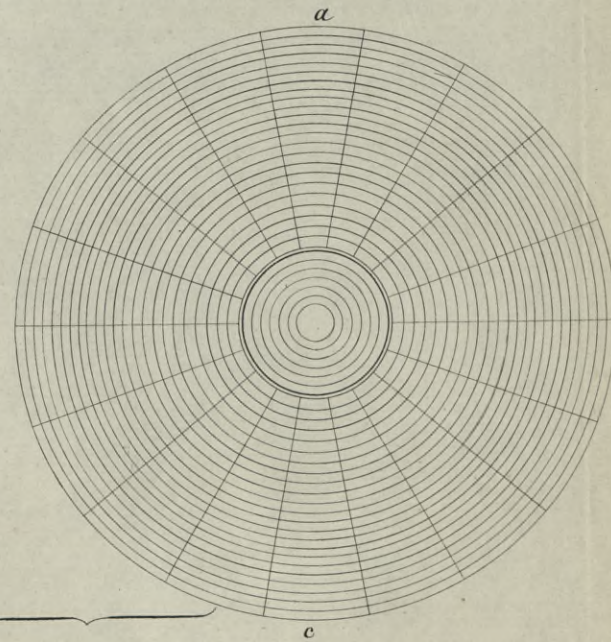


Fig.107. a. c.

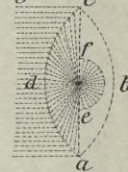


Fig.107. b.

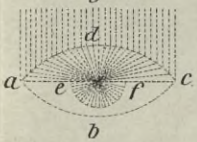


Fig.107. c.





Fig.107.

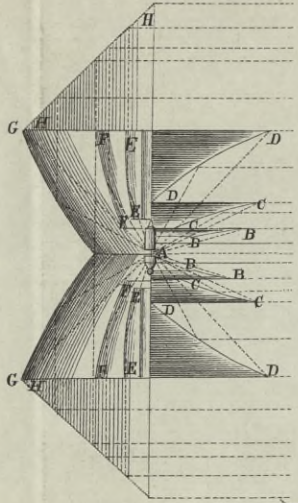


Fig.110.

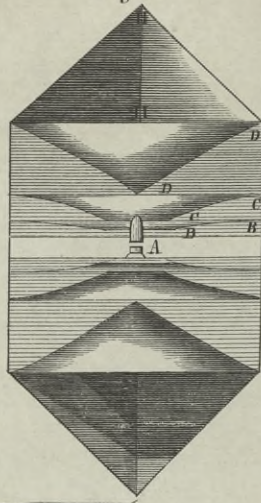


Fig.111.



Fig.112.

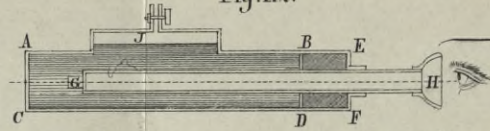


Fig.113.

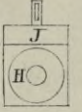


Fig.114.

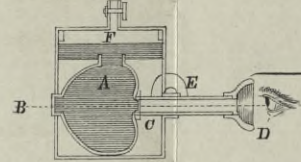


Fig.115.

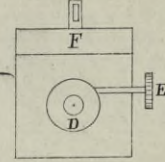


Fig.116.

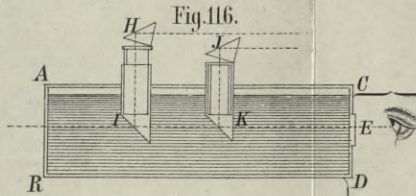


Fig.117.

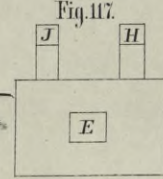


Fig.123.

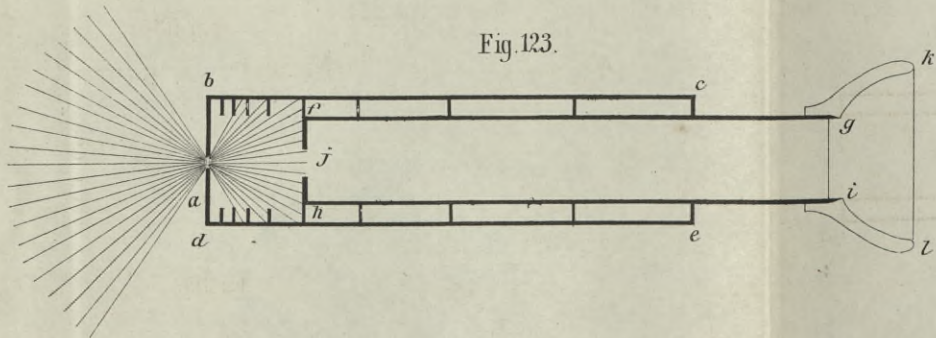


Fig.118.

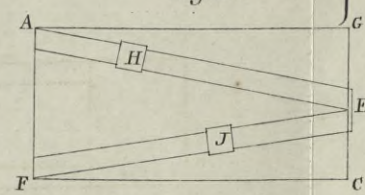


Fig.121.

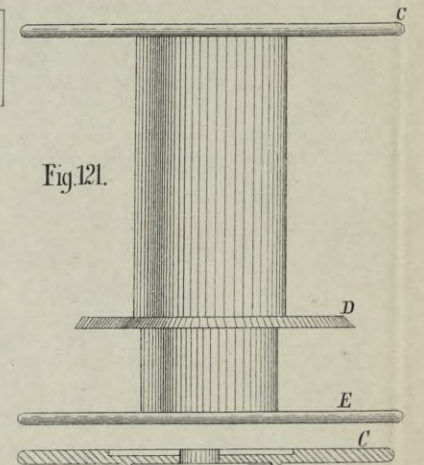


Fig.124.

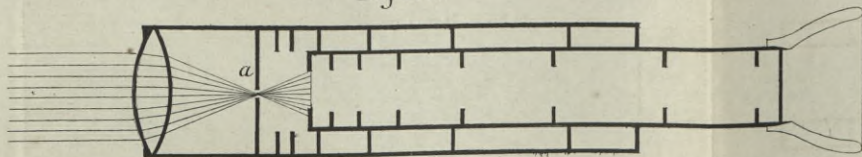


Fig.119.

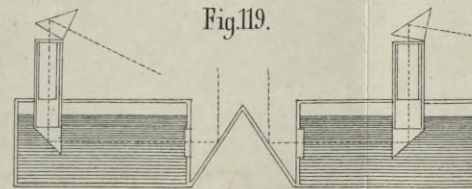


Fig.120.

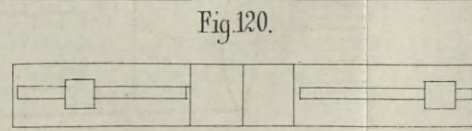
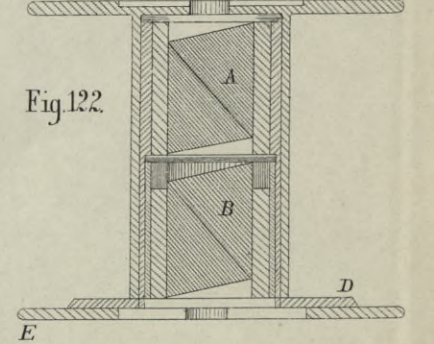


Fig.122.





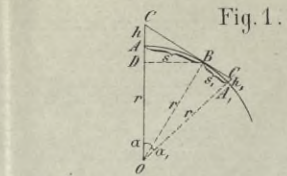


Fig. 1.

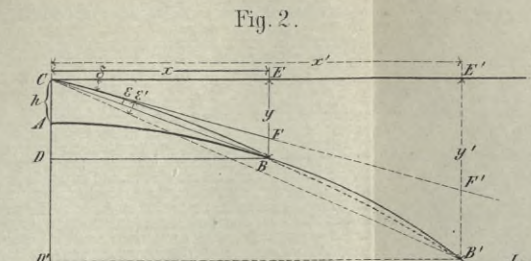


Fig. 2.

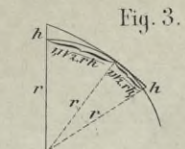


Fig. 3.

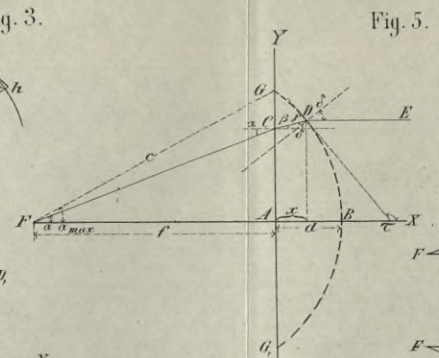


Fig. 5.

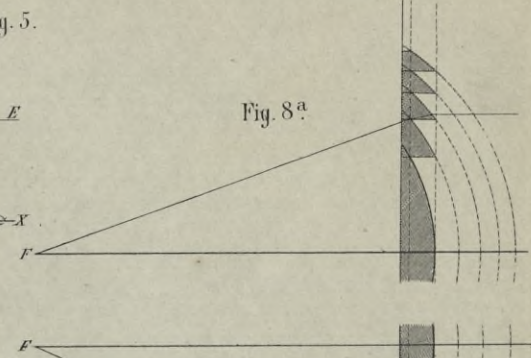


Fig. 8<sup>a</sup>

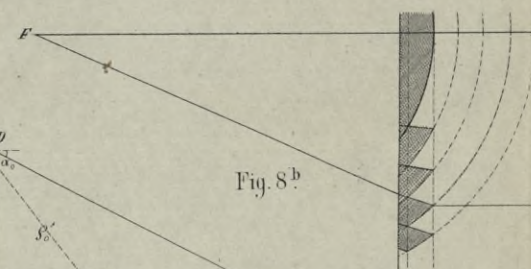


Fig. 8<sup>b</sup>

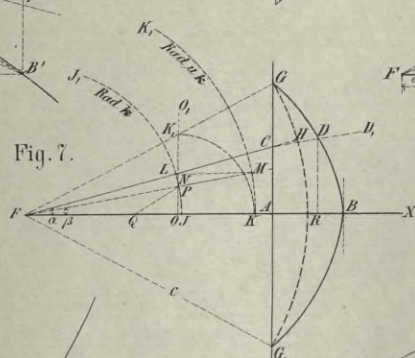


Fig. 7.

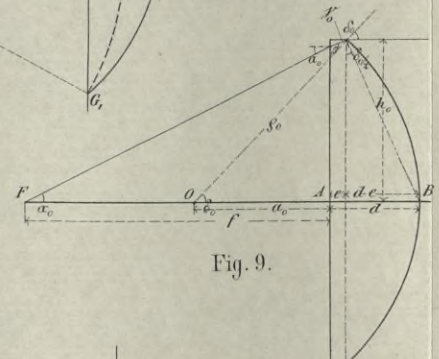


Fig. 9.

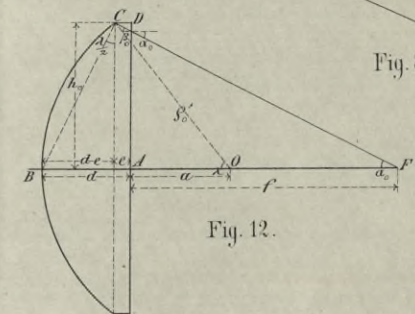


Fig. 12.

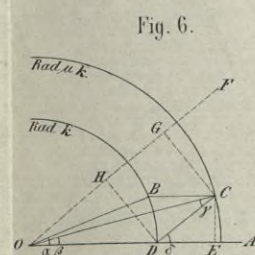


Fig. 6.

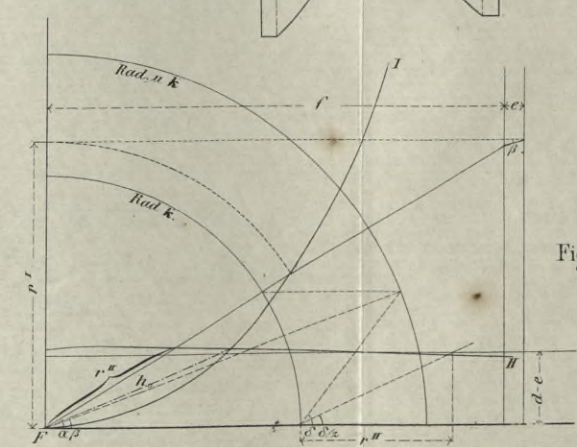


Fig. 10.

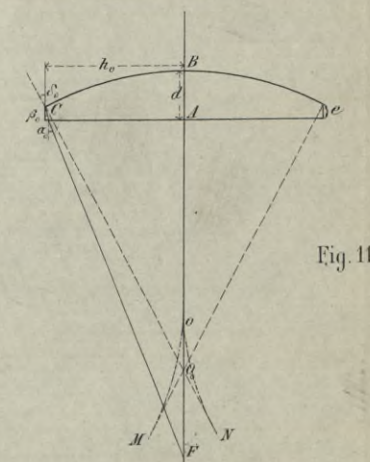
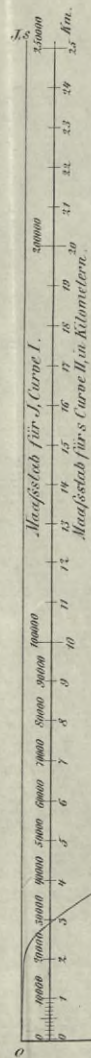


Fig. 11.



Curve I.  $\alpha = 0,010$   
 $s = 1/2$  km.

Curve II.  $\alpha = 0,000$   
 $J = 10000$



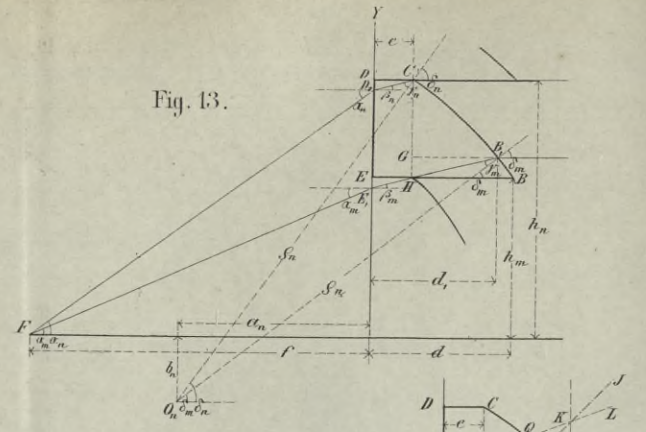


Fig. 13.

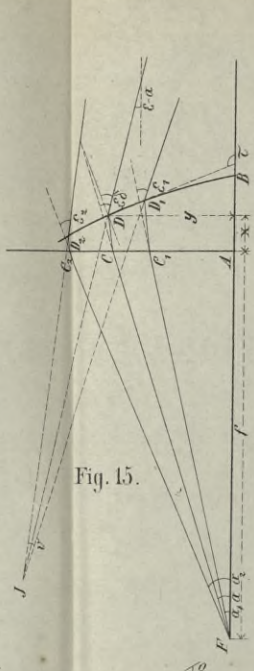


Fig. 14.

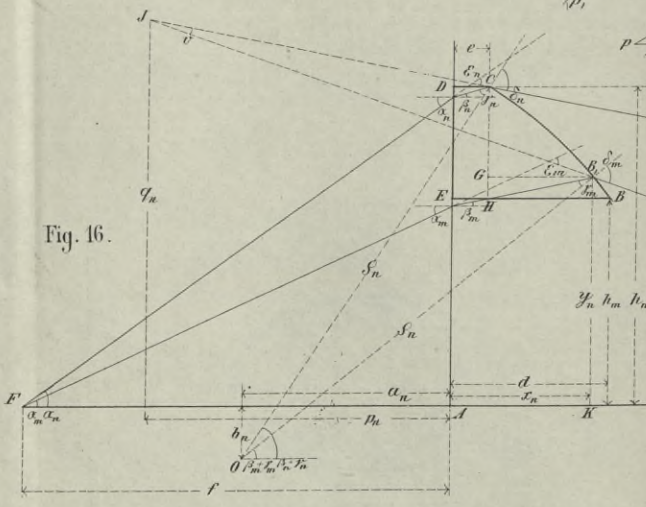


Fig. 15.

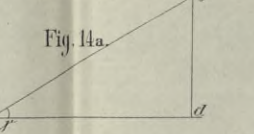


Fig. 16.

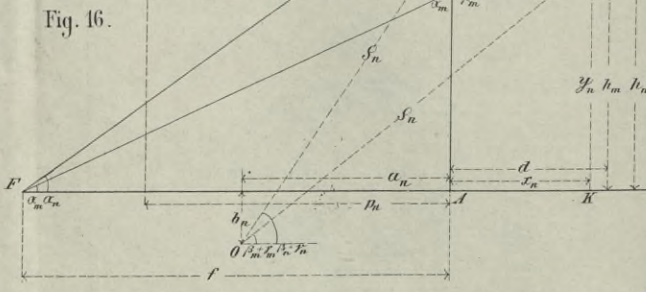


Fig. 17.

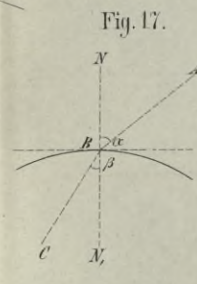


Fig. 18.

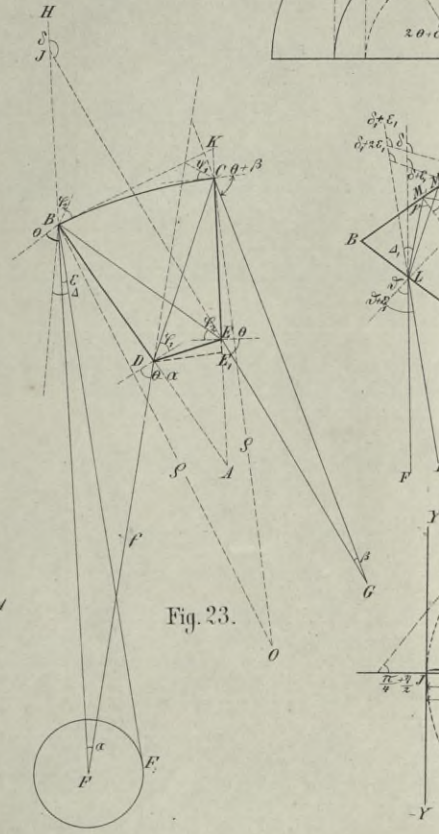


Fig. 19.

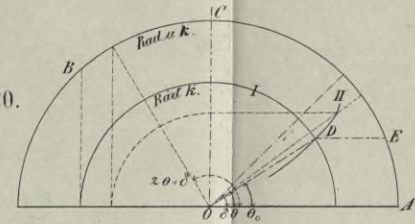


Fig. 20.

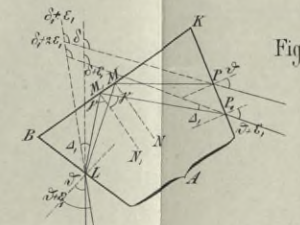


Fig. 21.

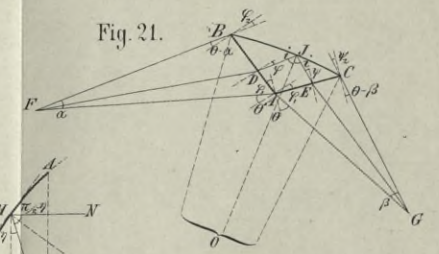


Fig. 22.

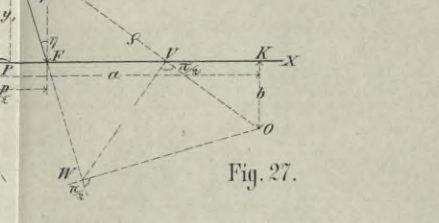


Fig. 23.

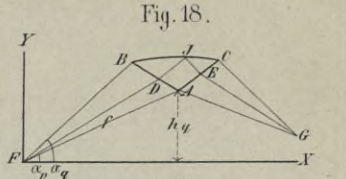


Fig. 24.

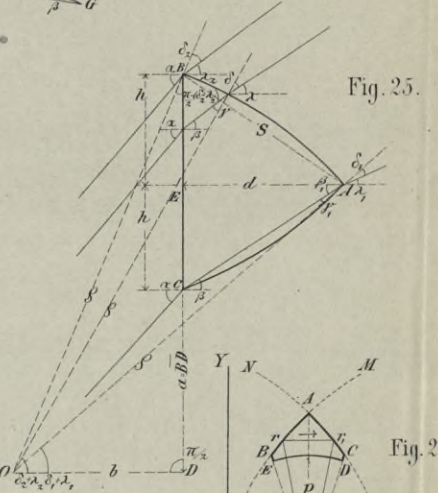


Fig. 25.

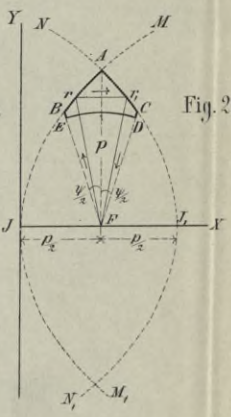


Fig. 26.

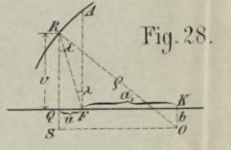
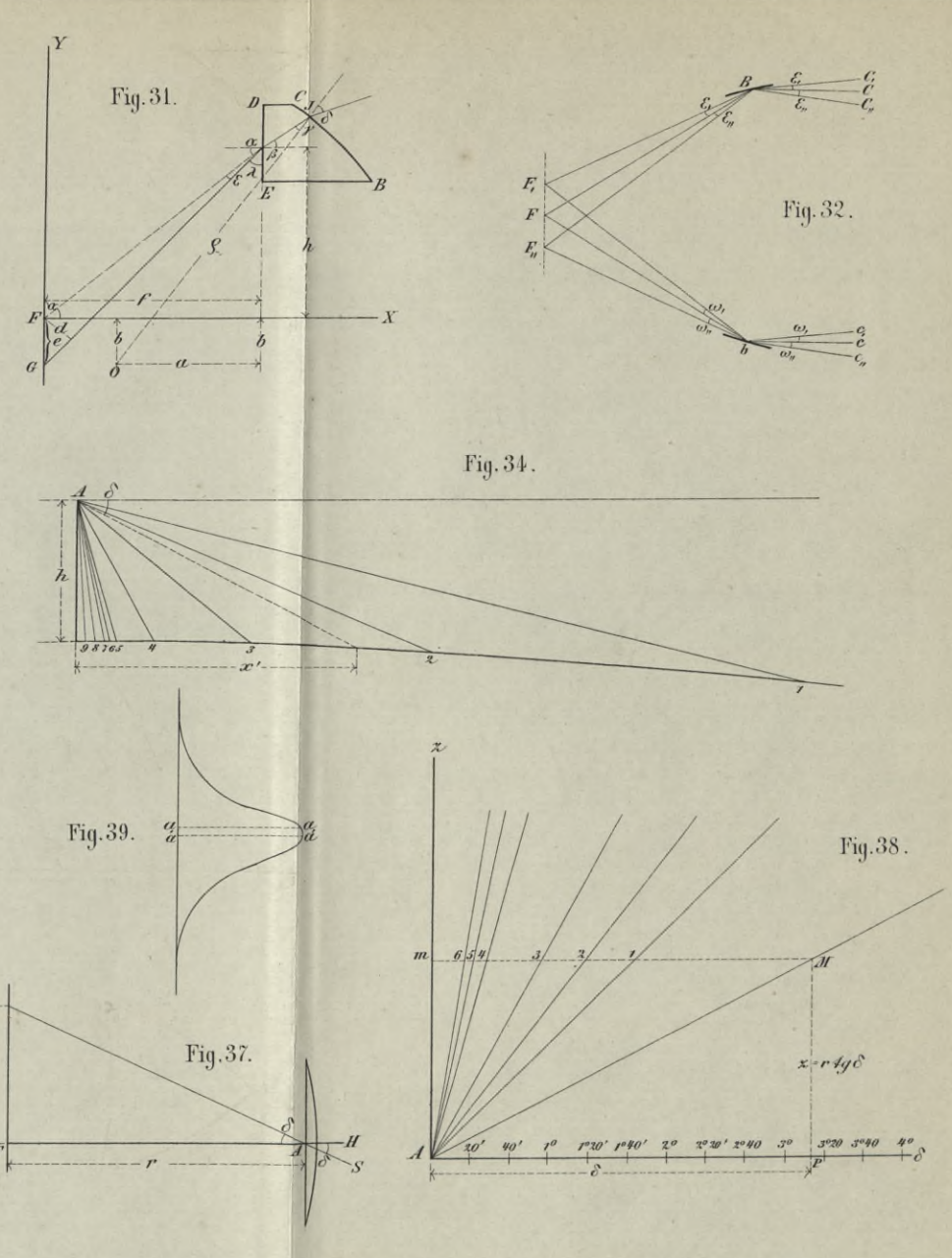
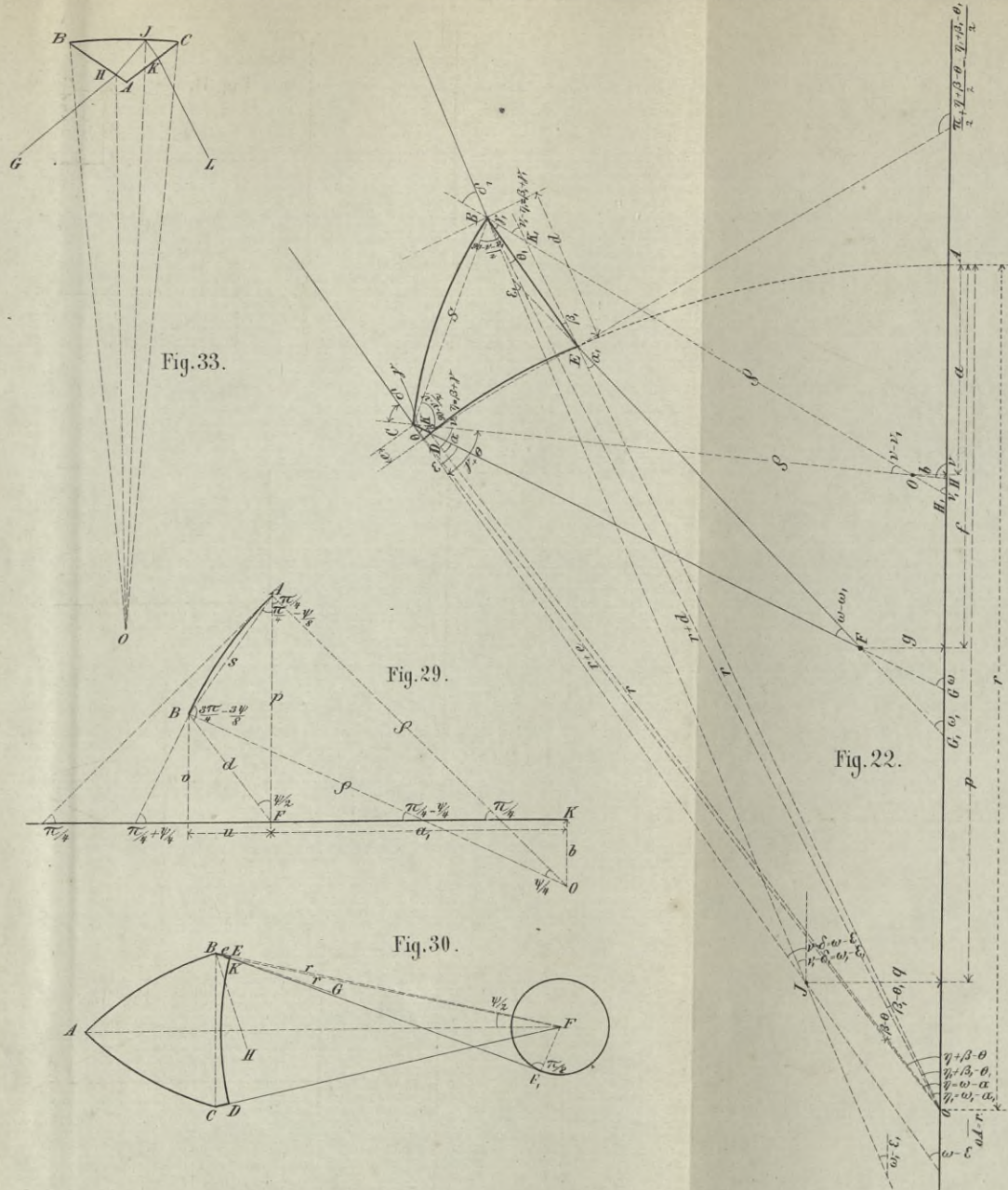


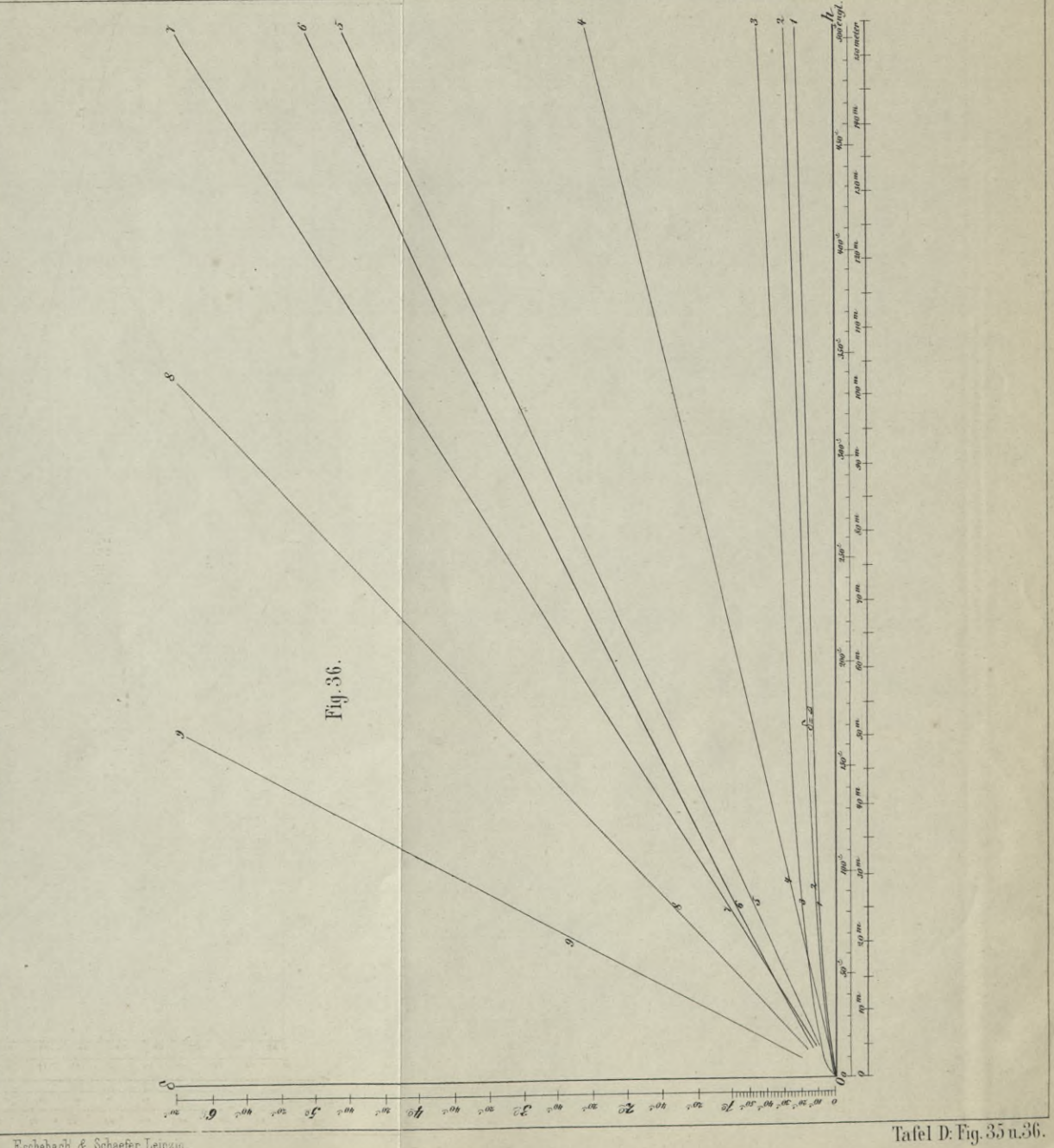
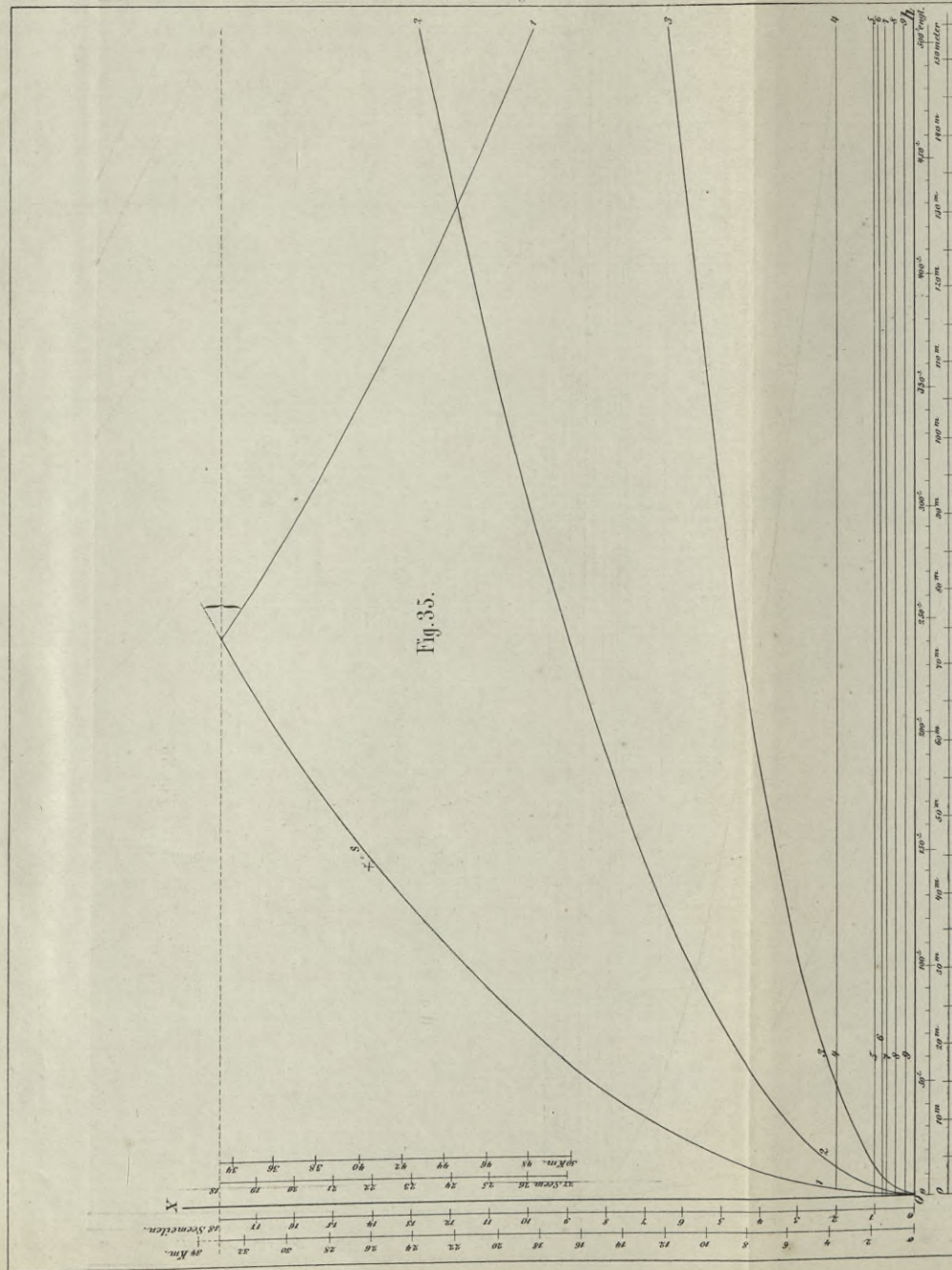
Fig. 27.









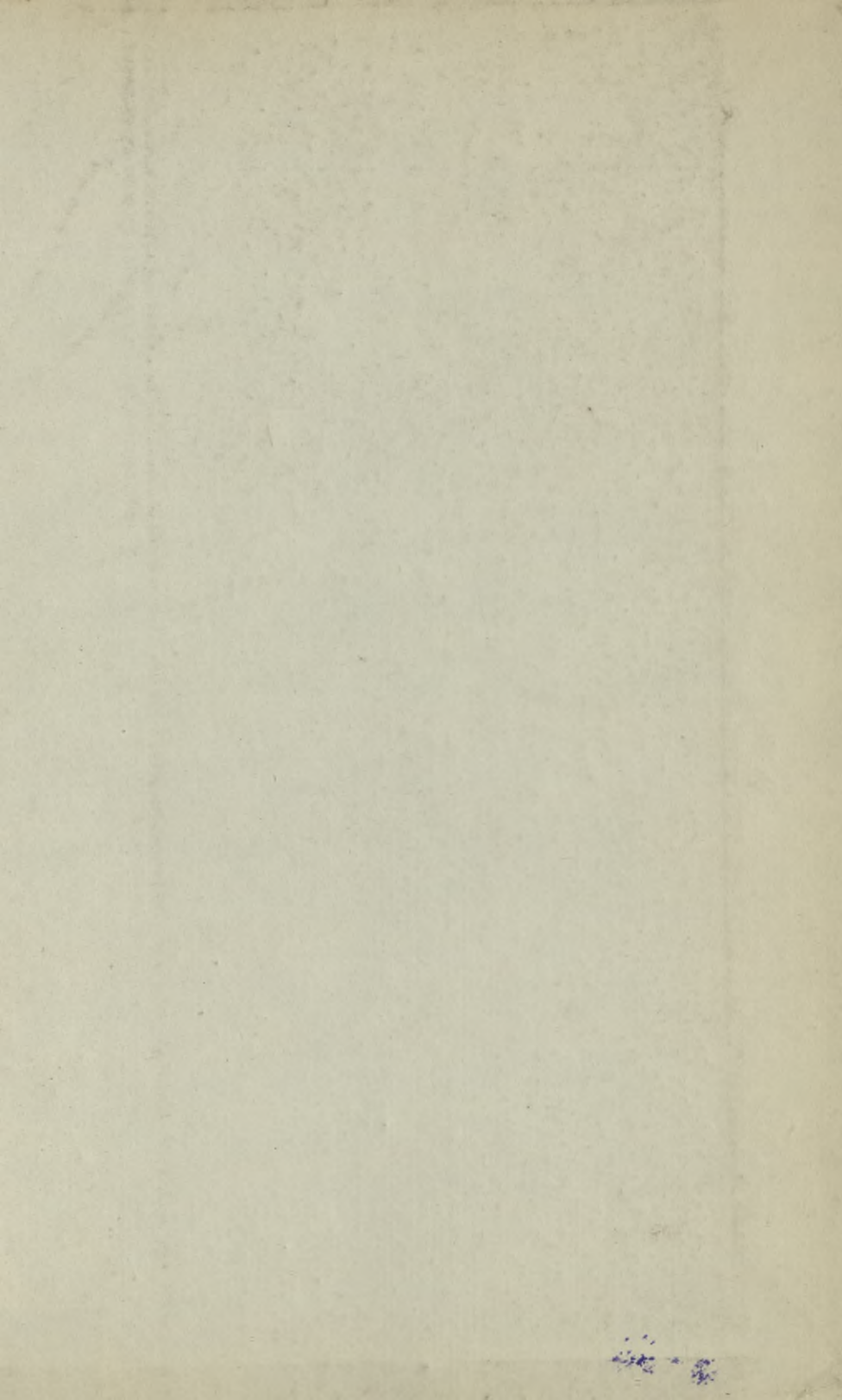






S. 61

S-96



WYDZIAŁY POLITECHNICZNE KRAKÓW

BIBLIOTEKA GŁÓWNA



L. inw.

5421

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



10000299076