

# Zwei Abhandlungen

aus dem

## GEBIETE DER OPTIK:

1.

Optisches Diastemometer.

2.

Über ein Mittel, periodische Bewegungen von ungemeiner Schnelligkeit noch wahrnehmbar zu machen und zu bestimmen.



Von

**A. Christian Doppler,**

o. ö. Professor der Mathematik und praktischen Geometrie und ordentlichem Mitglied der königl. böhmischen Gesellschaft der Wissenschaften.



## Optisches Diastemometer,

ein Instrument, wodurch man die Entfernung eines Gegenstandes durch ein blosses Anvisiren desselben augenblicklich bestimmen kann.

---

### §. 1.

Wohl Niemanden, der auch nur auf einige wissenschaftliche Bildung Anspruch macht, geschweige denn erst dem eigentlichen Optiker, Physiker und Astronomen ist es unbekannt, dass der optische Vorgang beim Sehen durch ein einfaches oder sogenanntes astronomisches Fernrohr darin besteht, dass die, durch das Objectivglas im Innern desselben erzeugten physischen Bilder mittels einer einfachen convexen Ocularlinse angesehen werden, wodurch man die ihnen entsprechenden Gegenstände umgekehrt zwar, aber mehr oder weniger vergrössert erblickt. Die Vergrösserung ergibt sich aus dem Quotienten der Foellänge der Ocularlinse in jene des Objectivs. Nicht minder ist es auch bekannt, dass die, durch das Objectiv erzeugten Bilder nicht alle an derselben Stelle des innern Fernrohrs entstehen, sondern dergestalt hinter einander liegen, dass jene, die den entferntern Gegenständen entsprechen, dem Objectivglase näher liegen, wie die der nähern. Diess ist ja auch bekanntlich der alleinige Grund, wesshalb man sich beim Gebrauche eines Fernrohrs genöthigt sieht, Behufs des deutlichen Sehens, die Ocularröhren bei ziemlich nahen Gegenständen merklich herauszuschieben, bei entferntern dagegen sie zu verkürzen; kurz, sie nicht bloss der Kurz- oder Weitsichtigkeit des Auges, sondern auch der grössern oder geringern Entfernung der gesehenen Objecte gemäss einzustellen. —

Diese hier obwaltenden, so höchst einfachen Verhältnisse machen jeden sehr geneigt zu glauben, dass sich in diesem schon seit so lange bekannten wichtigen optischen Apparate wohl kaum noch etwas vorfinden dürfte, das bisher unerörtert und unbesprochen, neuen Stoff zu vielleicht nicht unwichtigen theoretischen und praktischen Folgerungen darböte. Eine Erfahrung, die ich indess schon vor ziemlich langer Zeit und ganz zufällig machte, lässt mich jedoch die Richtigkeit dieser Vermuthung sehr bezweifeln. Desshalb nun, und wegen der nahen Beziehung des Gesagten mit den folgenden Betrachtungen, habe ich ge-

glaubt, mit so allgemein bekannten Wahrheiten, wie die oben ausgesprochenen, gegenwärtige Mittheilungen beginnen zu sollen.

### §. 2.

Vor längerer Zeit nämlich sah ich mich zur Anstellung eines anderwärtigen Versuches veranlasst, mir ein einfaches astronomisches Fernrohr zu construiren, mit der einzigen Abweichung jedoch, dass der Abstand des Oculars vom Objective sehr bedeutend die Summe ihrer Brennweiten übertraf. Ich benützte hiezu ein gewöhnliches, mir eben zur Hand liegendes venetianisches terrestrisches Fernrohr mit pappenen Auszugsröhren, dessen Ocular-einsatz ich bis auf eine einzige Convex-Linse herausnahm, und deren letzte oder Ocularröhre ich durch ein Ansatzstück um etwa 15"—18" noch verlängerte, um es so meinem Zwecke gemäss vorzurichten.

Ganz zufälliger Weise blickte ich nun durch dieses Fernrohr bei nahe grösster Auszugsweite nach einem etwa 6—8 Fuss entfernten Gegenstand meines Zimmers, und da mir der ganz ungewöhnlich grosse Abstand des Ocularglases vom Objective nicht unbekannt war, so wunderte ich mich eben auch nicht sehr, diesen zufälliger Weise vollkommen deutlich und ganz ungewöhnlich vergrössert zu erblicken.

Was mir aber in der That im ersten Augenblicke auffiel, war der Umstand, dass ich nur einzelne Partien des Gegenstandes vollkommen deutlich, dagegen seine Umgebung und den übrigen Theil desselben im hohen Grade undeutlich, und dergestalt verwischt erblickte, dass mir jene in dieser gleichsam wie klare Bilder in einem wirren Nebelraume zu schwimmen schienen. Denn wiewohl mir das wahre Sachverhältniss hievon nichts weniger als unbekannt war, so hatte ich nimmermehr es früher geahnet, dass die daraus hervorgehende Wirkung eine so bedeutende sein sollte. Wäre ich an den Gebrauch sehr stark vergrössernder Mikroskope gewöhnt gewesen, so wäre mir wahrscheinlich dieser Umstand minder aufgefallen, da ja dem Mikroskopisten derlei Erscheinungen fast täglich vorkommen mögen. Vielleicht aber würden sodann auch die folgenden Betrachtungen und vorläufigen Experimente unterblieben sein, die eben durch das mir Ungewöhnliche dieser Erscheinung ihre Anregung erhielten.

### §. 3.

Nachdem ich nun unter mannfach abgeänderten Umständen diesen Versuch wiederholt, und mich genügend davon überzeugt hatte, dass für so sehr nahe Gegenstände die Verschiedenheit der Stellung des Oculars, selbst bei sehr geringen Änderungen im Abstände des Gegenstandes, keineswegs so unerheblich ausfalle, als man vielleicht vermutbet: so wollte ich mir bei dieser Veranlassung sowohl von der Ausdehnung, als dem Gesetze der Aufeinanderfolge der von einem Objectivglase erzeugten Bilder im Fernrohre eine klare und recht anschauliche Vorstellung bilden. Ich berechnete daher für eine Linse von 4 Fuss Focallänge sowohl die absoluten Orte der Bilder, als auch die entsprechenden Änderungen derselben bei einer der Einheit gleichkommenden Differenz ihres Abstandes vom Objectiv-

glase, für eine Reihe aufeinanderfolgender Entfernungen der zugehörigen Objecte, wie sie in Tabelle I und II übersichtlich zusammengestellt sich finden. Und so seien denn die folgenden Paragraphe der Betrachtung desjenigen Raumes im innern Fernrohre gewidmet, in welchem in stetiger Aufeinanderfolge die physischen Bilder der verschiedenen äussern Gegenstände entstehen. Der Kürze des Ausdrucks wegen wollen wir diesen sofort schlechtlin den Bilderraum nennen.

## §. 4.

Überblickt man nun vorerst die Resultate der Tabelle I, so erkennt man ohne viele Mühe, dass bei einem Objectivglase von 4 Fuss Brennweite die Bilder sämmtlicher, in einem Abstand von 5' bis  $\infty$  vom Fernrohre liegender Gegenstände sich durch den bedeutenden Raum von 15 Fuss ausdehnen, jedoch auf eine im hohen Grade ungleichförmige Weise. Während nämlich die Bilder sämmtlicher Gegenstände, die sich in dem Distanzintervall von 5—20 Fuss befinden, von obigen 15 Fuss volle 14 Fuss für sich in Anspruch nehmen verbleibt für die Bilder aller übrigen von 20' bis ins Unedliche liegenden Objecte nur noch der Raum von 1 Fuss. Von hier aus nimmt die Dichte in der Aufeinanderfolge der Bilder in noch viel rascherem Grade und dergestalt zu, dass die zwischen 20' und 100' liegenden Objecte von obigem Raume von nur einem Fuss wieder  $0\cdot833 = 10$  Zolle für ihre Bilder wegnehmen. Es verbleiben also für alle Objecte von 100' bis  $\infty$  nur noch beiläufig 2 Zolle übrig, von denen jedoch wieder die zwischen 100 und 1200 Fuss liegenden nicht weniger als  $1\cdot839 = 1'' 10'''$  einnehmen, so dass also für alle weiter wie 1200' bis ins Unendliche abstehenden Gegenstände der höchst geringe Raum von nicht einmal ganz zwei Linien übrig bleibt.

**Tabelle I.**

Ort des Objects	Ort des Bildes	Ort des Objects	Ort des Bildes
4'	$\infty$	90'	4'18604
5'	20'00000	100'	4'16666
6'	12'00000	200'	4'08163
7'	9'33333	300'	4'05405
8'	8'00000	400'	4'04444
9'	7'20000	500'	4'03226
10'	6'66666	600'	4'02684
20'	5'00000	700'	4'02299
30'	4'61583	800'	3'02010
40'	4'44444	900'	4'01786
50'	4'34738	1000'	4'01606
60'	4'28571	1100'	4'01459
70'	4'24242	1200'	4'01338
80'	4'21052	$\infty$	4'00000

## §. 5.

Nicht minder instructiv für gegenwärtigen Zweck scheint die Tabelle II zu sein. Man ersieht aus ihr, dass die Möglichkeit einer genauen Einstellung, übrigens immer dabei vorausgesetzt, bei 5' Entfernung jede Änderung derselben um nur eine Linie, schon eine 16mal so grosse Ortsveränderung der zugehörigen Bilder im Fernrohre erzeugt, oder mit andern Worten, dass man schon die Ocularröhre um 1 Zoll 4 Linien verschieben muss, um zwei Objecte, von denen das eine 5', das andere dagegen 5' 1''' entfernt ist, gleich gut sehen zu können. Ja, brächte man einen Gegenstand bis auf 4' 3'' oder gar bis 4, und 1'' dem Objectivglase nahe, so betrüge die Differenz der Bilder im ersten Falle schon das 256fache, im andern sogar das 2304fache der Distanzänderung; d. h., man würde in diesem Abstände noch eine Ortsverschiedenheit von beziehungsweise nur dem 256<sup>ten</sup> oder 2304<sup>ten</sup> Theil einer Linie schon durch eine Verschiebung der Ocularröhre um eine ganze Linie gewahr werden.

Tabelle II.

Ort des Objects	$\Delta f$ bei $\Delta d = 1$	Ort des Objects	$\Delta f$ bei $\Delta d = 1$
4'	$\infty$	90'	0.00213457
5'	16.0000000	100'	0.0017472
6'	4.0000000	200'	0.0004165
7'	1.7777777	300'	0.0001826
8'	1.0000000	400'	0.0001020
9'	0.6400000	500'	0.0000659
10'	0.4444444	600'	0.0000439
20'	0.0625000	700'	0.0000330
30'	0.0236686	800'	0.0000252
40'	0.0123457	900'	0.0000199
50'	0.0075614	1000'	0.0000161
60'	0.0051020	1100'	0.0000133
70'	0.0036731	1200'	0.0000111
80'	0.0027701	$\infty$	0

Allein diese grosse Empfindlichkeit für geringe Differenzen im Abstände nimmt leider sehr rasch mit zunehmender Entfernung ab; denn schon bei 10 Fuss Entfernung gibt eine Linie Unterschied in dem Abstände zweier Objecte sich nur durch eine halbe Linie Differenz in dem veränderten Abstände ihrer Bilder zu erkennen.

Bei 50' Entfernung endlich geben 11 Zoll Ortsveränderung des Objectes erst eine Linie Unterschied in dem Orte des entsprechenden Bildes, oder mit andern Worten eine Unsicherheit von nur einer Linie in der Einstellung der Ocularröhre beirrt unser Urtheil bezüglich eines 50' weit entfernten Gegenstandes schon um mehr als 11 Zolle. — Eine weitere Erwägung zeigt, dass das Objectivglas eines Fernrohres, mittels dessen noch in einer Entfernung von 1200 Fuss eine Distanzveränderung von 1 Fuss durch eine Verschiebung

der Ocularröhre von 1 Linie sich bemerkbar machen soll, schon eine Focallänge von nahe 110 Fuss haben müsste, und dass man diese bis auf 275 Fuss bringen müsste, wenn man unter denselben Voraussetzungen diese Wahrnehmungen bis auf die Entfernung von 3000 Fuss oder  $\frac{1}{8}$  geograph. Meile ausdehnen wollte.

#### §. 6.

Die Astronomen verflossener Jahrhunderte bedienten sich in der That wie bekannt zu ihren Beobachtungen astronomischer Fernröhre von fast unglaublicher Länge, und zwar nicht ohne vielfältig glückliche Resultate. So baute Campani z. B. im Auftrage Ludwigs XIV Fernröhre von 86', von 100 Fuss, und zuletzt von 136 Fuss Focallänge: Huyghens spätere Fernröhre hatten sogar eine Länge von 210 Fuss. Ja Auzout und Hartsöcker sollen hierin noch viel weiter gegangen sein, und Objective bis zu 600 Fuss gefertigt haben. Fernröhre dieser Art würden selbst noch in Entfernungen von 6600' je einen Fuss durch eine Ocularverschiebung von einer Linie bemerklich machen. Mit einem der von Campani gefertigten langen Fernröhre hat Cassini die Satelliten Saturns entdeckt.

Sind demnach gleich derlei Fernröhre nicht absolut unausführbar, und ist selbst deren Handhabung, wie diess die vielfach glücklichen Erfolge bewiesen, nicht geradezu unmöglich, so muss man doch hinwieder anerkennen, dass die genaue Anfertigung derselben mit eigenen Schwierigkeiten verknüpft ist, und dieselben sich beim Gebrauche als im hohen Grade unbequem und unpraktikabel erwiesen haben.

Auch dürfte man sich heut zu Tage kaum mehr dazu verstehen, selbst zur Erreichung sehr wichtiger wissenschaftlicher Zwecke zu Instrumenten von so immenser Construction seine Zuflucht zu nehmen. — Nichts desto weniger leitete mich die Gesammtheit der hier erwogenen Umstände mit sehr vieler Überredungskraft auf den Gedanken, dass sich nämlich doch vielleicht aus dem mehrfach erwähnten, und wie es wenigstens scheint, bisher noch nicht gehörig beachteteten Umstände eine höchst wichtige und folgenreiche Anwendung zur Erzielung gewisser praktischer Zwecke machen lassen dürfte, ja es scheint mir diess völlig ausgemacht und gewiss zu sein, falls es sich anders in optischer Beziehung als nicht geradezu unmöglich oder praktisch unausführbar herausstellen sollte, denjenigen Raum im Fernrohre, welcher von den Bildern der Gegenstände eingenommen wird, ohne das Fernrohr sehr merklich zu verlängern, beliebig zu vergrössern und auszubreiten, kurz an die Stelle eines einfachen Objectivs von einer hier erforderlichen ungeheuren Focallänge eine Linsencombination zu setzen, die in der erwünschten Wirkung mit jener zusammen fiel, ohne an deren bedeutenden Nachtheilen zu participiren. — Einige Überlegung Hess mich bald erkennen, dass Abhilfe des mehrfach erwähnten Übelstandes durch das eine oder andere der nun sogleich in Betracht zu ziehenden Mittel mit grosser Wahrscheinlichkeit zu erwarten stehe.

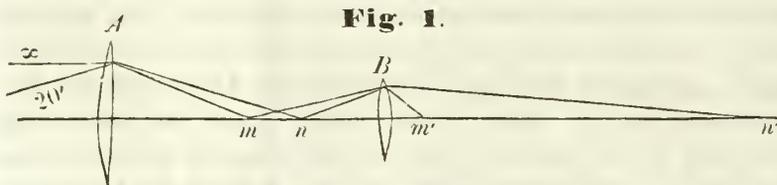
#### §. 7.

Der schon mehrmals hervorgehobene Umstand, dass die Bilder der verschiedenen Objecte um so mehr auseinander treten, je näher diese selbst dem Brennpuncte des Ob-

jectivis gebracht werden, bietet vorerst für alle jene Fälle, wo diese Annäherung bis zu jedem beliebigen Grade ausführbar ist, die sehr nahe liegende Aussicht dar, ihre eigenen Abstände unter einander sowohl, wie die ihrer Theile mit sehr grosser auf anderem Wege kaum erreichbarer Genauigkeit auf rein optischem Wege zu bestimmen. — Die unmittelbarste Anwendung hievon dürfte hiernächst unstreitig der Mikrometrie zu Gute kommen, und man wird von selbst begreifen, dass man zu genanntem Zwecke mit nur geringen Änderungen sich sogar schon der zusammengesetzten Mikroskope alter Construction mit einigem Erfolge hätte bedienen können. Man wird demnach überall, wo es sich nicht um blosser Horizontalmessungen, sondern um eigentliche Höhenmessungen handelt, von diesem Gedanken eine nützliche Anwendung zu machen wissen, wie z. B. bei Bestimmung der Tieflage einzelner Organe bei Infusorien und vegetabilischen Gebilden, bei Messung der Unebenheit rauher Körper und vielen andern sonstigen Messungsmethoden geradezu unzugänglicher Objectsbestimmungen.

Mikroskope neuerer Construction, wo die Einstellung nicht wie bei jenen durch das Oculare, sondern durch ein Näherbringen des Tubus an den Objectivtisch bewirkt wird, würden sich zu genanntem Zwecke als fast völlig unbrauchbar erweisen. Die beste Construction dürfte sich indess aus dem im folgenden Paragraphe zu erwähnenden Principe ergeben. — Rücksichtlich entfernter Gegenstände ist es zwar allerdings richtig, dass man ihre beliebige Annäherung füglich nicht voraussetzen darf. Aber kann man auch die Objecte selber nicht beliebig dem Objectivglase nahe bringen, so ist dieses doch stets möglich mit ihren von einer Convex-Linse erzeugten physischen Bildern: und damit ist sofort die Möglichkeit geboten, die besprochene Distanzmessung auch auf entfernte Objecte auszudehnen.

Man hat diessfalls nur dem gewöhnlichen Objectivglase eine Linsenverbindung *AB*,



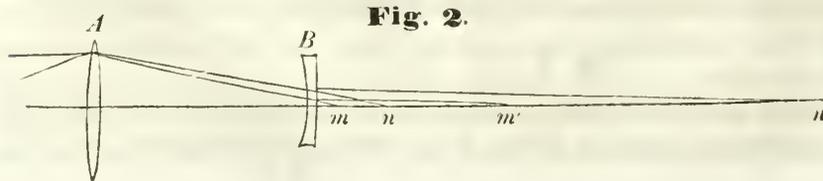
**Fig. 1.**

Fig. 1 von zwei Sammellinsen zu substituieren, die von einander weiter ab stehen, als die Summe ihrer Brennweiten beträgt. Eine

noch vorzüglichere Abhilfe dürfte sich jedoch aus Nachfolgendem ergeben.

### §. 8.

Wenn man, was hier recht füglich geschehen kann, auf den Vortheil eines grössern Gesichtsfeldes Verzicht leistet, so lässt sich der beabsichtigte Zweck durch eine Linsencombination sehr compendiöser Art erreichen, die mir vor der obigen einen entschiedenen Vorzug zu verdienen scheint. Man hat nämlich diessfalls nur nöthig, die von dem convexen



**Fig. 2.**

Objectivglase *A* Fig. 2 kommenden Strahlen, noch bevor sie sich in *m* und *n* beziehungsweise in einen Punkt

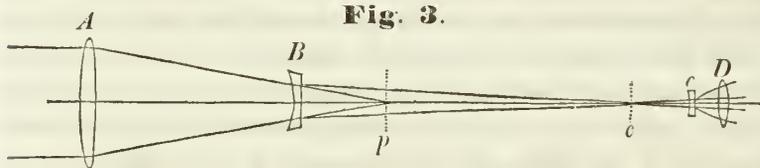
vereinigen, durch eine Concavlinse  $B$  zu leiten, die man so aufstellt, dass  $m$  und  $n$  noch innerhalb ihres imaginären Brennpuncts fallen, wodurch bewirkt wird, dass durch die zerstreue Kraft dieser Linse, die Vereinigungspuncte  $m$  und  $n$  nach  $m'$  und  $n'$  verlegt werden, und gleichzeitig damit auch der Raum  $mn$  in jenen viel grössern  $m'n'$  sich ausbreitet. So zeigt z. B. die Rechnung, dass bei einem Objectivglase  $A$  von nur 18 Zoll Brennweite, die für sich allein die Bilder aller Gegenstände zwischen  $20'$  und  $\infty$  auf den engen Raum von nur 1.46 Zollen zusammendrängen würde, sich dieser Raum durch das blosse Dazwischensetzen einer Hohl- linse  $B$  von einer imaginären Brennweite von 4 Zollen, sogleich auf einen nahe 17mal so grossen  $m'n'$  ausdehnt. Bringt man nämlich in einem Abstände von 16 Zollen von  $A$  eine Zerstreulinse von 14 Zoll Brennweite an, so werden sämmtliche auf  $mn = 1.46$  befindliche physische Bilder auf den Raum  $m'n' = 24$  Zoll übertragen, und somit bedeutend ausgebreitet. Auch hiervon suchte ich mich auf dem Erfahrungswege zu überzeugen, und hatte alle Ursache, diese Abhilfe auch für eine praktisch zulässige und ausführbare zu halten.

Nebenher schien es mir, als ob die Bilder der Gegenstände an Deutlichkeit, Klarheit und Präcision nicht unbeträchtlich gewonnen hätten, welches ich nicht sowohl der wahrscheinlich zugleich statthabenden Verminderung der sphärischen und chromatischen Abweichung, als vielmehr dem Umstande der grössern Absonderung und Trennung der einzelnen optischen Bilder zuzuschreiben geneigt bin. Dieser ganz ungesucht sich darbietende Vortheil, in welcher Beziehung der gegenwärtige Apparat selbst die dialytischen Fernröhre weit übertreffen dürfte, verdient um so mehr alle Beachtung, als eben hier grosse Schärfe und Deutlichkeit der Bilder von ganz vorzüglichem Werthe sind. — Im Übrigen scheint aus einer vorläufig geführten Rechnung sich zu ergeben, dass eine Verbindung zweier Concav- linsen statt einer, noch neue sehr bedeutende Vortheile darbieten würde. — Die Leistung der in diesem Paragraphen beschriebenen Linsencombinationen besteht wesentlich darin, bei sehr mässiger Ausdehnung des Apparates den Bilderraum eines viele hundert Fuss langen Fernrohres mit Beseitigung des übrigen Focalraumes für sich allein darzustellen.

### §. 9.

Durch die Substituierung dieser Linsencombinationen für ein sonsthin nöthig werdendes Objectivglas von so ungemein grosser Brennweite entgeht man indessen nicht zugleich auch zweien andern Schwierigkeiten, die hier wie dort sich der Ausführung eines so wünschenswerthen Apparates entgegenzustellen scheinen. Da nämlich die hier besprochene Linsenverbindung in allem Übrigen, somit auch rücksichtlich ihrer Vergrösserungskraft dasselbe leistet, was ein gewöhnliches Ocular mit einer einfachen Objectivlinse von ungewöhnlich grosser Brennweite leisten würde: so hat sie freilich auch denselben Übelstand, welchen ein solcher Apparat hat, zu tragen, nämlich die ungemaine Lichtschwäche und Verdunkelung des Gesichtsfeldes, die in einzelnen Fällen sogar bis zum völligen Unsichtbarwerden der beobachteten Gegenstände möglicher Weise sich steigern dürfte, da ja das Objectivglas doch nur immer von einer mässigen Grösse sein kann. Um diesem Übelstande zu begegnen,

sähe man sich genöthigt, die Vergrößerungskraft des Apparates durch Anwendung einer Ocularlinse von sehr grosser, d. i. wenigstens 10—15 Fuss betragender Focallänge zu vermindern, wodurch man wenigstens zum Theile dasselbe Hinderniss einer bequemerer Anwendung wieder zurückkehren sieht, das man so eben glücklich besiegt zu haben wähnte. Glücklicherweise aber bietet eben dasselbe Mittel, welches uns Objectivgläser von so immenser Focallänge zu ersetzen vermochte, in gleicher Weise auch eine Abhilfe dar, für die sonst nothwendig werdenden Oculare von zwar minder grosser, aber immer noch zu grosser Brennweite. Es besteht diese Abhilfe in einer ganz ähnlichen Verbindung einer concaven Linse mit einer convexen, in einer Anordnungsweise, wie sie durch Fig. 3 dargestellt ist.



*A* und *D* sind ziemlich kräftige Convexlinsen. *B* und *C* dagegen bedeutend stärkere Zerstreuungslinsen, die bemerkbaren Strahlen beziehen

sich auf einen in der Axe liegenden Punkt; ferner bedeutet  $cp$  den Bilderraum, und  $c$  ist zugleich der Focus des Oculars. Die Linsenverbindung der Ocularröhre ist längs des ganzen Bilderraumes  $cp$  leicht verschiebbar, und an dem äusseren Theile des Apparats eine längs  $cp$  liegende Scala, deren Eintheilung entweder auf Grundlage der gewonnenen Rechnungsresultate oder auf dem Wege der unmittelbar angestellten Versuche zu Stande gebracht ist. Damit diese Scala auch für jeden Beobachter und für ein kurz- wie weitsichtiges Auge gleich brauchbar bleibe, muss sich in  $c$  ein fixes Fadenkreuz befinden, das mit dem Index der Scale unveränderlich verbunden ist, wo hingegen das Linsensystem  $cd$  gegen das Fadenkreuz genau und scharf sich einstellen lassen muss, um die Entfernung des besten Sehens jedem individuellen Auge anpassen zu können. Durch eine solche Anordnung erhält man demnach ein Fernrohr von sehr mässiger Länge, dessen Objectiv sowohl wie Ocular gleichwohl ihren optischen Wirkungen nach, Convexlinsen von ungemein grossen Brennweiten völlig gleichkommen. Es ist gleichsam ein astronomisches Fernrohr, bei welchem durch die Einführung und besondere Stellung der beiden Concavlinen, die nutzlosen Zwischenräume zwischen dem Objectivglas und Bilderraum, und jener zwischen letzterem und dem Ocularglase ausgeschieden ist. Die Vergrößerungskraft dieses Apparats wird also auch gleich sein dem Quotienten aus dem Ocular in das Objectiv, jedes derselben nämlich ausgedrückt durch die optische Wirkung ihrer betreffenden Linsencombinationen. — Ein unabweisbares weiteres Erforderniss ist es, dass dem Apparate während der Beobachtung eine ganz unveränderliche Lage ertheilt werde, da nur bei völliger Unbeweglichkeit des durch das Fernrohr gesehenen Gegenstandes ein möglichst genaues und sicheres Urtheil über die grösste Präcision und Deutlichkeit desselben möglich ist. — Endlich müsste, da das verhältnissmässig kleine Gesichtsfeld das Aufsuchen und genaue Einstellen jedenfalls erschweren würde, auch noch ein anderes kleines Fernrohr von verhältnissmässig grossem Gesichtsfelde, ein sogenannter Sucher, oder an dessen Stelle ein Paar Dioptern mit demselben unveränderlich verbunden werden. — Was übrigens den Umstand anbelangt, dass das Gesichts-

feld sehr beschränkt, und die Gegenstände, wie auch durch jedes andere astronomische Fernrohr, nur umgekehrt gesehen werden, so thut dieser dem beabsichtigten Zwecke nicht den geringsten Eintrag, da man ja bekanntlich, wo es sich nur um ein Urtheil über die grösste Deutlichkeit eines vorliegenden Details handelt, den gesehenen Gegenstand nicht einmal seinen äusseren Umrissen nach zu kennen braucht. — Endlich könnte noch die Befürchtung Platz greifen, dass in dem Acte des Einstellens selbst eine grosse Unsicherheit und Unbestimmtheit sich bemerklich machen werde. Allein diese Vermuthung kann mit grosser Wahrscheinlichkeit als eine unbegründete bezeichnet werden, wenn es anders erlaubt ist, von dem Vorgange beim Mikroskope auf jenen bei der hier besprochenen Linsencombination einen Schluss zu machen.

#### §. 10.

Bei den bisher in Vorschlag gebrachten Linsencombinationen habe ich vorausgesetzt, dass die Ausbreitung des Bilderraums von etwa  $1\frac{1}{2}$  Zoll in jenen grössern von 24'' durch eine und dieselbe Linse bewirkt wird; auch sollte die Linse eine unveränderliche Lage gegen das eigentliche Objectiv haben. Es war diese Beschränkung desshalb nothwendig, weil ich immerfort voraussetzte, dass durch jene zweite oder Concavlinse der ganze, auf alle Objecte zwischen 20' und  $\infty$  liegende, oder sich erstreckende Bilderraum ausgebreitet werden sollte. Allein dieses ist weder nothwendig, noch auch, wie eine genauere Betrachtung lehrt, vortheilhaft. Vielmehr lässt sich die günstigste Wirkung erst von einer Vorrichtung erwarten, wo entweder durch Verschiebung der genannten Linse oder durch successives Einbringen mehrerer von verschiedenen Zerstreungskräften immer nur ein kleiner Theil des primären Bilderraumes, z. B. der den Objecten zwischen 20' — 100', sodann jener, der den Objecten zwischen 100' — 500', oder denen zwischen 500' — 800' u. s. w. entspricht, auf die Ausdehnung obiger 24'' gebracht würde. — Ein Instrument nun, welches den ebenerwähnten Anforderungen entspräche, würde uns in den Stand setzen, sofort durch ein blosses Anvisiren eines Gegenstandes dessen Entfernung von uns augenblicklich zu bestimmen, und darum nicht nur alle bisherigen Distanzmesser an Brauchbarkeit und Bequemlichkeit bei Weitem und auf das Entschiedenste übertreffen, und für die verschiedenen Zweige der praktischen Feldmesskunst, der Kriegswissenschaft, der Seefahrtskunde, der Mikrometrie, und für viele andere Künste von dem unberechenbarsten Nutzen sein, sondern selbst auch der theoretischen Optik keinen ganz uninteressanten Beitrag darbieten. Alles, was beim Gebrauche eines solchen Instrumentes vorausgesetzt würde, besteht in der Möglichkeit des Anvisirens, und dem Vorhandensein von Gegständen von nicht absoluter Gleichförmigkeit, sondern von einigem Detail, Bedingungen, die fast in allen Verhältnissen und unter allen Umständen als zum Voraus erfüllt angesehen werden dürfen.

#### §. 11.

Die beiden fruchtbarsten Quellen fast aller neuer Erfindungen und Entdeckungen in der Optik sowohl wie in den übrigen physicalischen Wissenschaften waren von jeher die In-

duction und der Zufall. Durch die Ähnlichkeit und Regelmässigkeit statthabender Erscheinungen, oft aber auch durch deren auffallenden Gegensatz darauf hingeleitet, und durch den Zufall mächtig begünstigt und unterstützt, entstanden fast immer, so belehrt uns die Geschichte der Wissenschaften, die ersten Keime zu einer nützlichen Erweiterung unserer Kenntniss der Natur; die ersten glücklichen Gedanken zur Erfindung eines neuen Werkzeuges, oder einer folgenreichen Maschine. — Hiezu gesellten sich sodann: in bestimmter Absicht und mit Sorgfalt und Ausdauer angestellte Versuche, und die Frucht derselben, eine richtige empirische Ansicht in die sie bedingenden einzelnen Umstände, Erfahrung, und tatonirende Geschicklichkeit. Nur wenige Erfindungen trugen schon in ihrer ersten Conception den Geleitsbrief einer unverbesserlichen Vollkommenheit und Vollendung mit sich. Fast immer war allmälige Vervollkommnung und stufenweises Fortschreiten vom minder Guten zum Bessern ihr Loos. Dann traten wohl auch bei jenen, die einer streng wissenschaftlichen Behandlung fähig waren, gründlichere Untersuchungen und Berechnungen hinzu, die ihrerseits wieder Veranlassung wurden zu weiteren Versuchen und neuen Verbesserungen.

Der in diesen Blättern auseinandergesetzte, und wie erzählt durch Zufall angeregte Gedanke, der mir den Keim zu einer dereinstigen nützlichen Anwendung in sich zu tragen scheint, hat das eigentliche Stadium der ersten Conception noch kaum überschritten. Es scheint mir wünschenswerth, dass diese Idee nunmehr durch einen für wissenschaftliche Forschungen empfänglichen praktischen Optiker, oder doch mit dessen unmittelbarer Beihilfe an einer Reihe von Versuchen erprobt würde, und dass durch diese wenigstens ungefähr die möglichen Grenzen der Genauigkeit sowohl, wie die Ausreichbarkeit für grössere Entfernungen, von der hier doch so gar viel abhängt, bestimmt würden, da ja diese empirischen Umstände allein die Brauchbarkeit eines solchen Instrumentes bedingen. Denn es würde wenig fruchten, und jedenfalls als vorzeitig erscheinen, schon jetzt in eine genauere Berechnung der Stellung und Brechungskräfte der verschiedenen constituirenden Linsengläser einzugehen. Man würde hiedurch nur erfahren, was man im Grunde ohnediess weiss, dass der Erfolg für ganz geringe Entfernungen von wenigen Fussen ein vollkommen gesicherter ist, und dass der Ausdehnung auf beliebige Entfernungen von theoretischer Seite gleichfalls kein Hinderniss entgegenstehe. Man würde aber hiedurch keineswegs erfahren, wie weit hierin die empirischen Bedingungen uns zu gehen erlauben, und ob selbst in dieser Ausdehnung schon praktischen Bedürfnissen begegnet, und für die Wissenschaft ein sicherer Gewinn erzielt werde.

Und so übergebe ich denn, was zu thun mir Zeit und Umstände anrathen, diese Gedanken der Öffentlichkeit, mit dem Wunsche, dass sie nicht ungeprüft und unbenützt zur Seite gelegt, und vorschnell einer vielleicht unverdienten Vergessenheit überantwortet werden möchten.



## Über ein Mittel, periodische Bewegungen von ungemeiner Schnelligkeit noch wahrnehmbar zu machen und zu bestimmen.

---

Wenn man einen in periodisch wiederkehrender Bewegung begriffenen Gegenstand, dessen Periode noch keine 0.35 Secunden beträgt, oder bei reizbaren Augen wenigstens 0.45 nicht übersteigt, mittelst einer mit einer Öffnung versehenen, sich drehenden Scheibe betrachtet, und es ist die Umdrehungsgeschwindigkeit dieser Scheibe vollkommen gleichzeitig mit jener beobachteten periodischen Bewegung: so ist klar, dass das beobachtende Auge den Gegenstand immer genau in derselben Phase seiner Bewegung und an demselben Orte erblicken wird, so oft jene Öffnung vor dem Auge vorüber geht. Erfolgen nun diese congruirenden Eindrücke auf das Auge, wie hier vorausgesetzt wurde, innerhalb einer kürzeren Zeit, als die bekannte Nachwirkung eines Lichteindruckes währet: so verschmelzen diese zu einem einzigen andauernden Bilde des bewegten Gegenstandes im Auge des Beobachters. In diesem Falle wird man also den Gegenstand in vollkommener Ruhe mit seiner ihm eigenthümlichen Form und Farbe erblicken, es mag derselbe an sich in einer rotirenden, hin und her gehenden, oder wie immer verschlungene Bahnen beschreibenden Bewegung begriffen sein, wenn seine Bewegung nur periodisch und genau isochronisch mit der Drehung der Scheibe Statt hat. Einfachere Fälle dieser Art wurden zwar schon von mehreren Physikern angeführt, und in der That sind Faraday's und Stampfer's Versuche mit drehenden Scheiben und Rädern dem Principe nach mit dem bis jetzt erwähnten Vorgange völlig identisch. Allein indem jene verdienten Gelehrten diese Erscheinungen lediglich aus dem Gesichtspuncte interessanter, belehrender und zugleich unterhaltender optischer Täuschungen betrachteten, und nur sehr mässige Rotationsgeschwindigkeiten anwendeten, mussten ihnen nothwendig die nachstehenden Folgerungen und die damit zusammenhängenden Nutzenwendungen entgehen, auf die sie unfehlbar gestossen wären, hätten sie auch nach dieser Seite hin jenen Gegenstand ihrer ferneren Aufmerksamkeit gewürdigt. Bei Faraday insbesondere ist diess um so mehr zu wundern, da er sogar Vergleiche anstellt zwischen gewissen Linien, die in Folge von sich drehenden Rädern entstehen, und jenen Bewegungen, wie sie an gewissen Infusorien, den sogenannten Räderthierchen, unter dem Mikroskope beobachtet werden. Wie nahe lag da nicht der Gedanke, die bewegten Räder und Scheiben zur Ermittlung des wahren Sachverhaltes bei bewegten Objecten zu benützen?

Die oben erwähnte Erscheinung gilt nämlich für jede, selbst noch so kurz dauernde Periode und für jeden Grad von Geschwindigkeit, mit der sich das Object bewegt. Nun ist es aber bei sehr vielen Gegenständen der Natur und Kunst eben ihre so grosse Geschwindigkeit, die uns entweder sie selbst oder ihre bewegten Theile zu sehen verhindert, während wir sie doch kennen zu lernen wünschen, und wieder ein anderesmal liegt mehr noch daran, die Zeitdauer solcher schneller periodischer Bewegungen selbst kennen zu lernen und zu messen. — Ich erwähne hier nur beispielsweise die Flügelbewegung der Vögel und Insecten, die Bewegungen der Räderthierchen und anderer Infusorien, die Wimperbewegungen, jene der vibrirenden Membranen und Saiten u. a. m. — Welche reiche Ausbeute für die verschiedenen Naturwissenschaften lässt sich daher von der glücklichen Ausführung der hier nur mit flüchtigen Worten angedeuteten Idee erwarten! — Um Einiges zur Verwirklichung der gemeinten Idee beizutragen, mögen nachfolgende Bemerkungen eine Stelle finden.

Es wurde schon oben bemerkt, dass, wenn die Scheibe mit dem in schneller Bewegung begriffenen Objecte isochronisch sich bewegt, man dasselbe in vollkommener Ruhe erblickt, nach seinen Umrissen und denjenigen Farben, die ihm zukommen. In diesem Falle ist demnach die Umdrehungszeit der Scheibe zugleich das wahre Mass der zur Vollbringung einer Periode nöthigen Zeit. Da man nun, wie gezeigt werden soll, diese Umdrehungsgeschwindigkeit der Scheibe sehr genau ermitteln kann: so ist auch die Dauer eines Cyclus des periodisch bewegten Gegenstandes hierdurch bestimmt. — Allein dieser Erfolg trifft nicht nur dann ein, wenn die Bewegung der Scheibe mit jener des Gegenstandes isochronisch ist, sondern auch bei allen jenen Drehungen derselben, deren Umdrehungszeit ein Multiplum des obigen periodischen Zeitraumes darstellt, in so ferne diese die Grösse von  $0\cdot435$  nicht übersteigt. Diess folgt ganz einfach daraus, dass der Erfolg in der That derselbe sein muss, wenn nach jedem 2<sup>ten</sup>, 3<sup>ten</sup>, 4<sup>ten</sup>, 5<sup>ten</sup>, . . .  $m^{\text{ten}}$  Bewegungscyclus dieselbe Bewegungsphase ins Auge gelangt, in so ferne nur die Zeitdauer der je 2, 3, 4, 5, . . .  $m$  Perioden nicht so lange währt, dass hiedurch ein Verschmelzen zu einer einzigen Lichtempfindung unmöglich würde. — Dieser Umstand ist von der allergrössten Wichtigkeit; denn er erschliesst uns die Möglichkeit, und gewährt die sichere Aussicht, Bewegungen, die auf der äussersten Grenze ungemein grosser oder ungemein kurz periodiger Geschwindigkeiten stehen, der sinnlichen Wahrnehmung noch zugänglich gemacht zu sehen. Wäre es daher z. B. in der Ausführung nur möglich, die intermittirenden Gesichtseindrücke bis aus die grosse Zahl von 100,000 in der Secunde zu steigern, und auch noch zu zählen, so liessen sich Bewegungen wahrnehmen, die in Perioden von nur  $0\cdot000005$ ,  $0\cdot0000025$ ,  $0\cdot00000125$ ,  $0\cdot000000625$  Secunden u. s. w. eingeschlossen sind. — Es entsteht nur noch die weitere Frage, was für Erscheinungen bei den Zwischengeschwindigkeiten und wieder dann Statt finden werden, wenn die Geschwindigkeit der Scheibe die periodische des Objects bereits übertrifft. Hierauf lässt sich Folgendes erwiedern. Beginnt man mit einer sehr langsamen Bewegung der Scheibe, so bemerkt man ein anfänglich noch sehr schnelles, bei zunehmender Geschwindigkeit der Scheibe aber allmählig langsamer werdendes Vorwärtsgen im Sinne des bewegten Objectes,

gleichviel, ob die Scheibe von rechts gegen links oder in umgekehrter Richtung gedreht wird. Nimmt die Geschwindigkeit der Scheibe noch mehr zu, und erreicht sie jene Grösse, bei welcher die entsprechende Zeit als ein Multiplum der Periode erscheint, so tritt für die Beobachtung eine vollkommene scheinbare Ruhe des Objectes ein. Nimmt die Geschwindigkeit noch mehr zu, so fängt das beobachtete Object an, scheinbar rückwärts zu gehen, es mag die Scheibe in gleicher oder in entgegengesetzter Richtung mit dem Objecte sich drehen. Anfänglich ist dieses Rückwärtsgehen ein sehr langsames, bei zunehmender Geschwindigkeit nimmt dieses gleichfalls rasch zu. In solcher Weise wiederholt sich diese Erscheinung so oftmal, als viele Multipla der Periode zwischen der Periode und dem Bruche  $0''35$  liegen. Ist daher z. B. die Dauer einer periodischen Erscheinung  $0''07$ , so gibt es für die Beobachtung wegen  $0''35:0''07=5$ , fünf Zeitpunkte, in denen das Object scheinbar sich nicht bewegt. — Wird die Bewegung der Scheibe mit jener periodischen des Objectes isochronisch, so tritt zum letztenmale ein scheinbares Stillstehen des Objectes ein, und jedes weitere Zunehmen in der Geschwindigkeit der rotirenden Scheibe bringt anfänglich ein langsames, sodann aber ein allmählig zunehmendes Rückwärtsgehen zuwege. — Das hier beschriebene Vorwärts- und Rückwärtsgehen findet streng genommen nur in der Nähe der erwähnten Stillstandspunkte Statt, und kann gleichsam als ein pendelartiges Hin- und Herschwingen betrachtet werden. Denn bei Geschwindigkeitsverhältnissen, die sich als einfache Bruchtheile der statthabenden Periode darstellen, d. h. wo die Geschwindigkeit der Scheibe, von einem der Stillstandspunkte aus gerechnet, genau um die Hälfte, den dritten, vierten oder fünften Theil u. s. w. einer Periode zunimmt: da zeigt sich das bewegte Object gleichfalls in Ruhe, aber verdoppelt, verdreifacht u. s. w., überhaupt vervielfacht in sternförmiger Gruppierung. Diess zeigt sich auch besonders schön, wenn die Geschwindigkeiten der sich drehenden Scheibe genaue Multipla der Periode zu werden beginnen. Die geringste Zu- oder Abnahme in der Geschwindigkeit der Scheibe, die eine solche Erscheinung hervorruft, bewirkt, dass sich die ganze Gruppe langsam vor- oder rückwärts zu bewegen scheint. Stellt man diese Beobachtungen mit Kreisscheiben an, denen man durch ein tangentiellcs Anschlagen mit der Hand Bewegung mittheilt: so sieht man bald das Object in Ruhe, bald in sternförmiger Gruppierung, bald sich langsam vorwärts bewegend, bald sprungweise im Zurückgehen begriffen ohne allen bestimmten Zusammenhang, ohne alles regelmässige Ineinanderübergehen dieser verschiedenartigen Gestaltungen. Diess kann auch wohl nicht leicht anders kommen, besonders bei sehr kurzzeitigen Perioden, da bei einem solchen Vorgehen man eines jeden Mittels entbehrt, die Bewegungen der Scheiben mit der nöthigen Genauigkeit zu reguliren, und ihren Geschwindigkeiten nach zu messen. — Es ist diess aber zum Gelingen dieser Versuche unerlässlich, wesshalb ich unverweilt zur Angabe eines solchen ganz geeigneten Mittels übergehe.

Es fragt sich nämlich vor Allen, wie sich die hier verlangte gleichmässig zunehmende Bewegung der Scheibe bis zu einem sehr hohen Geschwindigkeitsgrad steigern, und in jedem Augenblicke der Zustand einer gleichförmig unbeschleunigten Bewegung durch eine beliebige Zeit hindurch herbeiführen lasse. Auch muss dafür gesorgt werden, dass man zu jeder

## 782 Chr. Deppler, über ein Mittel, periodische Bewegungen von ungemeiner Schnelligkeit etc.

Zeit die Zahl der Umdrehungen der Scheibe ohne alle Schwierigkeit zu ermitteln vermag. Ich stehe nicht an, vor allen ähnlichen Vorrichtungen, mit denen zu diesem Zwecke die Scheibe in Verbindung gesetzt werden könnte, derjenigen den Vorzug einzuräumen, welche von Cagniard la Tour erfunden, und von ihm Sirene genannt worden ist. — Befestigt man nämlich eine mit einer oder einer beliebigen Anzahl äquidistanter Öffnungen versehene Scheibe an das gezähnte Drehrad dieses Instrumentes, und bringt man dasselbe durch Zuführung von Luft in eine allmählig zunehmende Bewegung, indem man zugleich durch die vor dem Auge vorübereilenden Öffnungen nach dem in periodischer Bewegung begriffenen Objecte hinsieht, so wird man die oben erwähnten Erscheinungen mit Musse beobachten können. Der Umstand, dass man schon durch die sich gleichbleibende Tonhöhe auf ein ebenso gleichmässiges Anhalten einer gewissen Rotationsgeschwindigkeit zu schliessen berechtigt ist, und dass man es überdiess in seiner Macht hat, in jedem beliebigen Zeitmomente die Anzahl der Umdrehungen durch den damit in Verbindung gebrachten Zählapparat auf das Genaueste zu ermitteln, lässt mit grosser Zuversicht erwarten, dass Zeitbestimmungen, die durch dieses Mittel zu Stande kommen, einen hohen Grad von Verlässlichkeit besitzen werden.

Obschon nun der unmittelbaren Anwendung dieses Mittels sowohl bei Untersuchungen mit dem unbewaffneten Auge als bei Untersuchungen mit dem Mikroskope, der *Camera obscura*, oder selbst mit dem Fernrohre durchaus auch von praktischer Seite kein Hinderniss entgegen steht, indem man diessfalls je nach Umständen die rotirende Scheibe bald vor dem Objective, bald vor dem Oculare anzubringen vermag: so steht doch kaum zu bezweifeln, dass nachfolgende Anordnung ganz entschieden in den meisten Fällen den Vorzug verdienen dürfte. — Es ist nämlich für die beabsichtigte Wirkung unlängbar völlig einerlei, ob der beobachtete Gegenstand von einer permanenten Lichtquelle erleuchtet, und nur die Wahrnehmung desselben periodisch unterbrochen wird, oder ob die Wahrnehmung an sich eine fortdauernd ungehinderte, die Erleuchtungsquelle selbst dagegen eine periodisch intermittirende ist. Um aber eine Lichtquelle ihrer Wirkung nach zu einer periodisch-intermittirenden zu machen, hat man nur nöthig, die rotirende Scheibe unmittelbar vor der Lichtquelle selbst anzubringen, und dafür Sorge zu tragen, dass dem Objecte nur durch die Öffnung der Scheibe allein Licht zukomme, — Bedingungen, die, es mag sich nun um eine Beleuchtung durch Tages- oder Lampenlicht handeln, jederzeit sich unschwer werden erfüllen lassen. —

Und so dürfte es denn durch richtige Anwendung einer rotirenden Scheibe, zumal als das geeignetste Mittel zur Herbeischaffung intermittirender Erleuchtungsquellen, den Forschern möglich werden, Gegenstände, die wegen ihrer ungemein schnellen periodischen Bewegungen sich bisher aller genaueren Beobachtung entzogen, künftig mit der nöthigen Musse zu betrachten, und die Dauer ihrer Perioden mit einem Grade von Genauigkeit zu bestimmen, der sie den feinsten Massbestimmungen anreihen wird.



# ZOBODAT - [www.zobodat.at](http://www.zobodat.at)

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Abhandlungen der mathematisch-naturwissenschaftlichen Classe der königl.- böhmischen Gesellschaft der Wissenschaften](#)

Jahr/Year: 1843-1844

Band/Volume: [5\\_3](#)

Autor(en)/Author(s): Doppler Christian Andreas

Artikel/Article: [Zwei Abhandlungen aus dem Gebiete der Optik: 1. Optisches Diastemometer. 2. Über ein Mittel, periodische Bewegungen von ungemeiner Schnelligkeit noch wahrnehmbar zu machen und zu bestimmen. 767-782](#)