B.

Bahn eines Planeten oder Kometen.

Orbita planetae aut cometae; Orbite d'une planète ou comète; *Orbit.* Dafs man unter der Bahn eines Himmelskörpers die Linie versteht, in welcher er, oder eigentlich sein Schwerpunct sich fort bewegt, ist bekannt. Wir wissen jetzt, dafs alle Himmelskörper sich in Ellipsen, Parabeln oder Hyperbeln bewegen; dafs diese Curven die einzigen sind, in welchen Körper, die von einer den Quadraten der Abstände umgekehrt proportionalen anziehenden Kraft in ihren Bahnen erhalten werden, um ihren Hauptkörper laufen können, und dafs dieser anziehende Mittelpunct sich im einen Brennpuncte der Bahn befindet.

Diese eben angeführten, aus den Principien der Mechanik abgeleiteten Resultate wurden zuerst von Newton entdeckt. Seine Untersuchungen über diesen Gegenstand, ganz in der geometrischen Lehrart der Alten durchgeführt, machen einen Haupttheil seiner Principia philosophiae naturalis aus, und leiten aus den theils schon früher bekannten, theils von ihm selbst mit einem seltenen Scharfsinn aufgefundenen Eigenschaften jener Curven, die Bestimmungen her, die den allgemeinen Gesetzen der Bewegung gemäfs hier statt finden müssen. Später sind dieselben Lehren, für die Anwendung brauchbarer, und zugleich mit Berücksichtigung der störenden Einwirkungen vollständiger, in analytischen Formeln dargestellt, und die Untersuchungen über die wahren Bewegungen der Planeten zu einer so grofsen Vollkommenheit gebracht, dafs nur noch wenig zu wünschen übrig bleibt. Diese Untersuchungen, die von mehrern bearbeitet und vervollkommnet sind, finden sich am vollendetsten in Laplace *traité de mécanique céleste*, — einem Buche, das ebenso wie Newtons principia, als reich an den gröfsten Beweisen von Scharfsinn, selbst dann noch einen unvergänglichen Werth behalten wird, wenn die Wissenschaft auch im Laufe der Zeiten die bedeutendsten Fortschritte wird gemacht haben.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Diese Untersuchungen über die theoretische Bestimmung der Bahnen sollten hier allerdings erörtert werden; aber da ihre Begründung an einem andern Orte[1] vorkömmt, so ist es passender, sie dort abzuhandeln. Dagegen gehört hierher ganz eigentlich die Frage, wie man aus blofser Beobachtung die Bahn eines Planeten oder Cometen bestimmen könne. Diese Frage erfordert eine andere Beantwortung in dem Falle, wo man vieljährige Beobachtungen des Planeten vor sich hat, also seine Umlaufszeit kennt, und ihn in jedem Puncte seiner Bahn beobachtet hat, eine andere in dem Falle, da man nur wenige Beobachtungen eines neu entdeckten Himmelskörpers vor sich hat.

I. Wie man die Bahn eines viele Jahre beobachteten Planeten genau bestimmen kann, hat Kepler gezeigt, der bei dieser Untersuchung die beiden ersten unter dem Namen der *Keplerschen Gesetze* bekannten Gesetze der Bewegung aller Planeten fand. Seine mit grofsem geometrischen Scharfsinn und mit unermüdlicher Geduld durchgeführten Untersuchungen zeigen, wie die richtig benutzten Beobachtungen gleichsam Schritt für Schritt der Wahrheit näher führten, und sie verdienen daher wohl, hier näher entwickelt zu werden.

1. Obgleich schon Ptolemaeus und seine Nachfolger und nachher Copernicus versuchten, die Bahnen der Planeten und die Bewegung derselben in ihren Bahnen so zu bestimmen, wie es die Beobachtungen forderten, so erreichten doch ihre Untersuchungen keinen hohen Grad von Vollendung, da sie theils bei der Unvollkommenheit der vorhandenen Beobachtungen sich mit einer sehr rohen Annäherung zur Wahrheit begnügen konnten, und theils auch die Abweichungen von der Erfahrung, die über die Beobachtungsfehler hinausgingen, nicht mit genug Sorgfalt beobachteten. Selbst Copernicus begnügte sich, die Anordnung der Planetenbahnen dem *Wesentlichen* nach darzustellen[1], und blieb in der Bestimmung der kleinern Umstände noch weit von der Wahrheit entfernt. Tycho empfand lebhaft die

1 S. *Centralkräfte.*
2 S. *Weltsysteme.*

Nothwendigkeit, Tafeln, die genauer mit den Beobachtungen stimmten, zu besitzen, und die Schwierigkeit aus den bisherigen Theorien eine bessere Uebereinstimmung zu erhalten, und seine und seiner Schüler vergebliche Bemühungen veranlafsten Kepler die ganze Untersuchung auf eine durchaus gründliche Weise noch einmal von vorne anzufangen [1].

2. Kepler [2] fühlte sogleich die Nothwendigkeit, selbst die kleinen Correctionen anzubringen, die bei der Zurückführung der Länge auf den Ort in der Bahn u. s. w. nöthig sind, er führte die richtige Betrachtung der wahren Opposition ein, zeigte, dafs man die tägliche Parallaxe als höchst unbedeutend nicht zu beachten brauche u. s. w. Er zeigt dann ein richtigeres Verfahren, um die Knoten der Marsbahn und ihre Neigung gegen die Ekliptik zu bestimmen, und widerlegt vollständig die bis dahin angenommene Meinung [3], als ob die Knotenlinie nicht ganz unveränderlich, sondern die Lage der Bahn gewissen Schwankungen unterworfen sey. Schon hierbei erkennt man den geometrischen Scharfsinn Keplers, der aus den zahlreichen Beobachtungen Tycho's diejenigen auszuwäh-

---

1 Kepler hatte schon früher gewünscht, Beobachtungen vergleichen zu können, und kam zu Tycho mit dem lebhaften Wunsche, vorzüglich die Excentricitäten der Planetenbahnen aus Tycho's Beobachtungen genau kennen zu lernen. Hier fand er den Christian Severini mit Berechnungen über den Mars beschäftigt, und dies war die Veranlassung, dafs auch er den Mars zum Gegenstand seiner Untersuchungen wählte; er bemerkt es (im 7. Cap.) als eine besondere Schickung, dafs er so gerade auf *den* Planeten geleitet wurde, der allein, wegen seiner starken Excentricität, zu einer genauern Kenntnifs der Planetenbahnen führen konnte, zu einer Zeit, wo die kleineren Ungleichheiten in der Bewegung der übrigen Planeten noch nicht mit der Sicherheit erkannt werden konnte, sondern den Rechner in Ungewifsheit gelassen hätten, ob nicht Beobachtungsfehler allein hier die Uebereinstimmung mit der Rechnung störten.

2 Das folgende ist der kurze Inhalt der weitläuftigen und gründlichen Untersuchungen, die Kepler in seinem Hauptwerke, dessen vollständigen Titel ich hierher setze, anstellt. Astronomia nova αἰτιολογήτος, seu physica coelestis tradita commentariis de motibus stellae Martis. Ex observationibus g. v. Tychonis Brahe, plurium annorum pertinaci studio elaborata Pragae a Joanne Keplero Anno 1609.

3 l. c. Cap. XIV.

len wufste, die am besten geeignet waren, um die gesuchte Bestimmung unmittelbar und ohne Einmischung anderer noch nicht mit Sicherheit berichtigter Elemente zu ergeben.

3. Mit Hülfe dieser Grundlagen wurden nun die Puncte in der Bahn, wo der Mars sich bei den beobachteten zwölf Oppositionen befunden hatte, genau berechnet, und Kepler geht dann zur Beantwortung einer Hauptfrage über[1], nämlich: ob sich vier Oppositions-Oerter und Zeiten mit der Voraussetzung vereinigen liefsen, dafs sich Mars auf einem Kreise so bewege, dafs seine Bewegung um einen ausgleichenden Punct (punctum aequans) innerhalb der Bahn als gleichförmig erscheine. Um diese Aufgabe indirect aufzulösen, wurde die Lage der Apsidenlinie, in welcher jener ausgleichende Punct sich befinden mufste, als bekannt angenommen, und aus der bekannten mittleren und wahren Länge des Planeten in seiner Bahn die Entfernung des Planeten von der Sonne berechnet, (der Abstand des ausgleichenden Punctes von der Sonne lag dabei als Einheit zum Grunde); die Frage war nun, ob man durch eine nach und nach anders angenommene Richtung der Apsidenlinie die so berechneten Orte zur Zeit der Oppositionen als auf einem und demselben Kreise liegend erhalten könnte. Die Antwort fiel bejahend aus; denn nicht blofs liefs sich für vier Oppositionsbeobachtungen ein solcher Kreis angeben, sondern eben der Kreis entsprach auch den Längen für alle zwölf Oppositionen bis auf 2 Minuten, — und diese Differenz konnte allenfalls den Beobachtungsfehlern zugeschrieben werden.

4. Diese Hypothese, die mit den in den Oppositionen beobachteten Längen so gut zu stimmen schien, wurde zweitens durch die in den Oppositionen beobachteten Breiten geprüft. Dabei nahm Kepler die Abstände der Erde von der Sonne aus Tycho's Tafeln als bekannt an; fand aber, dafs die beobachteten Breiten bei den durch die vorige Rechnung angegebnen Orten des Mars nicht statt finden konnte; der aus den Längen berechnete Kreis, dessen

---

1 l. c. Cap. XVI. u. XVIII.

ausgleichender Punct dem Mittelpuncte bedeutend näher liegen sollte, als die (an der andern Seite des Mittelpuncts liegende) Sonne, pafste also nicht für die Breiten; man konnte zwar die Abweichung der Beobachtung von der Rechnung dadurch vermindern, dafs man des Kreises Mittelpunct genau in die Mitte zwischen der Sonne und dem ausgleichenden Puncte setzte; aber dann ergaben sich die Längen unrichtig und gaben einen bis auf 8 Min. gehenden Unterschied. Diese 8 Min. konnten keine Beobachtungsfehler in den hierzu viel zu genauen Beobachtungen Tycho's seyn, und sie allein waren es also, wie Kepler sagt[1], die den Weg zur Reformation der Astronomie zeigten. Die Vergleichung anderer, aufser der Opposition angestellter Beobachtungen widerlegte gleichfalls die Meinung, dafs der Mars sich nach dem hypothetisch angenommenen Gesetze auf einem genauen Kreise bewege.

5. Es wurde also nöthig, noch einmal die Fundamente der Rechnung zu untersuchen, und vor allem auch zu sehen, ob die nach den vorhandenen Tafeln angenommenen Stellungen der Erde noch einer Verbesserung bedürften. Kepler suchte daher aus den Beobachtungen selbst das Verhältnifs der Abstände der Erde von der Sonne in den verschiedenen Puncten ihrer Bahn zu bestimmen. Er wählte zu diesem Zwecke solche Beobachtungen aus, bei welchen der Mars in demselben Puncte seiner Bahn gestanden hatte, aber von verschiedenen Puncten der Erdbahn aus gesehen war, und berechnete nun den von dem ausgleichenden Puncte der Erdbahn, der nach Copernicus zugleich der Mittelpunct der Erdbahn seyn sollte, an den jedesmaligen Ort der Erde gezognen Radius. Diese Radien ergaben sich ungleich, und so erhellte, dafs auch bei der Erdbahn der ausgleichende Punct, der Punct nämlich, von welchem aus die Bewegung als gleichförmig erscheinen würde, nicht mit dem Mittelpuncte zusammentreffe, sondern der Sonne gegenüber an der andern Seite des Mittelpuncts liege. Er bestimmt die Gröfse dieser Excentricität, bestätigt sie durch mehrere verglichene Beobachtungen, und

[1] Cap. XIX.

berechnet darnach die Abstände der Erde von der Sonne für jeden Punct der immer noch als kreisförmig angesehenen Erdbahn.

6. Hieran knüpfte sich nun die Bemerkung, dafs die Geschwindigkeit der Erde in den verschiedenen Puncten ihrer Bahn fast genau in umgekehrtem Verhältnifs mit der Entfernung von der Sonne stehe, und daran ferner *das erste Keplersche Gesetz, dafs die vom Radius Vector beschriebenen Flächen den Zeiten proportional sind*[1]. Zwar waren, wie Kepler selbst bemerkt, die auf den Kreis angewandten Beweise für dieses Gesetz nicht vollkommen strenge, indem (selbst bei unendlich kleinen Winkeln) die vom Rad. Vect. beschriebene Winkelfläche nur dann genau im zusammengesetzten Verhältnifs der Geschwindigkeit und des Abstandes ist, wenn der Radius Vector immer einerlei Winkel mit der Bahn macht; aber er bemerkt, dafs der hieraus entstehende Fehler durch die gleichfalls nicht ganz richtige Voraussetzung, dafs die Bahn ein Kreis sey, aufs genaueste, (quod miraculi loco sit)[2] ausgeglichen werde.

7. Mit dieser genauern Kenntnifs der Stellungen der Erde in ihrer Bahn ausgerüstet, kehrt er abermals zur Berechnung des Mars zurück, und fängt die Bestimmung seiner Bahn ganz von neuem wieder an. Wenn man in mehreren nach einander folgenden Umläufen des Mars, ihn genau zu der Zeit, da er in denselben Punct seiner Bahn zurückkehrte, von verschiedenen Puncten der Erdbahn aus, beobachtet hat, so kann man, da jetzt die Puncte, wo die Erde sich damals befand, als genau bekannt angesehen werden durften, den genauen Abstand des Mars von der Sonne in einem solchen Puncte seiner Bahn angeben. Um auf diese Weise die Abstände des Mars von der Sonne in verschiedenen Puncten seiner Bahn zu finden, wählte Kepler zuerst Beobachtungen, bei denen Mars seiner Sonnennähe, und andere, bei denen er seiner Sonnenferne nahe war, aus diesen liefs sich die gröfste und

1 Cap. XL.
2 Cap. XL.

kleinste Entfernung von der Sonne und die Lage der Apsidenlinie finden. Hiermit wäre also der excentrische Kreis des Mars, wenn er auf einem Kreise liefe, völlig bekannt gewesen, und jede auf die angegebene Weise geführte Berechnung eines, ungefähr in die Mitte zwischen Sonnennähe und Sonnenferne fallenden Radius der Marsbahn mufste sogleich ergeben, ob diese Bahn ein Kreis sey. Es zeigte sich, dafs sie kein Kreis ist, indem die zu andern Zeiten angestellten Beobachtungen den Abstand des Mars von der Sonne alle kleiner angaben, als der Kreis es verlangte, und zwar um desto mehr vom Kreise abweichend, je mehr sie von der Apsidenlinie entfernt waren. Die Bahn ergab sich also als ein Oval, dessen lange Axe mit der Apsidenlinie zusammenfiel[1].

8. Kepler glaubte sich diese ovale Form der Bahn durch eine auf physische Ursachen gebaute Hypothese erklären zu können, und rechnete lange und viel über die Orte, welche der Planet auf dem nach dieser Hypothese bestimmten Oval einnehmen müfste; aber keinesweges zufrieden mit irgend einer auf blofse Hypothesen gegründeten Bestimmung, verglich er auch diese Resultate aufs neue mit den Beobachtungen, und fand bei sorgfältiger Berechnung, dafs sein Oval sich mehr vom Kreise entfernte, als die durch die Beobachtungen bestimmte Bahn; diese Hypothese mufste also aufgegeben werden, und Kepler schliefst die Erzählung seiner vielen, für diese Hypothese aufgewandten Bemühungen, mit den Worten[2]: itaque causae physicae capitis XLV. in fumos abeunt.

9. Er suchte jetzt aus den Beobachtungen eine empirische Regel und fand (sehr nahe richtig,) durch diese den wahren Radius Vector $SU = ST.\ Cos.\ STC$, wenn S die Sonne, C die Mitte der Apsidenlinie, T ein Punct des um C beschriebenen Kreises, und U ein Punct in der Bahn auf dem Radius Vector ST, ist, oder mit T in gleicher wahrer Anomalie liegt. Die hieran geknüpften Betrachtungen führten ihn endlich zu der Ueberzeugung, dafs

Fig. 114.

1 Cap. XLIV.
2 Cap. LV.

die Bahn eine Ellipse sey, und diese Bestimmung ist die, welcher man den Namen des *zweiten Keplerschen Gesetzes* gegeben hat. Kepler zeigt[1], *dafs in der Ellipse die genaue Richtigkeit des ersten Gesetzes eintrete*, und wenn gleich seine Demonstrationen hier nicht ohne Mängel sind, (er sagt selbst, sein Beweis sey ἀγεωμέτρητος, und er hätte gewünscht, einen, der auch dem Apollonius genügen würde, zu finden) so war doch die Wahrheit richtig gefunden, und alle Erscheinungen waren so richtig erklärt, dafs für den damaligen Zustand der beobachtenden Astronomie nichts mehr zu wünschen übrig blieb.

10. Jenen *zwei* wichtigen *Gesetzen* für die Bewegung der Planeten fügte Kepler später noch ein *drittes Gesetz* hinzu, *dafs die Quadrate der Umlaufszeiten zweier Planeten sich verhalten wie die Cubi der mittleren Entfernungen.* Kepler fand dieses Gesetz[2], dessen eigentlichen Grund eine tiefere auf mechanische Principien gebaute Untersuchung erst ergeben konnte, durch eine Reihe mannigfaltig versuchter Vergleichungen unter den Zahlen, welche die Bewegungen der Planeten darstellen; es bewährte sich ihm als *vollkommen* zutreffend, und ist in der That eines der Hauptgesetze, die wir später durch Newtons Untersuchungen als *nothwendige* bei den Bewegungen der Planeten kennen gelernt haben.

II. Die *Bestimmung der Bahn eines Himmelskörpers aus wenigen*, nicht einmal *einen* ganzen Umlauf umfassenden *Beobachtungen* konnten nicht eher gelingen, bis man die nothwendigen Bedingungen, denen die Bewegung aller durch die anziehende Kraft der Sonne in ih-

---

1 Cap. LIX.

2 Er theilt diese Entdeckung mit in seinem Buche: Harmonices mundi libri quinque. Lincii 1619. p. 189. Mit welchen mannigfaltigen andern Vergleichungen der Zahlen, welche die Bahnen der Planeten bestimmen, K. sich beschäftigte, sieht man aus diesem Buche; die übrigen aber sind, als blofse fruchtlose Combinationen einer reichen, überall Harmonie suchenden, Phantasie vergessen worden, obgleich diese gesammten Combinationen ihren Urheber mit einer Freude erfüllten, die wohl niemand ohne freudige Theilnahme im Prooemium des 5. Buchs lesen wird.

Universitäts- und Landesbibliothek Düsseldorf

ren Bahnen erhaltener Himmelskörper unterworfen sind, kannte.

Solche Bestimmungen zu versuchen, fand man selbst bis zu sehr neuer Zeit nur bei den Kometen Veranlassung, und daher werde ich zuerst nur das Wichtigste von der Bestimmung der Kometenbahnen angeben.

1. Aus dem eben Angeführten erhellt schon, dafs vor Newton eine strenge Bestimmung der *Kometenbahnen* nicht wohl statt finden konnte. Daher kann Keplers Meinung, die Kometen bewegten sich auf einer geraden Linie fort[1], hier auf keine nähere Erwägung Anspruch machen.

Hevel giebt zwar mehrmals die nach seinen Vermuthungen bestimmten wahren Oerter der von ihm beobachteten Kometen an, aber hat dabei nur sehr unsichere Voraussezzungen befolgt; und wenn es gleich wahr ist, dafs er in seiner (im Jahr 1668 herausgegebenen) Kometographie mit vieler Zuversicht behauptet[2], die Bahnen der Kometen wären Parabeln, so läfst sich doch aus seinen höchst weitschweifigen Erörterungen wohl übersehen, dafs er über die Lage dieser Parabel nichts Gewisses anzugeben wufste, ja es ist sehr zweifelhaft, ob er daran, dafs die Ebene der Bahn durch die Sonne gehen müsse, gedacht hat. Man darf daher mit Recht Dörfel[3] als wahren Entdecker des richtigen Satzes nennen, dafs die Kometenbahn eine Parabel sey, in deren Brennpunct die Sonne steht. Er gründete diese Behauptung auf einen Versuch, die Projection der Bahn des 1680 beobachteten Kometen auf die Ebene der Ekliptik so zu zeichnen, dafs sie die beobachteten Längen des Kometen darstellte und eine bei der Annäherung zur Sonne zunehmende Geschwindigkeit zeigte (nach welchem Gesetze zunehmend, darüber erklärt er sich nicht,); indem er über dieser Pro-

---

1 De cometis libelli tres, auct. J. Kepler p. 86.

2 Hevelii Cometographia. p. 659. 666. 680.

3 Astronomische Betrachtung des grofsen Kometen, welcher im ausgehenden 1680, und im angehenden 1681 Jahr höchst verwunderlich und entsetzlich erschienen. Dessen zu Planen angestellte Observationen nebst etlichen sonderbaren Fragen, sonderlich von Verbesserung der hevelischen theoriae cometarum ans Licht stellet M. G. S. D. daselbst. Gedruckt durch J. C. Meifsen. 1681. (4o Quartseiten).

Universitäts- und Landesbibliothek Düsseldorf

jection die Ordinaten so hoch errichtete, als es die beobachteten Breiten forderten, erhielt er eine Curve, die ihn zu der, „wiewohl noch unreifen Erfindung“ (wie er S. 24 sagt,) brachte, „ob nicht dieses Kometen und der andern Kometen Bewegungslinie eine Parabole sey, dero Focus in der Sonne zu setzen.“ Dörfel kannte Hevels Aeufserungen in der Kometographie, bemerkt aber mit Recht, dafs dieser vom Brennpunct der Parabel dort nichts erwähne, und allem Anschein nach die Ebene der Bahn nicht als nothwendig durch die Sonne gehend annehme.

Hiernach fällt die Ehre dieser Entdeckung allenfalls zum Theil dem Hevel zu; aber Dörfel wird immer mit Recht als derjenige genannt werden, der zuerst eine Kometenbahn angab, die ziemlich nahe richtig ist, und die ihn in Stand setzte, (S. 21. 22. 23. 39.) die Erscheinungen, welche die Beobachtung dargeboten hatte, zu erklären.

Aber obgleich ihm die Ehre gebührt, durch eignen Scharfsinn hierauf gekommen zu seyn, so ist ihm doch der Zeit nach schon Borelli vorangegangen [1], der in einer kleinen ohne seinen Namen herausgegebenen Schrift gezeigt hat, dafs der im Jahre 1664 erschienene Komet, wenn er sich in einer Parabel bewegte, die Erscheinungen zeigen konnte, welche er wirklich darbot. Borelli nannte sich nicht als Verfasser jener Schrift, vermuthlich weil er sich zu deutlich für das Copernicanische System, welches er vorsichtig das Pythagoräische nennt, erklärt hatte, und nicht ohne Ursache besorgte, dafs die päbstliche Kirche ihm so wenig als einst dem Galilaei dies ungeahndet möchte hingehen lassen [2].

2. Obgleich aber Dörfeln und Borelli die Ehre, diese Gedanken zuerst geäufsert zu haben, zukömmt, so bleibt doch

---

1 Von Zach giebt Nachricht von Borelli's Schrift in der Astron. Zeitschr. III. 348.

2 Nach einer von Kies mitgetheilten und durch von Zach (monatl. Correspondenz. VIII. S. 58) aufs neue bekannt gemachten Bemerkung, sollte Madeweis zuerst jenen Gedanken, die Kometenbahnen wären Parabeln, geäufsert haben. Diese Behauptung beruht aber auf einem Irrthum; ich habe mich aus Madeweis Schriften selbst überzeugt, dafs er nicht aufs entfernteste hieran gedacht hat, und werde diese kleine litterärische Berichtigung an einem andern Orte beweisen.

Newton der Ruhm, zuerst *aus Gründen* und gestützt auf seine Theorie der Centralkräfte *gezeigt zu haben*, *warum* wir mit Sicherheit die Bahn als sehr nahe parabolisch ansehen und die Sonne im Brennpuncte dieser Parabel annehmen dürfen; denn erst durch die von ihm aufgefundenen Gesetze der Bewegung war eine wahrhafte Berechnung der Kometenbahnen möglich, wovon auch Newton das erste vollkommen durchgeführte Beispiel gab[1].

3. Das Problem, eine Kometenbahn aus drei vollständigen Beobachtungen zu bestimmen, ist ein völlig bestimmtes, sobald man die durch Newton bewiesenen Gesetze der Bewegung als bekannt annimmt, ja man hat aus drei vollständigen Beobachtungen sogar sechs Gleichungen, um fünf unbekannte Gröfsen zu bestimmen. Stellt man sich nämlich die Kometenbahn als bekannt vor, das heifst, gegeben durch 1. die Lage ihrer Knotenlinie und 2. ihren Neigungswinkel gegen die Ekliptik; ferner 3. durch ihren Parameter, 4. die Richtung ihrer Axe oder die Lage der Sonnennähe, und 5. durch die Zeit, da der Komet sich in der Sonnennähe befand, — so lassen sich für die Zeitpuncte der drei Beobachtungen die Orte des Kometen in seiner Bahn und daraus seine scheinbaren Längen und Breiten berechnen. Das giebt sechs aus jenen fünf Gröfsen in Verbindung mit bekannten Gröfsen gebildete Gleichungen, unter denen man also, wie die Algebra lehrt, nur fünf zu wählen brauchte, aus welchen jene fünf müfsten gefunden werden können. Aber diese directe Auflösung würde in unauflösliche Schwierigkeiten führen, und dient blofs zu zeigen, dafs die Bestimmung der Elemente der Bahn möglich seyn müsse.

4. Von einer andern Art, die Aufgabe direct aufzulösen, (die aber die drei Beobachtungen als einander unendlich nahe voraussetzt, also in sofern eine nicht vollkommen zu erfüllende Anforderung enthält,) kann ich nicht besser als mit Olbers's Worten eine Vorstellung geben[2]. Da-

1 Princip. Lib. III. propos. 41.

2 Abhandlung über die leichteste und bequemste Methode, die Bahn eines Kometen aus einigen Beobachtungen zu berechnen von W. Olbers. Weimar 1797. S. 17.

durch dafs man die Zwischenzeiten zwischen den Beobachtungen als unendlich klein betrachtet, nimmt man das kleine zwischen den Beobachtungen durchlaufene Stück der Bahn als eine gerade, mit gleichförmiger Geschwindigkeit durchlaufene Linie an. Damit lassen sich, wenn ϱ', ϱ'', ϱ''' die drei auf die Erdbahn projicirten Abstandslinien des Kometen von der Sonne in den Zeitpuncten der drei Beobachtungen sind, ϱ' und ϱ''' durch eine lineärische Gleichung aus ϱ'' finden, so dafs man $\varrho' = G\varrho''$, $\varrho''' = H\varrho''$ erhält. Hierdurch läfst sich nun auch k'', die Sehne des zwischen der ersten und dritten Beobachtung durchlaufenen Bogens allein durch ϱ'' ausdrücken. Die Vergleichung der Zeit mit dem durchlaufenen Raume verwandelt sich dann in den simpeln Ausdruck: $k'' \sqrt{r''} = m.\ T$, wenn r'' der Radius Vector zur Zeit der mittlern Beobachtung, T die Zwischenzeit zwischen der ersten und dritten Beobachtung ist. Hierdurch kommt man endlich auf eine Gleichung, die sich so ausdrücken läfst, das Biquadrat der durchlaufenen geraden Linie, mit dem Quadrat des mittlern Radius Vector multiplicirt, ist gleich der vierten Potenz der Zeit, multiplicirt in einen beständigen Coefficienten. Diese Gleichung ist vom sechsten Grade und die einfachste, worauf sich das Kometenproblem zurückführen läfst.

Eine ausführlichere Entwickelung der Sätze, auf welchen eine solche directe Auflösung beruht, giebt Laplace[1], und zeigt zugleich, wie man sich die als gegebene angenommenen Gröfsen aus den Beobachtungen verschaffen kann. Aber eben diese mühsame Herleitung der Data, welche der eigentlichen Auflösung des Problems zum Grunde liegen, macht die Methode des Laplace so schwierig, dafs doch auch sie für die Anwendung nicht zu empfehlen ist.

5. Bei dieser Schwierigkeit, das Problem direct aufzulösen, fand schon Newton es nöthig, eine indirecte Auflösung anzugeben[2], und die wichtigsten Bemühungen der Astronomen sind darauf gerichtet gewesen, diese indirecten

---

1 Méc. cél. Liv. II. §. 29 — 34.

2 Princ. phil. nat. Lib. III. propos. 41.

Methoden zu vervollkommnen. Unter diesen zeichnet sich die von Olbers angegebene Methode zur Berechnung einer Kometenbahn so vortheilhaft aus, dafs sie jetzt fast von allen Astronomen befolgt wird. Ehe ich die Hauptpuncte, worauf es bei dieser Methode ankömmt, kurz darstelle, will ich erstlich zwei Theoreme von Lambert mittheilen, deren eines zu einer wenigstens oberflächlichen Kenntnifs der Entfernung des Kometen von der Sonne führt, und das andere bei der Berechnung der Bahn gebraucht wird, und sodann die geometrischen Betrachtungen erwähnen, welche zeigen, dafs zwei vollkommen bestimmte Orte des Kometen im Raume hinreichen, um die parabolische Bahn kennen zu lernen; — um aber solche zwei vollkommen bestimmte Puncte der Kometenbahn zu erhalten, bedarf man drei Beobachtungen.

6. Das erste von Lambert entdeckte[1] Theorem, wofür später Laplace einen analytischen Beweis gegeben hat[2], ist folgendes: Man lege durch zwei Puncte der beobachteten scheinbaren Kometenbahn einen gröfsten Kreis, und bemerke, ob die scheinbare Bahn in den zwischenliegenden Puncten von diesem Kreise nach der Seite abweicht, wo die Sonne sich befand, als der Komet sich in diesen zwischenliegenden Puncten befand, oder ob sie nach der entgegengesetzten Seite abweicht; ist das erstere der Fall, so war um diese Zeit der Komet weiter von der Sonne entfernt, als die Erde von der Sonne entfernt ist; dagegen war er ihr näher, wenn das Entgegengesetzte statt findet. Der Beweis hierfür läfst sich in folgenden Hauptzügen darstellen. Es sey A B C der Bogen der Erdbahn, welchen die Erde durchläuft, während der Komet von M nach N gelangt, so dafs A und M, B und Q, C und N die Puncte sind, wo Erde und Komet sich bei den drei Beobachtungen befinden: so ist, wenn B und Q ungefähr in der Mitte zwischen beiden äufsersten Puncten liegen, und der ganze Bogen der Bahn klein ist, B b sowohl als Q q

Fig. 115.

1 Insigniores orbitae cometarum proprietates. Berolini 1761. und nachher in den Mémoires de l'Acad. de Berlin pour 1771.

2 Laplace Mécan. cél. Livre II. §. 31.

anzusehen als der Fallraum des Körpers gegen die Sonne während der Zeit, welche der Komet und die Erde gebrauchen, um von Q nach N und von B nach C zu gelangen. Da diese Zeiten gleich sind, so sind die Fallräume der Kräfte, also wenn S die Sonne ist, die Gröfsen $\frac{1}{SB^2}$ und $\frac{1}{SQ^2}$ proportional, oder $Bb : Qq = SQ^2 : SB^2$.

Es läfst sich bekanntlich leicht zeigen, dafs die scheinbare Bahn des Kometen am Himmel ein gröfster Kreis seyn würde, wenn die Erde die gerade Linie AC und der Komet in eben der Zeit die gerade Linie MN mit gleichförmiger Geschwindigkeit durchliefe, (denn die relative Bewegung zweier geradlinig und gleichförmig bewegter Körper ist eine gerade Linie); nimmt man also an, die Sehnen AC und MN würden von dem mittlern Radius in Verhältnifs der Zeiten geschnitten, so dafs $Ab : bC = Mq : qN$ sey, was bei kleinen Bogen beinahe wahr ist, so würde die scheinbare Bahn des Kometen ein genauer gröfster Kreis gewesen seyn, wenn die Erde und der Komet gleichzeitig in A und M, in b und q, in C und N gewesen wären. Alsdann hätte der Komet also den gröfsten Kreis gar nicht verlassen, den wir durch zwei Puncte der beobachteten scheinbaren Bahn (nämlich durch die Puncte, die den von A aus und von C aus angestellten Beobachtungen entsprechen,) gelegt dachten. Aber da bei der zwischenliegenden Beobachtung die Erde nicht in b sondern in B, der Komet nicht in q sondern in Q war, so sieht der Beobachter in B nur dann den Kometen bei eben dem Fixsterne, welchen bq trifft, wenn BQ parallel mit bq ist; und nur in diesem Falle liegt der bei der mittleren Beobachtung gefundene Punct der scheinbaren Bahn in dem gröfsten Kreise, der durch den ersten und letzten Punct der scheinbaren Bahn gelegt worden. Bekanntlich aber ist

$Bb : Qq = SB : SQ$, wenn BQ mit bq parallel ist, und die beiden Proportionen $Bb : Qq = SQ^2 : SB^2$,
$Bb : Qq = SB : SQ$
können offenbar nur bestehen, wenn $SB = SQ$. Also nur dann

ist der Komet bei der zwischenliegenden Beobachtung auf jenem gröfsten Kreise selbst, wenn er ebensoweit als die Erde von der Sonne entfernt ist. Sind dagegen SB und SQ ungleich, so sind BQ, bq nicht parallel. Es sey $SQ = (1+n)$ SB, so ist nach der ersten Proportion

$$Bb : Qq = (1+n)^2 : 1$$

und in der zweiten Proportion würde

$$SB : SQ = Bb : x \quad \text{jetzt } x = Bb\,(1+n)$$

geben, also $Qq = \frac{Bb}{(1+n)^2}$ kleiner als x.

Das heifst: Zieht man in diesem Falle, da SQ > SB, durch b eine Parallele zu BQ, so schneidet diese zwischen q und S, oder die Linien bq, BQ convergiren gegen den Kometen zu; der Beobachter in B sieht also den Kometen von dem gröfsten Kreise, der durch die beiden äufsersten Puncte der scheinbaren Bahn gezogen ist, entfernt gegen die Sonne zu gerückt, wie unser Theorem angab. Wie der entgegengesetzte Fall zu betrachten wäre, erhellt nun von selbst.

7. Ein zweites von Lambert aufgestelltes Theorem ist folgendes: Wenn r' und r''' die beiden Radii Vectores in zwei Puncten seiner Bahn sind, k die Sehne zwischen diesen Puncten und T die zwischen der Ankunft in diesen Puncten verflossene Zeit, so ist

$$T = \frac{\sqrt{(r' + r''' + k)^3} - \sqrt{(r' + r''' - k)^3}}{12 \cdot m}$$

wenn der Halbmesser der Erdbahn = 1 gesetzt wird, und $m = \frac{\pi}{365{,}256384} = 0{,}00860106$ ist. — Die analytischgeometrische Betrachtung der Parabel nämlich zeigt[1], dafs der zwischen jenen Radien eingeschlossene Sector $= \sqrt{\frac{q}{2}} \cdot \frac{1}{6} \left\{ \sqrt{(r' + r''' + k)^3} - \sqrt{(r' + r''' - k)^3} \right\}$ ist, wenn q = dem Viertel des Parameters oder beim Kometen gleich dem perihelischen Abstande ist. Wir müssen also nur noch zeigen, dafs

$$T = \frac{S}{m\sqrt{2q}} \text{ ist, wenn S den Sector bedeutet.}$$

[1] Littrow theoret. u. pract. Astronomie. 2ter Th. S. 52.

Offenbar bedeutet hier m den von der Erde in einem Tage beschriebenen Sector, wenn man die Erdbahn als kreisförmig ansieht, und ihren Inhalt, für den Halbmesser $= 1$, $= \pi . 1^2$. setzt.

Wenn einer Kometenbahn Parameter $= 4q$ also der perihelische Abstand $= q$ ist, so würde ein in diesem Abstande von der Sonne eine Kreisbahn durchlaufender Planet den Sector $= m \sqrt{q}$ in einem Tage beschreiben, (weil $1^3 : q^3 = 365{,}256^2$: Umlaufz.^{2} und Sector $= \frac{\pi q^2}{\text{Umlaufzeit}}$ in jedem Tage ist) aber der Kometenbahn Krümmungshalbmesser im Scheitel ist $= 2q$, und daher mufs des Kometen Geschwindigkeit im Scheitel der Bahn sich zu der Geschwindigkeit jenes Planeten wie $\sqrt{2}$ zu 1 verhalten[1], und deshalb wird der Sector am Scheitel und folglich auch immerfort $= m \sqrt{2q}$ in jedem Tage, also $= m$ T. $\sqrt{2q}$ in T. Tage, welches wir eben erweisen wollten[2].

8. Um die vollkommene Bestimmung der Bahn leichter zu übersehen, ist es gut, voraus zu bemerken, dafs man nur zwei vollkommen bestimmte Puncte der *wahren* Bahn des Kometen zu kennen nöthig hat, um diese selbst vollkommen anzugeben. Da wir nämlich wissen, dafs die Sonne im Brennpuncte der Bahn steht, und diese selbst als eine Parabel ansehen, so bedarf man, wie die höhere Geometrie zeigt, nur zwei vom Brennpuncte aus gehende und bis an die Bahn verlängerte Radien nebst dem eingeschlossenen Winkel, um die Bahn selbst zu bestimmen, so dafs dadurch die Lage der Sonnennähe und die kleinste Entfernung von der Sonne, durch Auflösung eines rein geometrischen Problemes gefunden werden. Damit aber ist man auch im Stande, die Zeit zu bestimmen, wann der Komet in der Sonnennähe war; indem der Sector zwischen jenen

---

1 Die aus der Bewegung entspringende Schwungkraft ist nämlich für d. Planeten, dessen Kreis d. Halbm. $= q$ hat, durch $\frac{(\text{Geschw. d. Plan.})^2}{q}$, für den Kometen, durch $\frac{(\text{Geschw. d. Kom.})^2}{2q}$ angegeben, und da diese gleich seyn mufs, ist: Geschw. d. Kom. $= \sqrt{2}$. Geschw. d. Plan.

2 Vergl. den Art. *Anomalie*. Nr. 8.

beiden Radien sich zu dem Sector der zwischen einem dieser Radien und der Hauptaxe der Parabel liegt, verhält, wie die Zwischenzeit zwischen der Ankunft des Kometen in jenen zwei Puncten, (und diese ist aus der Beobachtung bekannt) zu der Zeit, die vom Perihelio bis zur Ankunft in dem Puncte verflossen ist, dessen Radius wir bei dem letzten Sector benutzten.

9. Aber auch die Knotenlinie und Neigung der Bahn sind durch jene zwei bekannten Puncte der wahren Bahn gegeben. Die sphärische Trigonometrie nämlich lehrt, dafs man aus der Lage der Projectionen zweier von einem bekannten Puncte ausgehender Linien, und der Neigung dieser Linien gegen die Projections-Ebene, die Durchschnittslinie der durch jene zwei Linien gelegten Ebene mit der Projections-Ebene (die Knotenlinie) und die Neigung jener Ebene gegen diese finden könne. Jene Projectionen sind gegeben, wenn man die heliocentrischen Längen der beiden als gegeben angenommene Puncte kennt, und die Neigung jener Linien ist nichts anders als die heliocentrische Breite eben jener Puncte; dafs aber diese Längen und Breiten bekannt sind, wenn man die wahre Lage der Puncte kennt, erhellt von selbst.

10. Durch diese Betrachtungen haben wir also die Aufgabe darauf zurück geführt, dafs aus Beobachtungen zwei Puncte der Kometenbahn müssen bestimmt werden; — sind diese bekannt, so ist die weitere Bestimmung der Bahn auf zwei rein geometrische Probleme zurückgeführt, deren Auflösung wir dem Leser in Olbers schöner Abhandlung selbst aufzusuchen überlassen. Jene zwei Puncte sind aber völlig bestimmt, sobald man aufser den beobachteten Längen und Breiten des Kometen auch noch die beiden auf die Ebene der Ekliptik projicirte Abstände derselben von der Erde kennt, und diese zu finden, ist daher unsre Aufgabe, zu deren Auflösung drei Beobachtungen erfordert werden.

Um diese projicirten Abstände mit mehr Leichtigkeit zu finden, und zuerst nur eine ziemlich angenäherte Bestimmung zu erhalten, nimmt Olbers die nicht genau richtige Voraussetzung an, dafs die Sehne zwischen den zwei Puncten,

wo sich der Komet in der ersten und dritten Beobachtung befand, durch den Radius Vector, welcher den Ort des Kometen zur Zeit der zweiten Beobachtung trifft, in Stücke, den Zwischenzeiten der Beobachtungen proportional, getheilt werde, und dafs ebenso für die Erde die Sehne zwischen ihren beiden Orten zur Zeit der ersten und dritten Beobachtung von dem Radius, welcher den Ort der mittlern Beobachtung trifft, in Stücke, die den Zwischenzeiten der Beobachtungen proportional sind, getheilt werde.

11. Es sei nun für die erste Beobachtung ϱ' der auf die Ebene der Erdbahn projicirte Abstand des Kometen von der Erde,
r' der Radius Vector des Kometen,
R' der Radius Vector der Erde,
A' die Länge der Sonne,
α' die beobachtete Länge des Kometen,
β' die beobachtete Breite des Kometen;
und ϱ'', r'', R'', A'', α'', β''
mögen eben das für die zweite,
ϱ''', r''', R''', A''', α''', β'''
eben das für die dritte Beobachtung bedeuten, t' sey die Zeit zwischen der ersten und zweiten, t'' die Zeit zwischen der zweiten und dritten Beobachtung.

Wir wollen uns jetzt eine Ebene senkrecht gegen die Ekliptik und senkrecht auf den Radius Vector der Erde zur Fig. 116. Zeit der mittlern Beobachtung vorstellen, und unter b', b'', b''' die Winkel Aac, Ddc, Cch verstehen, welche die auf diese Ebenen projicirten Gesichtslinien aA, Dd, cC mit der projicirten Chorde ac der Erdbahn machen, dann ist in dem körperlichen Dreieck, dessen Spitze der Punct bildet, wo die Erde sich bei der ersten Beobachtung befindet, und dessen eine Seitenlinie auf die Projectionsebene senkrecht, die zweite die nach dem Kometen gerichtete Gesichtslinie, die dritte die Projection derselben auf die Ekliptik ist, die eine Kathete $= A'' - \alpha'$, die andere Kathete $= \beta'$, und b' der der letztern gegenüber stehende Neigungswinkel, also

$$\text{Tang. } b' = \frac{\text{Tang. } \beta'}{\text{Sin. } (A'' - \alpha')},$$

und ebenso

$$\text{Tang. } b'' = \frac{\text{Tang. } \beta''}{\text{Sin. } (A'' - \alpha'')}$$

$$\text{Tang. } b''' = \frac{\text{Tang. } \beta'''}{\text{Sin. } (A'' - \alpha''')}$$

Vermöge der (wenn gleich nicht ganz strengen) Voraussetzung, dafs die Chorden der Erdbahn und Kometenbahn im Verhältnifs der Zeiten geschnitten werden, dürfen wir nun auch hier annehmen, dafs die orthographische Projection d D der zweiten Gesichtslinie die projicirten Sehnen a c, A C, in eben dem Verhältnisse schneidet. Es soll nämlich a den projicirten ersten Ort der Erde, A den ersten Ort des Kometen in der Projection, und d, D, die projicirten Orte in der zweiten, c, C, in der dritten Beobachtung vorstellen, also A a d $= b'$, D d c $= b''$, C c a $= 180° - b'''$ seyn

und da M A. Sin. $(b'' - b') =$ A D. Sin. D

a M. Sin. $(b'' - b') =$ a d. Sin. b''

O C. Sin. $(b''' - b'') =$ C D. Sin. D

O c. Sin. $(b''' - b'') =$ c d. Sin. b''

aber A D : D C $=$ a d : d c $= t' : t''$, und folglich auch

a A. Sin. $(b'' - b') :$ c C. Sin. $(b''' - b'') = t' : t''$,

$$\text{weil a A. Sin. } (b'' - b') = \frac{t'}{t' + t''} (\text{A C. Sin. D} + \text{a c. Sin. } b'')$$

$$\text{und c C. Sin. } (b''' - b'') = \frac{t''}{t' + t''} (\text{A C. Sin. D} + \text{a c. Sin. } b'').$$

Aber nicht blofs ist hierdurch das Verhältnifs der auf diese neue Ebene projicirten Abstände a A, c C des Kometen von der Erde gegeben, sondern auch das Verhältnifs der auf die Ekliptik projicirten Abstände bekannt, indem, wenn man A e senkrecht auf a c zieht

a e $=$ a A. Cos. b', zugleich $= \varrho'$. Sin. $(A'' - \alpha')$

ist, und ebenso c C. Cos. $b''' = \varrho'''$ Sin. $(A'' - \alpha''')$,

$$\text{also } \varrho''' = \varrho' \cdot \frac{t''. \text{ Sin. } (b'' - b') \text{ Cos. } b'''. \text{ Sin. } (A'' - \alpha')}{t'. \text{ Sin. } (b''' - b'') \text{ Cos. } b'. \text{ Sin. } (A'' - \alpha''')}$$

wofür ich $\varrho''' = M. \varrho'$ setze, indem M nun eine gegebne Zahl ist.

12. Auch r' und r''' und die zwischen den Orten des Kometen zur Zeit der ersten und zweiten Beobachtung ge-

zogene Sehne = k läfst sich nun durch ϱ' ausdrücken; denn in dem ebnen Dreieck, dessen Eckpuncte die Sonne, die Erde und der Komet sind, hat man bei der ersten Beobachtung die zwei Seiten R' und ϱ' Sec. β', nebst dem eingeschlossenen Winkel, dessen Cosinus = Cos. β'. Cos. $(A' - \alpha)$ ist, also

$$r' = \sqrt{\{ R'^2 - 2 R' \varrho' . \text{Cos.}(A' - \alpha') + \varrho'^2 \text{ Sec.}^2 \beta' \}}$$

und ebenso $r''' =$

$$\sqrt{\{ R'''^2 - 2 M R''' \varrho' . \text{Cos.}(A''' - \alpha''') + M^2 \varrho'^2 \text{ Sec.}^2 \beta''' \}}.$$

Aber auch die Sehne k läfst sich durch ϱ' und bekannte Gröfsen ausdrücken, indem

$$k^2 = \{ r'^2 + r'''^2 - 2 R' R''' \text{ Cos.}(A''' - A') \}$$
$$+ 2\varrho' \{ R''' \text{ Cos.}(A''' - \alpha') + M R' \text{ Cos.}(A' - \alpha''') \}$$
$$- 2\varrho'^2 \{ M \text{ Cos.}(\alpha''' - \alpha') - M . \text{tang.} \beta' . \text{tang.} \beta''' \}.$$

Diese Gröfsen alle könnten berechnet werden, wenn man ϱ' kennte, und es fehlt uns also nur noch *eine* Bestimmung, um zu erkennen, ob ein für ϱ' angenommener Werth der richtige sey. Diese Bestimmung erhalten wir durch Lamberts Theorem, dafs die Zwischenzeit T zwischen zwei Beobachtungen

$$T = \frac{\sqrt{(r' + r''' + k)^3} - \sqrt{(r' + r''' - k)^3}}{12 . m} \text{ ist.}$$

13. Wenn man also nun einen willkührlich angenommenen Werth für ϱ' setzt, daraus r', r''' und k berechnet und sieht, welcher Werth sich für T ergiebt, so erhellet sogleich, ob der angenommene Werth für ϱ' der Wahrheit nahe komme. Einige wenige als Versuch angenommene Werthe für ϱ' reichen zu, um dann durch Interpolation den richtigen Werth, und damit auch die richtigen Werthe für r' und r''' und k zu finden, wodurch dann bekanntlich auch der zwischen r' und r''' eingeschlossene Winkel gefunden ist.

14. Die hieraus hervorgehenden Werthe sind nun freilich wegen der zum Grunde gelegten Voraussetzung, die nicht ganz strenge richtig ist, nicht vollkommen genau; aber es ist nun leicht, da man das Gefundene als der Wahrheit nahe kommend ansehen kann, die kleinen noch beizufügenden Verbesserungen zu finden[1].

1 Wie es Olbers im 4ten Abschn. seiner Abh. zeigt.

Diese Methode bleibt noch anwendbar, wenn die Beobachtungen auch 14 bis 16 Tage von einander entfernt sind, und nur in seltnen Fällen kann es sich ereignen, dafs durch eine ungünstige Stellung des Kometen Schwierigkeiten eintreten, welche durch eine umständlichere Rechnung müssen beseitiget werden[1].

15. Wie man die gefundene parabolische Bahn, da wo eine hinreichende Abweichung von der Parabel merklich wird, verbessern und die elliptischen Elemente (vorausgesetzt, dafs die Ellipse sehr excentrisch sey) finden könne, zeigt kurz Olbers in seiner Abh. S. 74; genauer aber Bessel in von Zachs Monatl. Corresp. XII. 197. und Olbers im Astron. Jahrbuch 1820. S. 220[2].

16. Das Bedürfnifs, auch für solche Himmelskörper, die eine wenig excentrische Bahn durchlaufen, Bestimmungen aus einer geringen Zahl von Beobachtungen zu erhalten, ist erst in neuern Zeiten eingetreten. Bei der Entdeckung des Uranus war die Schwierigkeit minder grofs, da man bei seiner langsamen Bewegung die Bahn als einen Kreis betrachten konnte, ohne dadurch sich erheblich von den, nur einen kurzen Zeitraum umfassenden Beobachtungen

---

1 Den Grund dieser Schwierigkeit zeigt Olbers, im Berliner Astronomischen Jahrb. 1809. S. 193.

2 Andere Methoden findet man bei Olbers angeführt und beurtheilt; seit der Erscheinung jener Abhandlung hat Laplace in seiner Mécan. cél. seine Methode umständlich auseinander gesetzt, Legendre hat eine Methode angegeben, die minder anwendbar als die Olberssche ist (Legendre nouv. méth. pour la détermination des orbites des Comètes. 1806. Ivory hat in der Philos. Transact. for 1814 eine Methode gelehrt, die von der Olbersschen im Wesentlichen nicht verschieden ist (vergl. Astron. Zeitschr. von v. Lindenau und v. Bohnenberger I. 46).

Beispiele vollständiger Untersuchungen über Kometenbahnen geben: Bessel Unters. über d. scheinb. u. wahre Bahn des Kometen von 1807. (Königsberg 1810.) Bessel über den Olbersschen Kometen (in den Schriften der Berliner Akademie der Wissenschaften für 1812. 1813. S. 119.) Enke über den Kometen von 1680. (Astron. Zeitschr. von v. Lindenau und v. Bohnenberger. 5. Band.) Argelander Untersuchungen über die Bahn des grofsen Kometen von 1811. (Königsb. 1822). Mehrere in der Monatl. Correspond. von von Zach und im Berliner Jahrbuch vorkommende übergehe ich.

zu entfernen; aber die Entdeckung und Wiederaufsuchung der Ceres forderte eine Methode, welche die wahre elliptische Bahn sogleich richtig angäbe, und sie lenkte daher zuerst Gauss auf diesen Gegenstand, den er nachher in seinem berühmten Werke, Theoria motus corporum coelestium in sectionibus conicis solem ambientium, auctore C. F. Gauss. (Hamburgi 1809), so vollkommen genügend abgehandelt hat.

Obgleich die Beschränktheit des Raumes hier nicht erlaubt, von dieser Methode einen vollkommenen Begriff zu geben, so will ich doch versuchen, indem ich den Inhalt des Abschnittes (Liber secundus Sect. I.) worin Gauss sie abhandelt, mittheile, einige Nachweisungen über das, worauf es dem Wesentlichen nach ankömmt, zu geben.

17. Dafs auch hier drei vollkommene geocentrische Beobachtungen zur Bestimmung der Bahn hinreichen, ist klar; denn zu den oben (Nr. 3.) angeführten fünf Elementen kömmt nur noch als sechstes die halbe grofse Axe der Bahn, und zu Bestimmung dieser sechs Elemente würden die aus der Beobachtung gegebenen drei Längen und drei Breiten sechs Gleichungen geben. Wäre die Masse des Planeten so grofs, dafs man sie in Vergleichung gegen die Sonnenmasse nicht als unbedeutend ansehen könnte, so wäre noch eine siebente Gleichung erforderlich, weil diese Masse dann in den (Nr. 7. angeführten) Formeln vorkäme. Aber diesen Fall brauchen wir nicht zu berücksichtigen.

18. Der ganze Gang der weiteren Bestimmung ist nun im Wesentlichen folgender. Da für die drei Beobachtungszeiten die heliocentrischen Orte der Erde und die geocentrischen des Planeten bekannt sind, so denke man sich diese an der Himmelskugel aufgetragen, so dafs A, A′, A″ die Orte der Erde, B, B′, B″ die zugehörigen Orte des Planeten sind. Da wir die Lage dieser Puncte vollkommen kennen, so erhellt sogleich, dafs die Bogen AB, A′B′, A″B″ und ihre Neigungswinkel gegen die Ekliptik A, A′, A″, bekannt sind. Verlängert man nun die Bogen A″B″, A′B′ bis sie sich in D, die Bogen A″B″, AD bis sie sich in D′, die Bogen A′B′, A′D′, AB bis sie

Fig. 117.

sich in D'' schneiden, so sind in jedem der so entstandenen Dreiecke die beiden Winkel an der Grundlinie und die Grundlinie selbst bekannt; man lernt also auch die Winkel D, D', D'' und die Seiten A''D, A'D, A''D', AD', A'D'', AD'' kennen.

Legt man ferner durch die geocentrischen Orte B, B'' zur Zeit der ersten und letzten Beobachtung einen gröfsten Kreis, so ist auch dieses Kreises Lage vollkommen bekannt, und sein Durchschnittspunct B* mit dem gleichfalls gegebenen Kreise A'B' ist also vollkommen bestimmt, so dafs A'B* oder B'B* berechnet werden kann.

Obgleich wir die heliocentrischen Oerter C, C', C'' zur Zeit der drei Beobachtungen nicht kennen, so erhellt doch, dafs C sich auf dem Bogen AB, dafs C' sich auf dem Bogen A'B', und dafs C'' sich auf dem Bogen A''B'' befindet, und ferner, dafs C, C', C'' auf einem gröfsten Kreise liegen. Das letztere beruht bekanntlich auf der Ueberzeugung, dafs die Ebene der Planetenbahn durch die Sonne geht, und er folglich heliocentrisch einen gröfsten Kreis durchläuft; das erstere erhellt daraus, weil wenn S die Sonne, a die Erde, b der Planet ist, die Linien ab, womit SB parallel ist, Sa, und Sb in der durch Sonne, Erde und den Planeten gelegten Ebene liegen. Hier läfst sich nun zeigen, dafs man die Abstände des Planeten von der Sonne und von der Erde durch AC, A'C', A''C'' ausdrücken kann, dafs man die Werthe von AC und A''C'' auf A'C' zurückführen kann, und daher A'C' oder B'C' bestimmt werden müsse, um daran alles Weitere zu knüpfen.

Fig. 118.

Fig. 117.

19. Da die letztern Behauptungen nicht so ganz leicht zu übersehen sind, so will ich sie kurz zu beweisen suchen. Wenn zur Zeit der ersten Beobachtung r des Planeten Abstand von der Sonne, ϱ sein Abstand von der Erde, R der Erde Abstand von der Sonne ist, so erhellet aus der Figur, wo S die Sonne, a die Erde, b den Planeten vorstellt,

Fig. 118.

dafs $\frac{R \text{ Sin. } aSb}{\text{Sin. } bSB} = \varrho$

und $\frac{R \text{ Sin. } baA}{\text{Sin. } BSb} = r$

ist; aber hier ist aSb der heliocentrische Abstand des Planeten von der Erde, baA der geocentrische Abstand des Planeten von dem der Sonne gegenüberstehenden Puncte; also in Beziehung auf die Figur auch

Fig. 117.

$$\varrho = \frac{\text{R. Sin. CA}}{\text{Sin. CB}}; \quad r = \frac{\text{R. Sin. BA}}{\text{Sin. CB}}.$$

Ebenso würden für die zweite und dritte Beobachtung die Abstände des Planeten von Sonne und Erde bekannt seyn, wenn $A'C'$, und $A''C''$ gefunden wären.

Es sey nun N der Punct, in welchem der gegebene gröfste Kreis $B''B^*B$ und der gesuchte $C''C'C$ sich schneiden. Es sey ferner $C'C'' = 2f$, $CC'' = 2f'$, $CC' = 2f''$,

so ist $\text{Sin. } 2f \text{ Sin. } NC + \text{Sin. } 2f'' \text{ Sin. } NC'' = \text{Sin. } 2f' \text{ Sin. } NC'$

wie sogleich erhellt, wenn man $2f = NC'' - NC'$, $2f' = NC'' - NC$ setzt, und dann die Formeln entwickelt. Setzt man nun ferner die Gröfse der von C, C', C'' auf den Kreis BB^*B'' senkrecht gesetzten Bogen $= E, E', E''$,

so ist $\text{Sin. } E = \text{Sin. } CN \text{ Sin. } N$,

$\text{Sin. } E' = \text{Sin. } C'N \text{ Sin. } N$,

$\text{Sin. } E'' = \text{Sin. } C''N \text{ Sin. } N$,

also $\text{Sin. } 2f \text{ Sin. } E + \text{Sin. } 2f'' \text{ Sin. } E'' = \text{Sin. } 2f' \text{ Sin. } E'$.

Denkt man sich die Sehne zwischen den zwei ersten Orten des Planeten gezogen, so schliefst diese ein Dreieck, dessen Inhalt $= \frac{1}{2} rr' \text{ Sin. } 2f''$ ist, und wenn dieser $= \frac{n''}{2}$ heifst,

und ebenso $\frac{1}{2} rr'' \text{ Sin. } 2f' = \frac{n'}{2}$, $\frac{1}{2} r'r'' \text{ Sin. } 2f = \frac{n}{2}$,

so giebt die letzte Gleichung mit $r r' r''$ multiplicirt auch

$$nr \text{ Sin. } E - n'r' \text{ Sin. } E' + n''r'' \text{ Sin. } E'' = 0; \quad [\odot].$$

Wir nennen ferner die von D, D', D'' auf BB'' gefällten Perpendikel $= \vartheta, \vartheta', \vartheta''$, so ist $= \text{Sin. } E$

$$= \frac{\text{Sin. } \vartheta' \text{ Sin. CB}}{\text{Sin. BD'}} = \frac{\text{Sin. } \vartheta'' \text{ Sin. CB}}{\text{Sin. BD''}}$$

und ebenso

$$= \text{Sin. } E' = \frac{\text{Sin. } \vartheta \text{ Sin. } C'B^*}{\text{Sin. } B^*D} = \frac{\text{Sin. } \vartheta'' \text{ Sin. } C'B^*}{\text{Sin. } B^*D''}$$

$$-\text{Sin. } E'' = \frac{\text{Sin. } \vartheta . \text{ Sin. } C''B''}{\text{Sin. } B''D} = \frac{\text{Sin. } \vartheta' . \text{ Sin. } C''B''}{\text{Sin. } B''D'},$$

$$\text{folglich } \frac{\text{Sin. E}}{\text{Sin. E}''} = \frac{\text{Sin. CB. Sin. B}''\text{D}'}{\text{Sin. BD}' . \text{ Sin. C}''\text{B}''},$$

und aus der mit [⊙] bezeichneten Gleichung wird:

$$\frac{nr}{r''} \cdot \frac{\text{Sin. CB. Sin. B}''\text{D}'}{\text{Sin. BD}' . \text{ Sin. C}''\text{B}''} - \frac{n'r'}{r''} \cdot \frac{\text{Sin. C}'\text{B}^* . \text{ Sin. B}''\text{D}}{\text{Sin. B}^*\text{D} . \text{ Sin. B}''\text{C}''} + n'' = 0$$

oder weil r. Sin. B C = R. Sin. AB

$$r' \text{ Sin. } B'C' = R' . \text{ Sin. } A'B'$$

$$r'' \text{ Sin. } B''C'' = R'' \text{ Sin. } A''B''$$

$$\frac{nR}{R''} \cdot \frac{\text{Sin. AB Sin. B}''\text{D}'}{\text{Sin. A}''\text{B}'' \text{ Sin. BD}'} - \frac{n'R'}{R''} \cdot \frac{\text{Sin. A}'\text{B}' \text{ Sin. C}'\text{B}^* \text{ Sin. B}''\text{D}}{\text{Sin. A}''\text{B}'' \text{ Sin. B}'\text{C}' \text{ Sin. B}^*\text{D}} + n'' = 0. \quad [\mathbb{C}]$$

Aufser den Gröfsen n, n', n'' kommen hier nur die unbekannten Gröfsen

Sin. B'C' und Sin. B*C' = Sin. (B'C' — B*B')

oder da B'B* bekannt ist, nur B'C' = z als unbekannte Gröfse vor, und *sofern* ist das am Ende des vorigen §. versprochene geleistet.

20. Aber freilich sind n, n', n'' noch keine bekannte Grössen. Es sind die Flächenräume der drei Dreiecke, welche wir als die vom Radius Vector beschriebenen Sectoren ansehen könnten, wenn der Planet zwischen je zweien Beobachtungen nicht den Bogen, sondern die Sehne durchlaufen hätte; und diese lassen sich nur durch eine nicht ganz strenge, aber der Wahrheit nahe kommende Voraussetzung wegschaffen. Hier könnte es nun scheinen, als ob diese geradlinigt begrenzten Sectoren als beinahe den Zwischenzeiten proportional dürften angesehen werden, aber Gauss zeigt (§. 131), dafs die an sich freilich kleinen Fehler, die man darin begeht, dennoch von einer solchen Ordnung sind, dafs sie die ganze Bestimmung aufheben. Dagegen ergiebt sich, dafs man nur solche Fehler, welche einer *angenäherten* Bestimmung nicht im Wege stehen, begeht, wenn man (die Zwischenzeit zwischen der ersten und zweiten Beobachtung = ϑ'', zwischen der

ersten und dritten $= \vartheta'$, zwischen der zweiten und dritten $= \vartheta$ gesetzt, wo also $\vartheta' = \vartheta + \vartheta''$ ist)

$\frac{n''}{n} = \frac{\vartheta''}{\vartheta}$ und $\left(\frac{n+n''}{n'} - 1\right) 2\,r'^3 = \vartheta\vartheta''$ setzt[1]. Drücke ich also die mit [(C] bezeichnete Gleichung so aus

$$an - bn'. \frac{\text{Sin. } (z - B^* B')}{\text{Sin. } z} + n'' = 0$$

und setze $\frac{n''}{n} = P$, so ist

$$(n + n'')\left(\frac{P+a}{P+1}\right) = \frac{bn'. \text{Sin. } (z - B^* B')}{\text{Sin. } z};$$

und wenn man $Q = 2\,r'^3 \left(\frac{n+n''}{n'} - 1\right)$

oder nach dem vorigen

$$Q = \frac{2 . R'^3 . \text{Sin.}^3 B'A'}{\text{Sin.}^3 z} \left(\frac{n+n''}{n'} - 1\right) \text{ setzt,}$$

so ist

$$\text{Sin. } z + Q \frac{\text{Sin.}^4 z}{2\,R'^3 \text{ Sin.}^3 B'A'} = b\left(\frac{P+1}{P+a}\right) \text{Sin. } (z - B^* B').$$

Und dieses ist die Gleichung, die vermittelst der angenäherten Werthe $P = \frac{\vartheta''}{\vartheta}$, $Q = \vartheta\vartheta''$ dient um z, also um den heliocentrischen Ort des Planeten zur Zeit der mittlern Beobachtung, daraus aber auch die heliocentrischen Orte zur Zeit der beiden übrigen Beobachtungen zu bestimmen. Dies mag hinreichen, um eine Andeutung zu geben, was Gauss[2] zur Auflösung des schweren Problems für einen Weg genommen hat, nachdem er er sich diesen durch Untersuchungen gebahnt hatte, in welchen sich der seltene Scharfsinn, die glückliche und klare Entwikkelungsgabe, — kurz alles das im reichsten Maße zeigt,

1 Den Beweis hierfür, der ein Hauptfundament der ganzen Methode ist, giebt Gauss §. 133. 134; aber der dortige Beweis ruht schon auf Gründen, die in den frühern Abschnitten abgehandelt sind, und sich daher hier nicht so kurz darstellen lassen.

2 Vorzüglich §. 136 bis 141.

was den Namen Gauss den unsterblichen Namen des Newton und Laplace an die Seite gesetzt hat. *B.*

Ballistik.

Geschützkunst; *Theoria ballistica; motus proiectorum seu projectilium;* Balistique; Mouvement des projectiles; (*Ballistics?*)[1] *Gunnery;* bezeichnet die Theorie und Praxis geworfener, geschleuderter, insbesondere durch die Kraft des Schiefspulvers, der comprimirten Luft oder sonstiger elastischer Flüssigkeiten geschossener Körper, mithin gehört die Untersuchung des Wurfes, der Wurfbewegung, der Weite des Wurfes, der Artilleriewissenschaft und Bombardierkunst mit dazu. Es liefse sich auch das Werfen der Racketen und Brandracketen mit darunter begreifen; allein da dieser Gegenstand auf ganz andern Grundsätzen beruhet, so ist derselbe hier nicht berücksichtigt[2]. Einen so weitläuftigen, so oft und vielfach abgehandelten Gegenstand hier vollständig zu erörtern, würde aufser den bestimmten Grenzen liegen, und es wird daher genügen, eine Uebersicht der Hauptsachen mitzutheilen. Dabei sind insbesondere zwei Gegenstände zu berücksichtigen, nämlich zuerst die Kraft, welche den geworfenen Körpern ihre Bewegung mittheilt, und die Geschwindigkeit dieser anfänglichen Bewegung; und dann zweitens die Bahn, welche dieselben vermöge dieser erhaltenen Geschwindigkeit und der sie stets afficirenden Schwere ohne und mit Rücksicht auf den Widerstand der Luft beschreiben müssen. Der Untersuchung dieser Gegenstände selbst möge folgende kurze geschichtliche Uebersicht vorausgehen.

Spuren der Versuche, durch fortgeschnellte Körper dem Feinde zu schaden, finden sich im höchsten Alterthum, namentlich in den *Schleudern.* Speere mit der blofsen Hand geworfen, und Steine mit der Schleuder erhielten bei der grofsen Körperstärke, verbunden mit unglaublicher Fertig-

---

1 Hutton Dict. I. 204 gebraucht dieses Wort für die Geschützkunst. Sonst bezeichnet es die geworfenen Körper selbst und wird überhaupt selten gebraucht.

2 S. *Brandracketen.*

keit eine ausnehmende Geschwindigkeit, welches um so leichter daraus zu erklären ist, dafs die bewegende Kraft länger anhielt, und die Bewegung von der geringsten bis zur stärkeren steigen machte, wobei die zu überwindende Trägheit geringer war, nnd einen nicht so grofsen Theil der Kraft erschöpfte. Es kann von dieser Art der Wurfbewegung hier aber nur beiläufig die Rede seyn, indem vielmehr blofs die gröfseren Wurfwaffen und die künstlichern ballistischen Hülfsmittel in Betrachtung kommen. Solche gröfsere Wurfmaschinen wurden schon 800 J. v. Ch. zur Vertheidigung von Jerusalem gebraucht, und später bei den Griechen und Römern beibehalten. Sie schleuderten theils Pfeile, theils grofse Steine und sonstige Lasten vermittelst der Hebel, welche durch elastische Seile und Balken gespannt waren. Dahin gehören vorzüglich die Ballisten und Katapulten, nebst im Kleinen die gröfseren und kleineren Armbrüste und Bogen, deren Gebrauch in Europa bis ins 13te Jahrh. allgemein war, partiell aber noch später herabgeht und zur Belustigung noch jetzt beibehalten wird. Alle diese schwerfälligen Wurfwaffen wurden durch die Verbesserung des Schiefspulvers und der hierfür bestimmten Waffen allmählig verdrängt.

Die ersten Artillerie-Stücke waren ungeheuer grofs und schwerfällig. Mahomed der zweite schofs 1453 bei der Belagerung von Konstantinopel Steine aus Kanonen, deren Caliber 1200 Pfd. betrug, und welche nur viermal in einem Tage abgeschossen werden konnten. Am Ende des 15. Jahrh. fing man aber an, die Kanonen aus Messing von gröfserer Metalldicke zu giefsen, und eiserne Kugeln mit besserem Pulver zu schiefsen. Seit 200 Jahren sind indefs die Kanonen wenig verbessert, ausgenommen, dafs man sie kürzer gemacht hat, ohne am Effecte zu verlieren. Die jetzigen Belagerungs-Kanonen sind daher solche, als die man ehemals Halb-Kanonen nannte, die 24 Pfünder, welche völlig hinreichen.

Indefs wurde die Artillerie blofs empirisch behandelt. Der erste, welcher wissenschaftliche Untersuchungen darüber anstellte, war der Italiener Tartaglia, welcher herausbrachte, dafs kein Theil der Kugelbahn eine gerade Linie

sey, und ein Elevationswinkel von 45° die gröfste Weite gäbe[1]. Die Grundsätze, worauf er dieses 1537 bei noch nicht entdeckten Fallgesetzen bauete, waren zwar in vieler Hinsicht mangelhaft und falsch, indefs behauptete ein anderer Artillerist, ein Elevationswinkel von 30° gäbe eine gröfsere Wurfweite, und als ein mit einer 20pfünd. Schlange angestellter Versuch dieses nicht bestätigte, so führte Tartaglia seine Ansichten weiter aus[2]. Die Sache wurde fortwährend viel untersucht, auch wurden Elevationstabellen entworfen, aber ohne eine eigentliche feste Basis, bis Galileo Galilei[3] das Fallgesetz hierauf anwandte, und zeigte, die Bahn der Kugeln müsse eine Parabel seyn. Mersenne und vorzüglich Torricelli[4] setzten diese Untersuchungen weiter fort, indefs hauptsächlich um den Punct zu bestimmen, welchen eine lothrecht und eine horizontal geschossene Kugel erreichen würde, welches indefs für den praktischen Gebrauch minder fruchtbar war. Bei weitem mehr bezweckte und erreichte Letzteres der Jesuit des Chales durch Angabe der Richtung des Geschützes, welche erforderlich sey, um einen höheren oder niedrigern Punct zu treffen[5]. Auffallend ist es dabei, dafs man so lange nach Tartaglia nicht wieder die Sache durch Versuche prüfte. Dieses geschah zuerst wieder durch Collado[6], welcher den *Artillerie - Quadranten* auf einen 3pf. Falconet setzte, hiermit die Elevationen mafs, und folgende Weiten in Schritten erhielt

Elevat. Winkel	Weite. Schritte	Elevat. Winkel	Weite. Schritte
0°,0	268	45,0	1053
7,5	594	52,5	900
15,0	794	60,6	700
22,5	954	67,5	400
30,0	1010	75,0	150
37,5	1040	82,0	12

1 Della nova Scienzia. Venet. 1537.

2 Nicolo Tartaglia Quesiti ed Invenzioni. Venet. 1546. Lib. I. Ques. 1. englisch von Cyprian Lucar, Colloquies concerning the art of Shooting. Lond. 1588.

3 Discorsi è Dimonstrazione matematiche cet. Leiden 1638.

4 De Motu gravium et naturaliter proiectorum. Florent. 1641.

5 Mundus mathem. T. II. stat. lib. II. prop. XXX. Pyrotechnia.

6 Prattica manuale dell' artigleria cet. Milano 1641. 4.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Genauer waren die durch Bourne, wahrscheinlich mit einem kleinen Geschütze angestellten Versuche, wobei die Elevationen nicht nach Puncten des Artillerie-Quadranten (= 7°,5) sondern nach Graden gemessen wurden. Er nahm den sogenannten Kernschufs (Visirschufs) als Einheit an, und erhielt dann die den folgenden Elevationswinkeln zugehörigen Kernschufsweiten

Elev.		Weiten	Elev.		Weiten
0	—	1	15	—	$4\frac{1}{3}$
5	—	$2\frac{2}{9}$	20	—	$4\frac{5}{6}$
10	—	$3\frac{1}{3}$	42	—	5,5

Die letzte Elevation gab nur im Mittel die gröfste Weite bei ruhiger Luft; dagegen wechselte beim Winde der Winkel, welcher die gröfste Weite gab, zwischen 36° und 45°[1]. Schon 1611 stellte Eldred, Büchsenmeister in Dover-Castle, Versuche an, setzte sie später fort, und beschrieb sie 1646[2]. Sie wurden mit Stücken von verschiedenem Caliber sehr sorgfältig angestellt, liegen aber alle innerhalb der Elevationswinkel bis 10°. Galilei hatte zwar in seinen Discorsi schon darauf aufmerksam gemacht, dafs die Bahn der Kugel nur insofern eine Parabel seyn könne, als der Widerstand der Luft dieselbe nicht modificire. Man übersah aber diese Andeutung ganz, und wandte die parabolische Theorie vollständig auf die Ballistik an, in der Voraussetzung, dafs die Luft als ein so dünnes Medium auf so dichte und schwere Körper, als eiserne Kugeln sind, keinen Einflufs haben könne. Nach diesem Vorurtheile sind selbst die Versuche modificirt, welche Robert Anderson anstellte und nebst der Theorie bekannt machte [3], auch bemühet sich Blondel [4] die parabolische Theorie gegen die Einwürfe zu vertheidigen, welche man aus dem Widerstande der Luft hernahm. Hierin folgte ihm aufser andern auch Halley [5]. Anderson konnte indefs die Resultate seiner Versuche bei geringen und grofsen

1 Art of Shooting in great Ordnaunce. 1643.
2 The Gunners Glass. 1646.
3 Genuine Use and Effects of the Gunne. 1674. To hit a Mark. 1690.
4 L'Art de jetter les bombes Par. 1683.
5 Phil. Tr. N. 216. p. 68.

Anfangsgeschwindigkeiten nicht mit der Theorie in Uebereinstimmung bringen, und nahm daher zu einer seltsamen Hypothese seine Zuflucht, indem er die Bahn einer jeden Kugel aus einer geraden Linie, der Linie des Feuerimpulses, und aus einer Parabel bestehen liefs, und indem die erstere bei allen Elevationswinkeln gleich seyn sollte, so vermochte er hierdurch die Abweichungen der Versuche von der Theorie auszugleichen. Indefs blieb Blondels Werk fortwährend in Ansehen.

Nebenbei wurde das Gesetz des *Widerstandes* der Luft von vielen untersucht[1], auf verschiedenene Weise angegeben, und meistens eine Anwendung davon auf die Bahn der Kugeln gemacht, wobei die meisten der *Newtonschen*[2] *Hypothese* folgten, dafs dieser Widerstand dem Quadrate der Geschwindigkeit proportional sey. Schon hatte Huygens[3] gezeigt, dafs die Bahn der Kugeln im lufterfüllten Raume sehr von einer Parabel abweichen müsse, als der Gegenstand aufs Neue sehr in Anregung kam durch einen, bis dahin unbekannten verdienstvollen Artillerie-Offizier Resson[4], welcher zeigte, dafs die Theorie der Ballistik wohl recht gut seyn möge, aber in der Praxis keine Anwendung leide, indem er namentlich nach Blondels Vorschriften die Geschützstücke mit gröfster Sorgfalt gerichtet habe, ohne indefs die Bahnen der Kugeln so zu finden, wie sie hiernach seyn müfsten. Indefs blieb diese Theorie, als theoretisch wohl begründet, noch fortwährend in Ansehn[5], und es wurden Tabellen danach berechnet, z. B. von Belidor[6], Gray[7] und Herberstein[8], welche praktisch wenig Nutzen stifteten. Während indefs die Theoretiker von dem Einflusse der widerstehenden Luft überzeugt waren, kam es nun darauf an, diejenige Curve zu finden, welche eine Kugel mit Rücksicht

1 S. *Widerstand der Mittel.*
2 Princ. Lib. II. prop. 40.
3 Discours de la cause de la Pesanteur. Leide 1690.
4 Mém. de l'Ac. 1716.
5 Maupertuis in Mém. de l'Ac. 1731.
6 Le Bombardier françois. Par. 1740. 4.
7 Treatise of Gunnery. Lond. 1731.
8 Amari a Lapide artis technicae via plana et facilis. Stettin 1756.

hierauf beschreiben mufs. Nach einigen vorläufigen Aeufserungen Joh. Bernoulli's über dieses schwierige Problem forderte Keil 1718 diesen auf, dasselbe zu lösen, welches er that, zugleich aber die gefundene Auflösung erst dann bekannt machen wollte, wenn jener die seinige dem Publicum mitgetheilt haben würde, und als Keil keine Auflösung finden konnte, machte Joh. Bernoulli 1719 seine eigene und eine andere von seinem Neffen Nic. Bernoulli bekannt[1]. Seitdem haben sich die gröfsten Geometer an diesem höchst schwierigen Probleme, die ballistische Curve aufzufinden, versucht, ohne dafs man sagen kann, dafs es der Analysis gelungen sey, dasselbe vollständig zu lösen. Bei den meisten Versuchen dieser Art, mit Ausnahme des früheren von D. Bernoulli[2] sind zugleich die sehr gehaltvollen Versuche berücksichtigt, welche Robins mit eben so viel Aufwand als Genauigkeit anstellte[3], und an deren Fortsetzung er zuerst durch überhäufte Geschäfte und nachher durch seinen frühzeitigen Tod gehindert wurde. Nach ihm verdankt man eine Reihe höchst schätzbarer Versuche von 1775 und eine spätere den Bemühungen des berühmten Hutton's. Sowohl jene als auch diese, nebst verschiedenen in Frankreich, Italien und Deutschland angestellten Versuchen der späteren theoretischen Untersuchungen sind bei der folgenden Darstellung berücksichtigt.

A. Anfangsgeschwindigkeit der geworfenen Körper.

Nach der Natur der Sache ist es unmöglich, die Bahn eines geworfenen Körpers zu bestimmen, wenn man nicht die Geschwindigkeit kennt, womit er sich in einer gegebenen Zeit in der ihm mitgetheilten Richtung bewegt, weil der Raum, welchen er während der Zeit seiner Bewegung vermöge des Fallgesetzes durchläuft, bekanntlich dem Quadrate der Zeit proportional ist. Der Verfolg der Untersuchung wird zeigen, dafs bei einer Bewegung im widerstandleisten-

1 Joh. Bernoulli Opp. II. 293. 402. 513.

2 Com. Pet. II. 338.

3 B. Robins New Principles of Gunnery 1742. Neue Grundsätze der Artillerie mit Anm. v. L. Euler Berl. 1745. 8.

den Mittel, worüber allein für die Praxis nützliche Betrachtungen angestellt werden können, die Geschwindigkeit sogleich mehr oder minder abzunehmen beginnt, wenn die Bewegung anfängt, und man kann daher in dieser Hinsicht nur von der eigentlichen Anfangsgeschwindigkeit reden. Diese läfst sich theoretisch finden, wenn man den Grad der Compression der fortschleudernden elastischen Flüssigkeit kennt, und indem diese bei comprimirter Luft genauer bestimmbar ist, so läfst sich auch die Anfangsgeschwindigkeit der hierdurch geschossenen Kugeln sicherer finden[1]. In Beziehung auf das Schiefspulver aber sind die Angaben über die Elasticität der aus demselben beim Entzünden entwickelten expansibelen Flüssigkeiten so verschieden[2] und so sehr von Nebenbedingungen abhängig, dafs bei mangelnden genauen Bestimmungen kein sicheres Resultat erhalten werden kann. Um daher nur eine hierüber vorhandene Angabe zu benutzen, welche zwischen den übrigen ohngefähr in der Mitte liegt, mag hier erwähnt werden, dafs Daniel Bernoulli[3] die Kraft des entzündeten Schiefspulvers zu 10000 Atmosphären annimmt, und hiernach die Anfangsgeschwindigkeit zu 6004 F. berechnet, eine Gröfse, welche in der Praxis nie erhalten wird. Robins dagegen setzt die Expansion des Pulvers nur auf 1000 Atmosphären, und erhält weit besser mit der Erfahrung übereinstimmende Resultate. Als Vorbereitung auf die nachfolgenden theoretischen Untersuchungen über diese Aufgabe mögen hier vorläufig folgende Betrachtungen vorausgehen.

Die fortzuschleudernden Kugeln befinden sich in einem cylinderförmigen Raume, dem Laufe des Geschützes, und haben hinter sich die Quantität Schiefspulver, durch welche sie vermittelst der aus letzterem entbundenen expansibelen Flüssigkeiten von starker Compression fortgeschleudert werden sollen. Um die Bahn der Kugeln zu bestimmen, mufs

---

1 S. *Pneumatik; Windbüchse.*

2 S. *Schiefspulver*, und dort die Betrachtungen, woraus erklärlich wird, warum die anfangs sicher unglaublich hohe Spannung des Pulverdampfes in ihrer Wirkung sich nur so geringe zeigt.

3 Hydrodynamica sive de viribus et motibus fluidorum commentarii. Argent. 1738. p. 232. 238.

der Lauf eine gewisse Länge haben, welche noch näher durch die Menge der aus dem Pulver entwickelten elastischen Flüssigkeiten, und die Weite, bis auf welche sie bei ihrer Freiwerdung einen gewissen Grad der Spannung beibehalten, bestimmt wird; denn es darf offenbar der Fall nicht eintreten, dafs die letztere sich bedeutend vermindert, ehe die Kugel den Lauf verläfst, weil diese sonst durch die Reibung an den Wänden des Laufes viel von ihrer erhaltenen Geschwindigkeit verlieren müfste. Indem aber die zur Bestimmung der Richtung erforderliche Länge des Laufes nicht beträchtlich, die Menge der aus dem Schiefspulver entwickelten elastischen Flüssigkeiten, und somit auch die Weite, bis auf welche sie einen gewissen Grad der Spannung im Laufe behalten, der Menge des entzündeten Schiefspulvers direct proportional ist; so läfst sich denken, dafs die Anfangsgeschwindigkeit einer Kugel durch Vermehrung der Pulvermenge ohne Grenzen vermehrt werden könnte. Wird nämlich das hinter der Kugel einen Cylinder von unbestimmter Dicke bildende Schiefspulver entzündet, so wird zwar im ersten Momente der Druck gegen die Kugel bei der gröfsten wie bei der kleinsten Höhe dieses Cylinders gleich seyn, indem die aus dem Schiefspulver entbundenen elastischen Flüssigkeiten den Raum, welchen das letztere einnimmt, allezeit um das nfache übertreffen (wenn n den Factor der Elasticität dieser Flüssigkeiten ausdrückt, den der atmosphärischen Luft = 1 gesetzt); allein sie werden bei ihrer Ausbreitung im Laufe nur einen gewissen Grad der Elasticität beibehalten, welcher der Länge des Laufes, dividirt durch die Höhe des Cylinders des Schiefspulvers umgekehrt proportional ist. Die hieraus folgende Regel, dafs man zur Erhaltung einer gröfseren Anfangsgeschwindigkeit der Kugel (bei ihrem Austritte aus der Mündung) die Menge des Schiefspulvers vermehren müsse, wird durch mannigfaltige anderweitige Bedingungen so modificirt, dafs es ein Maximum der Pulvermenge giebt, über welches hinaus seine Wirkung wieder abnimmt. Aber auch diese Bestimmung des Maximums der Pulvermenge aus theoretischen Gründen ist unmöglich, weil die Güte desselben so verschieden ist und aufserdem bei gleicher Qualität desselben noch viele Nebenumstände einen

bedeutenden Einfluſs auf seine Wirksamkeit haben. Vor allen Dingen ist die Entzündung desselben nicht momentan, sondern erfordert eine meſsbare Zeit. Nach d'Arcy's Versuchen[1] verbrannte eine Lage Pulver 8 Lin. breit, 4 Lin. hoch, 576 F. lang in 75,5 Secunden, und allgemein fand er die zum Verbrennen erforderliche Zeit der Länge directe und der Dicke der Lage umgekehrt proportional[2]. Indem aber die Wirkung des entzündeten Theiles des Schieſspulvers sogleich im Momente der Entzündung desselben eintritt, so ist es begreiflich, daſs oft eine Menge unverbranntes aus der Mündung der Geschütze geschleudert wird, wie auch Versuche beweisen. Aufserdem aber kommt noch in Betrachtung, wie schnell und wie stark die entbundenen elastischen Flüssigkeiten durch die Wände des Geschützes abgekühlt werden, und dadurch von ihrer Elasticität verlieren; weswegen erwärmte Geschütze weiter tragen. Ferner läſst sich auch die Menge des Pulverdampfes nicht genau berechnen, welche aus dem Zündloche entweicht, wobei endlich noch zu berücksichtigen ist, daſs aufser der Kugel noch der Pulverdampf, und der Pfropfen (Spiegel) bewegt werden muſs, welcher letzterer sich entweder compresser im Laufe bewegt, und dadurch mehr Reibung verursacht, oder loser, und dann Pulverdampf neben sich entweichen läſst.

Zur Beantwortung der Frage über das Verhältniſs der Pulvermengen und der Länge des Geschützes zur Anfangsgeschwindigkeit sind sehr viele Versuche angestellt. D'Arcy[3] fand, daſs bei gegebener Länge der Kanonen das Verhältniſs der Länge der Ladung zu der Länge des Laufes = 100:171 die gröſste Anfangsgeschwindigkeit giebt, welches mit Robins's Rechnungen und Beobachtungen übereinstimmt, wonach dieses Verhältniſs = 1 : 1,718 seyn soll. Auffallend ist ein anderes Resultat, welches d'Arcy herausbrachte, indem er bei unverminderter Länge des Laufes die Pulvermengen

1 Mém. de l'Ac. 1751. p. 48.

2 Ausführliche Untersuchungen über diesen Gegenstand, und viele erzählte Versuche finden sich in Recherches sur les meilleurs effets à obtenir dans l'Artillerie cet. par le Comte La Martillière. A Paris. 1819. II. Vol. 8. I. 143 ff.

3 Mém. de l'Ac. 1751. p. 57.

verminderte, und hiernach fand, dafs die Anfangsgeschwindigkeit der Länge des Laufes direct proportional sey, so dafs für einen 24 Pfünder mit 8 Pfd. Pulver eine Länge von 343 F. die vortheilhafteste seyn würde[1]. Indefs läfst sich diese, mit andern im Widerspruch stehende Erfahrung leicht daraus erklären, dafs d'Arcy von kleinen Pulvermengen auf gröfsere schlofs, obgleich bei den letzteren erst die oben angegebenen modificirenden Bedingungen in Betrachtung kommen.

Im Allgemeinen ist in Folge zahlreicher Versuche, die insbesondere durch Martillière, Scharnhorst und andere Artilleristen vertheidigte Behauptung wohl als begründet anzusehen, dafs die Länge der Geschütze eine gewisse Gröfse nicht übersteigen darf, in Gemäfsheit dessen auch das neuere Geschütz kürzer ist, als das alte. Als die wichtigsten hierüber vorhandenen Versuche wird es genügen, diejenigen zu nennen, welche 1784 und 86 zu Auxonne angestellt wurden[2]. Uebrigens hängt mit der Verkürzung der Geschütze auch die gleichzeitige Einführung der geringeren Metallstärke und der verminderten Ladung zusammen.

Noch weit schätzbarer, als d'Arcy's Versuche über die erforderlichen Pulvermengen sind diejenigen, welche Robins anstellte. Indem diese aber bei allen späteren, durch Hutton in Woolwich mit gröfster Sorgfalt veranstalteten und mit höchster Genauigkeit berechneten mit berücksichtigt sind, so wird es genügen, blofs die Resultate der letzteren hier mitzutheilen. Hutton[3] fand, dafs für Kanonen von der erforderlichen Länge die Geschwindigkeiten sich verhielten direct wie die Quadratwurzeln der Pulvermengen und umgekehrt wie die Quadratwurzeln des Gewichtes der Kugeln. Dieses führt zu einer sehr leichten Berechnung, wenn man

---

1 Essay d'une Théorie d'Artillerie. par. M. le Chevalier d'Arcy. Par. 1760. 8. Versuch einer Theorie der Artillerie. Dresden. 1766. 8. p. 97.

2 Reflexions sur la fabrication des bouches à feu, par le Comte de Martillière, à Paris 1816. Vergl. de Morla Lehrbuch d. Artillerie. II. 185 ff.

3 Tracts on mathematical and philosophical subjects ect. in three Volumes. Lond. 1812. 8. III. 257. Dieses gehaltreiche Werk wird allezeit verstanden werden, wenn einfach: Tracts angeführt ist.

Universitäts- und Landesbibliothek Düsseldorf

die Anwendung des Schiefspulvers von der Güte des dort gebrauchten englischen Artilleriepulvers voraussetzt. Die später zu erwähnenden Versuche nämlich ergaben für eine Kugel von 1 Pfd. Gewicht mit 8 Unzen Pulver abgeschossen eine Anfangsgeschwindigkeit von 1600 engl. F. Nimmt man daher eine andere Kugel, z. B. eine 24pfündige, und schiefst diese mit 8 Pfd. = 128 Unzen Pulver, so hat man folgende Proportion

$$\sqrt{8} : \sqrt{\tfrac{128}{24}} = 1600 : x$$

woraus die Anfangsgeschwindigkeit $x = 1306$ F. gefunden wird. Indem aber die Kugel von 1 Pfd. Gewicht 8 Unzen, oder die Hälfte ihres Gewichts des besten Pulvers erforderte, um eine Geschwindigkeit von 1600 F. zu erlangen, und daher die 24pfd. Kugel mit 12 Pfd. Pulver die nämliche Geschwindigkeit erhalten würde, so läfst sich das Gewicht des Pulvers, das der Kugel als Einheit angenommen, mit der dadurch zu erlangenden Geschwindigkeit in eine Tabelle bringen[1].

Gewicht des Pulvers	Geschwindigkeit engl. F.	par. F.	Gewicht des Pulvers	Geschwindigkeit engl. F.	par. F.
$\frac{1}{20}$	506	475	$\frac{1}{10}$	716	672
$\frac{1}{19}$	519	486	$\frac{1}{9}$	755	708
$\frac{1}{18}$	533	500	$\frac{1}{8}$	800	750
$\frac{1}{17}$	549	515	$\frac{1}{7}$	855	802
$\frac{1}{16}$	566	531	$\frac{1}{6}$	924	865
$\frac{1}{15}$	584	548	$\frac{1}{5}$	1012	959
$\frac{1}{14}$	605	568	$\frac{1}{4}$	1131	1061
$\frac{1}{13}$	628	589	$\frac{1}{3}$	1306	1225
$\frac{1}{12}$	653	613	$\frac{1}{2}$	1600	1501
$\frac{1}{11}$	682	640	1	2263	2123

Ferner aber giebt die Hälfte des Gewichts der Kugel an Pulver dieser eine Geschwindigkeit von 1600 engl. Fufs,

1 Dafs die hiernach gefundenen Werthe nur als genäherte anzusehen sind, und mit den Resultaten der genauen französischen Versuche nicht völlig übereinstimmen, wird unten noch gezeigt werden.

wofür unbedenklich 1500 par. F. gesetzt werden können. Hiernach findet man, in Gemäfsheit des Vorigen, die Geschwindigkeit allgemein, wenn man diese Gröfse $= v'$ mit der Quadratwurzel des doppelten Gewichts des Pulvers $= 2p$ multiplicirt und durch die Quadratwurzel des Gewichts der Kugel $= P$ dividirt. Also $v = v' \sqrt{\frac{2p}{P}}$ oder wenn man die Pulvermenge für eine gegebene Geschwindigkeit wissen will, so ist $p = \frac{P}{2} \cdot \frac{v^2}{v'^2}$ und wenn man v' in englischen F. $= 1600$, in par. F. $= 1500$ setzt, für deren Quadrat den beständigen Logarithmus sucht, so findet man das Pulvergewicht für verschiedene Kugeln und Geschwindigkeiten leicht. Wollte man z. B. einem 24 Pfünder eine Anfangsgeschwindigkeit von 2000 F. engl. mittheilen, so würde die Menge des erforderlichen Pulvers $p = 18{,}75$ Pfd. seyn; für 3000 F. Geschwindigkeit aber schon 42,18 Pfd. Indefs würde in diesem letzteren Falle der Versuch schon eine bedeutende Abweichung von dem durch die Formel gefundenen Werthe zeigen, welche ohnehin nur für die Normalgeschwindigkeit $= 1500$ par. F. und die nicht weit davon entfernten Geschwindigkeiten nahe genaue Resultate giebt, bei gröfserer Entfernung von dieser Normalgeschwindigkeit aber sich immer mehr von der Wahrheit entfernt, wie aus den oben angegebenen Gründen von selbst folgt.

Hiernach erscheint also die Untersuchung in einem hohen Grade als erschöpft, und bestimmte Resultate darbietend. Es darf indefs nicht übersehen werden, wenn man anders annimmt, dafs die gröfsten Anfangsgeschwindigkeiten auch die gröfsten Weiten des Wurfes geben, dafs nach zahlreichen Versuchen im Allgemeinen die gröfste Schufsweite durch eine Quantität Schiefspulver erhalten wird, welche dem Gewichte nach etwas mehr als $\frac{1}{3}$ desjenigen der Kugel beträgt[1]. Später zu erwähnende Versuche, welche d'Arcy anführt, er-

1 Dieses Resultat folgt aus den Versuchen zu Strasburg und Lafere. S. Belidor's Dissertation sur les Effets de la Poudre, relativement à la plus forte Charge du Canon. In Böhm's Magaz. für Ingenieure und Artilleristen. I. 213, woselbst die Resultate der Versuche mitgetheilt sind.

geben, dafs eine 24 pfd. Kugel durch 24 Pfd. und 9 Pfd. Pulver am weitesten getrieben wurde, so dafs man also auch diese Aufgabe als noch nicht völlig sicher aufgelöset betrachten darf[1].

Will man indefs theoretisch die einander zugehörigen Gröfsen der Kugeln, der Pulvermengen und der Anfangsgeschwindigkeiten finden, so kann dieses auf folgende Weise geschehen[2]. Es sey

Fig. 119.

die Länge der Ladung AB —	a
die Länge der Bohrung (Seele) AE	b
die Fläche eines Kreises vom Durchmesser 1 — —	c
der Durchmesser der Kugel —	D
das Gewicht eines Kubikfufses der Kugelmasse —	e
die Fallhöhe in einer Secunde	g
der Luftdruck gegen 1 Quadratzoll	m
die Elasticität des Pulverdampfes	n
das Gewicht der Kugel — —	p
die veränderliche Länge AC —	x,

so ist die Durchschnittsfläche durch den Mittelpunct der Kugel $= cD^2$; der Druck der Atmosphäre hiergegen $= mcD^2$, und somit der Druck des Pulverdampfes dagegen $= nmcD^2$. Da aber die Kraft des Pulverdampfes nach dem Mariotteschen Gesetze seiner Dichtigkeit directe, letztere aber dem Raume umgekehrt proportional ist, so verhält sich die Kraft innerhalb AB zu der innerhalb $AC = AC : AB$; mithin

$$x : a = mncD^2 : \frac{mnacD^2}{x}$$

welches die bewegende Kraft bei C ausdrückt. Diesemnach ist $\frac{v}{p} = \frac{mnacD^2}{px} = f$ die bewegende Kraft daselbst, und

---

1 Weitläuftig handelt hierüber de Morla Lehrbuch d. Artilleriewissens. II. 152 ff. Nach ihm ist die Ladung einer Feld-Kanone $= \frac{1}{6}$ höchstens $\frac{1}{7}$ des Kugelgewichtes, zum Bresche-Schiefsen $= \frac{1}{3}$, bei der Schiffs-Kanone $= \frac{1}{4}$. Indefs giebt eine etwas stärkere Ladung etwas gröfsere Wirkung beim Bresche-Schiefsen.

2 Hutton Tracts III. 290 ff.

$$v\,dv = 2\,g\,f\,dx = \frac{2\,g\,m\,n\,a\,c\,D^2}{p} \times \frac{dx}{x}$$

wovon das Integral

$$v^2 = \frac{4\,g\,m\,n\,a\,c\,D^2}{p} \text{ log. nat. } x + C.$$

Ist hierin $x = a$ für $v = 0$, so ist

$$v^2 = \frac{4\,g\,m\,n\,a\,c\,D^2}{p} \text{ log. nat. } \frac{x}{a} \text{ oder}$$

$$v = \sqrt{\left(\frac{4\,g\,m\,n\,a\,c\,D^2}{p} \text{ log. nat. } \frac{x}{a}\right)}$$

die Kraft, womit die Kugel bei C bewegt wird, und

$$v = \sqrt{\left(\frac{4\,g\,m\,n\,h\,c\,D^2}{p} \text{ log. nat. } \frac{b}{a}\right)}$$

die Geschwindigkeit, womit die Kugel aus der Kanone fährt, wenn h allgemein die Länge des mit Pulver gefüllten Cylinders bezeichnet, und a den Raum hinter der Kugel, welcher gröfser als h ist, wenn die Kugel das Pulver nicht berührt. Der Inhalt der Kugel ist indefs $= \frac{2}{3}\,c\,D^3$; mithin $p = \frac{2}{3}\,c\,D^3\,e$. Substituirt man diese Werthe in die Formel, und drückt m und g in Zahlen aus, ersteres $= 230$ Unzen, letzteres $= 16$ F. engl.,

so ist $v = 1783 \sqrt{\left(\frac{n\,h}{D\,e} \text{ log. nat. } \frac{b}{a}\right)}$

$$= 2706 \sqrt{\left(\frac{n\,h}{D\,e} \text{ log. vulg. } \frac{b}{a}\right)};$$

wird dann für eine eiserne Kugel $e = 7400$,

so ist $v = 31{,}45 \sqrt{\left(\frac{n\,h}{D} \text{ log. } \frac{b}{a}\right)}$

und für eine bleierne Kugel $e = 11325$

ist $v = 25{,}42 \sqrt{\left(\frac{n\,h}{D} \text{ log. } \frac{b}{a}\right)}$; worin a, b, d und h in Fufsen oder in Zollen genommen werden können.

Hutton prüft diese Formel an einem Beispiele. In den nachher zu erwähnenden Versuchen war im Mittel die Geschwindigkeit einer Kugel von 1,96 Z. Durchmesser mit 4 Unzen Pulver geladen $= 1180$ engl. F. Ferner war $a = 2{,}54$ Z.; $h = 3{,}45$ Z.; $b = 38{,}43$ Z. Wird dann n nach Robins $= 1000$ angenommen, so giebt die Formel

v = 1159 F.; mithin (wegen des zu geringen Werthes von n) nur 21 F. geringer, als durch die Erfahrung gefunden war[1].

Bei dieser Formel, welche durch Verwandlung des Zahlen-Coefficienten leicht in alt- oder neu-französisches, oder ein sonstiges Mafs verändert werden kann, ist der Druck der Atmosphäre gegen die Kugel nicht mit berechnet, eine Gröfse, welche als unbedeutend füglich vernachläfsigt werden kann. Zugleich aber liegen die anderweitigen bedingenden Umstände, als Reibung der Kugel, nicht gleichzeitiges und nicht vollständiges Verbrennen des Pulvers, insbesondere aber der Verlust des Pulverdampfes durch das Zündloch und an den Seiten der Kugel aufser dem Bereiche der Rechnung. Vernachläfsigt man diese Gröfsen, nimmt aber auf das Gewicht des Pulvers und der Patrone Rücksicht, und nennt dieses 2 w, so ist für eiserne Kugeln

$$v = 47 \sqrt{\left(\frac{n\,h\,D^2}{p+w}\ \log.\ \frac{b}{a}\right)}$$

und mit einer kleinen Correction für den Gegendruck der Luft gegen die Kugel noch genauer:

$$v = 46{,}1 \sqrt{\left(\frac{n\,h\,D^2}{p+w}\ \log.\ \frac{b}{a}\right)}$$

Man sieht bald, dafs in dieser Formel der so höchst verschieden angegebene Werth von n sehr in Betrachtung kommt. Indefs giebt dieselbe ein Mittel an, um aus den bekannten Gröfsen für v den Werth von n (jedoch wiederum blofs für

---

1 Bei den Versuchen, welche Robins mit Kugeln von Blei, $\frac{1}{12}$ Pfd. av. du p. Gewicht schwer mit 12 Drachmen Pulver geladen anstellte, fand er die Geschwindigkeit im Mittel 1650 Lond. Fufs. S. a. a. O. p. 209. Prony's in Verbindung mit Grobert vermittelst eines zweckmäfsigen Apparates angestellte Versuche ergaben die Geschwindigkeit der bleiernen Kugeln 24,7 Grammes schwer und mit der Hälfte ihres Gewichtes Pulver geschossen = 390,47 Metres bei einem Cavalleriegewehre von 0,756 Metres Länge, und = 428 Metres bei einem Soldatengewehre von 1,137 Met. Länge. S. Leçons de Mécanique analytique. II. 158. Vergl. Maschine pour mésurer la vitesse initiale des mobiles de differents calibres. cet. par Grobert. Par. 1804. I. Vol. 4. d'Arcy's Versuche ergeben bei einem Flintenlaufe von 6 F. Länge 1083 und von 3,75 F. Länge 938 F. Geschwindigkeit der Bleikugel. Antoni's Versuche in Turin geben eine Geschwindigkeit von 1050 bis 1227 F.

eine gewisse Gattung unter bestimmten Bedingungen entzündeten Schiefspulvers) zu berechnen, indem

$$n = v^2 \left(\frac{p + w}{2180\ hD^2} \right) : \log. \frac{b}{a} \text{ ist,}$$

worin D und h in Zollen, v in Fufsen genommen werden. Die Woolwicher, mit vier verschiedenen Kanonen angestellten Versuche geben die in nachstehender Tabelle befindlichen uncorrigirten Werthe für n; unter n′ aber die auf das Genaueste für alle oben angegebenen Bedingungen corrigirten, indem die übrigen Bezeichnungen, wie oben beibehalten sind, G aber das Gewicht des Schiefspulvers in Unzen bezeichnet.

b	G	a	h	p + w	v	n	n′
	4	3,78	2,54	19,06	1100	1182	1700
28,53	8	6,32	5,08	21,19	1340	1319	1821
	16	11,40	10,16	25,47	1430	1531	2075
	4	3,78	2,54	19,06	1180	1192	1720
38,43	8	6,32	5,08	21,19	1480	1440	2015
	16	11,40	10,16	25,47	1660	1526	2068
	4	3,78	2,54	19,06	1300	1238	1784
57,70	8	6,32	5,08	21,19	1790	1622	2241
	16	11,40	10,16	25,47	2000	1670	2264
	4	3,78	2,54	19,06	1370	1231	1776
80,23	8	6,32	5,08	21,19	1940	1664	2281
	16	11,40	10,16	25,47	2200	1684	2300

Die Kanonen hatten alle gleiche Bohrung, und ihre verschiedenen Längen geben daher keine grofsen Unterschiede. Indefs sieht man doch, dafs v mit der Länge derselben zunimmt, n aber nur unmerklich. Weit gröfser ist die Differenz von n und n′ bei den verschiedenen Pulvermengen, woraus sich ergiebt, dafs mit der Menge des Pulvers die Hitze und somit die Expansion der erzeugten elastischen Flüssigkeiten wächst. Wenn man demnach für n einen mittleren Werth = 2200 annimmt (worin aber der Verlust der absoluten Expansion des Pulverdampfes durch das Zündloch u. s. w. schon begriffen ist), dann aber a und b in

Einheiten des Calibers ausdrückt, so hat man die gröfste Anfangsgeschwindigkeit $v = 5875 \sqrt{\left(\frac{a}{16 + a} \cdot \log. \frac{b}{a}\right)}$.

Hiernach ist folgende Tabelle berechnet, worin w das Gewicht des Pulvers bedeutet, das Gewicht der Kugel als Einheit angenommen, v aber die gröfste Geschwindigkeit, womit die eiserne Kugel die Mündung der Kanone verläfst.

b	a	b : a	w	v
2	0,63	3,171	0,12	810
4	1,20	3,333	0,23	1122
6	1,72	3,488	0,33	1348
8	2,20	3,636	0,42	1529
10	2,64	3,788	0,50	1681
12	3,05	3,934	0,58	1813
14	3,43	4,082	0,65	1929
16	3,78	4,233	0,71	2033
18	4,11	4,380	0,78	2127
20	4,42	4,525	0,84	2213
22	4,71	4,671	0,90	2292
24	4,99	4,810	0,95	2366
26	5,25	4,952	1,00	2434
28	5,50	5,091	1,05	2498
30	5,73	5,235	1,09	2558
32	5,96	5,369	1,13	2614
34	6,17	5,510	1,17	2668
36	6,37	5,651	1,21	2719
38	6,56	5,793	1,25	2767
40	6,75	5,926	1,28	2813
42	6,93	6,061	1,32	2857
44	7,10	6,197	1,35	2899
46	7,27	6,328	1,38	2939
48	7,43	6,460	1,41	2978
50	7,58	6,596	1,43	3015
52	7,72	6,736	1,46	3051
54	7,86	6,870	1,49	3085
56	8,00	7,000	1,52	3118
58	8,13	7,134	1,55	3150
60	8,26	7,264	1,57	3180

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Bei diesen Untersuchungen über die Anfangsgeschwindigkeiten der geschossenen Kugeln mufsten mehrmals die durch Versuche gefundenen Gröfsen zu Hülfe genommen werden, und die Uebersicht des Ganzen zeigt deutlich, dafs zwar die gefundenen Resultate so genau sind, als sie wahrscheinlich bei den grofsen obwaltenden Schwierigkeiten, insbesondere wegen der kaum genau bestimmbaren Gröfse der Elasticität des Pulverdampfes gefunden werden können, dafs aber ohne Benutzung der durch Versuche gefundenen Gröfse der Anfangsgeschwindigkeiten diese letzteren schwerlich durch Theorie allein bestimmbar seyn dürften, wonach also das ganze Problem der Ballistik noch immer zu den gänzlich unaufgelösten gehören würde. Man hat sich daher wiederholt bemühet, die Anfangsgeschwindigkeiten der unter verschiedenen Bedingungen abgeschossenen Kugeln durch Versuche auszumitteln. Die ersten aber, welche als sehr zweckmässig und bedeutend die Aufmerksamkeit und den ungetheilten Beifall des Publikums erregten, sind die von dem Engländer Robins angestellten, in seinem oben genannten Werke ausführlich beschriebenen. Er bediente sich hierzu eines schweren hölzernen Pendels, gegen welches er Flintenkugeln schofs, indem er dann aus dem Winkel seiner Abweichung von der lothrechten Linie die Kraft der Kugeln, und hieraus bei bekannter Masse derselben die Geschwindigkeit berechnete. Eines ähnlichen Pendels bediente sich d'Arcy 1755 bei seinen Versuchen, desgleichen mit verbesserter Construction Hutton 1775 bei einer grofsen Reihe von Versuchen, welche in Woolwich unter seiner Leitung angestellt wurden. Für den Bericht über dieselben und die aus ihnen erhaltenen Resultate bekam er die goldene Medaille von der Londoner Societät [1]. Diese und die Fortsetzung derselben beschrieb Hutton später ausführlich [2], und sie sind sehr wichtig theils wegen ihres Umfanges und ihrer Genauigkeit, theils in Be-

1 Phil. Tr. LXVIII. 50.

2 Tracts on Mathematical and Philosophical Subjects. I. Vol. 4. Lond. 1786. Der Hauptinhalt dieses Werkes ist in dem oben genannten späteren, 1812 in 3 Octavbänden erschienenen enthalten. Letzteres wird kurz als: Tracts hier citirt.

ziehung auf die praktische Anwendbarkeit hauptsächlich deswegen, weil sie nicht mit Flintenkugeln, sondern mit Kanonenkugeln von 1 bis 3 Pfd. und einige selbst von 24 Pfd. angestellt wurden. Eine minder umfangende, aber doch schätzbare Reihe von Versuchen des Benj. Thomson Gr. Rumford im Sommer 1778 zu Stoneland-Lodge gleichfalls mit einem vortrefflichen Pendel nach Robins Angabe angestellt, um die Anfangsgeschwindigkeiten der Kugeln und die Kraft des Schiefspulvers zu finden[1], ist gleichfalls durch Hutton berücksichtigt. Das Vollständigste aber, was in dieser Hinsicht geschehen ist und schwerlich jemals übertroffen wird, sind die zahlreichen Versuche, welche der Major, nachmals General Bloomfield in den Sommern 1783 bis 1791 gleichfalls zu Woolwich unter der Leitung Hutton's anstellte. Diese und die früheren sind durch Hutton in seinen 1812 erschienenen Tracts u. s. w. ausführlich beschrieben, und verdienen daher vorzugsweise berücksichtigt zu werden. Bei denselben wurde die Geschwindigkeit der Kugeln nicht blofs aus der Bewegung berechnet, welche sie einem schweren Pendel mittheilten, sondern zugleich aus dem Bogen, welchen die als Pendel aufgehangene Kanone durchlief, indem der Stofs gegen diese nach mechanischen Principien der Gewalt gleich ist, womit die Kugel fortgeschleudert wird, die dadurch erhaltenen Geschwindigkeiten der Pendel selbst aber den bewegten Massen umgekehrt proportional sind. Um aber vermittelst eines solchen Apparates die gesuchten Gröfsen durch Beobachtung und Rechnung zu finden, ist nach Robins und Euler[2], vorzüglich aber nach Hutton[3] Folgendes zu berücksichtigen.

Das Pendel, dessen sich Hutton bediente, bestand aus einem dicken Stücke harten Holzes mit vielem Eisen mög- lichst beschwert A; aus einer zum Tragen hinlänglich starken eisernen Stange aa und den tragenden Hebelarmen bb aus gehärtetem Stahl mit einer möglichst scharfen, auf polirten Stahlplatten ruhenden Schneide. Unten an demselben war Fig. 120.

1 Phil. Tr. LXXI. 229.

2 Robins Grundsätze d. Artillerie und die Anmerk. von L. Euler.

3 Tracts. II. 321.

ein stählerner Stift s mit einer feinen Spitze angebracht, welche in eine bogenförmig gebildete, und bis zur erforderlichen Weite getheilte weiche Wachsmasse durch Einschneiden die Grade des Abweichungswinkels des Pendels von der lothrechten Linie bezeichnete[1]. Um das Centrum Oscillationis zu finden, liefs man das Pendel schwingen. Ist dann die Zahl dieser Schwingungen $= n$; die Zeit in Secunden $= s$; die Länge des Secundenpendels $= l$; so ist $n^2 : s^2 = l : \frac{s^2 l}{n^2}$, wodurch die für die Lage des Schwerpunctes und das Centrum Oscillationis corrigirte Länge des Pendels gefunden wird[2]. Diese Länge oder die Entfernung des Centrum Oscillationis $= \frac{s^2 l}{n^2}$ sey dann allgemein:

Länge des Pendels	m
Gewicht der Kugel	b
Gewicht des Pendels	p
Entfernung des Schwerpunctes	q
Entfernung des von der Kugel getroffenen Punctes .	i
Chorde des durchlaufenen Bogens	c
Der Radius, oder die Entfernung bis zum bezeichneten Bogen	r
Die Geschwindigkeit, womit die Kugel aufschlägt .	v

so ist bi^2 die Summe der Kräfte, womit die Kugel gegen das Pendel schlägt, und pqm die Summe der Kräfte, womit sich das Pendel bewegt, folglich $bi^2 + pqm$ die vereinte Summe beider. Ist dann $bi^2 v$ die quantitas motus der Kugel, so ist $(bi^2 + pqm) \times z$ die quantitas motus des Pendels und der Kugel, wenn z die Geschwindigkeit des getroffenen Punctes bezeichnet; mithin $z = \frac{bi^2 v}{bi^2 + pqm}$. Es wird aber durch das Hinzukommen der in das Holz dringenden Kugel zu den vorigen Gröfsen die Entfernung des centrum oscillationis verändert. Es sey diese veränderte Entfernung $= y$;

---

1 Robins mafs diesen Winkel unvollkommener an einem unten angebrachten Bande, d' Arcy vermittelst eines Zeigers unten an der Linse des Pendels.

2 S. *Pendel.*

so läfst sich diese finden, wenn man die Summen der Kräfte durch die Summen der statischen Momente dividirt, oder $y = \frac{pqm + bi^2}{pq + bi}$ setzt. Indem aber z für die Entfernung $= i$ berechnet ist, so ist $i : y = \frac{bi^2 v}{pqm + bi^2} : z'$, d. i. *der Geschwindigkeit des vereinten Centrum Oscillationis.* Für y substituirt ist $z' = \frac{biv}{pq + bi}$.

Nach der Natur des Kreises ist ferner $2r : c = c : \frac{c^2}{2r}$ d. i. dem sin. vers. welcher dem Bogen c für den Radius $= r$ zugehört; und auf gleiche Weise $r : y = \frac{c^2}{2r} : \frac{c^2}{2r^2} . y$, d. i. dem sin. vers. des durch den Radius y beschriebenen Bogens, welcher w heifsen möge. Die Geschwindigkeit aber, welche dem Schwunge im Bogen zugehört, ist derjenigen gleich, welche im freien Falle durch seinen sin. vers. erzeugt wird. Ist also die Fallhöhe in einer Sexagesimalsecunde $= g$; so ist $\sqrt{g} : \sqrt{w} = 2g : \frac{\sqrt{w} \cdot 2g}{\sqrt{g}}$ d. i. *der Geschwindigkeit des Centrum Oscillationis aus der Chorde des durchlaufenen Bogens abgeleitet*, welche durch Substitution des Werthes von g für London $= 16{,}09$ engl. F. $w = 5{,}6727 \frac{c}{r} \sqrt{\left(\frac{pqm + bi^2}{pq + bi}\right)}$; und des Werthes von g unter $45°$ N. B. $= 15{,}06$ par. F. $w = 5{,}48817 \frac{c}{r} \sqrt{\left(\frac{pqm + bi^2}{pq + bi}\right)}$ giebt. Indem aber endlich die nämliche Gröfse durch zwei Ausdrücke gegeben ist, so erhält man durch die Verbindung beider aus

$$\frac{biv}{pq + bi} = 5{,}6727 \frac{c}{r} \sqrt{\left(\frac{pqm + bi^2}{pq + bi}\right)}$$

die Gröfse v völlig genau in engl. Fufs[1]:

$$v = c\frac{5{,}6727}{bir}\sqrt{[(pqm + bi^2)\times(pq + bi)]}$$

oder in par. F:

$$v = c\frac{5{,}48817}{bir}\sqrt{[(pqm + bi^2)\times(pq + bi)]}.$$

Will man sich mit einen bis auf 0,0002 genähertem Werthe begnügen, so kann man $v = 5{,}48817\,qc\frac{p+b}{bir}\sqrt{m}$ in par. Fufs setzen.

Es ist ferner oben gezeigt, dafs $m = \frac{s^2 l}{n^2}$ ist. Man kann aber zu gröfserer Bequemlichkeit hierfür die Werthe suchen. Ist nämlich s die Zahl der Schwingungen des Secunden-Pendels in einer Minute mittlerer Sonnenzeit = 60; die Länge des Secundenpendels = 440,3998 par. Lin., so ist $m = \frac{11010}{n^2}$ in par. Mafs und $m = \frac{11737{,}5}{n^2}$ in Lond. Mafs. Diesen Werth in die letzte Formel substituirt, ist in par. F.

$$v = 575{,}8655\,qc \times \frac{p+b}{birn}.$$

und in Lond. F. $v = 614{,}58\,qc \times \frac{p+b}{birn}$.

Indem aber durch jede neu hinzukommende Kugel das Pendel verändert wird, so ist dann allgemein

$$p = p + b$$

$$q = \frac{i - q}{p+b}b \text{ oder nahe genau } = q + \frac{1-q}{p}b$$

$$m = \frac{pqm + bi^2}{pq + bi} \text{ oder nahe genau } = m + \frac{1-m}{pq+bi}bi.$$

wenn b gegen p sehr klein ist. Weil aber oben m durch n

---

1 Hutton Tracts II. 524 bemerkt, dafs diese Formel mit der von Euler und auch Robins gegebenen genau übereinstimme. Jedoch hatte ersterer übersehen, dafs die von letzterem angegebenen Gröfsen in Phil. Tr. von 1743 verbessert sind.

ausgedrückt ist, so kann diese eben angegebene Correction gleichfalls hierdurch ausgedrückt werden. Es ist aber in par. Z. $m = \frac{132120}{n^2}$; mithin $n = \frac{363{,}483}{\sqrt{m}}$.

Hiernach wird die Verbesserung für n, wenn in Pariser Fufsmafs gemessen wird,

$$\Delta n = 363{,}5 \times \left\{ \frac{1}{\sqrt{m}} - \frac{1}{\sqrt{\left(m + \frac{i-m}{pq+bi} \cdot bi\right)}} \right\}$$

$$= 363{,}5 \times \left\{ \frac{1}{\sqrt{m}} - \frac{1}{\sqrt{m} \times \sqrt{\left(1 + \frac{i-m}{pq+bi} \cdot \frac{bi}{m}\right)}} \right\}$$

$$= n - \frac{n}{\sqrt{\left(1 + \frac{i-m}{pq+bc} \cdot \frac{bi}{m}\right)}} \text{ oder nahe genau:}$$

$$= n - \frac{n}{1 + \frac{i-m}{pq+qi} \cdot \frac{bi}{2m}}; \text{ und endlich für m}$$

substituirt

$$= \frac{nbi \times (in^2 - 132120)}{264240pq + bi(in^2 + 132120)} \text{ nach Par. Mafs}$$

$$= \frac{nbi \times (in^2 - 140850)}{281700pq + bi(in^2 - 140850)} \text{ nach Lond. Mafs,}$$

welche Gröfse negativ ist, und von jedem vorigen Werthe von n abgezogen wird, weil mit der Zunahme des Gewichtes des Pendels die Zahl der Schwingungen abnimmt.

Als Hindernisse, welche zugleich berücksichtigt werden müssen, wenn die nach dieser Formel berechneten Versuche genaue Resultate geben sollen, sind anzusehen: 1. die Reibung des Pendels an seinem Aufhängepuncte; 2. der Widerstand der Luft gegen das bewegte Pendel; 3. die Zeit, welche die Kugel gebraucht, um in das Holz einzudringen; 4. der Widerstand der Luft gegen die bewegte Kugel. Wenn sich aber das Pendel auf Schneiden bewegt und gegen die Kugel beträchtlich schwer ist, nämlich wenigstens im Verhältnifs von 500 : 1 (welches bei dem sehr massiven eisernen, das Holz ein-

schliefsenden Rahmen leicht erreicht werden kann), so fallen die ersten drei Hindernisse als ganz unbedeutend weg, das letzte aber kann, ohne vorher v zu bestimmen, nicht gefunden werden. Eben die Versuche aber geben das vorzüglichste Mittel, diese Gröfse genau zu berechnen, indem man aus dem Bogen, welchen die gleichfalls pendelartig aufgehangene Kanone nach dem Schusse oscillirend beschreibt die Anfangsgeschwindigkeit und aus dem getroffenen Pendel die Endgeschwindigkeit der Kugel berechnet, wonach die Differenz beider die Verzögerung durch den Widerstand der Luft giebt. Die Anfangsgeschwindigkeit der Kugel aber läfst sich aus dem durch die Kanone beschriebenen Bogen auf gleiche Weise berechnen, und ist nach der zuletzt gegebenen Formel:

$$v = 575{,}8655\,qc \times \frac{z}{birn} \text{ in par. F.}$$

$$v = 614{,}58\,qc \times \frac{z}{birn} \text{ in Lond. F.}$$

wenn z das Gewicht der Kanone bedeutet, bei welcher keine Vermehrung des Gewichts statt findet, und somit die zuletzt angegebene Correction wegfällt.

Von den Resultaten der mit diesem Apparate angestellten Versuche wird nachher bei der Bestimmung der Kugelbahnen Gebrauch gemacht werden. Im Allgemeinen ergab sich Folgendes. Die Geschwindigkeit der Kugeln von 16 Unzen 13 Drachmen Gewicht nahm zu mit der Länge der Kanone und der Gröfse der Ladung, beides bis zu einem Maximum, über welches hinaus sie wieder abnahm. Das Maximum der anfänglichen Geschwindigkeit war 2200 engl. F. mit 18 Unzen Pulver und bei 80,2 Z. Länge der Bohrung. Indefs hängt die Genauigkeit dieser Resultate sehr ab von der Gröfse des Raumes zwischen der Kugel und den Wänden der Kanone, dem Spielraume der Kugel, bei den Engländern *windage*, bei den Franzosen *vent du boulet* genannt, welcher bei nicht völlig runden Kugeln am gröfsten ist. Bei der englischen Artillerie soll die Differenz des Durchmessers der Kanone und der Kugel nicht gröfser seyn als $\frac{1}{20}$stel, bei der französischen aber nicht mehr als $\frac{1}{25}$stel. Steigt sie über

die erstere Gröfse, so entweicht $\frac{1}{3}$ bis $\frac{1}{2}$ des Pulverdampfes neben der Kugel[1].

B. Bahn der geworfenen Körper.

Die Aufgabe einer genauen Bestimmung der Bahn, welche ein geworfener oder aus einem Geschütze geschossener Körper durchläuft, gehört unter die allerschwierigsten der angewandten Mathematik, und aller Bemühungen der gröfsten Geometer ungeachtet ist man so weit entfernt, dieselbe vollständig gelöset zu haben, dafs es selbst schwierig ist, eine deutliche Uebersicht der deswegen gemachten Versuche und der dadurch erhaltenen Resultate zu geben. Am zweckmäfsigsten wird es daher seyn, die einzelnen Theile derselben für sich zu betrachten.

---

1 Hutton Dict. II. 612. Nach der Ordonanz von 1732 gehören in Frankreich folgende Gröfsen zu einander, wenn c das Caliber, d den Durchmesser der Kugel, d′ des Geschützes bezeichnet:

c	d			d′		
	II	III	IV	II	III	IV
24	5	5	4	5	7	7,5
16	4	9	0	4	11	$2\frac{5}{8}$
12	4	3	11,25	4	5	9
8	3	9	4,5	3	11	0
4	3	0	0	3	1	3,75

Nach der Ordonanz von 1768 beträgt die Differenz für die drei letzten Stücke 1 Lin. S. La Martillière Recherches I. 253. Bei der spanischen Artillerie finden folgende Verhältnisse statt

c	d			d′		
	II	III	IV	II	III	IV
24	5	5	$5\frac{1}{7}$	5	7	7,5
16	4	9	$1\frac{5}{7}$	4	11	$2\frac{5}{8}$
12	4	3	$10\frac{2}{7}$	4	5	9
8	3	9	$3\frac{1}{7}$	3	11	0
4	3	0	0	3	1	3,75

S. Lehrbuch d. Artilleriewissenschaft. Aus dem Spanischen des D. Thom. de Morla von J. G. v. Hoyer. Leipz. 1824. II. Vol. 8. II. 57. Diese Angaben mögen nur als Beispiel dienen. Vollständige Uebersichten findet man in den Tabellen, welche dem Werke von de Morla beigefügt sind.

Eine Hauptfrage, welche zuerst zu erörtern ist, betrifft die lothrechte Ebene, welche man sich meistens durch die Bahn der Kugeln gelegt vorzustellen pflegt. Wenn man nämlich annimmt, dafs der Mittelpunct der Kugel sich genau in der Axe des Geschützes bewegt, dann in der hierdurch erhaltenen Richtung beharret, und im Fliegen blofs von der stetig wirkenden Schwere afficirt wird, so müfste die Bahn eine Linie einfacher Krümmung seyn, und in einer die Axe des Geschützes schneidenden verlängerten Ebene liegen, wonach also die Kugel nicht seitwärts von dem genau einvisirten Ziele vorbeigehen könnte[1]. Letzteres findet aber nach den Resultaten der sorgfältigsten Versuche allerdings statt. Man hat diese Seitenabweichung der Kugeln vom Zurückweichen des Geschützes ableiten wollen, allein Hutton's[2] Berechnungen ergeben, dafs hierin der Grund nicht liegen kann. Dagegen bietet sich eine andere Ursache von selbst dar, und wird auch nirgend verkannt. Die Kugeln nämlich, namentlich die Kanonenkugeln, können auf keine Weise so dicht an die Wände des Geschützes anschliefsen, dafs nicht eine Art von Schlottern bei ihrem Entweichen aus dem Geschütze statt finden sollte, wobei es sehr darauf ankommt, welche Richtung sie beim Herausfahren aus der Mündung erhalten, indem hiernach der Winkel der Abweichung gröfser oder kleiner seyn kann. Wenn man indefs bedenkt, dafs bei der jetzigen genauen Bohrung der Geschütze und Rundung der Kugeln, desgleichen bei dem geringen Raume zwischen der letzteren und den Wandungen des Geschützes kein merklicher Spielraum statt findet, indem ohnehin die gleich anfangs grofse Geschwindigkeit die Richtung der Kugel bestimmt, und sie von dieser nicht füglich abweichen kann, weil sie in derselben noch obendrein durch das umgebende, nicht sofort zerstörte Zeug und den allseits vorbeidringenden, sehr comprimirten, Pulverdampf erhalten wird; so kann man nicht umhin nach einer andern Ursache der Seitenabweichung zu suchen, welche nach den in Woolwich auf

---

1 So wird die Sache in den Lehrbüchern der Mechanik, z. B. von Prony, Poisson, Bezout, Bouchariat u. a. stets vorgetragen.

2 Tracts III. 322.

Veranlassung des Herzogs von Richmond durch Hutton angestellten Versuchen so stark war, dafs sie einen Winkel von 15° betrug[1], ohngeachtet ein Schlottern der Kugeln durch zu grofsen Spielraum zwischen ihnen und den Wandungen des Geschützes sorgfältig vermieden war. Eben diese Versuche aber ergaben auch, dafs die lothrechte Ebene durch die Bahn der Kugel nicht gerade ist, wie man bei der Voraussetzung anzunehmen pflegt, dafs die Seitenabweichung der Kugel durch den Winkel bestimmt ist, welchen ihre Bahn nach der Entfernung aus der Mündung der Kanone mit der verlängerten Axe derselben macht, sondern dafs auch diese gekrümmt ist. Die Ursache hiervon liegt indefs ohne Zweifel in dem ungleichen Widerstande der Luft, worin sich die Kugel bewegt. Robins entdeckte dieses schon, und bestätigte die Sache durch Versuche, indem er Kugeln aus gekrümmten Läufen schofs, dadurch denselben eine künstlich bestimmte Rotation gab, und fand, dafs sie allezeit nach der convexen Seite des Laufes hin abwichen[2]. Um die Sache deutlicher zu machen, wollen wir annehmen, die Kugel c bewege sich in der Richtung ec und rotire in der durch den Pfeil angedeuteten. Je nachdem ihre Bewegung schneller ist, wird die Luft vor ihr mehr verdichtet und in gleichem Mafse hinter ihr verdünnt seyn. Die Rechnung ergiebt, dafs die Luft unter dem mittleren atmosphärischen Luftdrucke mit einer Geschwindigkeit von etwa 1220 F. in den leeren Raum eindringt[3]. Ist daher die Bewegung der Kugel schneller, so wird der Raum hinter derselben ein Vacuum seyn; auf allen Fall aber ist, wie die Zeichnung andeutet, die Luft bei α und β am dünnsten, zwischen $\varepsilon\delta$ am dicksten. Indem nun die in der angegebenen Richtung rotirende Kugel aus dem Vacuo bei α in die bis ε an Dichtigkeit zunehmende Luft tritt, gegen letztere aber an jedem Puncte ihrer Oberfläche in der Richtung der Tangente ihrer Rotation stöfst, der hierdurch erzeugte Widerstand aber bei α im Minimum, bei ε im Maximum statt findet, so mufs sie mit einer ihrer Ge-

Fig. 121.

1 Hutton Dict. I. 615.
2 Robison System. I. 202.
3 S. *Pneumatik*.

schwindigkeit proportionalen Kraft nach der entgegengesetzten Seite abgelenkt, und also nach d hin seitwärts bewegt werden. Es leuchtet übrigens von selbst ein, dafs die Kugelbahn in dieser genannten Beziehung sowohl seitwärts, als aufwärts und abwärts gekrümmt seyn kann, jederzeit in einer, ihrer Rotation entgegengesetzten Richtung. Zugleich aber ist unverkennbar, dafs diese Abweichung der Bahn aus der verticalen Ebene durch die Axe des Geschützes auch auf die Bestimmung der Bahn im Allgemeinen einen Einfluss hat, selbst wenn man zugiebt, dafs der oben angegebene Abweichungswinkel von 15° unter die seltenern Ausnahmen bei gutem Geschütze gehört. Eine genaue Berechnung dieses Einflusses liegt aber wahrscheinlich aufser den Grenzen der Analyse, weil die Richtung der Rotation und die Geschwindigkeit derselben ganz unbestimmbar sind, aufserdem aber bei gröfserer Geschwindigkeit der Kugel das umgebende Medium eine gröfsere Ungleichheit der Dichtigkeit erhält, eben dadurch also eine stärkere Ablenkung bewirkt, während die Kugel in gleichen Zeiten gröfsere Räume zurücklegt, und in denselben daher für gleiche Räume ungleich viele Umläufe macht[1]. Woher aber eine solche, oft höchst schnelle rotatorische Bewegung der Kugel um eine willkührlich gerichtete Axe derselben entstehe, ist leicht zu begreifen. Die Ursachen sind nämlich theils ein Anstofsen der Kugel an irgend eine Stelle des Laufes, einseitige Reibung, ungleiche Lage ihres Schwerpunctes nicht genau im Mittelpuncte wegen

---

1 v. Rhode in seiner gelehrten Abhandlung: Ueber die Abweichung geworfener Körper von der verticalen Richtungsebene cet. Berl. 1795. 4. widerlegt p. 1. Lombard, welcher die Abweichung von der verdichteten Luft vor der Kugel unmittelbar ableitet, behauptet p. 39. „*die Rotation „der Kugel habe an sich keinen Einfluss auf jene Abweichung, son-„dern nur der hervorragende Brandröhrenkopf der Haubitzen und „Granaden*“, dessen Moment zur Hervorbringung einer Abweichung von der verticalen Richtungsebene zu berechnen der Zweck der Abhandlung ist, sucht ferner p. 14 u. 15. geometrisch zu beweisen, dafs der Widerstand der Luft bei vorhandener Rotation einer Kugel keine Abweichung derselben von der verticalen Ebene bewirken könne. Allein dabei ist auf die ungleiche Dichtigkeit der Luft, bis zur Erzeugung eines leeren Raumes keine Rücksicht genommen, und deswegen stimmt das Resultat seiner Demonstration mit der Erfahrung nicht überein.

ungleicher Dichtigkeit ihrer Masse als Folge des nicht ganz gleichzeitigen Erkaltens aller Theile in den Formen, insbesondere aber ein ungleichmäfsiger Stofs des explodirenden Pulvers gegen ihre hintere Fläche[1].

Man hat oft auf Mittel gedacht, diese Rotation selbst und ihren Einfluss auf die Bahn der Kugeln aufzuheben. In etwas geschieht dieses durch Vermeidung des Schlotterns der Kugel im Laufe und durch Umgeben derselben mit elastischem wollenen Zeuge, desgleichen bei Flintenkugeln durch das Einlegen derselben in Läppchen mit Talg bestrichen (das sogenannte Pflastern); welche Mittel aber, wie leicht erweislich ist, nicht völlig genügen. Hutton[2] schlägt vor, statt der Kugeln Cylinder zu wählen, welche noch aufserdem wegen gröfserer Schwere weiter geworfen werden könnten. Ob aber bei diesen nicht etwa gar ein Ueberschlagen, oder sonstige noch bedeutendere Hindernisse eintreten würden, müfste doch erst durch die Erfahrung ausgemittelt werden.

Bei den sogenannten *gezogenen* (ausgezogenen) Läufen hat man das Mittel wirklich gefunden, dieses Hindernifs völlig aufzuheben. Man schneidet nämlich drei, fünf oder mehrere Furchen in den Lauf ein, welche unten mehr, oben weniger, der zunehmenden Geschwindigkeit der Kugel umgekehrt proportional, um die Axe des Laufes gewunden sind, im Ganzen 0,75 bis 1,25 Windungen machen. Hierdurch erhält die Kugel eine sehr schnelle Rotation um ihre in der Bahn liegende Axe und jeder Punct ihrer Oberfläche beschreibt daher einen Kreis, welcher ein gleich dichtes Medium berührt. Woher diese sinnreiche Erfindung stamme, ist mir nicht bekannt, indefs meint Benzenberg[3], sie sey von den hauptsächlich in der Schweiz früher gebräuchlichen Pfeilen entlehnt, welche mit der Armbrust geschossen wurden, und am hinteren Ende einige Reihen um den Schaft in gewundenen Linien befestigter Federn hatten, und hierdurch eine Rotation um ihre Axe erhielten[4].

---

1 Montalembert in Mém. de l'Ac. 1755. p. 463.

2 Tracts III. 261.

3 Mündliche Mittheilung.

4 Leutmann, indem er über das Ziehen der Büchsen redet, giebt blofs an, dafs die Kugeln dann gerader fliegen, und sich leichter durch

Weil indefs die Kugel in die Furchen der Büchse gedrückt werden mufs, so kann dieses Hülfsmittel nur bei bleiernen Kugeln und eisernen Läufen statt finden, und leidet auf eiserne Kanonenkugeln keine Anwendung.

Die eigentliche Aufgabe der Ballistik ist, einen in gröfserer oder geringerer, überhaupt in erreichbarer Entfernung befindlichen Gegenstand durch einen geworfenen Körper zu treffen. Abstrahirt man hierbei von dem oben erörterten Hindernisse, und nimmt an, dafs die Kugel sich wirklich in einer durch die Axe des Geschützes gelegten lothrechten Ebene bewege, so wird die geworfene Kugel nach dem Gesetze der Trägheit in der einmal erhaltenen Geschwindigkeit beharren, zugleich aber durch die Schwere afficirt in jedem Zeittheilchen von ihrer Richtung abgezogen werden, und hiernach eine Curve beschreiben, welche ohne anderweitige Einwirkungen leicht zu finden wäre. Allein die Kugel bewegt sich in der Widerstand leistenden Luft, und obgleich die Schwere dieselbe allezeit um eine Gröfse ablenkt, welche aus der bekannten Zeit ihrer Bewegung leicht mit genügender Schärfe zu bestimmen ist, es sey denn dafs ihre Fallgeschwindigkeit beträchtlich grofs wird, und die daraus entstehende Bewegung durch den Widerstand der Luft gleichfalls um eine mefsbare Gröfse sich vermindert; so ist dagegen der Widerstand der Luft gegen ihre anfängliche Richtung so grofs, dafs die Geschwindigkeit ihrer Bewegung als Folge des Beharrens dadurch in jedem Zeittheilchen um eine Gröfse abnimmt, welche an sich sehr bedeutend, wieder eine Function der Geschwindigkeit ist, wodurch die Aufgabe so verwickelt wird, dafs sie aller Bemühungen der geübtesten Geometer ungeachtet noch nicht vollständig aufgelöset ist. Zur Erleichterung der Uebersicht pflegt man das Problem zuerst so aufzulösen, dafs man auf den Widerstand der Luft keine Rücksicht nimmt, dann aber diesen zu berücksichtigen. Welches allgemeines Gesetz der Widerstand der Luft überhaupt befolge, hat man oft untersucht, und meistens das von Newton aus seinen Versuchen abgeleitete[1], wonach derselbe

---

die Luft schröben. S. Com. Pet. III. 156. Vergl. IV. 265. de Morla a. a. O II. 112.

1 Princ. lib. II. prop. 40.

dem Quadrate der Geschwindigkeit proportional seyn soll, bestätigt gefunden[1]. Dafs dasselbe nicht vollkommen mit der Erfahrung übereinstimme, wird der Verfolg der Untersuchung zeigen. Um das Ganze besser zu übersehen, wird es am zweckmäfsigsten seyn, die drei hauptsächlichsten Probleme der Ballistik einzeln abzuhandeln, und dabei die Bemühungen der Gelehrten, welche sich mit der Auflösung derselben vorzüglich beschäftigt haben, zugleich zu erwähnen.

1. Lothrecht geworfene Körper.

a. Im leeren Raume.

Wird ein Körper im luftleeren Raume mit einer bestimmten Geschwindigkeit lothrecht in die Höhe geworfen, so wird er diejenige Höhe erreichen, von welcher er herabfallen müfste, um diejenige Endgeschwindigkeit zu erhalten, mit welcher er als Anfangsgeschwindigkeit in die Höhe stieg, und eine Zeit zum Aufsteigen erfordern, welche derjenigen gleich ist, womit er durch denselben Raum wieder herabfällt. Man kann diesen Satz geometrisch construiren, wenn man eine lothrechte Linie in gleiche Theile theilt, welche die mit gleichbleibender Geschwindigkeit (als Folge der Trägheit) in gleichen Zeiten durchlaufenen Räume bezeichnen, und von diesen die dem freien Falle zugehörigen, wie die ungleichen Zahlen 1; 3; 5; .... wachsenden Räume abzieht. Leichter aber ist folgender analytischer Beweis[2]. Es sey die Fallhöhe in der ersten Secunde g; die durch t Secunden erlangte Geschwindigkeit v; die der Zeit t zugehörige Fallhöhe $= s$; so ist[3] $s = gt^2$; $v = 2gt$; $v^2 = 4gs$, mithin $s = \frac{v^2}{4g}$ diejenige Höhe, aus welcher ein Körper fallen mufs, um die Geschwindigkeit v zu erlangen. Wird nun ein Körper mit der Geschwindigkeit c in die Höhe geworfen, so wirkt die Schwere seiner lothrechten Bewegung entgegen, und er steigt mit einer gleichförmig verminderten Bewegung,

---

1 Lambert in s. Anmerk. zu d'Arcy's Versuch einer Theorie der Artillerie. Berl. 1766.

2 Bohnenberger Astr. p. 417.

3 S. *Fall der Körper.*

so dafs am Ende der Zeit t seine Geschwindigkeit $= c - 2gt$ ist. Es ist aber $t - \frac{c}{2g} = 0$, mithin hört seine Geschwindigkeit dann auf, wenn $t = \frac{c}{2g}$ wird. Dann ist aber $c^2 = 4g^2t = 4gs = v^2$, also derjenigen Geschwindigkeit gleich, welche er im freien Falle durch denselben Raum erhält. Indem aber $4g^2t^2 = 4gs$ ist, so ist $gt^2 = s$; mithin die Zeit, welche der Körper gebraucht, um die lothrechte Höhe hinaufzusteigen, derjenigen gleich, welche er gebraucht, um dieselbe Höhe herabzufallen. Nimmt man daher $g = 15$ p. F., die Anfangsgeschwindigkeit $c = 2000$ F., so würde eine mit dieser Geschwindigkeit abgeschossene Kugel 66666,6 ... F. Höhe erreichen, und im Ganzen 133,3 .., Sec. gebrauchen.

b. Im lufterfüllten Raume.

Ganz andere Resultate erhält man, wenn man den Widerstand der Luft mit berücksichtigt, durch welchen die Kugel am stärksten im Anfange und am Ende ihrer Bewegung verzögert wird. Setzt man vorläufig mit Newton den Widerstand der Luft dem Quadrate der Geschwindigkeit proportional, nennt v diese Geschwindigkeit und a einen durch die Erfahrung zu findenden Coefficienten, so ist av^2 der Widerstand der Luft. Ist dann ferner das Gewicht der Kugel p, so ist $av^2 + p$ die zu überwindende Last, und da die verzögernde Kraft dem Gewichte der Kugel umgekehrt proportional ist, so wird $\frac{av^2 + p}{p} = f$ die verzögernde Kraft seyn. Vergleicht man dann die Geschwindigkeit v mit derjenigen, welche ein fallender Körper durch den freien Fall in einer Secunde erhält, und nennt man x die Höhe, bis zu welcher eine Kugel steigen soll, so ist, weil der Widerstand der Bewegung entgegenwirkt,

$$-vdv = 2gf.dx = \frac{av^2 + p}{p} \times 2g.dx.$$

Hieraus wird

$$dx = \frac{-p}{2g} \times \frac{v\,dv}{av^2 + p} = \frac{-p}{2ga} \times \frac{v\,dv}{v^2 + \frac{p}{a}}$$

$$\text{also } x = \frac{-p}{2g} \cdot \text{log. nat.} \left(v^2 + \frac{p}{a} \right) + C.$$

Wird $x = 0$ und $v = v'$ d. h. der anfänglichen Geschwindigkeit gleich, so wird $0 = \frac{-p}{4ga} \cdot \text{log. nat.} \left(v'^2 + \frac{p}{a} \right)$;

Das vollständige Integral ist also

$$x = \frac{p}{4ga} \text{ log. nat. } \frac{av'^2 + p}{av^2 + p}.$$

und für $v = 0$, oder wo die Kugel ruhet

$$x = \frac{p}{4ga} \text{ log. nat. } \frac{av'^2 + p}{p}.$$

Hierbei kommt es dann darauf an, den Coefficienten a aus den Versuchen über den Widerstand der Luft zu bestimmen, wenn man ihn in Gewichten mit p vergleichbar haben will. Hutton[1] findet aus seinen Versuchen den Widerstand gegen eine Kugel von 2 Z. Durchmesser, deren Gewicht $= 1\frac{1}{8}$ Pfd. avoir du poid Gewicht ist, bei 2000 e. F. Geschwindigkeit $= 102$ Pfd. Um aber für a einen mittleren Werth zu erhalten, da die Geschwindigkeit durch den Widerstand sobald abnimmt, setzt er $a = 51$ Pfd. = der Hälfte jener Gröfse, welche nach Versuchen einer Geschwindigkeit von 1400 e. F. zugehört. Die nächst gröfsere Zahl ist 1500 e. F. welche einen Widerstand von 59 Pfd. erzeugt. Aus der Proportion $1500^2 : v^2 = 59 : \frac{59v^2}{1500^2}$ erhält man $a = 0{,}000026\frac{2}{9}$;

und für die angegebene Kugel, deren Gewicht $p = 1\frac{1}{8}$ Pfd. ist, für $g = 16$ e. F. $v' = 2000$ e. F. wird $x = 2930$ F.

Die verschiedenen Kugeln der Geschütze werden nach ihren Durchmessern gemessen. Nimmt man demnach den Durchmesser der eben genannten Kugel $= 2$ Z. als Einheit an, und berücksichtigt, dafs die Widerstand leistenden Flächen sich wie die Quadrate der Durchmesser verhalten, so

[1] Tracts. III. 236.

ist für eine andere Kugel vom Durchmesser = D der Widerstand = $\frac{a v^2 D^2}{4}$ und für den eben gefundenen Werth von a substituirt = $\frac{D^2 v^2}{152542}$. Es sey $\frac{1}{152542} = b$, so ist die verzögernde Kraft = $\frac{bD^2 v^2 + p}{p} = f$ und auf gleiche Weise

$$-vdv = 2gdx \times \frac{bD^2 v^2 + p}{p}; \text{ woraus}$$

$$dx = \frac{-p}{4g} \times \frac{vdv}{bD^2 v^2 + p} \text{ wird,}$$

wofür das vollständige Integral wie oben

$$x = \frac{p}{4gbD^2} \text{ log. nat. } \frac{bD^2 v'^2 + p}{p} \text{ ist,}$$

wenn v' die anfängliche Geschwindigkeit bezeichnet. Nach dieser Formel erreicht eine 24 Pfünder-Kugel vom Durchmesser 5,6 Z. und 2000 F. Anfangsgeschwindigkeit eine Höhe von 6463 F.

Hutton fand indefs durch eine grofse Reihe von Versuchen[1], dafs die Rechnung mit der Erfahrung nicht übereinstimmt, wenn man den Widerstand der Luft dem Quadrate der Geschwindigkeit proportional setzt, genauere Uebereinstimmung dagegen wurde erhalten, wenn er aufser dieser zweiten Potenz der Geschwindigkeit auch noch die erste einführte. Sind diesemnach die Bezeichnungen wie oben, und führt man statt des Coefficienten a die beiden neuen m und n ein, so wird

$$\frac{(mv^2 - nv) D^2 + p}{p} = \frac{mv^2 - nv}{p} D^2 + 1 = f$$

die verzögernde Kraft. Man erhält dann ferner, wie oben

$$-vdv = 2gdx \left(\frac{(mv^2 - nv) D^2 + p}{p}\right)$$

und hieraus

$$dx = -\frac{p}{2g} \times \frac{vdv}{(mv^2 - nv) D^2 + p}$$

1 S. *Widerstand der Mittel.*

$$= \frac{-p}{2gmD^2} \times \frac{v\,dv}{v^2 - \frac{n}{m}v + \frac{p}{mD^2}};$$

das vollständige Integral hiervon ist

$$x = \frac{p}{4gmD^2} \text{ log. nat. } \frac{v^2 - \frac{n}{m}v + \frac{p}{mD^2}}{\frac{p}{mD^2}}$$

die gröfste Höhe, welche die Kugel erreicht[1]. Hutton fand aus seinen erwähnten Versuchen die Werthe für $m = 0{,}00003028$ und für $n = 0{,}007$. Berücksichtigt man nun, dafs diese Werthe für eine Kugel von 2 Z. Durchmesser gefunden wurden, $\frac{D^2}{4}$ aber das Verhältnifs der Durchmesser in Zollen ist, so wird $\frac{1}{4}(m v^2 - n v) D^2 = (0{,}000007565 v^2 - 0{,}000175 v) D^2$ der Widerstandscoefficient für jede Kugel vom Durchmesser $= D$ in englischen Zollen, welcher leicht auf jedes andere Mafs reducirt werden kann. Nimmt man dann ferner $v = 2000$ F., welches fast die gröfste Anfangsgeschwindigkeit ist, für p aber das Gewicht der eisernen Kugel, so findet man die Höhe für eine Kugel von 2 Z. Durchmesser $= 2653$ F., und für eine 24 Pfünder-Kugel, deren Durchmesser 5,6 Z. ist, die gröfste Höhe $= 5782$ F. Die Zeit, welche die erstere Kugel von $1\frac{1}{8}$ Pfd. Gewicht gebraucht, um diese Höhe zu erreichen, findet man $= 11{,}2$ Sec., für die letztere ist sie 15,2 Sec.

2. Horizontal geworfene Körper.

a. Im leeren Raume.

Diese Aufgabe ist eigentlich gar nicht statt findend, wenn man berücksichtigt, dafs der geworfene Körper, sobald er frei schwebt, der stetig wirkenden Schwere unterworfen ist, mithin sofort herabsinkt, und sich von der horizontalen Richtung entfernt. Inzwischen ergiebt sich aus dieser Betrachtung sogleich, dafs unter dem sogenannten Kernschusse kein solcher zu verstehen sey, bei welchem die Kugel eine

[1] Hutton Tracts. III. 234.

horizontale Bahn durchläuft, indem dieses nur bei einem nicht schweren Körper statt finden könnte; vielmehr sinkt die Kugel allezeit herab, der Raum, durch welchen sie sich horizontal bewegt, sey auch noch so kurz, der Kernschufs aber, bei welchem der, mit der Axe des Geschützes scheinbar parallel laufende Lichtstrahl verlängert in das Centrum der Scheibe trifft, wohin dann auch die Kugel treffen mufs, (Visirschufs) ist ein solcher, bei welchem der Raum, um welchen die Kugel bei ihrer Bewegung herabsinkt, durch das Geschütz selbst corrigirt ist. Um dieses anschaulich zu
Fig. machen, sey A das Geschütz; a b seine obere Fläche (worin
122. Visir und Korn liegt); c das Centrum der zu treffenden Scheibe, so wird beim Zielen der verlängerte Lichtstrahl a b c in das Centrum der Scheibe treffen, die verlängerte Axe des Geschützes aber trifft in f einen über demselben liegenden Punct. Würde nun die Scheibe in die Entfernungen r, p, n, e gerückt, so müfste die Kugel um die Räume s r, q p, m n, d e herabsinken, um die Scheibe zu treffen. Indem diese Räume sich aber directe wie die Entfernungen verhalten, so trifft dieses zwar mit der gleichfolgenden Bestimmung der Kugelbahn nicht überein, allein die Abweichung ist so geringe, dafs man die Differenz fast vernachlässigen kann.

Seit Galilei weifs man nämlich, dafs diejenige Bahn, welche eine in horizontaler Richtung geschossene Kugel beschreibt, eine Parabel ist, dafs dieses aus den Fallgesetzen nothwendig folge, geht aus einer einfachen Demonstration
Fig. evident hervor. Es sey c x die Axe der Abscissen, c y die
123. der Ordinaten. Erstere werde in die Räume = a getheilt, welche der Bewegung der Kugel in gleichen Zeittheilchen zugehören, c 1 ; c 2 ; c 3 ; c 4 ...; letztere in solche gleiche Theile, als dem Fallraume in einer, den angenommenen Zeittheilchen gleichen Zeit zugehören, so wird die Kugel im ersten Zeittheilchen den Raum c 1, im zweiten c 2 ... zu durchlaufen solicitirt werden. Indem sie aber im ersten Zeittheilchen zugleich den Raum c I lothrecht herabfällt, im zweiten aber dreimal den Raum c I; im dritten fünfmal den Raum c I, so mufs sie sich nach den Zeiten 1 ; 2 ; 3 ; 4 ;... in den Puncten d ; e ; f ; g;... befinden, und da c I = 1; c II = 4 ; c III = 9 ; c IV = 16 ... ist, so ist $y^2 = ax$ die

Gleichung ihrer Bahn zugleich auch die Gleichung der apollonischen Parabel, mithin ihre Bahn c ; d ; e ; f ; g ; ... eine gemeine Parabel. Hieraus ergiebt sich aber unmittelbar die Tiefe, bis auf welche die Geschützkugel herabsinken mufs, wenn die Zeit ihres Fluges bekannt ist, und die hiernach erforderliche Richtung des Geschützes. Es sey diesemnach Fig. oc die Richtung der Axe des Geschützes von o, der Mün- 124. dung desselben, bis c dem Mittelpuncte der Scheibe, ob das Stück der Parabel, welches die Kugel durchläuft, um bis in die Ebene acb durch c gelegt zu kommen, also cb die lothrechte Höhe, um welche die Kugel während ihrer horizontalen Bewegung = oc herabsinkt, so ist aoc = boc der erforderliche Elevationswinkel des Geschützes. Ist aber die Zeit, welche die Kugel erfordert, um von o bis c zu gelangen = t in Secunden, so ist gt^2 = cb der lothrechte Fallraum derselben, wenn g den Fallraum für eine Secunde bezeichnet. Gebraucht z. B. eine Kugel 1 Sec. Zeit, um das in 200 F. Entfernung befindliche Ziel zu erreichen, so ist ac = 15 F. und der hierfür erforderliche Elevationswinkel des Geschützes = 4° 18′. Flöge dagegen die Kugel in der Hälfte der Zeit bis e, so wäre $fe = \frac{1}{2}^2 \times 15$ F. = 3,75 F. und der hierzu erforderliche Elevationswinkel = 2° 9′, woraus in Beziehung auf das oben über den sogenannten Kernschufs Gesagte hervorgeht, dafs bei gleichbleibender Ladung die Kugel nicht in das Centrum der Scheibe treffen kann, wenn diese um die Hälfte ihrer anfänglichen Entfernung näher gerückt wird, vielmehr mufs jede Kugel aus einem Geschütze, bei welchem für die Weite des Kernschusses der erforderliche Elevationswinkel schon angebracht ist, bei gröfserer Entfernung der Scheibe unter das Centrum, und bei kleinerer über dasselbe treffen, wie der Unterschied der Räume de und fe anschaulich macht, es sey denn, dafs man bei jener durch verstärkte, bei dieser durch verminderte Ladung compensirte.

Man pflegt dieses Gesetz durch eine eigene Maschine, die sogenannte *parabolische Maschine* zu erläutern. Das Brett Fig. ACπD wird nach einer beliebigen krummen Linie ABD 125. ausgeschnitten, eine Rinne hineingemacht, und diese möglichst glatt gearbeitet, oder mit einer wenig Reibung ver-

ursachenden Substanz, etwa Elfenbein, ausgelegt. Läuft die Krümmung am Ende horizontal, und läfst man eine schwere Kugel in der Rinne ABD hinabrollen, so wird diese bei D eine horizontale Geschwindigkeit erhalten, welche der Fallhöhe AE zugehört. Bringt man an der Seite $D\pi$ ein anderes rechtwinkeliges Brett $D\nu\mu\pi$ an, worauf die halbe Parabel $DMm\mu$ vom Scheitel D und vom Parameter $= 4\,AE$ gezeichnet ist, so wird die Kugel in dieser Parabel herabfallen. Da man die Bahn der Kugel mit dem Auge leicht verfolgen, und ihr Zusammentreffen mit der gezeichneten leicht wahrnehmen kann, so ist es weniger zweckmäfsig, Ringe anzubringen, und die Kugel hindurchfallen zu lassen. Nimmt man auf der horizontalen Seite des Brettes DN; Nn; $n\nu$ gleich grofs an, so werden die lothrechten Linien NM; nm; $\nu\mu$ sich wie $1 : 4 : 9$ verhalten; und wenn $D\pi = AE$ genommen wird, so ist nach den Eigenschaften der Parabel $\pi\mu = 2\,AE$; daher werden die Abtheilungen $DN = Nn = n\nu = \frac{2}{3}\,AE$; $DP = \frac{1}{9}\,AE$, wonach eine solche Maschine leicht construirt werden kann[1]. Nimmt man zum Versuche eine Bleikugel, so kann der Widerstand der Luft vernachlässigt werden[2].

b. Im lufterfüllten Raume.

Die eben mitgetheilten Bestimmungen werden indefs sehr abgeändert durch den Widerstand der Luft. Vermöge der Voraussetzung, dafs sich die Untersuchung zunächst nur auf die horizontale Bewegung der Kugel bezieht, und den Elevationswinkel, in welchen das Geschütz gerichtet werden mufs, um einen im Horizonte befindlichen Gegenstand zu treffen, ergiebt sich leicht, dafs dieser Widerstand rücksichtlich auf die lothrechte Bewegung der Kugel oder ihren freien Fall während ihrer Bewegung nicht bedeutend seyn, und als verschwindend vernachläfsigt werden kann. Hiernach würden also die in gegebenen Zeiten parallel mit der Ordinatenaxe cy durchlaufenen Räume gleich bleiben. Desto

Fig. 123.

1 s'Gravesande Phys. Elem. math. I. Cap. 20 Tab. XIII.

2 Die gewöhnlichen, nach s'Gravesande verfertigten Maschinen sind zu niedrig. Anschaulicher wird die Sache, wenn man sie aus einer mehrere Fufs hohen und verhältnifsmäfsig breiten Bretterwand verfertigt.

gröfser aber ist der Einfluſs auf die parallel mit der Abscissenaxe cx durchlaufenen Räume. Denn anstatt daſs diese der oben mitgetheilten Construction nach gleich seyn sollten, werden sie vielmehr wegen des fortdauernden Widerstandes der Luft stets abnehmen, woraus folgt, daſs hiernach die Bahn keine gemeine Parabel seyn kann. Indem aber diese Verminderungen der in gleichen Zeiten parallel mit der Abscissenaxe durchlaufenen Räume eine Function des Widerstandes der Luft ist, so käme es darauf an, diesen genau zu kennen, welches aber bisher nach dem oben Gesagten noch nicht vollständig gelungen ist. Mehrere Geometer, und unter diesen namentlich DE BORDA [1], haben Formeln angegeben, wonach die Verminderung der anfänglichen Geschwindigkeit nach einer gegebenen Weite des durchlaufenen Weges berechnet werden kann. Am schätzbarsten sind auch in dieser Hinsicht die Bemühungen HUTTONS [2], welcher aus den Resultaten der Woolwicher Versuche eine für die meisten Fälle genügende Regel abstrahirt.

Ist allgemein der Durchmesser der Kugel $= D$, ihr Gewicht $= p$, die anfängliche Geschwindigkeit $= v'$, die nach dem durchlaufenen Raume $= x$ noch vorhandene $= v$, so ist nach der oben gegebenen Formel für die Bewegung in der Widerstand leistenden Luft

$$dx = \frac{p}{2gD^2} \times - \frac{v\,dv}{mv^2 - nv}.$$

$$= \frac{p}{2gD^2} \times - \frac{dv}{mv - n} = \frac{p}{2gD^2 m} \times - \frac{dv}{v - \frac{n}{m}}.$$

wovon das Integral

$$x = \frac{p}{2gD^2 m} \times - \log.\,\text{nat.}\, v - \frac{n}{m} + C.$$

welches für $x = 0$ und $v = v'$ vollständig

---

1 Mém. de l'Ac. 1768. p. 264.

2 Tracts. III. 251.

$$x = \frac{p}{2gD^2m} \text{ log. nat. } \frac{v' - \frac{n}{m}}{v - \frac{n}{m}} \text{ giebt.}$$

Substituirt man hierin die oben angegebenen numerischen Werthe von m und n, so wird

$$x = \frac{p}{2gD^2m} \text{ log. nat. } \frac{v' - 231}{v - 231}.$$

Um den Coefficienten $\frac{p}{2gD^2m}$ auf die einzige Gröfse D zu reduciren, ist 4,3 Unzen das Gewicht eines engl. Cub. Z. Gufseisen, und hiernach $p = 0{,}5236\,D^3 \times 4{,}3 = 2{,}25148\,D^3$ oder nahe genau $= \frac{9}{4} D^3$, mithin in Pfunden $= \frac{9}{64} D^3$. Setzt man ferner g in engl. Fufsen $= 16$, so ist

$$\frac{p}{2gmD^2} = 581{,}25\,D; \text{ und somit}$$

$$x = 581{,}25\,D. \text{ log. nat. } \frac{v' - 231}{v - 231} \text{ oder}$$

$$x = 1338\,D. \text{ log. vulg. } \frac{v' - 231}{v - 231}.$$

Diese Formel gilt indefs blofs für gröfsere Geschwindigkeiten über 200 bis 300 F., weil hierfür die Werthe von m und n gefunden sind. Für kleinere Geschwindigkeiten kann man den Widerstand füglich dem Quadrate der Geschwindigkeii proportional setzen, müfste dann aber in der Formel für den Widerstand $= av^2$ den Coefficienten a bestimmter durch Versuche ausmitteln.

Dafs man vermittelst dieser Formel den Raum finden könne, welchen eine Kugel durchläuft, deren anfängliche Geschwindigkeit $= v'$ und Endgeschwindigkeit $= v$ gegeben sind, ist klar. Für den vorliegenden Zweck ist aber erforderlich, eine andere Gröfse zu kennen, nämlich die Geschwindigkeit, welche eine Kugel noch haben wird, nachdem sie mit einer bekannten Anfangsgeschwindigkeit einen gewissen Raum durchlaufen hat. Es ist aber einfach

$s = 1338\,D.\log.\frac{v' - 231}{v - 231}$, also

$\frac{s}{1338\,D} = \log.\frac{v' - 231}{v - 231}$.

Hat dann z. B. eine 24 Pfünder - Kugel vom Durchmesser 5,546 engl. Z. einen Raum = 1000 Lond. F. mit einer Anfangsgeschwindigkeit = 1780 F. zurückgelegt, so ist $\frac{1000}{1338 \cdot D}$ = 0,1347 der Logarithme von $\frac{v' - 231}{v - 231}$. Die diesem zugehörige Zahl ist 1,3635, welche N heifsen möge; und dann ist $N = \frac{v' - 231}{v - 231}$, woraus für $v' = 1780$ die Gröfse $v = 1361$ als Endgeschwindigkeit gefunden wird. Ist diese somit bekannt, so nimmt man näherungsweise das arithmetische Mittel zwischen dieser und der anfänglichen Geschwindigkeit als diejenige an, womit sich die Kugel gleichmäfsig bewegt, findet dann, indem man den gegebenen Raum = s durch die gefundene mittlere Geschwindigkeit dividirt, die Zeit t in Secunden nahe genau, und bestimmt hiernach die Fallhöhe des geschossenen Körpers. Zur Erläuterung diene folgendes Beispiel. Es werde eine 24 pfündige Kugel mit 6 Pfd. Pulver nach einem 1000 F. entfernten Ziele geschossen, wie viele Zeit wird sie herabsinken? Hier ist die Menge des Pulvers $= \frac{1}{4}$; mithin v' nach der oben mitgetheilten Tabelle = 1131 F.[1] = v'. Es ist ferner 1131 — 231 = 900, und mit Benutzung des Werthes von N und der Formel ist $\frac{900}{1{,}3653} + 231 = 891 = v$ = der Endgeschwindigkeit. Es ist aber $\frac{v' + v}{2} = 1011$ d. i. die mittlere Geschwindigkeit, und $\frac{1000}{1011}$ ist nahe = 1, also 1 Secunde die Zeit der Bewegung, welcher die Fallhöhe von 16 F. Lond. Mafs oder 15 F. par. zugehört.

Hutton bringt ferner die so eben dargelegte Regel auf eine allgemeine Formel zurück. Ist zu diesem Ende in engl. Mafs

1 Nach der daselbst angegebenen Formel wäre $1600\sqrt{\frac{1}{2}\frac{3}{4}} = 1600\sqrt{\frac{1}{2}} = 1131$.

Die gegebene Entfernung in Fufsen . . . s
Der Durchmesser der Kugel in Zollen . . D
Gewicht der Kugel in Pfunden . . . . b
Gewicht des Pulvers c
Anfangsgeschwindigkeit in Fufsen . . . . v'
Endgeschwindigkeit v
Zeit der Bewegung der Kugel . . . . . t

$$\text{so ist } v' = 1600\sqrt{\frac{2c}{b}}$$

$$v = \frac{v' - 231}{N} + 231$$

$$t = \frac{2s}{v'+v} \text{ oder genauer } t = \frac{1338D}{231}\log.\left(\frac{v'-231}{v-231}\cdot\frac{v}{v'}\right)$$

$gt^2 = 16t^2 = \frac{64s^2}{(v'+v)^2}$ die Höhe, um welche die Kugel herabsinkt,

$\frac{gt^2}{s} = \frac{16t^2}{s} = \frac{64s}{(v'+v)^2}$ die Tangente des Elevationswinkels des Geschützes.

Man sieht, dafs es nicht schwer seyn würde, Tabellen nach dieser Formel zum praktischen Gebrauche zu berechnen. Sie gehören indefs in die Artillerie-Wissenschaft, und würden hier nicht an ihrer Stelle seyn.

3. In einem beliebigen Winkel mit dem Horizonte geworfene Körper.

a. Im leeren Raume.

Wird ein Körper unter einem beliebigen Winkel mit dem Horizonte geworfen, so wird er beim Aufsteigen und Herabfallen jederzeit einen Schenkel einer Parabel beschreiben, welche beide gleich und demjenigen ähnlich sind, welcher oben als die Bahn eines horizontal geworfenen Körpers nachgewiesen ist. Es sey die anfängliche Richtung der Kugel ce, der horizontale Raum, welchen sie in einem gegebenen Zeittheilchen zurücklegt c1; der lothrechte cI. Würde sie von der Schwere nicht afficirt, so müfste sie am Ende eines jeden neuen Zeittheilchens in den Durchschnitts-

Fig. 126.

punct der Linien 1 I; 2 II.... treffen. Allein indem die Diagonale c g, welche sie im ersten Zeittheilchen durchläuft, in die horizontale c 1 und die lothrechte c I zerlegt werden kann, so wird die erstere unvermindert bleiben, die letztere aber um g α als denjenigen Theil verkürzt werden, welchen sie zugleich vermöge der Schwere herabfällt. Im zweiten Zeittheilchen müfste sie, von α ausgehend gedacht, nach eben den Grundsätzen bis β kommen, weil sie aber in diesem Zeittheilchen $3 \times g\alpha$ herabsinkt, so wird sie in γ ankommen, und wenn man auf gleiche Weise die den Zeiten 1; 2; 3... zugehörigen Fallräume $= 1 : 3 : 5 \ldots$ nimmt, so wird sie durch die Räume $g\alpha$; $\beta\gamma$; $\delta\varepsilon$; $\zeta\eta$; $\vartheta\iota$; $\varkappa$d fallend gedacht, die beiden Schenkel der Parabel c ε d beschreiben.

Um die einem solchen Würfe zugehörige Höhe und Weite zu finden, dient folgende Betrachtung, welche noch aufserdem die Beschaffenheit der Bahn näher angiebt. Es sey ein Körper mit einer anfänglichen Geschwindigkeit $= k$ in der Richtung A C geworfen, welche mit dem Horizonte den Winkel C A B $= \alpha$ macht, so läfst sich seine Geschwindigkeit in die horizontale A Q und die verticale Q N zerlegen, wovon jene $=$ k Cos. α; diese $=$ k Sin. α ist. Auf jene wirkt die Schwere nicht, und es wird also nach der Zeit t

Fig. 127.

$$AQ = k \text{ Cos. } \alpha . t \text{ seyn;}$$

diese aber wird nach der Zeit t um gt^2 vermindert seyn, und es ist also

$$QM = QN = NM = k \text{ Sin. } \alpha . t - gt^2.$$

Für B, wo der geworfene Körper die horizontale Ebene wieder erreicht, wird $QM = 0$, also k Sin. α. t $= gt^2$ und $t = \frac{k \text{ Sin. } \alpha}{g}$. Soll also $AQ = AB$ werden, so darf man diesen gefundenen Werth von t nur in den Ausdruck für AQ substituiren und erhält die *Weite des Wurfes*

$$AB = \frac{k^2 \text{ Sin. } \alpha . \text{ Cos. } \alpha}{g} = \frac{k^2 \text{ Sin. } 2\alpha}{2g}.$$

Sucht man die Stelle, wo QM ein *Gröfstes* wird, indem man $dDQ = k \text{ Sin. } \alpha \, dt - 2gtdt = 0$ setzt, so wird hieraus $t = \frac{k \text{ Sin. } \alpha}{2g}$, also halb so grofs als für die Stelle B. Die-

ses in der Formel für AQ substituirt, giebt

$$AE = \frac{k^2 \text{ Sin. } \alpha . \text{ Cos. } \alpha}{2g} = \frac{k^2 \text{ Sin. } 2\alpha}{4g}$$

also halb so grofs als AB; und in der Formel für QM substituirt, erhält man die *erreichte Höhe des Wurfes:*

$$DE = \frac{k^2 \text{ Sin.}^2 \alpha}{2g} - \frac{k^2 \text{ Sin.}^2 \alpha}{4g} = \frac{k^2 \text{ Sin.}^2 \alpha}{4g}.$$

Aus diesen Gleichungen für AE und DE folgt aber $AE^2 = \frac{k^2 \text{ Cos.}^2 \alpha}{g} DE$, dafs die Curve eine Parabel sey, welche D zum Scheitel und $\frac{k^2 \text{ Cos.}^2 \alpha}{g}$ zum Parameter hat. Die Zeit t, in welcher das Stück AM durchlaufen wird, ist $= \frac{AN}{k} = \frac{AQ. \text{ Sec. } \alpha}{k}$, also AQ direct proportional, indem die horizontale Geschwindigkeit nicht geändert wird. Die Zeit t' aber, bis der Körper in B ankommt, ist $= \frac{AB. \text{ Sec. } \alpha}{g}$ $= \frac{k \text{ Sin. } \alpha}{g}$, wie oben schon gefunden wurde. Aus den für AB (die Weite des Wurfes) und DE (die erreichte Höhe) gefundenen Werthen ergiebt sich endlich, dafs beide dem Quadrate der Anfangsgeschwindigkeit = k proportional sind. Bei gleichen Werthen für k ist aber DE oder die *Höhe* dem Quadrate des Sinus des Neigungswinkels proportional, und wird also am gröfsten seyn, wenn dieser am gröfsten wird, d. i. für einen Neigungswinkel von 90° oder beim lothrechten Schusse. Die *Weite* AE aber ist dem Sinus des doppelten Neigungswinkels proportional, verschwindet also, wenn Sin. $2\alpha = 0$ wird, d. i. für $\alpha = 0$ und $= 90°$ d. h. beim lothrechten und völlig horizontalen Wurfe würde der geworfene Körper gar keine Weite erhalten. Der erste Satz ist an sich klar, der zweite, welcher einen Widerspruch mit der Erfahrung einzuschliefsen scheint, ist daraus erklärlich, dafs von keiner Bewegung des Körpers unter der horizontalen Ebene die Rede seyn soll. Denkt man sich nun z. B. die untere Wand des horizontalen Geschützes genau in der

horizontalen Ebene (also für den Fall von Sin. $\alpha = 0$), so wird die Kugel beim Entweichen aus der Mündung diese Ebene berühren, und da sie nach den Fallgesetzen auch sogleich herabsinkt, in dieselbe einschneiden, wonach ihre horizontale Bewegung sofort $= 0$ werden mufs. Die gröfste Weite aber wird statt finden, wenn Sin. 2α ein Maximum wird, d. i. für $\alpha = 45°$, und da gleichen Werthen unter und über dieser Gröfse gleiche Werthe von Sin. 2α zugehören, so wird die Weite des Wurfes für gleiche Vermehrungen der Elevation über und unter $45°$ um gleiche Gröfsen abnehmen.

Die Formeln sind sämmtlich für den Fall bestimmt, dafs das zu treffende Object sich mit dem Geschütze in einer horizontalen Ebene befindet. Es folgt aber von selbst, dafs, wenn das Object sich um den Winkel γ über oder unter demselben befände, der dem weitesten Wurfe zugehörige Elevationswinkel im ersteren Falle $= 45° + \frac{1}{2}\gamma$, im letzteren $= 45° - \frac{1}{2}\gamma$ seyn mäfste[1].

Zur Vergleichung mit den später zu findenden Werthen möge hier auch ein Beispiel in Zahlen Platz finden. Ist die Anfangsgeschwindigkeit $k = 2000$ F. der Elevationswinkel $\alpha = 45°$, so ist die erreichte Höhe $DE = \frac{4000000 \text{ Sin.}^2 \alpha}{4g}$ und für $g = 16$ Lond. F. genommen $= 31250$ F., die Weite AB aber $= \frac{4000000}{2g} = 125000$ F.

Obgleich die Formeln keine praktische Anwendung leiden, so beantwortet man aus denselben doch noch folgende zwei Fragen, nämlich zuerst, in welchem Winkel ein Geschütz geneigt seyn mufs, um bei gegebener Anfangsgeschwindigkeit ein Object in gegebener Entfernung zu erreichen; und zweitens wie grofs die Anfangsgeschwindigkeit bei einem zu treffenden Objecte von gegebener Weite und bei gegebenem Elevationswinkel des Geschützes seyn mufs.

---

1 Vergl. Simpson in Phil. Tr. XLV. 157. Guisnée über d. Bahn der Bomben in der Parabel. in Mém. de l'Ac. 1707. p. 140. Eine elegante Demonstration giebt Poisson in Traité de Méc. I. 336.

Beide Fragen werden aus der oben gegebenen Formel: $AB = \frac{k^2 \text{ Sin. } 2\alpha}{2g}$ leicht beantwortet. Indem nämlich hierin AB die Weite des Wurfes, k die Geschwindigkeit und α den Neigungswinkel bezeichnet, so ist

$$\text{Sin. } 2\alpha = \frac{AB.\ 2g}{k^2} \text{ und}$$

$$k = \sqrt{\frac{AB.\ 2g}{\text{Sin. } 2\alpha}}.$$

Sollte daher ein Gegenstand in 10000 F. Entfernung mit 2000 F. Anfangsgeschwindigkeit getroffen werden, so würde ein Elevationswinkel von 2° 9′ 5″ oder von 87° 50′ 55″ erfordert werden, wenn g = 15 F. gesetzt wird. Wäre dagegen der Gegenstand in gleicher Entfernung und bei 45° Elevationswinkel zu treffen, so dürfte die Geschwindigkeit nur 547,7 F. in einer Secunde betragen.

b. Im lufterfüllten Raume.

So einfach indefs die Construction der Curve ist, welche eine Kugel im leeren Raume fliegend beschreibt, eben so unmöglich ist es, diese mit Rücksicht auf den Widerstand der Luft völlig genau zu finden, indem die hiezu erforderliche Differentialgleichung nach den jetzigen Hülfsmitteln der Analyse nicht integrabel ist[1]. Schon früh versuchten Joh. Bernoulli, Hermann und Taylor eine allgemeine Auflösung dieses Problems. Unter die gelehrten Untersuchungen gehören ferner die Anmerkungen L. Euler's zu Robins: Neue Grunds. d. Artillerie, und eine Abhandlung desselben[2], worin der Widerstand nach einem eigens angenommenen Gesetze berechnet wird. Graevenitz[3] hat hiernach Tabellen für den praktischen Gebrauch berechnet. Newton, welcher schon fand, dafs die Differentialgleichung für diese Aufgabe nicht integrabel sey, versuchte sie durch Näherung aufzulösen, und fand hierbei, dafs die Curve mehr einer Hyperbel, als einer Parabel gleicht, ein Resultat, worauf mehrere

1 Poisson Traité de Méc. I. 345.

2 Mém. de Berlin. IX. 1755.

3 Abhandlung von der Bahn der Geschützkugeln. Bützow 1764. 4.

Geometer nach ihm gleichfalls zurückgekommen sind. Auch LAMBERT [1] versuchte eine Auflösung dieses Problems, und suchte eine praktische Anwendung davon auf die Geschützkunst zu machen. Unter die vorzüglichsten Bemühungen um dasselbe gehören unstreitig die von DE BORDA [2], welcher zugleich das Gesetz des Widerstandes der Luft durch eigene Versuche auszumitteln suchte. Durch weitläuftige Rechnungen findet er für eine 24 Pfünder-Kugel vom Durchmesser 5,444 par. Z. und einen Elevationswinkel der Kanone von 45° folgende Gröfsen.

Anfangs-Geschw. par. F.	Weite im Vacuo. Toisen.	Weite in der Luft. Toisen.	Erreichte Höhe. Toisen.
100	55	53	13
200	221	192	53
400	883	573	170
600	1987	916	306
800	3532	1207	442
1000	5519	1445	570
1200	7947	1642	685
1500	12417	1899	839
1800	17881	2108	975
2100	24338	2284	1095
2400	31788	2436	1203
2700	40232	2562	1292
3000	49669	2690	1407
3500	67605	2863	1525

Bei einem Versuche mit einem 24 Pfünder und einer Ladung von 16 Pfd. Pulver und einem Elevationswinkel von 45° erreichte die Kugel eine Weite von 2250^t, welches einer Anfangsgeschwindigkeit von 2038 F. nach der Tabelle zugehört. Für die Elevationswinkel, welche dem weitesten Wurfe zugehören, giebt die Rechnung folgende Werthe:

1 Mém. de Berl. 1765 u. 1773. J. H. Lambert's Anmerkungen über die Gewalt des Schiefspulvers und die Gewalt der Luft; auf Veranlassung der von den Hrn. Robins und d'Arcy darüber angestellten Versuche. Dresd. 1766. 8.

2 Mém. de l'Ac. 1769. p. 247.

Anfangsgesch. in par. F.	Elevations-winkel
300	42° 10′
600	36 30
1000	33 00
1200	31 40
1500	30 10
1800	28 50
2000	28 10

Einige von DE BORDA in Brest angestellte Versuche mit einem 6 Pfünder und einer Ladung von 3 Pfd. Pulver gaben bei einem Elevationswinkel von 45° eine Weite von 1590 Tois., für 30° aber 1700 Toisen. Der ersteren Weite gehört nach der Tabelle eine Anfangsgeschwindigkeit von 2050 F. zu, und wenn man für diese Anfangsgeschwindigkeit die Weite für einen Elevationswinkel von 30° sucht, so erhält man 1715 Toisen, welches mit dem Versuche über Erwartung zusammentrifft, und die Zulässigkeit der de Borda'schen Formeln beweiset.

Gelehrte, aber auf die Praxis nicht füglich anwendbare, und nicht ganz vollendete Untersuchungen über die Kugelbahn im widerstandleistenden Mittel hat BEZOUT [1] angestellt. Diese nebst den Vorarbeiten von EULER und LAMBERT benutzte KRAFT [2], legte den Newtonschen Grundsatz eines dem Quadrate der Geschwindigkeit proportionalen Widerstandes der Luft zum Grunde, entwickelte die von BEZOUT gefundenen und nicht weiter verfolgten Formeln, und berechnete hiernach Tabellen, welche indefs für den praktischen Gebrauch immer noch zu sehr zusammengesetzt sind, wie er selbst zugesteht.

Später veranlafste die Preisaufgabe der Berliner Akademie der Wissenschaften LEGENDRE [3] zu einer umfassenden Untersuchung der Curve, welche ein unter einem beliebigen

---

1 Cours d'Artillerie. Par. 1772. Ueber die Kugelbahn a. d. Fr. des Herrn Bezout. Stuttg. 1781.

2 Acta Acad. Pet. IV. P. 1. p. 154. P. II. 175.

3 Dissertation sur la question de Ballistique proposée par l'Ac. Roy. des Sciences. cet. par. M. Le Gendre. Berl. 1782.

Universitäts- und Landesbibliothek Düsseldorf

Neigungswinkel mit dem Horizonte geworfener Körper beschreiben mufs. Für einen dem Quadrate der Geschwindigkeit proportionalen Widerstand in einem Medio von gleichmäfsiger Dichtigkeit[1] fand er, dafs die Curve einer Hyperbel sehr nahe kommt, welche zwei Asymptoten hat, eine in einem gröfseren Winkel mit dem Horizonte, als der Neigungswinkel des Geschützes ist, die andere lothrecht. Der weitläuftige Calcül, wodurch die einzelnen Gröfsen gefunden werden, macht indefs auch diese Auflösung für die praktische Anwendung unbrauchbar, wie Le Gendre selbst zugesteht[2]. Eben dieses läfst sich auch von dem Versuche sagen, die beiden Arme dieser hyperbolischen Curve, den aufsteigenden und den niedersteigenden, jeden einzeln durch Näherung zu finden, wobei es noch immer fraglich bleibt, wie weit die Resultate dieser theoretischen Untersuchung mit der, so mannigfaltigen Bedingungen unterliegenden, Erfahrung übereinstimmen würden.

Gleichzeitig hiermit bearbeitete Tempelhof[3] ausführlich die zur Ballistik gehörigen Gegenstände, und versuchte später[4] die Curve zu bestimmen, welche Kugeln und Bomben mit Rücksicht auf den Widerstand der Luft beschreiben. Kraft[5] untersuchte dieses Problem aufs Neue in der speciellen Beziehung, den Elevationswinkel des weitesten Wurfes zu finden, wobei er den Widerstand der Luft dem Quadrate der Geschwindigkeit proportional setzt, für die Gröfse der Kugeln aber noch einen Coefficienten einführt, weil nach Robins der Widerstand bei kleinen Kugeln geringer als bei gröfseren gefunden sey. Die Rechnung ergiebt, dafs im leeren Raume ein Elevationswinkel $= 45°$ der gröfsten Weite zugehört, dafs aber im widerstehenden Mittel die

---

1 So wie die Kugel höher steigt, kommt sie in dünnere Luftschichten. Man begreift leicht, wie sehr auch dieser Umstand die Schwierigkeit der Aufgabe vermehren mufs.

2 a. a. O. p. 14.

3 Bombardier Prussien. cet. Berl. 1781. Erläuterungen von Massenbach. Halle 1781 (Letzteres macht nur die schwereren Formeln im ersteren verständlicher).

4 Mém. de Berl. 1788 — 89.

5 Nov. Act. Pet. XI. 246.

Gröfse dieses Winkels der Anfangsgeschwindigkeit umgekehrt proportional ist, indem für eine unendliche Geschwindigkeit dieser Winkel = 0 seyn würde. Zur Construction der Tafeln für den Elevationswinkel des weitesten Wurfes wäre demnach erforderlich, das Gesetz des Widerstandes (welches nach Newton, Robins und Lambret dem Quadrate der Geschwindigkeit proportional angenommen wird), die Anfangsgeschwindigkeit, das Gewicht und das Caliber der Kugel oder Bombe zu wissen, auch könnte aus den übrigen dieser Gröfsen und der beobachteten Weite des Wurfes die Anfangsgeschwindigkeit berechnet werden. Beiläufig ergiebt die Rechnung für einen 24 Pfd. bei einer Anfangsgeschwindigkeit von 1884 F. im leeren Raume eine Wurfweite von 113583 F., in der Luft aber nur von 14603 F., letzteres der Erfahrung nach ohne Zweifel noch zu grofs.

Eine umfangende und gründliche Abhandlung über diesen Gegenstand hat Moreau [1] geliefert. Zuerst bestimmt er durch einen eleganten Calcül die Bahn der Kugeln im leeren Raume, zeigt dafs sie eine Parabel sey, und dafs ein Elevationswinkel von 45° die gröfste Weite, gleiche Gröfsen über und unter demselben aber gleiche Verminderungen jener Weite des Wurfes geben müssen. Die allgemeinen Gleichungen für die Bahn der Kugeln mit Rücksicht auf den Widerstand der Luft findet er indefs gleichfalls nicht integrabel, und bestimmt sie daher in ihren einzelnen Theilen durch Näherung. Zugleich bemerkt er, dafs, wenn man auch nach dieser Methode Tabellen für den praktischen Gebrauch berechnen wollte, die hierzu erforderliche Hauptgröfse, nämlich die Anfangsgeschwindigkeit durch die ungleiche Güte des Pulvers und vielfache anderweitige Einflüsse zu sehr bedingt wird, als dafs man eine sichere Bestimmung derselben erwarten könnte. Als Beispiel der Anwendung seiner Formeln, bei denen die Hypothese eines dem Quadrate der Geschwindigkeit proportionalen Widerstandes zum Grunde liegt, findet er für eine 24 Pfünder-Kugel bei einem Elevationswinkel von 45° die Höhe des Wurfes = $1668^m,86$; die Weite desselben = 3798^m; die Zeitdauer des Aufsteigens = $14'',94$;

1 Journ. de l'Ec. Polyt. Cah. II. p. 204.

des Niedersinkens = 21″,03. Im leeren Raume dagegen würde seyn: die Höhe des Wurfes 5941^{m},4; die Weite 23765^{m},6 und die Dauer der Bewegung 97″,7.

Bei diesen unüberwindlichen Schwierigkeiten einer vollständigen Auflösung des ballistischen Problems erhält man die besten und in praktischer Hinsicht anwendbarsten Resultate aus Hutton's[1] Näherungsmethoden, wobei die oben erwähnten Versuche stets berücksichtigt sind. Auch dieser nimmt an, die Kugelbahn bestehe aus zwei verschiedenen hyperbolischen Schenkeln AV, VC mit ungleichen Asymptoten ED, FG, die eine mit gröfserer Neigung gegen den Horizont, als die des Geschützes ist, die andere lothrecht. Hiernach kann der, dem weitesten Wurfe zugehörige Elevationswinkel nicht = 45° seyn, sondern dieser gehört der kleinsten Geschwindigkeit und der gröfsten Kugel zu, und nimmt allmälig ab, so wie die Geschwindigkeit gröfser und die Kugel kleiner wird, indem der Widerstand der Luft diesen letzteren Gröfsen proportional wächst. Eine genaue Bestimmung des weitesten Wurfes liegt daher aufser den Grenzen der Analysis[2]. Indefs läfst sich mit Benutzung des durch Newton, Robins, Euler, Robison[3] u. a. Aufgefundenen wenigstens Folgendes durch Näherung bestimmen. Fig. 128.

Zuerst läfst sich aus den Resultaten der oben erwähnten Versuche über den Widerstand, welchen eine Kugel von gegebener Gröfse bei gegebener Geschwindigkeit durch die Luft erleidet, berechnen, bei welcher, durch den Fall in der Atmosphäre erhaltenen Endgeschwindigkeit = v für 1 Secunde der Widerstand sein Maximum erreicht, und die Bewegung aus einer beschleunigten in eine gleichmäfsige verwandelt wird[4]. Heifst dann p das Gewicht der eisernen Kugel in Pfunden; D der Durchmesser derselben in Zollen; v die Endgeschwindigkeit; h die Höhe, von welcher die Kugel im leeren Raume herabgefallen seyn mufs, um diese

1 Tracts. III. 269.

2 Der hauptsächlichste Grund hiervon liegt in dem noch keineswegs genügend bestimmten Widerstands-Coefficienten der Luft. Vergl. Hoyer zu Morla's Lehrbuch d. Artilleriewissenschaft. II. 106.

3 Encyclopaedia Brit. Art. Gunnery.

4 Vergl. oben 1. b. 2. b. und *Widerstand der Mittel.*

Geschwindigkeit zu erlangen; t endlich die Zeit des freien Falles, welche dieser Höhe zugehört, so giebt die folgende Tabelle eine Uebersicht der einander zugehörigen Werthe

p	D	v	h	t
1	1,923	247	948	7,72
2	2,423	277	1193	8,66
3	2,773	297	1371	9,28
4	3,053	311	1503	9,72
6	3,494	333	1724	10,41
9	4,000	356	1970	11,12
12	4,403	374	2174	11,69
18	5,040	400	2488	12,50
24	5,546	419	2729	13,09
32	6,106	440	3010	13,75
36	6,350	449	3134	14,03
42	6,684	461	3304	14,37
48	6,988	470	3444	14,67

Die Gröfsen p; D; h und t in dieser Tabelle ergeben sich von selbst. Die Gröfse v aber findet Hutton auf folgende Weise. Bei einer Kugel von 1,965 e. Z. Durchmesser wurde der Widerstandscoefficient für den Fall, wo die Geschwindigkeit ihr Maximum erreicht hatte $=0{,}000016865$ gefunden. Setzt man nun den Widerstand dem Quadrate der Geschwindigkeit proportional, so ist $0{,}000016865\,v^2 = r$. Es war aber das Gewicht dieser Kugel $= 1{,}05$ Pfd. mithin ist $v^2 = \frac{1{,}05}{0{,}000016865}$ woraus $v = 249{,}52$ gefunden wird. Indem aber die Gewichte der Kugeln wie die Cubi ihrer Durchmesser wachsen, der Widerstand aber wie die Quadrate derselben, so erhält man für eine Kugel von beliebigem Durchmesser $v = 249{,}52\sqrt{\frac{D}{1{,}965}} = 178\sqrt{D}$.

Um vermittelst dieser Tabelle den dem weitesten Wurfe nach Hutton's Berechnung zugehörigen Elevationswinkel und die Weite des Wurfes selbst zu finden, theilt derselbe eine andere Tabelle mit, worin $v' : v$ den Quotienten bezeichnet, welchen man erhält, wenn man die Anfangsge-

schwindigkeit durch die Endgeschwindigkeit dividirt, ang. el. den erforderlichen Elevationswinkel mit dem Horizonte, und m den zugehörigen Factor, womit die gröfste Höhe multiplicirt werden mufs, um die Weite des Wurfes zu erhalten.

v′ : v	ang. el.		m
0,6910	44°	00′	0,4110
0,9445	43	15	0,6148
1,1980	42	30	0,8176
1,4515	41	45	1,0210
1,7050	41	00	1,2244
1,9585	40	15	1,4278
2,2120	39	30	1,6312
2,4655	38	45	1,8346
2,7190	38	00	2,0379
2,9725	37	15	2,2413
3,2260	36	30	2,4447
3,4795	35	45	2,6481
3,7330	35	00	2,8515
3,9865	34	15	3,0549
4,2400	33	30	3,2583
4,4935	32	45	3,4616
4,7470	32	00	3,6650
5,0000	31	15	3,8684

Bei dieser Tabelle können die zwischenliegenden Gröfsen leicht durch einfache Interpolation erhalten werden. Wie man von derselben Gebrauch machen könne, zeigt folgendes Beispiel. Will man wissen, bei welchem Elevationswinkel eine 24 pfündige Kugel mit 1640 F. = v′ = der anfänglichen Geschwindigkeit die gröfste Weite erreicht, so giebt die erste Tabelle die Endgeschwindigkeit einer 24 pf. Kugel = 419 F. = v, und die nebenstehende, dieser Endgeschwindigkeit zugehörige Höhe des freien Falles = 2729 F. Beide Geschwindigkeiten in einander dividirt, giebt v′ : v = 3,92 als Element, womit man in die zweite Tabelle eingeht. Die dieser nächst gleiche Zahl in derselben zeigt den Elevationswinkel = 34° 15′. Nimmt man bei der unbedeutenden Differenz diesen ohne Interpolation, so gehört ihm

der Factor 3,0549 = m zu, und 2729 × 3,0549 = 8336 F. ist die gröfste Weite des Wurfes[1].

Es ist nicht ohne Interesse, hiermit diejenigen Resultate zu vergleichen, welche nach Bezout[2] bei den Versuchen zu La Fere in den Jahren 1740 und 1771 erhalten sind. Sie wurden mit einem 24 Pfünder angestellt, dessen Kugel 5,5 Z. Durchmesser hielt, und mit 8,5 Pfd. Pulver geladen war, und gaben folgende Gröfsen.

ang. elev.	Weite in p. F.	Zeit in Sec.	ang. elev.	Weite in p. F.	Zeit in Sec.
5°	5520	7,00	40°	11706	32,80
10	7392	10,25	42	13098	34,00
15	9600	15,25	45	12348	34,00
20	10356	19,00	50	11856	36,00
25	10830	20,00	60	9986	43,50
30	10944	24,50	70	7410	46,00
35	11286	27,00	75	5394	48,75

Dafs die hierbei erhaltenen Wurfweiten ungleich gröfser sind, als die Huttonschen Berechnungen sie geben, sieht man ohne Weiteres. Noch genauer überzeugt man sich hiervon durch folgende Rechnung. Die Anfangsgeschwindigkeit der Kugel mit 8,5 Pfd. Pulver geladen, war nach der anfangs mitgetheilten Berechnungsart = 1262 par. F. oder = 1346 engl. F. = v'. Die Tabelle giebt die Endgeschwindigkeit = 419 F. = v und die nebenstehende Höhe des freien Falles = 2729 F. Der Quotient v' : v giebt 3,21 und der zugehörige Elevationswinkel = 36° 15' giebt den Coefficienten m = 2,4347, mithin ist die Weite des Wurfes 6659 engl. F. nahe = 6250 par. F., mithin nur etwas über die Hälfte der erhaltenen Wurfweite. Die Ursache hiervon kann allerdings darin liegen, dafs die Elemente der

---

1 Indem es hier zunächst nur auf theoretische Betrachtungen ankommt, ist die Untersuchung der gröfsten Schufsweiten allerdings wichtig; in der Praxis dagegen gebraucht man sie ihrer Unsicherheit wegen selten, blofs um aus grofsen Entfernungen Festungen zu erreichen, oder Magazine in Brand zu schiefsen.

2 Cours d'Artillerie. Par. 1772.

letzten Tabellen, welche Hutton aus Robison entlehnt, aus Versuchen mit kleineren Kugeln genommen sind, auch können die mehrerwähnten Bedingungen, welche auf die Erfolge solcher Versuche Einfluſs haben, leicht bedeutende Abweichungen hervorbringen. Die aus den letzteren Versuchen gefundenen Weiten scheinen allerdings sehr groſs, indeſs sind doch die durch Rechnung nach den Tabellen erhaltenen Gröſsen wahrscheinlich um ein Merkliches zu klein. Zugleich aber ist auch die Anfangsgeschwindigkeit um ein sehr Bedeutendes zu geringe. Nimmt man diese = 2000 Lond F., so giebt die nämliche Rechnung einen Elevationswinkel von nahe 32° und eine Weite von 10661,5 F. welches dem Resultate des Versuches ungleich näher kommt. Mehr Uebereinstimmung geben die von Bezout erwähnten Versuche mit denjenigen Gröſsen, welche de Borda[1] nach seinen Formeln berechnet, wonach folgende Werthe einander zugehören.

Anfangs. Geschw. in p. F.	Elevat. Winkel des weitesten Wurfes		Weite des Wurfes p. F.	Weite des Wurfes bei 45°. ang. el. p. F.
600	37°	15′	6210	6120
700	36	20	7350	7188
800	35	20	8430	8190
900	34	35	9456	9108
1000	33	55	10434	9954
1100	33	20	11364	10788

Die gröſsten Weiten gaben diejenigen Versuche, welche nach d'Arcy[2] im Jahre 1740 zu Straſsburg mit einem 24 Pfünder bei einem Elevationswinkel von 45° angestellt wurden, und war dabei gewiſs nicht ohne Einfluſs, daſs man polirte Kugeln, also mit wenig Spielraum und gesiebtes Pulver gebrauchte, auch hatte man die Kanone so festgestellt, daſs sie sich gar nicht bewegen konnte. Am auffallendsten aber ist, daſs bei beiden Versuchsreihen die geringere und

1 Mém. de l. Ac. 1768. p. 268.
2 a. a. O. p. 109.

die gröfsere Menge Pulver die gröfsten Schufsweiten gaben. Man erhielt nämlich folgende zusammengehörige Resultate.

den 31sten August		den 1sten Sept.	
Ladungen in Pfd.	Schufsw. in Fufs.	Ladungen in Pfd.	Schufsweiten in Fufs.
8	13968	24	15000
9	14100	18	14880
10	14100	16	13800
11	12462	15	12828
12	13596	14	13680
13	14610	13	15000
14	13800	12	13440
15	14520	11	12360
16	14700	10	14700
18	13380	9	15000
24	13200	8	12300

Nach Martillière[1] giebt bei allen Calibern ein Elevationswinkel von 35° und eine Ladung von $\frac{1}{3}$ des Gewichts der Kugel die gröfste Weite, und diese beträgt bei einem 24 Pfd. 14088 p. F. die Anfangsgeschwindigkeit aber nur 642 F. welche letztere Gröfse offenbar zu klein durch Rechnung gefunden ist.

Die Schufsweiten der kleineren Gewehre, obgleich mit Bleikugeln, sind ungleich geringer, weil die Anfangsgeschwindigkeit kleiner und der Widerstand der Luft gröfser ist, Antoni's genaue Versuche, auf der Fläche des Po angestellt, ergaben im Mittel aus zwei Versuchsreihen folgende zusammengehörige Werthe[2] 1. mit einem gezogenen Carabiner von $\frac{5}{8}$ und $\frac{2}{3}$ Z. Caliber, 0,75 Unzen schweren Kugeln:

Anfangsgesch.	Elev. Winkel	Schufsweite	Berechnete im Vacuo
1160	15°,0	1596 F.	35410
	24,5	1662	53115
	45,0	1584	70821

1 a. a. O. II. 111.

2 de Morla a. a. O. II. 111.

2. mit einem Infanteriegewehre von 1 Z. Caliber, 0,7 Unzen schweren Kugeln:

Anfangsgesch.	Elevat. Winkel	Schufsweite	Berechnete im Vacuo
	7°,25	1680	13959
1030	15,00	2310	27918
	24,2	2364	41877
	45	2090	55836

Ueber die Schufsweiten des groben Geschützes bei *geringen Elevationen* theilt de Morla[1] viele Erfahrungen mit, unter denen diejenigen wohl die wesentlichsten sind, welche 1784 zu Barcellona aus einer Menge von Versuchen erhalten wurden. Im Mittel gaben

	24 pfünd. Kanone		16 pfünd. Kanone	
Elevat. Winkel	Ladungen	Schufsw.	Ladungen	Schufsweiten
12,°5	16 Pfd.	9798 F.	10,3 Pfd.	8592 F.
10,0	9	7596	6,0	7572
9,0	16	7686	10,3	7572
9,0	9	7506	6	6870
6,0	12	6120	8	5646
5,0	9	5286	6	5202
3,0	12	3942	8	3912
3,0	9	3870	6	3828
0	12	348	8	318

Selten sucht man mit Kanonenkugeln eine grofse Weite durch den Bogenschufs zu erreichen, sondern meistens geschieht dieses mit Bomben, bei denen es des gröfseren Gewichtes wegen leichter ist, eine gröfsere Weite des Wurfes zu erhalten. Bei diesen kommt aber in Betrachtung, dafs sie hohl sind, und mit einer leichteren Masse gefüllt. Hutton wendet indefs die mitgetheilte Berechnungsart auch auf diese an. Behalten dann D, v und h ihre Bezeichnungen, heifst

1 Lehrbuch der Artilleriewissenschaft II. 121 ff. Die meisten Versuche findet man in Scharnhorst Handbuch der Artillerie 2 Bde. herausgegeben von Hoyer. Hann. 1817 und 1820.

ferner der Durchmesser des Mörsers D′; das Gewicht der leeren Bombe p; das Gewicht der gefüllten p′; das Gewicht einer gleich grofsen Kanonenkugel p″, so gehören folgende Werthe zusammen.

D	D′	p	p′	p″	v	h
4,53	4,6	8,3	9,0	12,75	318	1580
5,72	5,8	16,7	18,0	25,50	356	1980
7,90	8,0	43,8	47,0	67,00	420	2756
9,84	10,0	85,5	91,5	130,00	468	3422
12,80	13,0	187,8	201	286,00	534	4430

Auf welche Weise die Gröfsen in dieser Tabelle gefunden sind, ist an sich klar. Die Werthe von v aber sind auf folgende Weise gefunden. Das Verhältnifs einer gefüllten Bombe zu einer gleich grofsen Kugel ist 1 : 1,42. Hiernach wird aus der oben gegebenen Formel $v = 178\sqrt{D}$ für Bomben $v = 178\sqrt{\frac{D}{1,42}}$. Der Gebrauch dieser Tabelle ist wiederum nicht schwierig. Wäre z. B. eine 13 zöllige Bombe mit einer Anfangsgeschwindigkeit vor 2000 F. geworfen (welche Hutton für die gröfste erreichbare hält), so ist für diese $v = 534$; und $\frac{v'}{v} = \frac{2000}{534} = 3,746$ welche in der Tabelle einem Elevationswinkel von 35° 0′ zugehört. Die nebenstehende Zahl $m = 2,8515$ mit der in der letzteren Tabelle unter h befindlichen Zahl $= 4430$ multiplicirt giebt 12632 F. als gröfste Weite des Wurfes.

Hutton erkennt selbst an, dafs die Franzosen namentlich bei der Belagerung von Cadix die Bomben viel weiter warfen, indem sie sich des Hülfsmittels bedienten, die Bomben mit Blei auszugiefsen, wodurch sie viel weiter als massive eiserne Kanonenkugeln geworfen werden konnten. Will man dieses Hülfsmittel auf ein allgemeines Gesetz bringen, so sei überhaupt das Gewicht der eisernen Kugel $= p$; einer Kugel von einer andern Masse $= p'$ und $\frac{p}{p'} = q$, wonach die Endgeschwindigkeit $v = 178\sqrt{\frac{D}{q}}$ wird. Dieses auf den

vorliegenden Fall angewandt, ist der Durchmesser der Höhlung einer 13 zölligen Bombe = 9 Z. Eine Bleikugel von diesem Durchmesser wiegt 139,3 Pfd., dazu das Gewicht der Bombe selbst = 187,8 Pfd. zusammen 327 Pfd. = p'; das Gewicht einer gleichgrofsen eisernen Kugel = 286 = p. und $\frac{p}{p'} = 0{,}8783 = q$. Indem aber D = 12,8 Z. ist, so wird $v = 178 \sqrt{\frac{D}{q}} = 680$ und $h = \frac{680^2}{64} = 7225$ (die Fallhöhe g = 16 Lond. F. angenommen). Ist dann v' = 2000 F., so ist $\frac{v'}{v} = \frac{2000}{680} = 2{,}941$, welche Zahl in der Tabelle den Elevationswinkel = 37° 20' durch Interpolation giebt, und einem Werthe von m = 2,2153 zugehört. Es ist aber 7225 × 2,2153 = 16005 F. die gröfste Wurfweite[1].

Welche Weiten und Höhen Kugeln und Bomben, unter beliebigen Winkeln geworfen, erreichen, ist sonach bis jetzt weder durch Theorie noch durch Erfahrung genügend aufgefunden. Indefs ergiebt sich aus beiden, dafs Kugeln von gleicher Dichtigkeit, unter dem nämlichen Elevationswinkel und bei Geschwindigkeiten, welche den Quadratwurzeln ihrer Durchmesser proportional sind, ähnliche Curven beschreiben, ein Resultat, welches auch schon DE BORDA fand[2]. Die Berechnung der umfassenden Woolwicher Versuche, bei einem Elevationswinkel von 45° angestellt, welcher der Theorie nach dem weitesten Wurfe zugehört, und mit einer 24 pfündigen Kugel giebt die in folgender Tabelle zusammengestellten Resultate, worin v' die Anfangsgeschwindigkeit, w die Weite des Wurfes im leeren Raume, w' in Luft von gleicher Dichtigkeit und w'' mit Rücksicht auf die nach oben abnehmende Dichtigkeit der Luft, h aber die erreichte Höhe, sämmtliche Gröfsen in Lond. Fufsen, bedeuten.

---

1 DE MORLA Lehrbuch II. 151 giebt an, dafs diese durch den General RUTY geworfenen Bomben von 106 Pfd. und durch das Blei bis 181 Pfd. gebrachtem Gewichte auf 14700 bis 16740 F. getrieben wurden, wobei aber ihre Seitenabweichung 1200 bis 1800 F. betrug.

2 Mém. de l'Ac. 1768. p. 265.

v^I	w	w^I	w^{II}	h
200	1245	960	990	300
400	4966	3000	3057	900
600	11193	4173	4257	1200
800	19896	5061	5157	1392
1000	31086	5520	5634	1545
1200	44766	5802	5934	1683
1400	60930	6234	6387	1818
1600	79584	6618	6792	1950
1800	100722	6978	7173	2082
2000	124350	7314	7530	2214
2200	150465	7626	7866	2334
2400	179064	7920	8178	2448
2600	210150	8202	8469	2556
2800	243723	8481	8748	2661
3000	279786	8745	9006	2766
3200	318333	8985	9258	2988

Die Anwendung dieser Tabelle ist leicht. Gesetzt es wäre die Weite des Wurfes und die Höhe einer 12 pfündigen Kugel unter dem nämlichen Winkel, nämlich von 45° Elevation über den Horizont und mit 1600 F. Anfangsgeschwindigkeit geworfen zu bestimmen, so erhält man die correspondirende Geschwindigkeit der 24 pfünd. Kugel durch folgende Proportion: Die Durchmesser beider sind 5,546 und 4,403 Z. und da die Curven ihrer Bahnen ähnlich sind, wenn die Geschwindigkeiten sich verhalten wie die Quadratwurzeln der Durchmesser, so ist $\sqrt{4,403} : \sqrt{5,546} = 1600 : x$; also $x = 1796$. Für diese Geschwindigkeit in der vorstehenden Tabelle die Weiten und Höhen durch Interpolation gesucht, giebt 7158 und 2076 F., mithin ist für die 12 pfünd. Kugel

$$5,546 : 4,403 = 7158 : 5682$$
$$5,546 : 4,403 = 2076 : 1647$$

also 5682 F. die Weite des Wurfes und 1647 F. die erreichte Höhe.

Sollen beide Gröfsen für Bomben gefunden werden, so ist zugleich das verschiedene Gewicht beider nach der angegebenen Methode zu berücksichtigen. Wären z. B. beide

Gröfsen für eine 13 zöll. Bombe mit 2000 F. Anfangsgeschwindigkeit abgeschossen zu finden, so ist $\sqrt{12,8} : \sqrt{5,546} = 2000 : 1317$ die der 24 pfündigen Kugel zugehörige Anfangsgeschwindigkeit. Indem aber nach der oben angegebenen Regel, dafs allgemein für Körper von verschiedener Gröfse und verschiedenem Gewichte die Geschwindigkeiten im Verhältnifs von $178\sqrt{D} : 178\sqrt{\frac{D}{q}}$ stehen, oder wenn blofs das geringere Gewicht der gefüllten Bomben zu gleich grofsen Kugeln $= 1 : 1,42$ zu berücksichtigen ist, allezeit im Verhältnifs von $178 : 178\sqrt{\frac{1}{1,42}}$ d. i. von 178 : 149,4 zu nehmen sind, so ist $1317 \times \frac{149,4}{187} = 1105$ d. i. die auf eine 24 pfünd. Kugel reducirte Geschwindigkeit. Hierzu gehören in der vorstehenden Tabelle durch Interpolation 5790 und 1617; mithin ist

5,546 : 12,8 = 5790 : 13365 = Weite des Wurfes;
5,546 : 12,8 = 1617 : 3732 = gröfste Höhe.

Zu gröfserer Vollständigkeit wäre die mühsame Arbeit erforderlich, für jeden Elevationswinkel eine ähnliche Tabelle zu berechnen, wenn man anders die vorstehende mit der Erfahrung übereinstimmend ansehen darf[1].

Zur Vergleichung können die durch Bezout angeführten Resultate der Versuche zu La Fere auch rücksichtlich auf Bomben dienen. Eine Bombe, 142 Pfd. schwer, 11 Z.

---

1 Vergl. aufser den angeführten Schriften eine ziemlich vollständige Abhandlung über diesen Gegenstand mit etwas andern Zahlengröfsen von Hutton in Course of Mathematics u. s. w. Lond. 1810. — 13. III. Vol. 8. III. 268 ff. Prony Leçons de Mécanique analytique. Par. 1815. 2 Vol. 4. II. 133 — 160. Am vollständigsten durch Benutzung früherer Werke, insbesondere auch Hutton's, ist Recherches Balistiques sur les vitesses initiales, le recul, et la résistance de l'air; par L. M. Prosper Coste cet. Par. 1823. 8. mit angehängten Tabellen für den praktischen Gebrauch der Artillerie. Unter den älteren Werken ist schätzbar A. V. Papacino d'Antoni phys. math. Grundsätze der Artillerie u. s. w. Aus dem Ital. mit Anm. von G. F. Tempelhof. Berl. 1768. 8. G. Vega's pract. Anweisung zum Bombenwerfen, vermittelst dazu eingerichteter Hülfstafeln. Wien 1787.

Universitäts- und Landesbibliothek Düsseldorf

10 L. Durchmesser haltend und mit 3,75 Pfd. Pulver geworfen, gab folgende zugehörige Werthe, wenn a. el. den Elevationswinkel, w' die Weite des Wurfes in par. Fufs und t die Zeit des Fluges in Secunden bedeuten.

a. el.	w'	t	a. el.	w'	t
10°	1434	4,00	45°	3090	15,2
20	2484	7,33	50	2982	16,0
30	2994	10,75	60	2682	19,3
40	3408	14,66	70	1986	22,0
43	3144	14,00	75	1620	22,0

Nach DE MORLA[1] geben die neuesten Beobachtungen der mit den englischen Seemörsern erhaltenen gröfsten Wurfweiten folgende zusammengehörige Resultate

13 zöll. Bomben			10 zöll. Bomben		
Ladungen in Pfd.	Zeit des Fluges in Sec.	Wurfweiten in engl. Fufs.	Ladungen in Pfd.	Zeit des Fluges in Sec.	Wurfweiten in engl. Fufs.
10	15,0	9381	4	22,5	7650
15	19,5	9618	6	23,0	7950
20	25,0	9900	8	23,5	8400
25	26,5	10230	9	24,25	9000
28	27,5	11388	10	25,0	9600
30	29,0	12000	11	25,5	10050
30	29,5	12039	12	26	10500

Bedeutende Erweiterungen und Verbesserungen des Geschützes, namentlich des groben, sind schwerlich zu hoffen, am wenigsten von der Anwendung der Dämpfe, namentlich des Wassers, welche schon Papin und Vauban in Vorschlag brachten. Wahrscheinlich giebt es auch keine explodirende Mischung, von welcher sich gröfsere Effecte erwarten lassen, als vom Schiefspulver in derjenigen Vollkommenheit, deren dasselbe durch sorgfältige Bereitung und das gehörige Mischungsverhältnifs fähig ist. Das Einzige, und wahrscheinlich ohne unüberwindliche, selbst ohne sehr bedeutende Schwierigkeiten zu erreichende Mittel, um die Anfangsge-

1 a. a. O. II. 217.

schwindigkeit der Kugeln möglichst gleichförmig zu machen und hierdurch einer sicherern Bestimmung der Kugelbahn mindestens näher zu kommen, zugleich aber die Schufs- und Wurf-Weiten ansehnlich zu vergröfsern, liegt wohl höchst wahrscheinlich in der Anwendung des bei Jagdgewehren eingeführten Zündpulvers (Zündkrautes)[1], wodurch theils ein schnelleres und allgemeineres, von der Mitte des Schiefspulvers ausgehendes Verbrennen desselben erreicht, theils der sehr starke Verlust des Pulverdampfes durch das Zündloch vermieden werden könnte. *M.*

Barometer.

Baroskop, Luftwaage, Schweremesser, Luftschwere-Messer, Wetterglas, Torricellische Röhre; *barometrum, baroscopium, tubus Torricellianus;* Baromètre; baroscope; *Barometer;* von *βάρος* Schwere und *μέτρον* Mafs; heifst ein Schweremesser, und bezeichnet dasjenige Werkzeug, womit man den Druck der den Erdball umgebenden atmosphärischen Luft, oder der Atmosphäre mifst. Das Princip, wonach dasselbe construirt wird, ist das bekannte hydrostatische, dafs nämlich der Druck zweier Flüssigkeiten in einer communicirenden Röhre gleich ist, beide daher im Gleichgewichte sind, wenn ihre Höhen sich umgekehrt verhalten, wie ihre spec. Gewichte. Indem man daher den Druck der Atmosphäre von dem jedesmaligen Beobachtungsorte an bis an die Grenze derselben messen will, so ist hierzu erforderlich, dafs man irgend eine andere Flüssigkeit rein und ohne Beimischung von Luft in den einen Schenkel einer communicirenden Röhre bringe, in den andern aber Luft, und indem diese ohnehin den ganzen Raum über der Erde erfüllt, so kann man den ihr gehörenden Schenkel abschneiden, und willkührlich kurz machen; überhaupt ist die Form, Weite und

---

1 Vergl. K. Karmarsch in Jahrbücher d. k. k. polytechnischen Institutes in Wien 1824. V. 54. Daselbst ist indefs eine Mischung der Zündkügelchen aus 2 Th. Brugnatellischem Knallsilber, 6 Th. Chlorkalium, 4 Th. feinem gewaschenem Sande, 4 Th. gewöhnlichem Schiefspulver und 3 Th. Schwefelblumen, mit etwas Gummiwasser zu Kügelchen geformt, nicht angegeben.

Richtung beider Schenkel nach dem zum Grunde liegenden Principe ganz gleichgültig, wenn man nur dafür sorgt, dafs der Druck der atmosphärischen Luft die gewählte Flüssigkeit in dem einen Schenkel der communicirenden Röhre balancirt, und durch die Höhe der letzteren gemessen werden kann. Wenn man von diesem einfachen Grundsatze ausgeht, so übersieht man bald, dafs das Barometer ein vollkommenes absolutes Mefswerkzeug ist, weil es nach einem festen hydrostatischen Gesetze die gesuchte Gröfse genau angiebt; zugleich aber lernt man die vielen Unrichtigkeiten würdigen, welche die deutliche Kenntnifs seines Wesens sehr häufig zu verwirren pflegen. Wir wollen versuchen, die Theorie des Barometers und die Praxis seiner Anwendung aus diesem einfachen Grundsatze abzuleiten.

Es ist der Natur der Sache nach gleichgültig, welche Flüssigkeit man zum Messen des Luftdrucks nimmt, vorausgesetzt, dafs sich dem Wesen des Barometers zu Folge diese Flüssigkeit allein und ohne sonst etwas in dem einen Schenkel befindet. Wirklich hat man auch wiederholt sogenannte Wasserbarometer aus metallenen, vermittelst Leder zusammengeschrobenen, oben in eine Glasröhre endigenden blechenen Röhren bestehend verfertigt. Ein Werkzeug dieser Art zeigte Otto v. Guericke 1654 auf dem Reichstage in Regensburg[1], ein ähnliches gebrauchte Caspar Bertus in Rom, und brachte im oberen Raume ein Glöckchen mit einem durch einen Magnet beweglichen Hammer an, um durch das Tönen des ersteren die Theorie von der Torricellischen Leere zu widerlegen[2]; und selbst Hausen, Winkler und Ludwig stellten noch Versuche in Leipzig damit an[3]. Eben so könnte man Weingeist, Säuren u. s. w. nehmen; allein keine, bis jetzt bekannte Flüssigkeit aufser dem Quecksilber erfüllt die unnachläfsliche Bedingung bei der Construction dieses Werkzeugs, nämlich dafs sich eine Röhre mit derselben füllen und dann umkehren läfst, um durch den Gegendruck der Luft die zum Gleichgewichte mit derselben erfor-

---

1 G. Schott Technica curiosa cet. Norimb. 1664. 4. p. 25. 34.
2 G. Schott Mechanica hydraulico-pneumatica. Herbip. 1657. p. 308.
3 Gehler III. 45. Vergl. Kästner Anfangsgr. d. Math. V. 182.

derliche Höhe der Flüssigkeit zu erhalten, ohne dafs alsdann in den Raum über derselben andere Stoffe gelangen, welcher dem Wesen des Barometers nach ein *leerer Raum* seyn soll. Wasser, Weingeist, ätherische Oele, Säuren u. s. w. erzeugen Dämpfe, und bilden somit über der Säule der Flüssigkeit ein Medium von veränderlicher Elasticität[1], dessen Druck dem durch die atmosphärische Luft ausgeübten hinzuaddirt werden müfste, um den absoluten Druck der letzteren zu erhalten. Ist z. B. die Elasticität des Wasserdampfes bei 15° C. = 0,555 p. Z. Quecksilberhöhe, so würde das Wasserbarometer = 0,555 × 13,6 Z. = 7,548 Z. bei dieser Temperatur niedriger stehen, und diese Gröfse müfste auch bei vollkommen luftleerem Wasser zur Höhe der Säule desselben hinzuaddirt werden, um eine der Quecksilbersäule äquivalente zu erhalten[2]. Die fetten Oele enthalten, so lange sie frisch und dünnflüssig sind, Wasser, welches verdampft, und wenn sie dickflüssiger werden, fehlt ihnen schon hierdurch das wesentliche Erfordernifs der Flüssigkeit, wozu noch ein störendes Ankleben an die Wände der Röhren kommt. Abgesehen daher davon, dafs das Quecksilber eine kürzere, seinem spec. Gew. umgekehrt proportionale, und somit viel leichter zu beobachtende Säule bildet, erfüllt es allein die zum Wesen des Barometers erforderliche Bedingung bis auf die verschwindende Kleinigkeit einer aus der Capillardepression und der noch unbestimmten Elasticität der im Vacuo gebildeten Quecksilberdämpfe entstehenden Abweichung, wird daher ausschliefslich zu derselben genommen, und es ist demnach bei den folgenden Untersuchungen blofs vom *Quecksilberbarometer* die Rede.

Ein zweites, gleichfalls im Wesen des Barometers gegründetes Erfordernifs ist, dafs man die ganze lothrechte Länge der Quecksilbersäule von ihrem unteren bis zum oberen Niveau nach einem genauen, bestimmten und gangbaren Längenmafse messe, welche Messung um so viel besser seyn wird, je feinere Theile des gebrauchten Mafses man mit Ge-

---

1 S. *Dämpfe*. Vergl. Hildebrandt bei Gehlen IX. 541. das Wasserbarometer betreffend; bei Schweigg. I. 41. das Oelbarometer betreffend.

2 Vergl. Gilbert Ann. XV. 57.

nauigkeit anzugeben vermag. Ohne schon hier zu bestimmen, auf welche verschiedene Weise man dieses zu bewerkstelligen versucht habe, möge es vorläufig genügen zu bemerken, dafs jedes Längenmafs hierbei angewendet werden kann, vorausgesetzt, dafs die relative Gröfse desselben genau bestimmt und hierdurch mit andern vergleichbar ist, dafs aber alle willkührlichen Mafsbestimmungen z. B. Abtheilungen in Grade, oder die gangbaren Bezeichnungen von schön, beständig, veränderlich und dgl. mehr, welche sich auf die *Wetterveränderungen* beziehen, mit dem Wesen des Barometers im Widerspruche stehen, und blofs durch die Unbekanntschaft der ungebildeten Menge mit einem so allgemein verbreiteten Apparate sich fortwährend im Ansehen erhalten.

Man erklärte seit Aristoteles alle Erscheinungen der Saugpumpen[1] und die mannigfaltig veränderten Anwendungen des Hebers[2] aus einem Abscheu der Natur gegen den leeren Raum, eine scholastische sogenannte qualitas occulta (*horror vacui*), und dieser Irrthum konnte sich um so leichter erhalten, da alle Wasserleitungen der Römer, ihrer Pracht und Kostbarkeit ungeachtet, einfache geneigte Ebenen waren, bei denen die hydrostatischen und hydraulischen Gesetze kaum in Betrachtung kamen. Als indefs ein Gärtner in Florenz eine sehr genau gearbeitete Wasserpumpe über 40 Palmen hoch gemacht hatte, und das Wasser in derselben des leeren Raumes ungeachtet nicht über 18 Ellen oder 32 par. F. steigen wollte[3], glaubte Galilei, dem dieses Problem vorgelegt wurde, der Abscheu der Natur gegen den leeren Raum habe seine Grenzen, und wollte hieraus die verschiedene Stärke der Cohäsion erklären, obgleich ihm die Schwere der Luft bekannt war, welche er für 400mal leichter als das Wasser hielt[4]. Sein Schüler und Nach-

---

1 Aristot. Phys. L. IV. cap. 6.

2 Heronis Alex. Spirit. Par. 1593. fol. Amst. 1680. 4.

3 Ren. Cartesii Epistolae Amst. 1682. III. Vol. 4. II. 91; 94; 96. III. 102.

4 Galilei Discorsi e Demonstrazione matematiche intorno a due nuove science. Leid. 1638. Biot Traité I. 69. glaubt, Galilei habe die Sache richtig eingesehen, und sich nur über die Brunnenmeister lustig machen

folger, Evangelista Torricelli, setzte die Untersuchungen weiter fort, und um auf eine schon vorher durch Galilei angegebene Weise einen leeren Raum zu erhalten, füllte er eine am oberen Ende zugeschmolzene Glasröhre anstatt mit Wasser mit Quecksilber, verschlofs das offene Ende mit dem Finger, drehete sie dann um, indem er das offene Ende in ein Gefäfs mit Quecksilber senkte, und wurde auf diese Weise 1643 Erfinder der nach ihm benannten *Torricellischen Röhre* und *Leere*. Die Bemerkung, dafs die Länge der Quecksilbersäule bei diesem Versuche mit dem spec. Gew. des Quecksilbers multiplicirt gerade die Höhe gab, bis zu welcher das Wasser in der Saugpumpe gestiegen war, führte ihn auf den richtigen Schlufs, dafs ein dem jederzeitigen Drucke der Flüssigkeit proportionaler Gegendruck der Luft der Grund dieser Erscheinung sey. Er theilte seine Ansichten dem P. Mersenne mit, durch welchen sie Pascal und Cartesius kennen lernte, und obgleich ersterer noch die Lehre von einem horror vacui vertheidigte[1], so wurde er doch vermuthlich durch letzteren in dieser Ansicht wankend gemacht, und hatte den glücklichen Gedanken, dafs der Streit durch ein sicheres Experiment leicht entschieden werden könne. Ist nämlich die Erscheinung der torricellischen Röhre eine Folge des statischen Druckes der atmosphärischen Luft, so mufs die Quecksilbersäule kürzer werden, sobald man sich durch Aufsteigen auf einen hohen

---

wollen. Allein dazu war der Gegenstand zu ernsthaft, und aufserdem beweisen die beiden, zuletzt angeführten Werke das Gegentheil. Vergl. *Montucla* Hist. des Math. II. 203. Dafs übrigens Galilei die Luft für schwer hielt, ist nicht zu verwundern, indem diese Behauptung vom Aristoteles herrührte (S. *Luft*), auch scheint es, als wenn er beim Aufsteigen des Wassers in der Saugpumpe allerdings an den Luftdruck dachte. Er giebt auch das Wasserbarometer als das geeignete Werkzeug an, um dieses zu zeigen, hält aber die Sache an sich für so klar, dafs es eines solchen Beweises nicht bedürfe. Wahrscheinlich wurde er zu dieser Ueberzeugung durch das Nachdenken über das erwähnte Phänomen geführt, konnte aber wegen der Unbehülflichkeit des Wasserbarometers die Sache weder sich noch andern anschaulich machen, und dieses geschah erst durch Torricelli, welcher also den Versuch ohne Zweifel nicht vom Honoratus Fabri entlehnte. S. Schott Techn. Cur. III. am Ende.

1 Experiences nouvelles touchans le vuide. Par. 1645.

Berg der Grenze der Luft mehr nähert, oder die auf den andern Schenkel drückende Luftsäule verkürzt. Diesemnach veranlafste er 1648 seinen Schwager Perrier zu Clermont in Auvergne, ein Barometer auf den etwa 500^t hohen Puy de Dome zu tragen, welcher denn allerdings fand, dafs die Quecksilbersäule dort gegen 3 Z. kürzer war, und hiermit den ersten rohen Versuch einer barometrischen Höhenmessung anstellte. Pascal wiederholte den Versuch im Kleinen, indem er mit einem Barometer den Thurm der Kirche St. Jacques bestieg, und die Quecksilbersäule um einige Linien sich verkürzen sah[1], und überzeugte sich hierdurch vollständig von der Richtigkeit der Torricellischen Erklärung, desgleichen auch dadurch, dafs die Quecksilbersäule in der Röhre sich verkürzte, wenn er das Gefäfs, worin sie eingesenkt war, verschlofs, und die Luft in demselben durch Saugen verdünnte. Torricelli starb 1647 und erlebte daher den Ausgang dieser Untersuchungen nicht, auch erschien das classische Werk, worin Pascal die ganze Theorie vom Drucke der atmosphärischen Luft wissenschaftlich entwikkelte[2], erst nach dem Tode des letzteren, welcher am 19. Aug. 1662 erfolgte[3]. Bis dahin hatte man sonst noch die Theorie von einem horror vacui zu erhalten gestrebt[4], allein der torricellische Versuch wurde bald sehr allgemein nachgemacht, z. B. 1653 durch Dr. Power in England und 1661 durch Sinclair, Prof. in Glasgow[5], früher schon durch Pec-

1 Montucla Hist. des Math. II. 205.

2 Traité de l'Équilibre des Liqueurs et de la Pesanteur de la Masse de l'air. Par. 1663. 12.

3 Vergl. la Hire in Hist. de l'Acad. 1706. Cartesius behauptete später, dafs er die Idee des Versuches, das Barometer auf einen Berg zu tragen, dem Pascal ein Jahr vor der Ausführung angegeben habe. Allein der Brief, worin er dieses erwähnt, ist vom 11. Jun. 1649. Renat. Cartesii Ep. III. ep. 67. Ueberhaupt suchte Cartesius sich später das Ansehen zu geben, als habe er schon vor Torricelli das dem Galilei vorgelegte Problem richtig erklärt, was aber bei den lange dauernden Verhandlungen darüber durchaus unwahrscheinlich ist. R. Cart. Ep. III. 102. II. 91; 94; 96. Montucla Hist. II. 205.

4 Schott Mechanica hydraulicopneumatica. Herbip. 1657. 4.

5 Ars nova et magna gravitatis et levitatis. cet. Roterod. 1669. 4. Von ihm erhielt das Werkzeug den Namen Baroskop.

Universitäts- und Landesbibliothek Düsseldorf

KET und die Mitglieder der Akademie del Cimento[1], so wie durch viele andere. Die eigentliche Bestimmung desselben wurde erkannt, als PASCAL den bekannten Versuch durch PERRIER hatte anstellen lassen, die erhaltenen Resultate bekannt machte, und hierdurch die Theorie desselben begründete. Von dieser Zeit an darf man die Einführung desselben als physikalischen Apparat datiren.

Um zu beweisen, dafs die Erscheinungen am Barometer Wirkungen des Luftdrucks sind, erdachte AUZOUT einen sehr sinnreichen Apparat[2]. Das luftdichte Gefäfs e g h c ist mit den beiden Glasröhren a b, c d versehen, und ganz mit Quecksilber gefüllt. Beide Röhren sind über 29 Z. lang, und die eine ist bei d verschlossen. Kehrt man den Apparat um, so dafs er in die Lage kommt, wie die Zeichnung sie darstellt, und das offene Ende im Quecksilbergefäfse o p steht, so wird das Quecksilber bis zur Höhe von 28 Z., also bis m n im Gefäfse, in der obern Röhre aber ganz herabsinken. Wird dann in das Gefäfs bei g ein kleines Loch gemacht, so dafs Luft eindringt, so steigt sogleich das Quecksilber in der oberen Röhre bis i, und fällt aus der unteren ganz herab, so dafs man also den Luftdruck als eigentliche Ursache des Barometers sichtbar wahrnimmt. Fig. 129.

Das Barometer wird zu so mannigfaltigen Zwecken, insbesondere aber als Beobachtungswerkzeug für die Meteorognosie von so vielen Personen gebraucht, dafs hieraus wahrhaft zahllose Vorschläge zur Construction desselben entstanden sind, welche sämmtlich aufzuführen, zweckwidrig seyn würde, und es mag daher genügen, die vorzüglichsten derselben nahmhaft zu machen, und ihre Brauchbarkeit anzudeuten. Zur leichteren Uebersicht kann man dieselben auch nach ihren Bestimmungen classificiren, indem sie entweder zu *Wetterbeobachtungen* dienen sollen, oder zu *Höhenmessungen*, oder auf Schiffen zur *Vorausbestimmung der Stürme*,

---

1 Musschenbroek Tentam. Experim. cet. p. 49. Valerianus Magnus in Warschau will der Erfinder dieses Versuches seyn, lernte ihn aber ohne Zweifel in Rom kennen. S. Robison System cet. III. 533.

2 System of Mechanical Philos. by J. Robison, with Notes by D. Brewster. Edinb. IV. Vol. 8. III. 538.

Universitäts- und Landesbibliothek Düsseldorf

und, obwohl ihrem Wesen nach nicht verschieden, doch für den näheren Zweck besonders construirt zu werden pflegen.

Fig. 130. Das einfachste Barometer ist die ursprünglich von Torricelli gebrauchte, und nach ihm benannte Röhre mit Quecksilber gefüllt, und in einem Gefäfs mit Quecksilber umgekehrt. Zu demselben wird viel Quecksilber erfordert, es ist unbequem zu transportiren, das Quecksilber im offenen Gefäfse wird nach hinzugekommener Feuchtigkeit leicht oxydirt und mit einer Menge Staub bedeckt. Will man dasselbe aber nicht transportiren, und kann man das Gefäfs durch Ueberbinden eines feinen Leders gegen Feuchtigkeit und Staub sichern, so bleibt diese Einrichtung eine der vorzüglichern. Nach der richtigen Theorie mufste man bald darauf

Fig. 131. verfallen, die Röhre heberförmig umzubiegen, eine neuerdings insbesondere durch DE Lüc sehr empfohlene Einrichtung, welche ganz dem Wesen des Werkzeugs entspricht. Weil aber die Veränderung der Länge der Quecksilbersäule, wenn man den längeren Schenkel allein beobachtet, nur die Hälfte der ganzen Verlängerung oder Verkürzung derselben durch den veränderten Luftdruck beträgt, die Beobachtung beider Schenkel aber mühsam ist, und man für Wetterbeobachtungen vorzüglich grofse Unterschiede der Barometerstände zu haben wünschte, so änderte man die ursprüngliche

Fig. 132. Einrichtung dahin ab, dafs man das Quecksilbergefäfs an die Röhre ankittete, oder die Röhre heberförmig umbog, und an dieselbe eine Kugel oder Flasche statt des Gefäfses

Fig. 133. anschmolz. Hieraus erwuchs der Vortheil, dafs man das ganze Barometer auf ein Brett befestigen, auf dieses eine Scale auftragen, und das Ganze leichter transportiren konnte, weswegen diese Einrichtung auch noch jetzt bei den gewöhnlichen, zu oberflächlichen Wetterbeobachtungen dienenden Barometern die gemeinste und auch bequemste ist. Man nennt sie *Gefäfsbarometer*, *Kapselbarometer*, *Flaschenbarometer*. Zur bestimmteren Bezeichnung werden wir das erstere *Gefäfsbarometer*, das letztere *Flaschenbarometer* nennen.

Das Bestreben, die geringen Veränderungen der Länge der Quecksilbersäule im vergröfserten Mafsstabe zu messen,

veranlafste verschiedene Abänderungen. Am ältesten unter diesen ist der Vorschlag des Cartesius[1], am oberen Ende des Barometers die Röhre zu erweitern, und an diese Erweiterung eine noch engere Röhre zu schmelzen, dann aber den Raum IJ über dem Quecksilber mit einer gefärbten Flüssigkeit, Wasser oder Weingeist, anzufüllen, damit diese bei Veränderung des Quecksilberstandes in der Erweiterung einen so viel gröfseren Raum in der engeren Röhre durchliefe, je ungleicher das Verhältnifs ihrer Durchmesser wäre. Es bedarf indefs blofs der Bemerkung, dafs diese Einrichtung dem Wesen des Barometers geradezu widerspricht, auch bemerkte dieses schon Huygens[2], und construirte nach einer ähnlichen Theorie das nach ihm benannte Huygenssche Doppelbarometer. Soll dasselbe genau seyn, so wird hierzu die Gleichheit der beiden Erweiterungen s und s' erfordert, und die Länge der Abtheilungen, welche die in der engen Röhre f befindliche Flüssigkeit durchläuft, ist dem Quadrate ihres Durchmessers, dividirt in das Quadrat des Durchmessers der Erweiterung s' proportional. Könnte man den Druck der leichteren Flüssigkeit auf das Quecksilber im Gefäfse s', und somit auch den Einflufs desselben auf die Länge der Quecksilbersäule vernachlässigen, so wäre, wenn die Veränderung der letzteren Δ; die der Flüssigkeit im engeren Schenkel Δ'; der Durchmesser des letzteren d; des Gefäfses D gesetzt wird, $\Delta' = \Delta \frac{D^2}{d^2}$. Man mufs indefs nicht blofs diesen veränderlichen Druck der leichteren Flüssigkeit in der engeren Röhre f, sondern auch die ungleiche Ausdehnung dieser und des Quecksilbers durch die Wärme berücksichtigen. Mehrere Gelehrte haben Formeln für diese Correctionen angegeben, z. B. Huygens[3], Desagüliers[4], de la

Fig. 134.

Fig. 135.

1 Pascal Traité de l'équilibre. Par. 1663. p. 207.

2 Mém. de l'Ac. X. 375. Journ. des Savans 1672. p. 139. Vergl. la Hire in Mém. de l'Ac. 1708. p. 154. Hugenii opp. var. ed. s'Gravesande. L. B. 1724. 4. I. 277. Pfleiderer Thesium inaug. pars mathem. phys. Tub. 1789. 4. Thes. XIX.

3 a. a. O. p. 278.

4 Cours de Phys. II. lect. X. annot. 4. p. 398.

Hire[1] und Gehler[2]. Am gründlichsten ist aber diese Untersuchung angestellt, und das ganze Barometer geprüft durch G. G. Schmidt[3]. Es sey daher nach diesem das Verhältnifs der Querschnitte der Cylinder s und s' zur Röhre f $= m^2 : 1$; das Verhältnifs des spec. Gew. von Quecksilber zur Flüssigkeit in der Röhre f sey $= p : q$; die Länge der Quecksilbersäule vom Niveau des Cylinders s bis zu dem des Cylinders s' sey $= b$; die Veränderung des Barometerstandes $= d\beta$; die Veränderung des Standes der Flüssigkeit in der engeren Röhre $= dy$, so ist $d\beta = db + dy\frac{q}{p}$ und $m^2 \frac{1}{2} db = dy$ oder $db = \frac{2\,dy}{m^2}$; folglich $d\beta = \frac{2}{m^2} dy + \frac{q}{p} dy$, also

$$\text{I. } dy = \frac{d\beta}{\frac{2}{m^2} + \frac{q}{p}}$$

$$\text{II. } d\beta = \left(\frac{2}{m^2} + \frac{q}{p}\right) dy.$$

Ist hierin m^2, p und q bekannt, so läfst sich leicht aus der Scale des einfachen Barometers die des doppelten nach I verzeichnen, und fände man diese Bestimmungen zu schwierig, so liefse sich die Scale auch empirisch aus einigen sehr genauen Beobachtungen finden, indem aus der Gleichung folgt, dafs bei unveränderten Gröfsen m^2, p und q sich dy wie $d\beta$ verhält, folglich die Scale des doppelten Barometers gleiche Theile bekommt. Ferner werden die Werthe von dy für einerlei $d\beta$ desto gröfser, je kleiner $\frac{2}{m^2} + \frac{q}{p}$ ist, und wäre $\frac{2}{m^2} = 0$ oder $m^2 = \infty$, so wäre $dy = d\beta \frac{p}{q}$.

---

1 Mém. de l'Ac. 1708. p. 158.

2 de Lüc Unters. üb. d. Atm. d. Ueb. I. 24 — 26.

3 G. XIV. 199.

Der Einfluss der Wärme des Quecksilbers und Weingeistes auf die Höhe des letzteren ist an sich unbedeutend, wird so viel geringer, je enger die Röhre f gegen den Cylinder s ist, und würde ganz wegfallen, wenn man eine Flüssigkeit von gleicher Ausdehnung nähme, als die des Quecksilbers. Schmidt hat gezeigt, wie man sie corrigiren kann, allein es würde aus den angegebenen Gründen überflüssig seyn, dieses hier zu wiederholen um so mehr als bis jetzt dieses Barometer nur noch zu meteorologischen Beobachtungen geeignet ist, mithin in der Regel im Zimmer hängt, wo sich die Temperatur nicht bedeutend ändert.

Huygens schlug vor, auf das Quecksilber gefärbten Weingeist zu giefsen, oder weil dieser leicht verdunstet, und durch Wärme sehr ausgedehnt wird, noch besser gefärbtes Wasser mit etwa $\frac{1}{8}$ Scheidewasser gemischt. Den Einfluss der Wärme hat man als eine vorzügliche Einwendung gegen den Gebrauch dieses Barometers vorgebracht, aber mit Unrecht. Um gegen die Verdunstung des Weingeistes zu sichern, hat man vorgeschlagen, eine dünne Schicht Oel über den Weingeist zu bringen, welche aber wegen unvermeidlicher Verdickung und Adhäsion, auch Beschmutzung des Glases überwiegenden Nachtheil bringen würde. Die Verdunstung ist in einer so engen Röhre an sich nicht stark, und kann durch Verschliefsung der Oeffnung mit einer kleinen durchlöcherten, in eine feine Spitze auslaufenden Kugel leicht Fig. vermieden werden. Der Einwurf, welchen man aus der 136. Adhäsion des Weingeistes an den Wänden des Glases hergenommen hat, ist der Erfahrung zu Folge durchaus unbegründet, und eben so wenig findet eine Beschmutzung der Röhre statt. Indem nun dieses Barometer nach dem Zeugnisse G. G. Schmidt's[1] so empfindlich ist, dafs es bei jedem heftigen Windstofse schwankt, so verdient es als meteorologisches Werkzeug insbesondere zur Beobachtung der Luftschwankungen weit mehr beachtet zu werden, als bisher der Fall war.

Man verfertigt dasselbe am besten aus einer gewöhnlichen, etwa 1,5 Lin. weiten Barometerröhre, die Cylinder s

1 G. XIV. 213.

und s' im Mittel 6 Lin., die Röhre f höchstens 0,5 Lin. weit, und giefst, nachdem das Barometer vorher gehörig ausgekocht und der mittlere Stand so hergestellt ist, dafs das Quecksilber im kürzeren Schenkel genau die Mitte des Cylinders s' erreicht, Weingeist mit Orseille oder Cochenille gefärbt, darauf, befestigt das so vollendete Barometer auf einem geeigneten Brette, zeichnet die Scale darauf, und giebt dann dem Ganzen einen festen Platz an einer Wand, welche gegen die gerade auffallenden Sonnenstrahlen geschützt ist. Da die Scale nach der Formel I gezeichnet werden mufs, so ist es erforderlich, das die bei jedem Individuo verschiedenen Gröfsen m^2 und q bekannt sind. Findet man die Construction der Scale nach dieser Formel zu schwierig, so läfst sich dieselbe auch aus zwei genau beobachteten, etwa 1 Z. verschiedenen Ständen eines guten Barometers empirisch verfertigen. Als Beispiel möge indefs folgende Rechnung dienen, worin die Werthe von m^2 und q im Mittel nahe genau genommen sind. Es sey der Durchmesser des Cylinders = 6 L. der engen Röhre f = 0,5 Lin. das spec. Gew. des Quecksilbers p = 13,5 des gefärbten Weingeistes q = 0,907, die Veränderung des Barometers $d\beta = 1$ Z., so ist nach der Formel I die Veränderung des Doppelbarometers, und somit auch die Länge der, einem Zoll Differenz des Barometerstandes zugehörigen Scale:

$$dy = \frac{1}{\frac{2 \cdot 0{,}5^2}{6^2} + \frac{0{,}907}{13{,}5}} = 12{,}3344 \ldots$$

oder aber, es werden $12\frac{1}{3}$ Zoll der Scale des Doppelbarometers einem Zolle der eigentlichen Scale correspondiren. Gesetzt es verdunstete von der Spiritussäule 1 Z., so wird bei einem spec. Gew. des Quecksilbers gegen denselben nahe 15 : 1 die Quecksilbersäule um $\frac{1}{15}$ Z. weniger gedrückt, und die Spiritussäule hiernach um $\frac{12{,}3}{15}$ wieder gehoben. Die entstandene Differenz beträgt also nur $\frac{2{,}6}{15}$, also nach der Scale des gemeinen Barometers $\frac{2{,}6}{15} \times \frac{1}{12{,}3}$ Z. d. i. 0,17

Lin., welches, an sich unbedeutend für Witterungsbeobachtungen, durch Nachsehen und wiederholtes Reguliren nach einem genauen Barometer, noch besser aber durch die oben angegebene Vorrichtung eines oben eingesetzten Kügelchens mit einer feinen Spitze und einem sehr kleinen Löchelchen vermieden werden kann. Bei einem hiernach also sehr nützlichen Apparate ist indefs ein Umstand wohl zu berücksichtigen. Man mufs nämlich denselben vor Bewegung in so weit hüten, dafs von dem im Gefäfse s' befindlichen Spiritus nicht etwas in die mit Quecksilber gefüllte Röhre dringe, weil dieser sonst in den leeren Raum aufsteigen, und das Werkzeug ganz unbrauchbar machen könnte, auch ist seiner grofsen Empfindlichkeit wegen nöthig, dafs es vorzüglich gutausgekocht sey.

Dr. Hooke[1] wollte dieses Barometer dadurch verbessern, dafs er vorschlug, auf die leichtere Flüssigkeit eine andere an Farbe verschiedene, von möglichst gleichem spec. Gew. als das des Weingeistes zu giefsen, welche in einem am Ende der Röhre f angebrachten gleich grofsen Cylinder, als s und s' endigen sollte, und dann die Barometerveränderungen an der Grenze beider leichteren Flüssigkeiten zu beobachten. Hierdurch sollte die Reibung der Flüssigkeit an den Wänden der Röhre stets gleich stark seyn. Es ist indefs oben schon angegeben, dafs diese Reibung (vielmehr Adhäsion) nicht bedeutend ist, aufserdem aber würde es schwer werden, zwei geeignete Flüssigkeiten ohne begleitende neue Hindernisse zu finden, die Verdunstung würde, wenn der obere Cylinder über f offen wäre, beträchtlicher seyn, die Berechnung der Scale aber leichter, wenn beide Flüssigkeiten gleich schwer wären, und das Gefäfs s' mit dem über f befindlichen gleichen Durchmesser hätte. In diesem Falle wäre nämlich der Druck der leichteren Flüssigkeit gegen die Quecksilbersäule eine unveränderliche Gröfse, und da beim Heberbarometer das Quecksilber nur um die Hälfte der wirklichen Verlängerung der ganzen Quecksilbersäule steigt und fällt, so würden n Zoll der gemeinen Scale $= n \frac{D^2}{2 d^2}$ bei der

1 Phil. Tr. N. 185. Philos. and exper. observations of Dr. Hooke p. 170. de la Hire a. a. O. Musschenbroek Intent. II. §. 2081. Pfleiderer a. a. O. Tub. 1790. Thes. XXXII.

des doppelten Barometers seyn. Eine nicht zweckmäfsige Abänderung dieses Barometers, welche Rowning [1] vorgeschlagen hat, verdient blofs beiläufig erwähnt zu werden. Fig. 137. Hiernach ist die Röhre G E mit der leichteren Flüssigkeit, wozu er Wasser vorschlägt, nicht aufwärts stehend, sondern herabgebogen. Man sieht aber bald, dafs hierdurch die Länge des Werkzeuges unnöthig vergröfsert wird, und aufserdem entsteht der Nachtheil, dafs sehr leicht etwas von der leichteren Flüssigkeit hängen bleibt und herabfliefst.

Von Hooke [2] ist auch das nach ihm benannte Radbarometer (*wheel barometer*, barometrum cyclicum) Fig. 138. beschrieben, welches man noch jetzt häufig, und nicht selten mit bedeutendem Luxus ausgeführt findet. Am zweckmäfsigsten wird dasselbe so construirt, wie das eben beschriebene Doppelbarometer, nämlich aus zwei weiteren Cylindern durch eine gewöhnliche Barometerröhre verbunden. Auf dem Quecksilber im Cylinder des kürzeren Schenkels schwimmt ein elfenbeinenes, steinernes oder eisernes Gewicht mit einem Faden, welcher um eine Welle des Zeigers geschlungen, und durch ein Gegengewicht balancirt ist. So wie das Barometer steigt oder fällt, sinkt das auf ihm schwimmende Gewicht, und treibt durch den Faden vermittelst der Welle den Zeiger herum, welcher die Zolle und Linien auf einem Zifferblatte anzeigt. Gewöhnlich läfst man das ganze Werkzeug in die Wand ein, so dafs blofs das Zifferblatt mit dem Zeiger sichtbar ist. Der Apparat ist empfindlich genug, kann indefs blofs nach einem richtigen Barometer empirisch regulirt werden, und ist rücksichtlich des Fadens und des Gewichtes, wenn es nicht von Eisen ist, dem Einflusse der Feuchtigkeit, wenn letzteres von Eisen ist, dem Rosten unterworfen. Aufserdem mufs der Zeiger genau balancirt seyn, damit sein eigenes Gewicht in verschiedenen Stellungen ohne Einflufs bleibt, so wie endlich auch die Reibung seiner Zapfen möglichst geringe seyn mufs. Dafs Hooke am Ende des längeren Schenkels eine Kugel anbrachte, war ganz ohne Nutzen, und ist von dem späteren Verbesserer des

1 Phil. Trans. N. 427.

2 Micrographia. Tab. XXXVII. Fig. 4. Phil. Tr. I. 218.

Werkzeuges, Fitz Gerald[1] nicht beibehalten. Von einer ähnlichen Einrichtung ist Coxe's perpetuum mobile, welches man in London für Geld sehen liefs. Ein riesenhaftes Barometer, aus einer sehr weiten Glasröhre bestehend, war so aufgehangen, dafs das untere Ende in eine Schüssel mit Quecksilber tauchte, welche beim Fallen des Barometers mehr, und beim Steigen desselben weniger Quecksilber enthielt. Indem der ganze Apparat zwei Ct. dieses Metalles hielt, so sank die durch Gegengewichte balancirte Schüssel herab, und setzte dadurch ein Gewicht in Bewegung, welches vermittelst eines künstlichen Mechanismus eine Uhrfeder spannte, wodurch eine Uhr bei mittlerer Veränderung acht Tage im Gange erhalten wurde. Die stärkste Differenz des Barometerstandes hob das Gewicht so hoch, dafs es für einen Monat ausreichte, und man konnte also mit Sicherheit darauf rechnen, dafs die Uhr nie still stand. Auf die Idee hat schon Becher hingedeutet[2].

Prony's Barometer an einem Waagebalken[3] hat eine ähnliche Einrichtung. Aus der Zeichnung ersieht man, dafs der verschiedene Stand des Quecksilbers in den Cylindern a und d die Arme des Waagebalkens ungleich beschwert, und man soll dann aus den zur Herstellung des Gleichgewichtes erforderlichen Gewichten die ungleichen Quantitäten des Quecksilbers in den Cylindern, und hiernach den veränderten Stand des Barometers bestimmen. Zur Vermeidung von Schwankungen dienen die Stützen h h, die Loupen bei g g zum feinen Ablesen der Abweichung des Waagebalkens von der horizontalen Lage, und das Werkzeug ist allerdings höchst empfindlich, aber so complicirt und für seinen Zweck so kostbar, dafs es keinen Platz unter den physikalischen Apparaten verdient. Es ist daher zu verwundern, dafs Landriani dasselbe in zwiefacher Gestalt abermals in Vorschlag gebracht hat[4]. Fig. 139.

Weit zweckmäfsiger, höchst empfindlich, weniger kostbar und ungleich leichter zu beobachten ist Morland's an

1 Phil. Tr. LI. 146. LX. 74.
2 Lichtenberg in Gött. Gel. Anz. 1775. p. 97.
3 Bulletin des Sciences. An. VII. p. 176. G. II. 312.
4 Brugnatelli Giorn. X. 189.

dem kürzeren Ende einer Schnellwaage aufgehangenes Baro-
Fig. meter (the steelyard Barometer)[1]. Die gefüllte Barometer-
140. röhre A hängt balancirt an dem kürzeren Arme des Hebels
m, dessen längerer Arm n Grade auf dem getheilten Bogen
f g durchläuft, wenn die Röhre durch vermehrten oder ver-
minderten Luftdruck eine längere oder kürzere Quecksilber-
säule enthält. Die Scale kann nicht füglich anders als em-
pirisch nach einem richtigen Barometer verzeichnet werden.

Sehr gebräuchlich sind Morland's schief gebogenes, und Bernoulli's rechtwinklich gebogenes Barometer. Ersteres ist auch von Ramazzini gebraucht[2], welchen Leupold[3] als Erfinder nennt, aber unter dem Namen des Morlandschen
Fig. allgemein bekannt. Aus der Zeichnung geht hervor, dafs
141. das Quecksilber oben in der gegen den Horizont geneigten Röhre einen gröfseren Raum durchläuft, als es in der geraden Fortsetzung durchlaufen würde. Nennt man den Winkel, welchen das gebogene Ende mit der Horizontalebene macht, α; den Raum, welchen das Quecksilber in der geraden Röhre einnehmen würde, a; denjenigen, welchen es in der geneigten Röhre einnimmt, b; so ist $a : b = \text{Tang. } \alpha : \text{Sec. } \alpha$. Man kann also die Scale der Röhre b leicht verzeichnen, wenn man $b = \frac{a}{\text{Sin. } \alpha}$ macht, oder aber man kann die Höhe der Quecksilbersäule in a aus dem Mafse von b leicht finden, wenn man $a = b \text{ Sin. } \alpha$ nimmt. Böge man das Rohr b in die horizontale Ebene, so wäre $\alpha = 0$, also $b = \infty$, woraus sich ergiebt, dafs man die vom Quecksilber durchlaufenen Räume willkührlich verlängern könnte, wenn die Quantität des Quecksilbers im Gefäfse nicht abnähme, und das ursprüngliche Niveau nicht verändert, mithin die Quecksilbersäule
Fig. überhaupt nicht verlängert würde. Das von Joh. Bernoulli
142. der Akademie in Paris vorgeschlagene Barometer[4] ist unten rechtwinklich umgebogen, und um eine gröfsere Menge Quecksilber zu haben, oben mit einem weiteren Cylinder

1 Hutton Dict. I. 207.
2 Ramazzinii Opp. Lond. 1718. 4. p. 213. Vergl. G. II. 334.
3 Theatr. aër. Cap. III.
4 Hermann Phoronomie. Amst. 1716. 4.

versehen. Indem also das aus diesem Gefäfse bei vermindertem Luftdrucke herabsinkende Quecksilber den horizontalen Schenkel erfüllt, so werden die oben und unten zu verzeichnenden Scalentheile sich umgekehrt wie die Quadrate ihrer Durchmesser verhalten, oder aber, wenn der Durchmesser des oberen Cylinders D, der horizontalen Röhre d heifst, so wird ein Theil a einer gewöhnlichen Barometerscale auf dem horizontalen Brette $= a.\frac{D^2}{d^2}$ seyn müssen. Beide Barometer erhalten also eine aus gleichen Theilen bestehende Scale, welche willkührlich vergröfsert werden kann, und sie würden daher ihren Zweck, kleine Veränderungen in grofsen Theilen anzuzeigen, vollkommen erreichen, wenn nicht die Bewegung des Quecksilbers durch die Umbiegung der Röhre zu sehr gehindert wäre. Uebrigens hat das Bernoullische darin einen Vorzug, dafs das Sinken des Quecksilbers im Gefäfse hierbei in der Scale selbst begriffen ist, beim Morlandschen aber in die Scale noch besonders aufgenommen werden müfste, bei beiden mufs aber beim Aufhängen die Neigung der umgebogenen Röhre gegen den Horizont genau berücksichtigt werden. Endlich pflegt man das Bernoullische noch mit einem kleinen Gefäfse B zu versehen, damit bei sehr niedrigem Stande kein Quecksilber ausfliefst.

Eine wesentliche Bestimmung des Barometers, nämlich das Messen der Höhen vermittelst desselben, ist vorzüglich erst nach den Untersuchungen von DE Lüc allgemeiner in Anwendung gekommen, und weil dieser dem Heberbarometer entschiedene Vorzüge in dieser Hinsicht beilegte, so pflegte man sich desselben vorzugsweise für diesen Zweck zu bedienen. Indefs bedient man sich auch des Gefäfsbarometers sehr häufig; und weil es für diese Bestimmung hauptsächlich darauf ankommt, dafs die hierzu angewandten Werkzeuge sich leicht und ohne Schaden transportiren lassen, so hat man sie auch Reisebarometer (baromètre portatif, *portable barometer*) genannt. Die wesentliche Aufgabe hierbei ist, dafs die Quecksilbersäule auf irgend eine Weise festgemacht wird, damit weder ein Theil des Metalles beim Transporte ausläuft, noch auch die ganze Säule bei den unvermeidlichen

Bewegungen des Apparates gegen das Ende der Glasröhre schlägt, diese zerschellet und somit das Ganze unbrauchbar macht. Die Aufgabe ist keineswegs leicht, weil das Quecksilber sich zugleich stärker ausdehnt als das Glas, und letzteres daher bei wachsender Temperatur zersprengt werden mufs, wenn die Quecksilbersäule fest abgeschlossen ist. Etwas Luft zur Compensation dieser Ausdehnung darf aber nirgend vorhanden seyn, weil diese sonst zu leicht in die Röhre gelangt, und somit das Wesen des Barometers aufhebt.

Es giebt eine sehr grofse Menge von Vorschlägen zur Verfertigung solcher Barometer, welche indefs sämmtlich entweder *Heberbarometer* oder *Gefäfsbarometer* sind. Der älteren Angaben[1] nicht zu gedenken hat vorzüglich DE LÜC's[2] Heberbarometer, und die Art, dasselbe zu verschliefsen, lange in Ansehen gestanden. Bei diesem wird der kürzere Schen-
Fig. kel B nahe über der Krümmung abgeschnitten, und durch
143. eine Hülse m n o p mit einem Guerikschen Hahne a c getrennt, so dafs dieser, nachdem man das Barometer geneigt hat, um das sämmtliche Quecksilber bis auf eine unbedeutende Kleinigkeit in die längeren Schenkel zu bringen, nach dem Umdrehen alle Gemeinschaft desselben mit dem kürzeren Schenkel abschneidet. DE LÜC machte die Hülse aus einem Kork, den Hahn aus hartem Holze, Elfenbein, oder Narwals-Zahn[3], andere verfertigten beides aus Holz, besser aus Elfenbein, oder zum noch sicherern Verschliefsen aus Eisen. Indefs ist entweder die Verschliefsung nicht fest genug, dann dringt durch häufiges Schütteln leicht etwas Quecksilber durch, und Luftblasen erheben sich neben der beweglichen Quecksilbersäule in den oberen Raum; oder sie ist vollkommen genau, und dann mufs die Röhre durch die

---

1 Leupold Theatr. aërost. Tab. IV. Fig. 3. 4. 5. Tab. VII. Fig. 5. Tab. VIII. Fig. 2. HOOK Micrographia. 1665. Tab. I. Fig. 1.

2 Recherches sur les Mod. de l'Atm. II. §. 464.

3 Vergl. Pictet in Bibl. Brit. XXII. 309, wo dasselbe ausführlich beschrieben ist. Zum Hahn soll nicht Elfenbein, sondern: un os de poisson, qui vient des mers du Nord, et qu'on trouve dans le commerce genommen werden. Dieser soll porös genug seyn, um so viel Quecksilber durchzulassen, als erforderlich ist, das Glas gegen das Zerspringen zu sichern.

Ausdehnung des Quecksilbers bei erhöheter Temperatur zerspringen. Um diesen Schwierigkeiten zu begegnen, bringt der Mechanicus Loos in Darmstadt an die eisernen Hähne, womit seine Heber- und Gefäfsbarometer verschlossen werden, einen mit dem Quecksilber des längeren Schenkels durch einen, nach dem Verschliefsen des Hahns geöffneten Canal in Verbindung gesetzten Behälter an, welcher aus einer messingnen, inwendig überfirnifsten, Kapsel und einem gewölbten Deckel aus Federharz besteht. Letzteres, an sich elastisch und durch Wärme ausdehnbar, giebt dem gleichfalls ausgedehnten Quecksilber nach, und sichert gegen das Zerspringen der Röhre. So vortrefflich diese Einrichtung ist, so theilt sie dennoch die Mangelhaftigkeit aller solcher Hähne, nämlich dafs sich an den Wänden der engen Canäle leicht Luftblasen ansetzen, und in das Barometer dringen, zugleich aber ist sie schwierig zu verfertigen, und deswegen kostbar.

Um die Schwankungen auf den Schiffen für die Barometer unschädlich zu machen verfiel Nairne auf den sinnreichen Gedanken, dem oberen weiten Theile der Röhre unterhalb der Mitte eine enge, von etwa 0,1 Z. Weite anzufügen, und diese in das Quecksilbergefäfs zu senken. Durch das wenige Quecksilber, welches hiernach aus der engeren Röhre in die obere weite gelangen kann, wird die Bewegung desselben und somit die Heftigkeit des Stofses gegen das Ende der Röhre bei den Schwankungen des Barometers geringer, und die Gefahr des Zerbrechens aufgehoben. Nairne verfertigte solche zuerst für den Capitän Phipps[1]. Durch gleiche Grundsätze geleitet schlug Gay-Lüssac ein Heberbarometer vor, welches sicher die vortheilhafteste Einrichtung hat, indem es Genauigkeit, Leichtigkeit und Wohlfeilheit mit vorzüglicher Sicherheit gegen Beschädigung verbindet. Es wird wie ein gewöhnliches Heberbarometer verfertigt, indem man, um gleiches Caliber zu erhalten, das oben abgeschnittene Ende der Röhre für den kürzeren Schenkel anschmelzt, beide Schenkel aber durch ein weites Haarröhrchen verbindet. Bei der Verfer-

Fig. 144.

1 Voyage to the North-Pole. p. 123. Vergl. La Perouse Voy. IV. 255. Cook's, Krusenstern's u. a. Reisen.

tigung bleibt der kürzere Schenkel offen und die ganze Röhre gerade, aufser derjenigen Biegung, durch welche die Axen beider Schenkel in eine gerade Linie kommen, damit beim Aufhängen die Falllinie mit dieser zusammenfällt, und hiernach das Barometer lothrecht hängt. Um das Auskochen zu erleichtern wird ein feiner Eisendraht durch die Oeffnung des unteren Schenkels bis ans Ende des Haarröhrchens geschoben, und erst nach dem Auskochen das Haarröhrchen in die gehörige Form gebogen, das obere Ende des kurzen Schenkels zugeschmolzen, dann das sehr feine Löchelchen, welches in der Figur angedeutet ist, in den kürzeren Schenkel gemacht, damit die Luft hierdurch Zutritt erhalte, ohne dafs Quecksilber herausfliefsen kann. Soll das Barometer auch in der horizontalen Lage bis zum Anfange des kurzen Schenkels mit Quecksilber gefüllt seyn, so wird etwas ausgekochtes Quecksilber durch das feine Löchelchen vermittelst der Erhitzung und Ausdehnung der Luft im kurzen Schenkel nachgefüllt, und dann die fertige Barometerröhre gehörig montirt[1].

Eine sehr einfache Vorrichtung, sowohl Heberbarometer, als auch Flaschenbarometer zu verschliefsen, hat Rosenthal[2] nach Schiavetto's Angabe in Vorschlag gebracht. Beim Flaschenbarometer nämlich verengert sich das Rohr da, wo es an die Kapsel geschmolzen ist, von selbst, beim Heberbarometer aber wird der kürzere Schenkel da, wo sich die Biegung endigt, etwas verengert. Alsdann befestigt man an einen dünnen Stab Fischbein von der Länge des kürzeren Schenkels nach Schiavetto einen Kork, neigt das Barometer so, dafs das Quecksilber den längeren Schenkel ganz füllt, und drückt den Kork vermittelst des Fischbeinstäbchens fest
Fig. in die Verengerung der Röhre[3]. Noch zweckmäfsiger wird
145. diese Vorrichtung nach Horner[4], wenn man statt des selten ganz rein, hinlänglich elastisch und stark, zu erhaltenden Korkes etwas Federharz um das untere Ende des Fischbeinstabes legt, und zur Verhütung eines zu starken

1 Ann. de Chim. et de Ph. I. 113.

2 Beiträge zur Verf. meteor. Werkzeuge. p. 30.

3 Vergl. Benzenberg bei G. IX. 462.

4 Handschriftliche Mittheilung.

Anklebens mit Seide umwickelt, an dem oberen Ende des Fischbeins aber einen, für die Weite der Röhre geeigneten Mischer vom Baumwolle anbringt, das obere Ende des kürzeren Schenkels mit einer Fassung und einem aufzuschraubenden Deckel versieht, und die herabgedrückte Fischbeinstange auf diese Weise festschraubt. Dieser Apparat, welcher sehr zweckmäfsig mit dem von Gay - Lüssac angegebenen Barometer verbunden werden kann, gewährt den Vortheil des sichern Verschliefsens ohne Gefahr für die Barometerröhre, indem das ausgedehnte Quecksilber den verschliefsenden Kegel um die erforderliche Kleinigkeit zusammendrücken oder zurückschieben würde, während die elastische, durch den oberen Deckel gespannte Fischbeinstange denselben stets wieder gegen die Verengerung drückt. Ausserdem kann man den kürzeren Schenkel wiederholt von Feuchtigkeit und Schmutz reinigen, welche auch durch das feinste Löchelchen dringen, das Nachfüllen des Quecksilbers in den kürzeren Schenkel und die ganze Verfertigung des Barometers ist ungleich leichter als nach Gay-Lüssac, und es werden alle Schwankungen der Quecksilbersäule vermieden, welche auf rauhen und holprigen Bergwegen, der engen Verbindungsröhre beider Schenkel ungeachtet, leicht gefährlich werden können. Es leidet daher keinen Zweifel, dafs diese Construction des Heberbarometers unter allen die zweckmäfsigste ist, den Nachtheil abgerechnet, dafs das ganze Röhrchen die freie Bewegung des Quecksilbers bedeutend hindert.

Bei Gefäfsbarometern, auch wenn sie zu blofsen Wetterbeobachtungen, und nicht zum Transportirtwerden bestimmt sind, besteht das Gefäfs aus Holz, welches zur Sicherung gegen das Durchdringen des Quecksilbers inwendig lackirt seyn kann, oder noch besser aus Glas mit einer messingenen, inwendig mit Kitt überzogenen Fassung. Leutmann[1], Luz[2], Voigt[3], Rozier[4], Hamilton[5], welcher ein elfenbeinenes

1 Instrumenta meteorognosiae inservientia. Viteb. 1725. 8.

2 Beschreibung von Barometern u. s. w. Taf. II. Fig. 1.

3 Beiträge zur Verfertigung und Verbesserung des Barometers. Frankf. 1795. 8.

4 J. de Ph. XXI.436.

5 Trans. of the Roy. Irish Acad. V. 95.

Gefäfs mit einem verschiebbaren Korke gebrauchte, Bourbon[1] Brisson[2], Sulzer[3], M'Guire[4], Ramsden[5], Adams[6] u. a.[7] haben Vorschläge zur Verfertigung desselben gethan, unter denen folgende eine nähere Erwähnung verdienen.

Fig. 146. Eine der älteren Einrichtungen ist die von Assier Perica[8] vorgeschlagene; das hölzerne zum Theil aus einem gläsernen Cylinder cc bestehende Gefäfs, welches die Zeichnung darstellt, hat oben eine durch die elfenbeinene Schraube x verschliefsbare Oeffnung, um die Verbindung mit der äufsern Luft herzustellen. Auf dem Quecksilber schwimmt eine Platte Elfenbein zz, welche an dem elfenbeinenen Stängelchen y das unveränderte Niveau des Quecksilbers im Gefäfse bezeichnet. Der untere aufgeschrobene Theil ff enthält einen ledernen Sack mit Quecksilber, welcher vermittelst der Schraube g und des Schlüssels l in die Höhe geschroben werden kann, wenn man das ganze Gefäfs mit Quecksilber füllen, und dadurch die Bewegung desselben aufheben will. Diesem ähnlich ist das von Gilbert Austin[9] angegebene Barometer, dessen Gefäfs mit einem nach Aufsen gehenden ledernen Sacke voll Quecksilber versehen ist, aus welchem die erforderliche Menge in das Gefäfs gedrückt wird. Beide theilen den Fehler, dafs das Leder durch starken Druck leicht Quecksilber durchläfst.

Unter die vorzüglich zweckmäfsig construirten, auf allen Fall sehr sicher zu transportirenden Gefäfsbarometer gehört das von Goedeking angegebene Reisebarometer[10]. Das Gefäfs besteht aus trocknem harten Holze, in welches die Glasröhre c eingekittet ist. An ihrem unteren Ende wird sie durch das, in das Holz eingelassene, bei m schräg, aber

Fig. 147.

---

1 Mém. de l'Ac. 1751. p. 173.
2 Ebend. 1755. p. 140.
3 Act. Helv. III. 259.
4 Trans. of the R. Ir. Ac. 1787. I. 41.
5 Phil. Tr. 1777. p. 658.
6 On the barometer. Lond. 1790.
7 Recueil des pièces sur le Therme et sur le barom. Basle 1757. 4. Act. Helv. III. 94.
8 J. de Ph. XVIII. 391. Lichtenb. Mag. I. 111. p. 98.
9 Trans. of the Royal Irish Acad. IV.
10 Scherer's J. II. 94. G. II. 324.

nicht sehr scharf zulaufende Stück Elfenbein b b gesteckt, so dafs sie etwa 1 bis 2 Lin. höher steht, als das Ende desselben, und gleichfalls festgekittet, nachdem sie ausgekocht ist. Man kehrt sie dann um, gieſst einige Tropfen Quecksilber so auf, dafs das elfenbeinene Stück gleichfalls voll ist, schraubt den unteren Theil des Gefäfses fest, und indem man die Schraube g mit der eisernen, stark überpolsterten Platte h h fest gegen die scharfen Kanten des Elfenbeins schraubt, ist das Quecksilber in der Röhre fest gesperrt. Soll aber die Quecksilbersäule oscilliren, so darf man nur das Barometer umkehren, nach dem Herausziehen des Stöpsels bei d das Gefäfs mit Quecksilber füllen, die Schraube g öffnen, und die Beobachtung anstellen. Der Stöpsel d wird geöffnet, damit das überflüssige Quecksilber bis zur Herstellung des Niveaus abläuft. Hierin liegt indefs ein auffallender Mangel der übrigens vortrefflichen Einrichtung, denn man darf offenbar das Barometer nicht oscilliren lassen, weil sonst zu viel Quecksilber ausläuft, und überhaupt ist diese Art der Herstellung des Niveau's mühsam und wegen des auslaufenden Quecksilbers beschwerlich[1]. Besser ist es daher, zur Beobachtung des Niveau's im Gefäfse dieses nach Maigné[2] von Glas zu machen. Indefs ist auch das, von diesem angegebene Gefäfs zu künstlich. Einfacher dagegen ist die Einrichtung, wenn das Quecksilber in der unten mattgeschliffenen Barometerröhre, nachdem man das Barometer umgekehrt hat, vermittelst des an einer Schraube beweglichen Polsters festgedrückt wird. Die Barometerröhre c d wird nämlich in die Oeffnung der oberen Fassung p q des gläsernen Cylinders a b so eingekittet oder geleimt, dafs sie genau bis in die Mitte desselben reicht, um bei jeder Lage des Barometers unter dem Niveau des Quecksilbers im Ge- Fig. 148.

1 Diesem ähnlich sind diejenigen Barometer, welche in Paris unter dem Namen der Genfer verfertigt werden. Das aus Horn oder Holz bestehende Gefäfs, worin die Röhre festgekittet ist, hat etwas über der Mitte eine vermittelst einer Schraube verschliefsbare Oeffnung. Beim Transporte gieſst man das Gefäfs ganz voll Quecksilber, und schraubt es zu, beim Beobachten hängt man das Barometer lothrecht, öffnet die Schraube, und läfst das überflüssige Quecksilber auslaufen. Es hat sonach gleichfalls die eben gerügten Mängel.

2 Ann. de Chim. XLVII. 213. G. XV. 463.

fäfse zu bleiben, welches dasselbe bis etwas über die Hälfte ausfüllt. Um dann jederzeit ohne Mühe das Gefäfs öffnen zu können, wird ein hölzerner, mit einem ledernen Kranze belegter Deckel g g auf das untere mattgeschliffene Ende des Cylinders gepafst, und vermittelst der in der Mitte durchbohrten Kapsel h h festgeschroben. In der hölzernen Scheibe ist die eiserne Schraube f mit dem Knopfe m beweglich, welche oben eine eiserne, lose aufgeniethete, Platte e e und ein darüber befestigtes ledernes Polster trägt. Hat man das Barometer umgekehrt, und einigemale auf den Knopf m lose geklopft, damit etwaige Luftblasen entweichen, so wird der Polster fest gegen die Röhre geschroben, und somit das Quecksilber in derselben gesperrt, wobei das Leder durch öfteren Gebrauch allmälig so vom Quecksilber durchdrungen wird, dafs auch beim längsten Transporte und bei heftiger Erschütterung keine Luft in die Röhre dringt, indem das Leder vermöge seiner Elasticität so viel nachgiebt, als die Ausdehnung des Quecksilbers durch Wärme beträgt, oder das Metall durch seine Poren entweichen läfst. Die hölzerne Platte g g darf übrigens nicht zu dünn seyn, damit kein Quecksilber neben den Schraubengängen entweicht. Ein kleines elfenbeinenes, etwas konisches Stäbchen r, welches durch die elfenbeinene Platte s vom Quecksilber im Gefäfse in die Höhe gehoben wird, dient dazu, Luft in das Gefäfs zu lassen, zugleich auch um das Niveau des Quecksilbers im Gefäfse durch eine kleine, oben angebrachte Linie α genau zu bezeichnen.

Ein sehr einfaches Gefäfs ist dasjenige, welches der Mechanicus Loos früher seinen Barometern zu geben pflegte[1]. Fig. 149. In einem gläsernen Cylinder a b wird das Quecksilber vermittelst eines mit Leder überzogenen, und oben gepolsterten Korkes c c beim Verschliefsen so hoch geschroben, dafs das Gefäfs ganz voll ist, beim Beobachten aber bis zu der bestimmten Höhe des Niveaus herabgelassen. Die Oeffnung der Röhre ist stets unter Quecksilber, und es kann also keine Luft eindringen. Der Mechanismus ist der von Hamilton vorgeschlagene, mit dem Unterschiede, dafs der Kork hier mit Leder überzogen und oben gepolstert, auch nicht für die

1 Benzenberg bei G. XXXVI. 353.

Luft durchdringlich seyn soll, wie jener unrichtig voraussetzte; auch erlaubt das gläserne Gefäfs statt des elfenbeinenen den Rand des Quecksilbers in demselben zu beobachten.

Hunter's Gefäfsbarometer[1], später verbessert durch Haas[2] wurde seiner Zeit mit Beifall aufgenommen. Dieses hatte ein eigenes Stativ, aus drei Füfsen bestehend, auf welchem es nach einem Pendel vermittelst Mikrometerschrauben lothrecht aufgehangen wurde, war mit einer doppelten Scale des pariser und londoner Fufses versehen, und konnte auch sammt dem Stative aufgehangen werden. Das hölzerne Fig. Gefäfs liefs sich durch Zusammenschrauben verkleinern, 150. ein eigener Mechanismus, aus einer Spiralfeder mit einem ausgespannten Stück Leder bestehend, verschlofs das Quecksilber in der Röhre, und dann wurde alles Quecksilber aus dem Gefäfse durch die Oeffnung f ausgegossen und in einer eigenen hölzernen Büchse mitgenommen. Letztere unbequeme Einrichtung nebst dem zusammengesetzten Baue des Werkzeuges hat vermuthlich seine gröfsere Verbreitung gehindert.

Grofse Bequemlichkeit gewährt das von Englefield vorgeschlagene Barometer[3]. Dasselbe ist in einen in drei Füfse zerlegbaren Stock eingeschlossen, und wird, wenn dieser als Stativ aufgestellt ist, so aufgehangen, dafs es durch sein eigenes Gewicht die lothrechte Richtung annimmt. Das Ge- Fig. fäfs besteht aus Buchsbaumholz, ist ganz verschlossen, und 151. so voll Quecksilber, dafs die Oeffnung der Röhre stets von demselben bedeckt bleibt, und daher keine Luft in dieselbe dringen kann. Indefs erfüllt es den Zweck eines Reisebarometers nicht, indem das Quecksilber nicht fest gesperrt ist, und daher beim schnellen Umdrehen gegen das verschlossene Ende der Röhre schlagen und diese zerschellen kann, wogegen die Form eines Stockes, und die hierdurch erzielte Bedingung, das Barometer stets umgekehrt zu tragen, keineswegs sichert. Aufserdem aber schwebt die Barometerröhre zu sehr frei zwischen den beiden messingnen Stangen,

---

1 J. de Ph. XXIX. 345. Lichtenberg Mag. V. 4. 84.
2 Gren J. VII. 238. Voigts Mag. I. IV. 142.
3 Nicholson's J. Nr. 55. Phil. Mag. N. 117. G. XXXVIII. 249.

und wird daher durch Erschütterungen leicht zersplittert werden.

Man hat auch die Gefäfsbarometer vermittelst der Guerikeschen Hähne zu verschliefsen vorgeschlagen. Von dieFig. ser Art ist Guerin's[1] tragbares Barometer, dessen Mechanis-152. mus aus der Zeichnung genügend erkannt wird. Es treffen dasselbe die oben bei den auf gleiche Weise verschlossenen Heberbarometern gerügten Nachtheile. Der Mechanicus Loos in Darmstadt begegnet auch diesen durch einen zwar zusammengesetzten, aber übrigens sehr zweckmäfsigen und Fig. sinnreichen Mechanismus. Bei den Gefäfsbarometern des-153. selben geht die Röhre c c mitten durch das Gefäfs, ist unter demselben sehr nahe zusammengebogen, und in die eiserne Fassung g g gekittet, deren Canal, und somit das Quecksilber in der Röhre durch den Hahn h abgeschnitten wird. Auch dieser Hahn gewährt aus der verschlossenen Barometerröhre eine Communication durch eine enge Röhre f in den hinter der Biegung angebrachten Behälter, aus einer messingnen, mit Federharz überzogenen Kapsel bestehend, wie bei seinem Heberbarometer. Aus der Fassung geht die Röhre aufwärts wieder in das Gefäfs, wird hier dünner, läuft unter dem Kitt des Gefäfses hin, und mündet an der gegenüberliegenden Seite des Gefäfses im Quecksilber desselben. Die kleine messingne Schraube m dient dazu, das Quecksilber, wenn es etwa beschmutzt ist, aus dem Gefäfse zu nehmen und zu reinigen, oder auch nach Befinden etwas zuzugiefsen, oder aus dem Gefäfse wegzunehmen, der äufseren Luft aber wird der erforderliche Zutritt neben dem Korke n gegeben, vermittelst welchem die Barometerröhre in die obere Fassung des Gefäfses blofs eingeklemmt ist. Auf die Schraube p p wird eine messingene Kapsel geschroben, um den unteren Theil des Rohres und den Hahn gegen Verletzung zu schützen.

Fig. Horner[2] beschreibt ein genaues, bequemes und mit Si-154. cherheit zu gebrauchendes Barometer, dessen Haupt-u. theile in der Zeichnung in etwa 0,6 ihrer natürlichen Gröfse 155. dargestellt sind. Die Röhre des Barometers steckt der Si-

---

1 J. d. Ph. LIII. 444.

2 Aus handschriftlicher Mittheilung. Vergl. Lichtenb. Mag. II. 1. 129.

cherheit wegen in einem hohlen messingenen, mit dickem Leder ausgefüllten Cylinder, dessen oberes Ende AB von 14 bis 29 Z. Höhe vorn und hinten durchschnitten ist, um durch diese 1,5 Lin. weite Oeffnung den Stand des Quecksilbers zu beobachten. Dieses geschieht, indem man die Hülse cdef, welche den Vernier trägt, dergestalt schiebt, dafs ihr unterer Rand ef eine Tangente der Wölbung des Quecksilbers bildet. Zu dem Ende erhält sie eine mikrometrische Bewegung durch die Ringschraube gh, welche durch Reibung an der Messingröhre festsitzt. Der Nullpunct des Vernier ist des besseren Ablesens wegen um ein bis zwei Linien über den unteren Rand der Hülse hinauf gesetzt, welche Differenz bei der Anordnung der Barometerscale berücksichtigt werden mufs.

Das Deckelstück bei A ist mit drei kleinen Schrauben festgeschraubt, um den drehbaren Ring L, an welchen von Innen eine Platte mit einer Schraubenmutter festgemacht ist, aufzunehmen. Kleine Schrauben am Vernier sowohl als auch in der Hülse gh halten von Innen einen Messingstreifen fest, welcher das Drehen des Verniers und des oberen Theiles der Hülse verhindert. Die Vernierhülse ist bei df offen, damit man die Theilung auf der Messingröhre ablesen kann. Das Gefäfs besteht aus einer stählernen Scheibe aa mit einem Halse, in welchem die Barometerröhre bb eingekittet ist. Auf diese Scheibe ist der gläserne Cylinder ggg'g' aufgeschliffen, so dafs er ohne Verkittung höchstens mit einer dünnen Unterlage von geöltem Postpapier (oder, zur Vermeidung einer Beschmutzung des Quecksilbers durch Fett, eines feinen ledernen Ringes) luftdicht angepreſst werden kann. Letzteres wird durch den dünnen messingenen Cylinder hhh'h' bewerkstelligt, welcher sich bei c und d in das Bodenstück mn, cd, ef einschraubt, und unten vermittelst des angelötheten Ringes hh' den Glascylinder gegen die Fläche aa hindrückt. Der Messingcylinder hat auf zwei entgegengesetzten Seiten eine länglichte Oeffnung, welche in der Zeichnung durch punctirte Linien angedeutet ist. Unten schraubt sich in denselben der Deckel pp ein, durch dessen Mitte die Schraube qq von vierfachem Gange und starker Steigung geht. Sie tritt in das eiserne Bodenstück ll

des Stöpsels ein, dreht sich in demselben frei um, und wird durch Vernietung oder durch ein festgeschraubtes Mütterchen r festgehalten. Ueber den eisernen Cylinder ii mit breitem ansteigenden Rande ist ein starkes Leder oder Pergament oo gespannt, und unter dem Rande festgebunden, kk ist ein hohler mit einer Feile genau abgerundeter Kork, welcher sich sehr gedrängt in dem Glascylinder bewegen läfst. Man schlägt dann ein Stück Taffent über die Haut oo, zieht die Falten über den Kork kk, und schiebt sie mit einer Messerspitze zwischen den Kork und den Cylinder ii; dann wird der Boden ll nebst der daran befindlichen Schraube qq in den eisernen Cylinder ii eingeschraubt, welcher den unteren Theil des Korkes und den Taffent bedeckt. Durch den Ueberzug von Taffent wird die Reibung des Korkes am Glase bedeutend verringert. Die stählerne Platte aa ist nahe am Rande von unten her konisch durchbohrt, der Oeffnung correspondirt eine andere im Deckel cd, ein stählernes, in der Mitte vierkantiges, Kölbchen v geht durch dieselbe, wird oben durch das Schräubchen u angezogen, und dient als Ventil, um die Luft zuzulassen. Bei mn wird die messingene Barometerhülse mit dem Gefäfse durch eine Schraube verbunden. Nicht weit von dieser Stelle ist sie so weit aufgeschnitten, als nöthig ist, um das feste Thermometer dergestalt aufzunehmen, dafs es die Barometerröhre beinahe berührt. Eine halbcylindrische Schale von Messing schützt dasselbe gegen Beschädigung und hindert zugleich die Mittheilung der äufsern Temperatur. Das ganze Barometer wird in einen hohlen Stock geschoben; in welchen das Gefäfs bei cd genau eingepafst ist, der Stock wird in ein ledernes Futteral gesteckt, welches auch das Thermometer für die freie Luftwärme aufnimmt, und vermittelst eines Riemens über die Schulter gehangen werden kann.

Will man mit diesem Barometer beobachten, so nimmt man dasselbe aus dem Stocke, lüftet ein wenig den Stöpsel vermittelst der Schraube qq, hängt dasselbe in schräger Richtung auf, bringt es allmälig in die verticale Richtung, schraubt den Stöpsel so weit zurück, bis das Quecksilber im Gefäfse unterhalb des Ringes ef zum Vorschein kommt, öffnet das Ventil v, und beginnt die Beobachtung damit,

dafs man den Stöpsel so weit hinaufschraubt, bis beim Durchsehen durch das Gefäfs zwischen dem Quecksilber und dem Rande e f nur eine feine Lichtlinie bleibt, wobei man zuweilen mit dem Finger das Barometer erschüttern mufs. Hierauf verschiebt man die Hülse g h, stellt vermittelst des drehbaren Ringes die untere Kante des Verniers als Tangente über die Convexität der Quecksilbersäule, und lieset die Scale ab. Beim Verschliefsen zieht man zuerst vermittelst der Schraube u das Ventil v an, neigt das Barometer, schraubt unterdefs den Stöpsel aufwärts, und sperrt mit demselben, nachdem das Barometer abgenommen und umgekehrt ist, das Quecksilber so, dafs es nicht in Bewegung gerathen kann. Die Zusammenziehung des Quecksilbers durch Kälte oder die Ausdehnung desselben durch Wärme compensirt die elastische Decke o o, und sollte im letzteren Falle etwas Quecksilber durch diese dringen, so sammelt es sich auf der eisernen Platte l l, und kann hier nach Herausnahme des Stöpsels weggenommen werden; auch würde im Falle einer gänzlichen Anfüllung des Cylinders i i mit Quecksilber die Röhre durch die Ausdehnung des Quecksilbers nicht zerspringen, sondern eher etwas Quecksilber neben dem Stöpsel durchgepreſst werden. In dem Gefäfse mufs stets so viel Quecksilber vorhanden seyn, dafs die Trommel l l 1 bis 2 Lin. unter dem Ende der Röhre b bleibt. Das ganze Barometer wiegt seiner vielen Theile ungeachtet mit Futteral nur 2,5 Pfd. und erfüllt, obwohl etwas complicirt, alle Anforderungen an ein gutes Reisebarometer.

Fortin in Paris verfertigt die nach ihm benannten Barometer, welche zwar wegen ihres hohen Preises (über 200 Fr.) nicht sehr gemein, aber doch vorzüglich geachtet sind. Da sie in den meisten Stücken mit den Hornerschen übereinstimmen, so lassen sich die Abweichungen leicht angeben und würdigen. Zuerst haben sie das Stativ, welches von der Englefieldschen entlehnt, in sofern aber verbessert ist, als die feinen, in das Holz der Füfse niederzulegenden Drähte a a a zur Sicherung des Standes angebracht sind. Fig 156. Vortheilhaft ist ferner der obere Ring b b, welcher an zwei horizontalen Spitzen drehbar ist, und indem das Barometer dann in denselben vermittelst der Schrauben $\alpha\,\alpha$, welche ge-

gen jene Spitzen normal gerichtet sind, festgeschroben wird, so kann dasselbe frei schwanken, und erhält durch das Uebergewicht des Quecksilbers im Gefäfse allezeit die lothrechte Richtung. Das Barometer kann nach Erfordern in der Mitte seiner Länge aufgehangen werden, wie die Figur zeigt, oder höher in d d, oder ganz oben in e e, auch läfst sich dasselbe an die Schlinge g über einen Haken hängen. Oben bei e e ist aufserdem eine aufgeschrobene horizontale Platte mit drei vorragenden Spitzen, welche verhindern, dafs das Barometer nicht durch den Ring b b fallen kann, vielmehr wird es auf den Spitzen ruhen, und bei der Manipulation dem Beobachter verstatten, es auf denselben vorläufig aufzuhängen, wenn etwa die Schrauben $\alpha\alpha$ nicht zur Hand sind, oder wenn man das Barometer von unten heraufgeschoben hat, und es an der Schlinge g anfassen will, um es höher zu heben. Der Ring b b ist dann aber an drei Stellen eingeschnitten, um die hervorragenden Spitzen beim Herausnehmen des Barometers durchzulassen. Beim Zusammenlegen pafst das Gefäfs genau in die mit Tuch ausgefütterten Vertiefungen m m m der Stativfüfse, und der ganze Apparat bildet dann einen dicken Cylinder, welcher in einen ledernen Sack geschoben und so transportirt wird. Indem das Gewicht durch Zugabe des Stativs keine sehr grofse Vermehrung erhält, so läfst sich nicht in Abrede stellen, dafs durch dasselbe sehr für Bequemlichkeit gesorgt ist. Ein Nachtheil bei diesen Barometer ist übrigens, dafs die Barometerröhre in der messingnen Röhre, welche genau nach der bei dem Hornerschen Barometer beschrieben Art verfertigt ist, nur an drei Puncten vermittelst etwas Kork anliegt, und daher durch Erschütterung leicht zersplittern kann.

Fig. 157. Wesentlich verschieden von dem Hornerschen, demselben aber weit nachstehend, ist das Fortin'sche Gefäfs. Dasselbe besteht nämlich aus dem gläsernen Cylinder a a, welcher zwischen die beiden messingenen, mit dünnem Holze gefütterten Fassungen b b, c c vermittelst dreier Drähte b c festgeschroben ist. Die untere ist mit dem messingenen, inwendig gleichfalls mit Holz gefütterten, Cylinder $\alpha\beta$, $\alpha\beta$ verbunden, über dessen männliche Schraube $\alpha\alpha$ die Kapsel m m m m, mit der grobgewindigen Schraube h versehen, geschroben wird. Inwendig in dem messingenen, mit Holz

gefütterten hohlen Cylinder befindet sich der Sack $\delta\,\delta$ von weissem Leder, welcher bei $\varepsilon\,\varepsilon$ über den Rand des hohlen buxbaumenen Cylinders geschlagen, und mit einem Seidenfaden ganz fest gebunden ist[1]. Dieser lederne Sack trägt inwendig ein ausgehöhltes Stück Buxbaumholz γ, in dessen Vertiefung der Knopf p der Schraube h pafst. Soll das Barometer transportirt werden, so drehet man es um, wodurch sich die Röhre ganz mit Quecksilber füllt, und schraubt dann dieses vermittelst der Schraube h und des ledernen Sackes so fest, dafs das ganze Gefäfs damit angefüllt ist. Die Elasticität des Leders giebt so viel nach, als die Ausdehnung des Quecksilbers durch Wärme erfordert; beim Beobachten dagegen hängt man das Barometer gehörig auf, schraubt die Schraube h so weit herab, bis das Niveau des herabsinkenden Quecksilbers die Spitze des elfenbeinenen Stiftes π berührt, welcher als Anfangspunct zum Messen der Länge der Quecksilbersäule dient. Ein besonderer Zugang für die äufsere Luft ist nicht angebracht, indem die einzelnen Theile des Gefäfses nicht absolut fest schliefsen, so dafs diese genügend eindringen kann.

Vergleicht man die beiden zuletzt beschriebenen Einrichtungen mit einander, so ist das Stativ bei der Fortinschen allerdings eine nützliche Zugabe, auch ist das Festschrauben der oberen und unteren Fassung des Glascylinders durch die drei Drähte b c eine sehr zweckmäfsige Vorrichtung. Dagegen hat die Hornersche entschiedene Vorzüge durch die festere Lage der Barometerröhre und die weit sicherere Sperrung des Quecksilbers im Gefäfse, indem beim Fortinschen leicht etwas durch die minder dichten Fugen, insbesondere aber durch das Leder des Säckchens verloren wird. Endlich ist auch das Holz am Gefäfse dem Einflusse der Feuchtigkeit und dem Quellen hierdurch ausgesetzt.

Für den Seefahrer ist das Barometer ein nicht blofs nützliches, sondern unentbehrliches Werkzeug, dessen sorgfältige Beobachtung ihn vor unzeitigem Auslaufen warnen, zum Verlassen eines unsichern Ankerplatzes bewegen, und überhaupt zum Ergreifen der nöthigen Sicherungsmafsregeln ver-

---

1 Einen solchen ledernen Sack finde ich zuerst durch RAMSDEN gebraucht. Phil. Tr. 177. p. 658.

mögen kann, und dieses um so mehr, weil die auf dem Lande so oft trügerischen Wetteranzeigen desselben auf der See weit sicherer sind, indem auf dem freien Ocean die manchen Modificationen und Gegenwirkungen durch Gebirge, Seen, Sandebenen, Wälder u. dgl. wegfallen. Weil indefs das Barometer in seiner gewöhnlichen Form wegen der vielen und starken Schwankungen der Schiffe nicht angewandt werden kann, so hat man verschiedene Mittel erdacht, um diesem Hindernisse zu begegnen. Eins der ältesten von Amontons[1] zu diesem Zwecke vorgeschlagenes Barometer besteht blofs aus einer engen konischen Röhre, welche unten etwa eine Linie weit, oben bis zu 0,3 Lin. verengt gegen 40 Z. lang seyn, und auf einem einfachen Brette mit einer beweglichen Scale befestigt, freischwebend aufgehangen werden soll. Ist sie gefüllt und ausgekocht, so nimmt die Quecksilbersäule in derselben, wenn sie das zugeschmolzene Ende berührt, einen Raum von mindestens 32 Z. ein, und kann daher wegen des stark wachsenden Druckes auch bei den heftigsten Schwankungen nicht leicht diese Höhe erreichen, folglich auch nicht gegen das zugeschmolzene Ende schlagen und dieses zerschellen. Ist es aber aufgehangen, so sinkt die Quecksilbersäule herab, wird im weiteren Ende der Röhre dicker und daher kürzer, so lange bis ihr Gewicht dem Druck der Luft gleich ist. Leslie hat eine Modifica-
Fig. tion dieses Barometers vorgeschlagen, welche darin besteht,
158. dafs eine engere und eine weitere Röhre zusammengeschmolzen werden, weil die konischen schwer zu bekommen seyn sollen, eine Behauptung, welche in der Erfahrung nicht begründet ist. Man kann übrigens, wenn die Durchmesser beider verbundenen Röhren bekannt sind, die Barometerveränderungen theils aus der veränderten Länge der Quecksilbersäule, theils aus dem Raume abnehmen, welchen dieselbe durchläuft, und dieser letztere wird so viel gröfser seyn, je näher das Verhältnifs der Durchmesser der Gleichheit kommt, weil dann eine längere Quecksilbersäule aus der weiteren Röhre in die wenig engere gehoben werden mufs, bis die ganze Länge der Quecksilbersäule den Gegen-

1 Remarques et experiences physiques sur les Barom. cet. Par. 1695. 12.

druck der Luft aufwiegt. Es seyen allgemein die Querschnitte der engeren und der weiteren Röhre a und A, die absolute Aenderung des Barometerstandes m, so ist die in der engeren Röhre durchlaufene Höhe $= m.\frac{A}{A-a}$; in der weiteren Röhre aber $= m.\frac{a}{A-a}$. Hätte man genau calibrirte Röhren, so wäre es hinreichend, nur die obere Veränderung des Standes der Quecksilbersäule zu beobachten, um hieraus den Barometerstand noch obendrein in vergröfsertem Mafsstabe zu erhalten. Wäre z. B. der Durchmesser der engeren Röhre 0,9 par. Lin., der weiteren 1,1 par. Lin., so wären ihre Querschnitte $= 0{,}81\,\pi$ und $1{,}21\pi$, mithin die Vergröfserung von $m = \frac{1{,}21}{1{,}21-0{,}81} = 3{,}02$, und es würde also die Scale dieses Barometers für jeden Zoll des gewöhnlichen Barometers 3,02 Z. durchlaufen. Das Barometer gehört hiernach unter die zuerst erwähnte Classe derjenigen, welche vergröfserte Scalen haben, und wäre zu Messungen gröfserer Höhen unbrauchbar. Man könnte nämlich mit demselben keine Höhen messen, welche weniger als 20 Z. Barometerstand geben, weil das Quecksilber für 9 Z. schon 27 Z. der engeren Röhre durchlaufen, mithin aus dieser, auch möglichst verlängerten, schon heraustreten würde, abgesehen davon, dafs das Ganze die Länge von 4 F. haben müfste. Gäbe man der engeren Röhre den Durchmesser von 0,6 der weiteren 1,2 Lin., so wäre der Factor von $m = \frac{4}{3}$, mithin würde auf dem Chimboraço, wo der Barometerstand 14 Z. beträgt, das Quecksilber $(28-14)\frac{4}{3} = 18\frac{2}{3}$ Z. sinken, das Barometer bedürfte nur 3 F. Länge, wäre sehr leicht, mit einem Korke verstopft und als Stock montirt ohne Nachtheil transportabel, und würde unter die vorzüglichern gehören, wenn nicht der ungleiche Einflufs der Capillarität der Genauigkeit entgegenstände, und das Quecksilber in der unteren weiten Röhre sich nicht leicht trennte, und theilweise auch bei engeren Röhren herausliefe. Als Meerbarometer ist es auf allen Fall nicht brauchbar.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Die französische Marine bediente sich ehemals des von Blondeau[1] vorgeschlagenen, ganz aus Eisen bestehenden Barometers, welches auch zum Transporte eingerichtet, nach Fig. de Lüc's Art verschlossen werden kann. Wo der längere 159. Schenkel bb in das Verbindungsstück eingeschroben wird, da ist die Oeffnung b beträchtlich verengert, um die Schwankungen zu vermindern und das Eindringen der Luft bei der Zusammensetzung zu vermeiden. Der Hahn g ist sehr enge durchbohrt, und kann aufserdem nach Gefallen weniger geöffnet werden, um die Schwankungen möglichst zu vermindern. Gegen den Einflufs der Ausdehnung des Quecksilbers durch Wärme ist der Fortsatz des Verbindungsstückes cd mit einer Blase überbunden, gegen welche vermittelst der Feder ef ein Polster gedrückt wird. Weil man bei der Undurchsichtigkeit beider Schenkel dieses Barometers den Stand des Quecksilbers nicht unmittelbar beobachten kann, so wird auf das Quecksilber im kürzeren Schenkel ein Schwimmer von Elfenbein gelegt, welcher einen eisernen Draht trägt. Letzterer geht durch eine enge Oeffnung i, und bezeichnet mit dem Knöpfchen k den veränderten Stand des Barometers.

Da es beim Meerbarometer zunächst nur darauf ankommt, der Einflufs der Schwankungen des Schiffes unschädlich zu machen, so that Passement[2] den Vorschlag, die Barometerröhre in ihrer Mitte zweimal spiralförmig zu winden, so dafs der äufsere Rand der Windungen etwa 2 Z. Durchmesser hätte. Indem hiernach das Quecksilber bei jeder Oscillation des Barometers den bedeutend verlängerten und gekrümmten Weg durchlaufen müfste, so würden die schnell folgenden Schwankungen sich wechselseitig aufheben, hiernach also das Barometer leichter zu beobachten, und zugleich gegen das Zerschelltwerden gesichert seyn. Ungleich vorzüglicher aber ist Nairne's oben angegebene, von Gay-Lüssac auch auf das Heberbarometer angewandte Einrichtung, welche mit einer zweckmäfsigen Art des Aufhängens verbunden seit dem Gebrauche desselben durch Cook ganz

---

1 Lichtenb. Mag. I. 3. 80.
2 de Lüc Recherch. I. 34.

allgemein eingeführt ist. Die Zeichnung stellt dasselbe so dar, wie ein dicht vor ihm stehender Beobachter es erblicken würde[1]. Das Ganze ist ein Gefäfsbarometer, mit einem hölzernen Gefäfse, unten mit einem ledernen Beutel und einer Schraube nach RAMSDEN[2] versehen, um das Niveau damit zu berichtigen, die Röhre in einen hölzernen Cylinder eingeschlossen, welcher gegen Beschädigungen schützt. Die Luft erhält den Zugang nur durch die Poren des hölzernen Gefäfses, wodurch zugleich der Verschüttung des Quecksilbers vorgebeugt ist. Von der Glasröhre haben nur die oberen 6 Zolle die Weite eines gewöhnlichen Barometers, der übrige Theil aber ist nur etwa 0,5 Lin. im Lichten weit, so dafs das Quecksilber bei den Schwankungen des Schiffes mit grofser Schnelligkeit und mit Ueberwindung einer bedeutenden Adhäsion den engen Canal durchlaufen mufs, um in der weiten Röhre zu steigen oder zu fallen, wodurch seine Oscillationen merklich geschwächt werden. Von der Röhre selbst sind nur wenige Zolle sichtbar, da mit Ausnahme höchst seltener Fälle der Barometerstand auf der See sich wenig ändert, und selten unter 26 Z. herabkommt. Die Scale ist in kleine Theile getheilt, und würde bei diesem Barometer sehr zweckmäfsig auf die Röhre selbst geätzt werden, weil sich kein Vernier dabei anbringen läfst. Das Barometer wird in gehöriger Entfernung von der Wand etwas über seinem Schwerpuncte zwischen zwei Ringen nach Art der Cardanischen Lampe frei schwebend aufgehangen, und zugleich ist sein oberes Ende mit einem soliden messingnen Knopfe versehen, wodurch dasselbe die Eigenschaft eines langen Pendels erhält, und der bedeutenden Schleuderungen des Schiffes ungeachtet keine isochronische Schwingungen mit diesem annehmen kann, so dafs durch die Irrationalität dieser Bewegungen von Zeit zu Zeit eine gegenseitige Aufhebung derselben, oder ein Stillstand erfolgt, der es möglich macht, die Barometerhöhe zu schätzen. Sonst kann man auch aus den Extremen der Oscillationen, die selten über einen halben Zoll betragen, das Mittel nehmen. Fig. 160.

---

1 HORNER's handschr. Mittheilung.

2 Phil. Tr. 1777. p. 658.

Man hat auch andern Werkzeugen den Namen der Meerbarometer gegeben, welche diesen eigentlich nicht verdienen, sondern richtiger Manometer genannt werden, womit man aber von den zuletzt angegebenen Verbesserungen des eigentlichen Meerbarometers den veränderten Druck der Atmosphäre beobachtete. Dr. Hooke[1] schlug vor, ein an beiden Seiten verschlossenes Luftthermometer und ein an einer Seite offenes nebeneinander zu stellen. Indem das erstere blofs durch die Ausdehnung der Luft als Folge der Temperatur, letzteres aber zugleich durch den veränderten Luftdruck afficirt wird, so giebt der Unterschied beider die letztere Gröfse allein an. Dafs das erstere dieser beiden aber nicht mit Weingeist gefüllt werden kann, wie angegeben wird, leuchtet von selbst ein. Amoutons[2] wiederholte den nämlichen Vorschlag, und Halley[3] versichert, dasselbe auf seiner Seereise mit grofsem Nutzen beobachtet zu haben, so dafs es für eine der wichtigsten Erfindungen für die Verbesserung der Navigation zu halten sey. Aehnliche Apparate sind angegeben von Varignon[4], Zeiher[5], Richmann[6], und noch neuerdings von Wilson. Nach letzterem soll man ein verschlossenes eisernes Gefäfs mit Quecksilber und Luft gefüllt, anwenden, die Verbindung mit der äufseren Luft durch eine eingesenkte Glasröhre herstellen, in welcher das Quecksilber durch den wechselnden Druck der eingeschlossenen Luft steigen und fallen würde, dann die Scale nach einem Versuche unter der Luftpumpe verzeichnen, und zur Correction der Wärme ein Thermometer beifügen[7]. Der neueste Vorschlag dieser Art ist von J. J. Prechtl[8]. Das von ihm ausführlich beschriebene und hinsichtlich seiner Genauigkeit berechnete, zunächst für Höhenmessungen bestimmte Baroskop Fig. 161. besteht aus einem gläsernen Cylinder b c, mit einem in dem-

1 Birch History. III. 384.
2 Mém. de l'Ac. 1704. p. 49.
3 Phil. Tr. XXII. 794.
4 Mém. de l'Ac. 1705. p. 300.
5 Nov. Com. Pet. VIII. 274.
6 Nov. Com. Pet. II. 194.
7 Ann. of Phil. IX. 313.
8 Jahrb. des k. k. polytechn. Institutes in Wien. Wien 1823. V. 284.

selben befindlichen Thermometer im, dessen Scale 30° R. über und 10° unter 0 umfafst, und bis 0,0125 eines Grades vermittelst einer Loupe abgelesen werden kann. Der gläserne Cylinder ist in c verschlossen, läuft aber bei i in die etwa 0,1 Z. weite Röhre oqpxa aus, welche bei a mit einem Hahne verschlossen werden kann; das Ganze ist auf einem mit zwei Libellen A, L horizontal zu stellenden Brette befestigt. Die trockne Luft im Cylinder ist durch die Quecksilbersäule qp gesperrt, und die Ausdehnung der ersteren, als gemeinschaftliche Wirkung der Wärme und des äufsern Luftdruckes wird an der auf die Röhre selbst aufgetragenen genauen Scale gemessen. Zieht man demnach die durch veränderte Temperatur erzeugte Wirkung von der ganzen beobachteten Gröfse a b, so bleibt derjenige Theil übrig, welcher dem veränderten äufsern Drucke zugehört, und wonach sich also die Höhe bestimmen läfst. Geschmeidige Formeln für diese Berechnungen nebst einer genauen Anweisung zur Verfertigung des Apparates, wobei die Länge der einzelnen Röhrentheile etwa 10 Z. beträgt, hat der Erfinder angegeben. So sinnreich dieses Werkzeug indefs auch construirt ist, so wird es doch schwerlich geeignet seyn, das Barometer für Höhenmessungen zu ersetzen, noch weniger aber zu übertreffen, obwohl dasselbe allerdings leichter zu transportiren ist, und eine längere Scale hat, als jenes. Nach einer ohngefähren Berechnung wollen wir nämlich annehmen, dafs von den 5 Enden der Röhre zwei mit Quecksilber gefüllt sind, so geben die übrigen drei 30 Zolle für die Scale. Zieht man diesen die 40 Graden R. zugehörige Ausdehnung der Luft durch Wärme mit 5,5 Z. ab, so bleiben für die veränderte Dichtigkeit 24,5 Z., welche mit der ganzen Länge der Quecksilbersäule im Barometer = 30 Z. und dem auf der gröfsten zu messenden Höhe stattfindenden Barometerstande von etwa 14 Z. verglichen, ein Verhältnifs von 24,5 : 16 oder nahe 3 : 2 geben, woraus allerdings der Vortheil einer zu beobachtenden gröfseren Differenz für dieses Instrument hervorgeht. Allein dieser wird durch anderweitige Nachtheile leicht überwogen. Will man nämlich auch annehmen, dafs die Quecksilbersäule in diesem Apparate sich nicht trennt, und durch anhaltendes Schütteln

weder Luft neben sich entweichen, noch Feuchtigkeit eindringen läfst, so kann das Thermometer am Barometer gleich fein, als dieses gemacht werden, und obgleich das letztere durch die Luft des Cylinders umgeben ist, so steht es doch von der in der Röhre befindlichen ungleich weiter ab, als das Thermometer am Barometer vom Quecksilber in der Röhre. Um so viel aber, als die Ausdehnung der Luft durch Wärme gröfser ist, als des Quecksilbers, ist hierbei auch die Fehlergrenze gröfser, wodurch die längere Scale leicht compensirt werden dürfte. Hierzu kommt aber noch, dafs die Luft ein so schlechter Wärmeleiter ist, sich daher nicht schnell ins Gleichgewicht der Temperatur setzt, und die letztere nicht leicht dem Quecksilber im Thermometer mittheilt. Endlich aber mufs die auf hohen Bergen sehr verdünnte, und daher weniger elastische Luft die Adhäsion einer 20 Z. langen Quecksilbersäule an die Wände der Röhre überwinden, welches auch durch das Neigen des Apparates und Klopfen auf das Brett desselben nicht so leicht geschehen wird.

Auf ähnlichen Grundsätzen beruhet ein von Caswell unter dem Namen *Baroskop*, *Meerbarometer* vorgeschlagenes Instrument[1]. ABCD ist ein kubisches Gefäfs mit Wasser, worin das baroskopische Gefäfs x t e z y o s m schwimmt. Dieses besteht aus einem Körper x t s m und der Röhre e z y o, beide hohle Cylinder, aus Zinn oder besser aus Glas und miteinander verbunden. Unten an der Röhre bei z y ist ein Bleigewicht angebracht, welches den Apparat im Wasser niederzieht, so dafs das obere Ende durch einige aufgelegte Gewichte mit dem Niveau des Wassers gleiche Höhe hat. Ist das Instrument ins Wasser gedrückt, so steigt dasselbe bis zur Höhe $\alpha\,\beta$. Oben ist ein kleiner hohler Cylinder angebracht, welcher das Gefäfs am Sinken hindert, m d ist ein dicker Draht, m s und d e sind feine Drähte, um Transversalen zum feineren Messen zu erhalten, indem das beim stärkeren Sinken des Gefäfses zuerst am unteren, dann am oberem Drahte ansteigende Wasser eine scharfe Begrenzung bildet. Dafs indefs das Instrument bei gröfserer Ausdehnung der enthaltenen Luft, also beim Fallen des Barometers stei-

Fig. 162.

1 Phil. Tr. XXIV. p. 1597. Ein ähnlicher Vorschlag von Kramp findet sich in Hindenburg's Archiv. III. 233.

gen müsse und umgekehrt, fällt von selbst in die Augen. Nach einer Berechnung des Erfinders soll dieses Barometer 1200 mal empfindlicher seyn, als das gemeine, und den geringsten Wind anzeigen, auch läfst sich an einer grofsen Empfindlichkeit nicht zweifeln, könnte man es nur gegen den Einflufs der veränderten Temperatur schützen. Dafs übrigens dieses Werkzeug auf Schiffen vorzüglich anwendbar seyn sollte, ist kaum glaublich, indem das Wasser im Gefäfse durchaus in bedeutende Schwankungen versetzt, und jede Beobachtung dadurch unsicher werden mufs, auch findet sich nicht, dafs es als Seebarometer wirklich gebraucht sey. Unter diese Classe von Apparaten gehört endlich auch das neuerdings angegebene *Sympiezometer*[1].

Indem hiermit die vorzüglichsten Barometer unter den verschiedenen Arten derselben näher beschrieben sind, so wird es genügen, andere minder bedeutende Vorschläge der Vollständigkeit wegen, und um zu zeigen, dafs sie nicht überhaupt unbeachtet geblieben sind, kurz namhaft zu machen. Hierhin gehört vorzüglich Amouton's[2] *verkürztes Barometer*. Fig. Dieses besteht aus der mit Quecksilber gefüllten Röhre a b 1 6 3. und c d, zwischen welcher b c mit Luft, oder nach einem späteren Vorschlage mit einer tropfbaren Flüssigkeit gefüllt ist, um den Druck der ersten Quecksilbersäule auf die zweite fortzupflanzen. Oben bei g ist eine offene Spitze, um die Flüssigkeit einzugiefsen, worauf sie zugeblasen wird. Durch zwei Quecksilbersäulen und eine zwischenliegende Säule Flüssigkeit wird die Länge des Barometers auf $\frac{1}{2}$ herabgesetzt, durch 4 Quecksilbersäulen und 3 Säulen Flüssigkeit auf $\frac{1}{4}$ u. s. w.; die Veränderungen des Barometerstandes vertheilen sich aber unter die Flächen a, b, c, d, so dafs dieses, um die Hälfte verkürzte, Barometer nur $\frac{1}{4}$ der wirklichen Veränderung angiebt. Deswegen fügte Amoutons noch die Röhre f e hinzu, um nach dem Princip des Doppelbarometers die Barometerveränderungen vergröfsert darzustellen. Passement dagegen schlug vor, die Zwischenröhre b c zu biegen und spiralförmig zu winden, dann dieselbe mit verschieden

1 S. *Sympiezometer*.

2 Mém. de l'Acad. 1688. T. II. p. 39.

gefärbten Flüssigkeiten zu füllen, und den veränderten Stand ihrer Begrenzung zu beobachten. Das Ganze ist indefs eigentlicher eine sinnreiche Idee zu nennen, als ein brauchbares Werkzeug.

Changeux[1] schlägt zwei Barometer vor, das eine zum Messen unzugänglicher Tiefen, das andere zum Selbstmessen der Höhen bestimmt. Beide sind Heberbarometer, ersteres mit einer oben, letzteres mit einer unten angebrachten, seitwärts gehenden Röhre (baromètre à appendice). Sinkt das Quecksilber, so fällt so viel in die Röhre b, dafs das ursprüngliche Niveau bei a wieder hergestellt wird. Eben so ist es beim Steigen desselben. Wird das Barometer wieder an den ersten Beobachtungsort gebracht, so zeigt die Menge des ausgelaufenen Quecksilbers die Differenz der Längen der Quecksilbersäulen, und hiernach die Höhen. Das Ungenügende dieser Vorrichtung ist längstens dargethan[2]. Wilsons Barometer mit einem im Quecksilber schwimmenden eisernen Stäbchen[3], Conté's aus einer elastischen Schale bestehend, oder ein anderes, welches den Luftdruck nach dem Einströmen des Quecksilbers in ein luftleeres Gefäfs mifst[4], verdienen keine Berücksichtigung. Sinnreicher ist der Vorschlag desselben, eine genau calibrirte eiserne Röhre mit Quecksilber zu füllen, und die Veränderung des Barometerstandes aus dem Gewichte des in gröfseren Höhen ausgelaufenen Quecksilbers zu bestimmen[5]. Humboldt's Reisebarometer mit einem eisernen Gefäfse und an einer eisernen Stange ist zu unbequem und zu sehr zusammengesetzt[6], Voigt's verbessertes *Brandersches* mit dem Prinzeschen Gefäfse gleichfalls manchen Mängeln unterliegend[7], und ein anderes von demselben, mit einem ledernen Sacke und einer Schraube, diesen zusammt dem Quecksilber in die

Fig. 164.

1 J. d. Ph. XXII. 387.

2 Lichtenb. Mag. II. 3. 134. V. 2. 166.

3 Voigt Mag. V. 248.

4 G. II. 313.

5 Ebend. 317. Vergl. Landriani's ähnlichen Vorschlag bei Brugnatelli Giorn. X. 187.

6 J. de Ph. IV. 468.

7 Beiträge. Hft. II. p. 56.

Höhe zu schrauben[1], wird man jetzt nicht mehr in Anwendung bringen. Landriani's ausführlich beschriebenes heberförmiges Reisebarometer von Eisen[2] läfst sich wegen der Schwierigkeit der Fabrication und des Auskochens, desgleichen wegen der Unmöglichkeit einer unmittelbaren Beobachtung des Quecksilbers nicht empfehlen, indem das Barometer überhaupt nicht in die Hände solcher Personen gehört, welche eine Glasröhre zu handhaben unfähig sind. Ebendesselben Vorschlag[3], auf der oberen Quecksilberfläche einen Magnet schwimmen zu lassen, welcher einen aufsen freibalancirten Magnet mit einem 25 Z. langen Zeiger anziehen, und dadurch sehr kleine Veränderungen anzeigen soll, ist viel zu künstlich und unsicher, um praktisch angewandt zu werden. Andere Vorschläge, welche nichts Neues enthalten, als von Rodig[4], Fahrenheit[5], Maigné[6] Lamanon[7] u. a. mögen besser ganz übergangen werden.

Endlich hat man einem zufällig entdeckten Wetteranzeiger den Namen Barometer beigelegt. Prevot in Bürglen, unfern der Abtei St. Blasius nahm nämlich wahr, dafs ein langer ausgespannter Eisendraht von Wetterveränderungen einen eigenthümlichen summenden Ton hervorbrachte. Als Haas diese Nachricht erhielt, spannte er gleichfalls absichtlich einen langen Draht im Freien aus, und nahm die nämliche Erscheinung wahr, fand sie aber als Voranzeige des Wetters zuweilen trüglich[8]. Die Wirkung ist zweifelsohne eine Folge der Temperaturveränderung[9]. Des Tönens wegen nennt man den Apparat auch *Wetterharfe*.

Bei den Barometern, wenn man zugleich ihre Verfertigung berücksichtigt, kommen hauptsächlich in Betrachtung zuerst die *Röhre*. Obgleich das dickere Glas der Röhre

---

1 G. IV. 456.
2 Brugnatelli Giorn. X. 192.
3 Ebend. p. 416.
4 G. VI. 445.
5 Phil. Tr. XXXIII. 179.
6 G. XV. 463.
7 J. de Ph. XIX. 3.
8 Lichtenb. Mag. II. 4. 213.
9 Vergl. Hindenburg Archiv. I. 128. Döbereiner bei G. LXXII. 316.

dem Stofse des Quecksilbers leichter widersteht, so ist es doch aus andern Gründen vortheilhafter, die Glasesdicke nicht stärker als etwa 0,2 Lin. zu wählen, insbesondere weil diese leichter und sicherer ausgekocht werden können. Die Weite der Röhre darf nicht unter 1,5 Lin. seyn, weil sonst die Beweglichkeit des Quecksilbers zu geringe ist. Die Masse des Quecksilbercylinders nämlich wächst wie das Quadrat des Durchmessers der Röhre, ihre innere Fläche aber, an welcher sich das Quecksilber bewegt, wie die einfache Potenz desselben, mithin wird der gröfsere Cylinder die Adhäsion im Verhältnisse des Quadrates des Durchmessers zur einfachen Potenz desselben überwinden. Eine weitere Röhre zu wählen, als höchstens 2,5 bis 3 Lin. ist zweckwidrig, weil dadurch die Masse, und somit das Gewicht des Quecksilbers unnöthig vermehrt wird. Obgleich man bei jedem Barometer am besten die absolute Länge der Quecksilbersäule mifst, und hierbei ihre gleiche oder ungleiche Dicke nach dem oben angegebenen Princip der communicirenden Röhren nicht direct in Betrachtung kommt, so ist es doch vorzüglich der Capillarität wegen vortheilhaft, möglichst genau cylindrische Röhren zu wählen, und bei Heberbarometern nimmt man es als Regel an, dafs beide Schenkel innerhalb der Länge, bis wohin die Beobachtungen reichen, gleich weit seyn müssen, weswegen man zum kürzeren Schenkel das oben abgeschnittene Stück des längeren nimmt. Das Caliber läfst sich für diesen Zweck genügend vermittelst eines an einem Bindfaden durchgezogenen Korkes, oder wenn man gröfsere Genauigkeit sucht, nach DE LÜC vermittelst eines über dem Korke befindlichen, und beim Herabziehen desselben allmälig durchlaufenden Quecksilbercylinders finden, indem man dessen gleichbleibende oder sich verändernde Länge mit einem Stückchen Charte mifst. Weit wichtiger aber ist es, dafs die Röhre vollkommen trocken und rein von Staub und Schmutz sey. Zu diesem Ende zieht man wiederholt einen aus Baumwolle geformten, an einen Bindfaden befestigten Stöpsel hindurch, schmelzt dann die Röhre am oberen Ende so zu, dafs sie nicht in eine Spitze, sondern in eine etwas erweiterte Wölbung endigt, und biegt sie gehörig um, wenn man ein Heberbarometer haben will. Man hat auch vorgeschla-

gen[1], die Röhre etwa 0,5 bis 0,75 Z. unter ihrem oberen Ende bis zur Weite von $\frac{1}{3}$ Lin zusammenzublasen, damit das Quecksilber, ehe es gegen die obere Wölbung schlägt, durch diesen engeren Raum dringen mufs, und dadurch an Geschwindigkeit der Bewegung verliert. Das Mittel ist nicht verwerflich, sichert aber nicht vollständig, und bewirkt leicht ein Springen der Röhre an dieser Stelle beim Auskochen.

Das Quecksilber zum Barometer mufs rein von Schmutz und Feuchtigkeit, und mit andern Metallen nicht vermischt seyn. Von ersteren reinigt man dasselbe am leichtesten dadurch, dafs man es durch feine Papiertrichterchen durchlaufen läfst, noch besser, indem man es in einer Flasche aus Steingut mit einigen glühend hineingeworfenen Holzkohlen schüttelt, und dann durch die papiernen Tütchen filtrirt. Kauft man das Quecksilber nicht von hausirenden Händlern, sondern aus soliden Materialhandlungen, wohin es unmittelbar aus den Bergwerken gelangt, so ist es rein von beigemischten Metallen, indem es bei weitem zum gröfsten Theile als Zinnober gefunden, und aus demselben reducirt wird. Will man indefs verunreinigtes Quecksilber reinigen, so darf dieses keineswegs durch etwas aufgegossene verdünnte Salpetersäure geschehen, weil ein Theil des salpetersauren Quecksilbers oder der sonstigen Metallsalze so fest adhärirt, dafs es nicht wieder getrennt werden kann, und dann beim Auskochen die Röhre unvermeidlich beschmutzt, wodurch noch obendrein eine stark vermehrte Capillardepression entsteht. Auch die Destillation ist unzureichend, obgleich sie das Quecksilber bedeutend reinigt. Das einzige sichere Mittel für diesen Zweck ist daher die Verwandlung des Quecksilbers in Zinnober und die Reduction des Metalles aus demselben. Zu diesem Ende thut man 1 Th. Schwefel in einen irdenen Tiegel, schmelzt ihn, giebt 5 Th. des verunreinigten Quecksilbers dazu, rührt beständig mit einem eisernen Spatel, bis beide sich mit einer Explosion verbinden, welche einige Vorsicht, vorzüglich bei gröfseren Quantitäten, erfordert. Die erkaltete Masse wird herausgenommen, in einem eisernen oder steinernen Mörser gepulvert, in einen Glaskolben ge-

1 Biot Traité. I. 93.

than, welcher etwa nur zu $\frac{2}{3}$ angefüllt seyn darf; letzterer wird dann mit etwas Papier lose verstopft in einem Tiegel mit Sande mehrere Stunden einer allmälig verstärkten Rothglühhitze ausgesetzt, bis sich der Zinnober völlig sublimirt hat. Dieser wird herausgenommen, gepulvert, mit $\frac{1}{2}$ Eisenfeil oder nahe einer gleichen Menge Kalk gemengt, und dann am besten aus einer eisernen Retorte im Sandbade destillirt. Statt der letzteren kann man auch eine irdene oder eine gläserne beschlagene nehmen, läuft aber bei der ersteren Gefahr durch die Porosität derselben Quecksilber zu verlieren, und ist bei der letzteren nicht gegen das Zerspringen gesichert. Den Hals der Retorte umwickelt man mit mehrere Zolle vorstehendem Fliespapier, und taucht das Ende desselben in ein Gefäfs mit Wasser, in welchem man dann das gereinigte Quecksilber findet.

Das Auskochen der Barometer, welches schon Du Fay [1], Cassini und Lemonnier [2], Beighton [3] u. a. aus verschiedenen unrichtigen Gründen anzuwenden riethen, dient dazu, um alle Luft und Feuchtigkeit vom Quecksilber zu entfernen, ist daher zum Wesen des Barometers unentbehrlich, und kann auf keine Weise nach Milon u. a. [4] durch das Erhitzen des Quecksilbers vor dem Einfüllen in die Röhre ersetzt werden [5], indem selbst wiederholtes Auskochen die letzten Antheile der Luft und auch der Feuchtigkeit nicht völlig wegzuschaffen vermag. Die gewöhnliche Art des Auskochens geschieht, indem man die gefüllte und mit Papier lose verstopfte Barometerröhre unter einer Neigung von etwa 45° gegen den Horizont zuerst mit ihrem oberen, nach unten gekehrten Ende über lebhaft glühenden Kohlen in einer grofsen Kohlenpfanne allmälig erhitzt, dann bei wiederholtem leisen Schütteln so lange der Hitze aussetzt, bis das Quecksilber wirklich siedet, wobei die erzeugten Dämpfe die ganze Metallsäule etwa 0,5 bis 1 Z. heben, und das Quecksilber in einzelnen Tropfen sich unten wieder sammelt. Es erfordert

1 Mém. de l'Acad. 1825.
2 Mém. de l'Acad. 1740.
3 Phil. Tr. N. 448.
4 J. d. Ph. LIV. 128. G. XIV. 432.
5 Parrot Phys. I. 369.

einige Uebung, zu verhüten, dafs die stark bewegte Quecksilbersäule das Glas nicht zerschellet, welches man am besten vermeidet, wenn man die Röhre beim stärkeren Wallen nicht etwa herauszieht, sondern vielmehr weiter auf den Kohlen hinschiebt. So lange noch Luftbläschen am ausgekochten Theile sichtbar sind, mufs das Kochen fortgesetzt werden, jedoch mufs man sich hüten, expandirte Quecksilberdämpfe nicht mit Luftblasen zu verwechseln. Man fährt dann vom obern Ende an so lange mit dem Auskochen fort, bis die ganze Röhre auf diese Weise ausgekocht ist, nimmt aber den papiernen Pfropfen zeitig genug weg, damit durch das Verkohlen desselben die Röhre nicht beschmutzt wird. Bei einer gut ausgekochten Barometerröhre mufs nach dem Erkalten das Quecksilber mit einer hellglänzenden Metallfläche am Glase liegen. Hat man indefs auf diese Weise dieselbe auch mehrmals, selbst 6 bis 8 mal ausgekocht, so ist dennoch nicht alle Luft entwichen, wie sich aus der noch immer stattfindenden Capillardepression ergiebt. Der Grund liegt sehr einfach darin, dafs während dem Auskochen etwas von dem oberen, noch unreinen, kälteren und daher specifisch schwererem Quecksilber herabsinkt, und das schon ausgekochte wieder verunreinigt. Vollkommene Reinheit ist daher nur dann zu erhalten, wenn man die ganze Röhre zugleich über einer hinlänglichen Menge Kohlen auskocht, eine Methode, welche der Mechanicus Clarcy bei einigen Barometern anwandte, und welche nach der Aussage des Dr. Eimke ein gemeiner Glasbläser in Hamburg bei allen für Repsold ausgekochten Barometerröhren befolgt. Auch d'Angos[1] giebt an, dafs er, um übereinstimmende Barometer zu erhalten, die Röhren mit reinem Quecksilber fülle, die obere Mündung mit einem länglichen Sacke von Leinen verbinde, um das durch das Sieden herausgeworfene Quecksilber aufzunehmen, dann drei Röhren zugleich in ein Futteral von Eisenblech mit feiner Asche gefüllt einschliefse, dieses allmälig erhitze, und dann über Holzkohlen in einer etwas geneigten Lage eine halbe Stunde kochen lasse. Ist hierbei zu viel Quecksilber aus der Röhre gekommen, so

1 J. de Ph. LXXIII. 146.

werden die Röhren nachgefüllt, und abermals gekocht, wodurch sie völlig luftleer werden. Indefs scheint diese Methode wegen des heftigen Siedens des Quecksilbers kaum anwendbar, und auf allen Fall der leinene Sack nicht hinlänglich gegen das Auslaufen und Verdampfen des Quecksilbers schützend, abgerechnet, dafs derselbe in der grofsen Hitze des Sandes verkohlen mufs. Gerathener dürfte es zur Erreichung dieses allerdings wichtigen Zweckes seyn, an das offene Ende der Barometerröhre eine hinlänglich weite Kugel mit einer feinen, etwas gebogenen Spitze anzublasen, in welcher das wallende und durch die Hitze stark ausgedehnte Quecksilber sich sammeln, und aus derselben wieder in die Röhre zurückfliefsen könnte, diese Kugel aber so weit vom Feuer entfernt zu halten, dafs das Quecksilber in derselben während des heftigen Siedens in der Röhre nur wenig siedet, um nicht zu grofsen Verlust durch die entweichenden Dämpfe zu erleiden. Arbeiter, welche dieses Auskochen oft und anhaltend verrichten, müssen zum Schutze gegen den schädlichen Einflufs der Quecksilberdämpfe die Respirationswerkzeuge mit einem nassen Badeschwamme verhüllen.

Heberbarometer müssen schon vor dem Auskochen in die gehörige Form gebogen seyn, aufser das nach Gay-Lüssac construirte, bei welchem des zwischengesetzten engen Röhrchens wegen der kürzere Schenkel erst nach dem Auskochen umgebogen wird, weil hierdurch das Auskochen sehr viel leichter geschieht und beim Zusammenziehen des Quecksilbers nach dem Erkalten auch dafür gesorgt werden kann, dafs ausgekochtes Quecksilber in die engere Röhre kommt. Bei den Röhren der Gefäfsbarometer ist es aber vortheilhaft, sie etwas länger zu lassen, eine etwa 32 bis 33 Z. lange Quecksilbersäule in ihnen ganz auszukochen, und das Rohr dann in gehöriger Länge von 32 bis 32, 5 Z., und etwas unter dem Niveau des Quecksilbers abzuschneiden, indem man sie rundum mit einer scharfen englischen Feile ritzt, und vorsichtig abbricht. Die gemeinen, zu Wetterbeobachtungen bestimmten Barometer und das Huygenssche werden dann auf ein flaches Barometerbrett gelegt, bei jenen die Flaschen, bei diesem die Cylinder in dasselbe eingelassen, und bei beiden Arten ist es am einfachsten, die

Scale nach einem genauen Normalbarometer zu reguliren. Bei Reisebarometern werden die Röhren bis zur Hälfte in das Holz eingelassen, und bekommen zugleich eine Unterlage von Papier, feinem Leder oder weichem Zeuge, und sind durch zwei oder drei messingene Halter mit untergelegtem Leder unbeweglich befestigt. Man giebt dem Holze, worin sie eingeschlossen sind, meistens die Cylinderform als die bequemste zum Transportiren, bestehend aus zwei Halbcylindern, deren einer als Deckel dient, und beim Beobachten in Charnieren beweglich aufgeschlagen wird. Nach dem Verschliefsen wird letzterer durch zwei kleine Häkchen a, b, und an beiden Enden durch die drehbaren messingnen Hülsen pp, qq verschlossen, an welcher oberen zugleich der Ring zum Aufhängen befestigt ist, deren Ränder aber beide zur Hälfte ausgeschnitten sind, um nach dem Herumdrehen den Deckel aufschlagen zu können. Weil aber nach dem Oeffnen desselben der Schwerpunct nicht mehr in die Axe des Cylinders fällt, so mufs der Künstler den Ring in der oberen Hülse so anbringen, dafs das aufgeschlagene Barometer stets lothrecht hängt, welches nur dann für jeden Barometerstand beim Heberbarometer möglich ist, wenn die Axe der beiden Schenkel, so weit die Scale reicht, in einer lothrechten Linie liegt. Für die Beobachtung ist es sehr nützlich, wenn die Röhre, so weit als die Scale reicht, frei liegt, und zu diesem Ende der hölzerne Halbcylinder, welcher das Barometer trägt, ausgeschnitten ist. In diesem Falle aber mufs entweder beim Verschliefsen wieder ein pafsliches Stück Holz in diese Oeffnung eingeschoben werden, um der Röhre zur Widerlage zu dienen, oder diese mufs an beiden Seiten fest anliegen, weil sie sonst bei starken Erschütterungen schleudert, und leicht zerbrochen wird. Die vorzüglichern, aber auch kostbareren Constructionen der Reisebarometer nach Horner und Fortin sind oben beschrieben. Fig. 165.

Werden gut ausgekochte Barometerröhren umgekehrt, so bleibt das Quecksilber in der ganzen Röhre hängen, und es gehört nicht selten eine bedeutende Erschütterung dazu, bis es so weit herunterfällt, als der jedesmalige Barometerstand erfordert, es bleibt dann zuweilen ein Theil im oberen

Ende der Röhre hängen, und neigt man das Barometer wieder, so dafs das Quecksilber die ganze Röhre füllt, so bleibt es oft zum zweiten und auch zu mehreren Malen hängen. Wolf [1] erzählt die Beobachtungen dieser Art, welche schon Huygens, Brouneer, Boyle und Wallis gemacht haben, und die wunderbaren Theorieen, welche man hieraus ableitete. Das Phänomen erklärt sich indefs ganz einfach aus der Adhäsion des Quecksilbers an die Wände der Röhre, welche unmittelbar nach dem Auskochen wegen der innigen Berührung, worein beide gekommen sind, am stärksten ist, aber das Phänomen auch selbst bei unausgekochten Röhren erzeugt. Einige [2] wollen auch bemerkt haben, dafs das Quecksilber in Barometern unmittelbar nach einigen Oscillationen höher stehe, auch soll diese Erscheinung bei Heberbarometern anders als bei Gefäfsbarometern seyn. Es ist möglich, dafs sich etwas dieser Art bei einigen Barometern zeigt, und könnte vielleicht am stärksten bei denjenigen statt finden, welche beim Oscilliren der Quecksilbersäule leuchten, in welchem Falle man mit Toaldo auf elektrische Anziehung schliefsen müfste. Als Regel kann man die Erscheinung aber nicht ansehen, indem sie nicht allgemein vorkommt. [3] Ferner soll nach Cassini, [4] Plantade, Le Monnier, de Lüc [5] und Lutz [6] die Quecksilbersäule in Gefäfsbarometern kürzer seyn, als in Heberbarometern, weswegen er vorschlägt, ersteres nach letzterem abzurichten und zur Regulirung beide zuweilen zu vergleichen. [7] Indem bei den Heberbarometern die ganze Masse des Quecksilbers in der Röhre schwebend erhalten wird, der kürzere Schenkel, weit

---

1 Nützliche Versuche. II. C. 3. §. 36.

2 Chiminello J. d. Ph. XII. 461. und nach verschiedenen Widersprüchen abermals in Memorie di Mat. e di Fisica della Soc. Ital. delle sc. XV. 1. 80. daraus in G. LIV. 358.

3 Ob wohl von Chiminello bei seinen Versuchen a. a. O. der Einfluss der Wärme von den Händen und der Person desjenigen, welcher das Barometer schüttelte, gehörig berücksichtigt ist?

4 Mém. de l'Ac. 1733.

5 Recherch. §. 384.

6 Von Barometern §. 115.

7 Vergl. Busse bei G. LVIII. 329.

enger als das Gefäfs, stets mit Luft angefüllt ist, und daher eine stärkere Capillardepression hat, als der längere Schenkel, so kann die Quecksilbersäule hierin leicht etwas länger seyn, und bei sehr genauen correspondirenden Beobachtungen ist es daher räthlich, anzumerken, ob dieselben mit Heberbarometern oder Gefäfsbarometern angestellt werden sollen. Sind aber beide Barometer vollkommen genau gearbeitet, sucht man beim Heberbarometer den kürzeren Schenkel durch öfteres Auswischen möglichst rein zu erhalten und wird das Quecksilber im Gefäfse gegen Beschmutzung gesichert, welche leicht durch etwas Feuchtigkeit, oder nach Gay-Lüssac [1] aus etwas durch Fett gedämpftem Quecksilber besteht, so wird nicht leicht eine Differenz zwischen beiden statt finden.

Einer der wesentlichsten Theile des Barometers ist die Scale. Nach dem gleich im Anfange angegebenen Wesen des Barometers, wonach es aus einer, durch den Luftdruck in die Höhe gehobenen Quecksilbersäule besteht, kann dasselbe kein Individuum seyn [2], sobald sich in der Röhre nichts als reines Quecksilber befindet, da reines Quecksilber und gleicher Luftdruck als gleiche Bedingungen des Barometerstandes auch gleiche Wirkungen erzeugen müssen. Selbst eine geringe, ohne genauere Prüfung nicht wahrnehmbare Verunreinigung des Quecksilbers kann keine merkliche Differenzen erzeugen, weswegen bei zweckmäfsig eingerichteten Barometern die gemeine Voraussetzung eines richtigern oder unrichtigern Ganges auch durchaus unstatthaft ist. Indem aber dennoch verschiedene Barometer zuweilen eine gröfsere Differenz zeigen, als aus der Capillardepression folgt, so liegt die Ursache hiervon in der Regel an einem, bei der Theilung der Scale benutzten unrichtigen Mafsstabe.[3]

---

1 Ann. de Chim. et de Ph. I. 114.

2 Benzenberg bei G. XXXVI. 345.

3 Ehemals differirten verschiedene Barometer oft bedeutend. Lalande klagt hierüber Conn. des Temps. an VI. indem das von de Lüc nach Paris gebrachte Barometer $1\frac{3}{4}$ Lin. höher stand, als Messier's. Benzenberg verglich 15 Barometer von Frankfurt bis in die Schweitz, und fand keine gröfsere Differenz als 0,03 bis 0,04 p. Z. und bei eigentlich guten Barometern mufs der Unterschied noch weit geringer seyn. G. XXXVI. 351. Ein von mir verglichenes Fortin'sches Barometer und ein Heberbarometer von Loos gab für letzteres eine Differenz von + 0,02 Lin

Die Mechaniker haben daher vor allen Dingen dahin zu sehen, dafs sie sich keines gemeinen und nicht hinlänglich geprüften Normalmafses bedienen [1].

Indem man bei jeder richtigen Beobachtung allezeit die absolute Länge der Quecksilbersäule von einem Niveau derselben bis zum andern messen mufs, beide Niveau's aber bei jeder Veränderung einander entgegengesetzt steigen oder fallen, so mufs man hierauf Rücksicht nehmen. Bei den Heberbarometern ist die von DE Lüc vorgeschlagene Einrichtung die sicherste und zweckmäfsigste, nämlich dafs man ohngefähr in der Mitte des Barometers den Nullpunct der Scale setzt, von hieraus dieselbe nach oben und unten gleichmäfsig theilt, an beiden Schenkeln ablieset, die erhaltenen Gröfsen addirt und hierdurch die ganze Höhe der Quecksilbersäule findet, wobei die geringe Mühe des doppelten Ablesens und Addirens im Verhältnifs der erreichten gröfseren Genauigkeit nicht in Betracht kommen kann. Andere Vorschläge, z. B. nach LUTZ [2] die Seile vom Niveau des kürzeren Schenkels mit 0 anfangend zu verzeichnen, dann die Barometerröhre an einem Wirbel vermittelst eines Fadens auf und niederzuziehen, und das Niveau des unteren Schenkels immer wieder auf 0 einzustellen, noch mehr aber Magellan's, [3] das Barometer um einen Punct, etwa den bei 0 des küreren Schenkels herumzudrehen, bis das Quecksilber in demselben diesen Anfangspunct mit seinem Niveau erreicht, den oben beschriebenen Bogen zu messen und hiernach die Höhe zu bestimmen, sind wegen minderer Genauigkeit und nicht hinlänglicher Festigkeit des Barometers unzulässig. Besser ist es, nach Lutz [4] die Scale beweglich zu machen, und den Nullpunct derselben bei jeder Beobachtung mit dem Niveau des untern Schenkel einzustellen. MAGELLAN's Vorschlag, das Quecksilber in einem ledernen Beutel, worin beide Schenkel stehen, so hoch oder so niedrig zu schrauben, dafs das Niveau im kürzeren Schenkel allezeit

---

1 S. *Mafs*.
2 a. a. O. §. 113.
3 J. d. Ph. XVIII. 108.
4 a. a. O. §. 153.

auf den festen Nullpunkt der Scale zu stehen komme, ist aus vielen Gründen verwerflich. Für die täglichen Wetterbeobachtungen ist das doppelte Ablesen und Addiren allerdings mühsam, aber auch das jedesmalige Verschieben der Röhre oder der Scale zu weitläuftig. Sollen daher solche Beobachtungen blofs zur Vergleichung des Barometerstandes mit dem Gange der Witterung dienen, so genügen gemeine Flaschenbarometer oder Gefäfsbarometer, bei denen der Durchmesser der Röhre und des Quecksilberbehälters in einem nicht kleineren Verhältnisse als 1 : 10 stehen, weil dann die Differenz der beobachteten und der eigentlichen Barometerveränderung nicht mehr als + 0,01 beträgt. Will man aber den mittleren Barometerstand, oder bedeutende Barometerveränderungen genau haben, so genügt dieses nicht. Am besten hierzu ist es, die Correction wegen des Quecksilberstandes im Gefäfse in der Scale selbst zu corrigiren.

Bei Gefäfsbarometern nämlich kann man 1. entweder die Durchmesser der Röhre und des Gefäfses genau suchen, dann die Höhe bestimmen, welche das Quecksilber bei mittlerem Stande des Barometers im Gefäfse erreichen soll, hier den Anfang der Scale setzen, dann die Länge bis zum mittleren Stande genau messen, und von hier aus sowohl nach oben als auch nach unten die Scale so viel kürzer theilen, als die Correction wegen des Gefäfses erfordert[1]. Es sey z. B. der innere Durchmesser der Glasröhre = 2 Lin., der äussere = 2,5 Lin., der innere Durchmesser des Gefäfses 17 Lin., so verhalten sich die Quecksilbercylinder in der Röhre und im Gefäfse = $2^2 : 14{,}5^2$. Ist ferner der mittlere Barometerstand 28 Z., so macht man im Gefäfse ein Zeichen, welches das Niveau des Quecksilbers in demselben bei diesem Barometerstande erreichen soll, mifst von hier auf der Scale genau 28 Z. und theilt dieselbe von hieran nach oben und unten genau so, dafs $1\text{ Z.} = \left(1 - \frac{2^2}{14{,}5^2}\right) = 0{,}980975$ Z. wird, welches mit einer Theilmaschine leicht, ohne diese aber nicht wohl anders zu bewerkstelligen ist, als wenn man die Differenz auf einen gröfseren Theil der Scale vertheilt.

[1] Müller bei G. IV. 19.

Man gießt dann so viel Quecksilber in das Gefäfs, dafs es genau das gemachte Zeichen mit dem Niveau erreicht, wenn es in der Röhre 28 Z. zeigt, oder man regulirt seinen Stand nach einem genauen Normalbarometer bei jeder beliebigen Höhe durch Zugiefsen oder Wegnehmen von Quecksilber im Gefäfse. Auf diese Weise sind die Scalen bei den von Loos verfertigten Gefäfsbarometern corrigirt. Diese Methode unterliegt indefs dem Nachtheile, dafs beim Zerschlagen der Röhre auch die Scale unbrauchbar wird, wenn man nicht eine ganz gleiche Röhre wieder erhalten kann. Man kann 2. aber auch die Correction wegen des Gefäfses jederzeit berechnen. Dieses ist indefs zu mühsam, und würde im beispielsweise angeführten Falle also erfordern, dafs man statt einer Beobachtung von etwa 5 Lin. unter oder über dem Normalstande $5 \times \left(1 + \frac{2^2}{14{,}5^2}\right)$ Lin. notirte. Blofs in dem Falle, wenn das Verhältnifs 1 : 100 wäre, und man also statt 5 Lin., 5 + 0,05 Lin. aufzeichnen könnte, würde dieses ohne weitläuftige Rechnung möglich seyn. 3. Das Verschieben der Scale, indem man einen beliebigen Punct derselben nach einem vom Quecksilber im Gefäfse getragenen Schwimmer und einem auf demselben verzeichneten Striche einstellt, ist theils mühsam, theils wegen des niedrig hängenden Gefäfses und daraus leicht entstehenden parallaktischen Fehlers leicht unsicher und es ist daher viel sicherer und schärfer, wenn man 4. nach Horner's oben angegebener Methode das Niveau des Quecksilbers im Gefäfse jederzeit scharf einstellt.

Verschiedene anderweitige Vorschläge, den Einfluss des Gefäfses mechanisch zu corrigiren, wird man gegenwärtig nicht mehr in Anwendung bringen, und sie haben blofs noch historisches Interesse. Hierhin gehört der vom holländischen Künstler Prinz gemachte, welcher nach ihm den Namen des *Prinz'schen Gefäfses* oder auch der *Prinz'schen Fläche* erhal-
Fig. ten hat. Das Quecksilber in dem weiten Gefäfse wird mit
166. einem festen Deckel ab belegt, durch welchen die Barometerröhre so gesteckt ist, dafs beim höchsten Barometerstande neben derselben etwas Quecksilber herauftritt, und sich als Ring $\alpha\beta$ um die Röhre legt. Fällt dann das Barometer, so

soll sich dieser Ring als Fläche über dem Brette a b ausbreiten, ohne die Höhe des Quecksilbers im Gefäfse zu vermehren[1]. Einige Aehnlichkeit hiermit hat das von Changeux[2] vorgeschlagene Barometer, bei welchem eine seitwärts angebrachte horizontale Röhre so viel Quecksilber aufnimmt, als aus der eigentlichen Barometerröhre herabsinkt, so dafs das Niveau stets gleich erhalten wird. Die Figur erläutert genügend diese unbequeme Vorrichtung. Besser ist es, nach Schiavetto[3] eine eigene Scale am Gefäfse anzubringen, und hiernach die absolute Höhe der Quecksilbersäule zu corrigiren. Mehr der Prinz'schen ähnlich ist die von Voigt[4] vorgeschlagene Einrichtung, wonach sich das Quecksilber auf der Fläche des weiten Gefäfses a b ausbreiten soll.

Fig. 167.

Fig. 168.

Die Scale wird bei gewöhnlichen Barometern oft blofs auf Papier gezeichnet. Für gemeine Wetterbeobachtungen ist dieses hinreichend, auch bei der vergröfserten Scale des des Huygensschen Doppelbarometers, wenn man das Papier auf Holz klebt, und dadurch die hygrometrische Ausdehnung desselben aufhebt. Für gröfsere Genauigkeit reicht eine solche nur bis halbe Duodecimallinien gehende Theilung nicht aus. Das Verzeichnen derselben auf Elfenbein giebt zwar eine bis 0,2 Lin. gehende Genauigkeit, und ist äufserlich schön, allein es läfst sich dabei nicht gut ein Vernier anbringen. Der Mechanicus Loos in Darmstadt ätzt die Scale in Zehntheilen der par. Duodecimallinie unmittelbar auf die Röhre mit einer Schönheit und Genauigkeit, welche alle Forderungen befriedigt[5], und indem man den Stand dann mit einer Loupe ablesen kann, so lassen sich noch füglich 0,025 Lin. unterscheiden. Für Meerbarometer ist diese Methode gewifs die vorzüglichste, allein man kann nicht verhehlen, dafs man theils die Parallaxe schwerer vermeidet[6], wenn man nicht beim Heberbarometer die Wölbungen des Queck-

---

1 Lutz Beschr. v. Bar. §. 131.
2 J. d. Ph. XXII. 387.
3 Lichtenb. Mag. IV. 1. 184.
4 Ebend. XI. 1. 98.
5 Vergl. Benzenberg bei G. XXXV. 189. Das leichte Verfahren, um in Glas zu ätzen, S. Art. *Fluor*.
6 Pistor bei G. XXXVI. 411.

silbers in beiden Schenkeln als gleich annimmt, und den Stand des Quecksilberrandes ablieset, welches eigentlich nur dann zulässig ist, wenn man beim Höhenmessen das nämliche Barometer unten und oben beobachtet. Ausserdem aber geht durch das Zerschlagen der Röhre die Scale mit zu Grunde, statt dafs man sonst nur eine neue Röhre einzusetzen nöthig hat. Am besten ist es daher, die Scale auf Messing aufzutragen, einen Nonius hinzuzufügen, und nach diesem die feineren Theile abzulesen.

Als absolutes Mafs der Scalen dient in England der Londoner Fufs, in den übrigen Ländern meistens der altfranzösische und das mètre, oder ein sonstiges übliches Längenmafs. Sowohl das Londoner als auch das altfranzösische Mafs trägt man am besten in Duodecimallinien auf, und lieset dann durch den Nonius Zehntel derselben ab, indem man 11 Lin. der Scale auf demselben in 10 Theile theilt, wobei man ohne Loupe noch nahe 0,025 Lin. schätzen kann. Kleinere Theile, als diese angegebenen in die Theilung zu bringen, ist für die Beobachtung unbequem, wie z. B. Hurter angegeben hat, da man doch nicht füglich eine Potenz weiter, also bis 0,01 Lin. gehen kann. Feiner und zugleich sehr bequem ist es, das metrische Mafs in Millimetern aufzutragen, und dann vermittelst des Verniers Zehntheile derselben (unbequemer nach Fortin Zwanzigstel) abzulesen, wodurch man etwas mehr als doppelt so kleine Theile erhält, als beim Linienmafse. Weil indefs verschiedene Tabellen für barometrische Höhenmessungen nach Linien berechnet sind, und sonst auch leicht die Barometerstände von Millimetern auf Linien und umgekehrt reducirt werden müssen, so ist nachfolgende Tabelle für den niedrigsten, im Luftballon schwerlich erreichbaren Barometerstand, bis zum höchsten berechnet. Es beträgt aber ein dixmillimètre 0,044329536 Lin. mithin darf man nur diese Zahl mit der Zahl der beobachteten dixmillim. multipliciren und zu der in der Tabelle stehenden Gröfse hinzuaddiren, um den in millim. und dixmillim. beobachteten Barometerstand in Linien und deren Theilen genau zu haben. Folgendes Täfelchen überhebt der Multiplication, und ist bis auf 0,001 Lin. genau.

mm.	Lin.	mm.	Lin.
0,1	0,0443	0,6	0,2659
0,2	0,0887	0,7	0,3103
0,3	0,1329	0,8	0,3546
0,4	0,1773	0,9	0,3989
0,5	0,2216	1,0	0,4433

mm	Linien	mm	Linien	mm	Linien
300	132,989	330	146,287	360	159,586
1	133,432	1	731	1	160,030
2	875	2	147,174	2	473
3	134,319	3	617	3	916
4	762	4	148,061	4	161,360
5	135,205	5	504	5	803
6	648	6	947	6	162,246
7	136,092	7	149,391	7	689
8	535	8	834	8	163,133
9	978	9	150,277	9	576
310	137,422	340	720	370	164,019
1	865	1	151,164	1	463
2	138,308	2	607	2	906
3	751	3	152,050	3	165,349
4	139,195	4	494	4	792
5	638	5	937	5	166,235
6	140,081	6	153,380	6	679
7	525	7	824	7	167,122
8	968	8	154,267	8	566
9	141,411	9	710	9	168,009
320	855	350	155,153	380	452
1	142,298	1	597	1	896
2	741	2	156,040	2	169,339
3	143,184	3	483	3	782
4	628	4	927	4	170,225
5	144,071	5	157,370	5	669
6	514	6	813	6	171,112
7	958	7	158,256	7	555
8	145,401	8	700	8	999
9	844	9	159,143	9	172,442

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

mm	Linien	mm	Linien	mm	Linien
390	172,885	430	190,617	470	208,349
1	173,329	1	191,060	1	792
2	772	2	504	2	209,235
3	174,215	3	947	3	679
4	658	4	192,390	4	210,122
5	175,102	5	833	5	565
6	545	6	193,277	6	211,009
7	988	7	720	7	452
8	176,432	8	194,163	8	895
9	875	9	607	9	212,338
400	177,318	440	195,050	480	782
1	761	1	493	1	213,225
2	178,205	2	936	2	668
3	648	3	196,380	3	214,112
4	179,091	4	823	4	555
5	535	5	197,266	5	998
6	978	6	710	6	215,442
7	180,421	7	198,153	7	885
8	865	8	596	8	216,328
9	181,308	9	199,040	9	771
410	751	450	483	490	217,215
1	182,194	1	926	1	658
2	638	2	200,369	2	218,101
3	183,081	3	813	3	545
4	524	4	201,256	4	988
5	968	5	699	5	219,431
6	184,411	6	202,143	6	875
7	854	7	586	7	220,318
8	185,297	8	203,029	8	761
9	741	9	473	9	221,204
420	186,184	460	916	500	648
1	627	1	204,359	1	222,091
2	187,071	2	802	2	534
3	514	3	205,246	3	978
4	957	4	689	4	223,421
5	188,401	5	206,132	5	864
6	844	6	576	6	224,308
7	189,287	7	207,019	7	751
8	730	8	462	8	225,194
9	190,174	9	905	9	637

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

mm	Linien	mm	Linien	mm	Linien
510	226,081	550	243,812	590	261,544
1	524	1	244,259	1	988
2	967	2	699	2	262,431
3	227,411	3	245,142	3	874
4	854	4	586	4	263,317
5	228,297	5	246,029	5	761
6	740	6	472	6	264,204
7	229,184	7	916	7	647
8	627	8	247,359	8	265,091
9	230,070	9	802	9	531
520	514	560	248,245	600	977
1	957	1	689	1	266,421
2	231,400	2	249,132	2	864
3	844	3	575	3	267,307
4	232,287	4	250,019	4	750
5	730	5	462	5	268,194
6	233,173	6	905	6	637
7	617	7	251,348	7	269,080
8	234,060	8	792	8	524
9	503	9	252,235	9	967
530	947	570	678	610	270,410
1	235,390	1	253,122	1	853
2	833	2	565	2	271,297
3	236,276	3	254,008	3	740
4	720	4	452	4	272,183
5	237,163	5	895	5	627
6	606	6	255,338	6	273,070
7	238,050	7	781	7	513
8	593	8	256,225	8	957
9	936	9	668	9	274,400
540	239,380	580	257,111	620	843
1	823	1	555	1	275,286
2	240,266	2	998	2	730
3	709	3	258,441	3	276,173
4	241,153	4	884	4	616
5	596	5	259,328	5	277,060
6	242,039	6	771	6	503
7	483	7	260,214	7	946
8	926	8	658	8	278,390
9	243,369	9	261,101	9	833

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

mm	Linien	mm	Linien	mm	Linien
630	279,276	670	297,008	710	314,740
1	719	1	451	1	315,183
2	280,163	2	895	2	626
3	606	3	298,338	3	316,070
4	281,049	4	781	4	513
5	493	5	299,224	5	956
6	936	6	668	6	317,400
7	282,379	7	300,111	7	843
8	822	8	554	8	318,286
9	283,266	9	998	9	729
640	709	680	301,441	720	319,173
1	284,152	1	884	1	616
2	596	2	302,328	2	320,059
3	285,039	3	771	3	503
4	482	4	303,214	4	946
5	926	5	657	5	321,389
6	286,369	6	304,101	6	833
7	812	7	544	7	322,276
8	287,255	8	987	8	719
9	699	9	305,430	9	323,162
650	288,142	690	874	730	606
1	585	1	306,317	1	324,049
2	289,029	2	760	2	492
3	472	3	307,204	3	936
4	915	4	647	4	325,379
5	290,359	5	308,090	5	822
6	802	6	534	6	326,265
7	291,245	7	977	7	709
8	688	8	309,420	8	327,152
9	292,132	9	864	9	595
660	575	700	310,307	740	328,039
1	293,018	1	750	1	482
2	462	2	311,193	2	925
3	905	3	637	3	329,369
4	294,348	4	312,080	4	812
5	791	5	523	5	330,255
6	295,235	6	967	6	698
7	678	7	313,410	7	331,142
8	296,121	8	853	8	585
9	565	9	314,297	9	332,028

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

mm	Linien	mm	Linien	mm	Linien
750	332,472	760	336,905	770	341,337
1	915	1	337,348	1	781
2	333,358	2	791	2	342,224
3	801	3	338,234	3	667
4	334,245	4	678	4	343,111
5	688	5	339,121	5	554
6	335,131	6	564	6	997
7	575	7	340,008	7	344,441
8	336,018	8	451	8	884
9	461	9	894	9	345,327

Folgende Beispiele mögen den Gebrauch dieser Tabelle erläutern. Meistens wird der Barometerstand in drei Decimalstellen des Meters angegeben, und dann giebt die Tabelle denselben in Linien des par. Z. unmittelbar. Ist daher z. B. derselbe $= 0^m,758$, so giebt die Tabelle 336,018 par. Lin. Wäre aber der mittlere Barometerstand $= 0^m,76235$ angegeben, so betragen nach der grofsen Tabelle:

$0^m,762$	337,791
nach der kleinen	
$0^m,0003$	0,0887
$0^m,00005$	0,02216
$0^m,76235$	337,90186

Man sieht bald, dafs die kleine Tabelle allein zur Reduction ausreicht, und die gröfsere entbehrt werden könnte, wenn sie nicht die Bequemlichkeit gewährte, bei der Reduction der gewöhnlichen Barometerstände sogleich aller Rechnung zu überheben.

Die gröfsere Tabelle dient indefs auch zur Reduction der in Linien gemessenen Barometerstände auf Meter. Es sey z. B. beobachtet 336,54 Lin., so giebt die Tabelle den nächsten genäherten Werth $= 0^m,759$. Genauer aber ist $336,54 - 336,461 = 0,079$, und $336,905 - 336,461 = 0,444$ also ist 336,54 par. L. genau $= 0^m,759 + \frac{0,079}{0,444}$ millim. $= 0,^m759178$.

Bei den Barometern verlangt man die absolute Höhe der durch den Luftdruck getragenen Quecksilbersäule. Zwei Bedingungen sind es indefs, welche diese modificiren, näm-

lich die Temperatur und die Capillardepression. Rücksichtlich der ersteren folgt, dafs eine Quecksilbersäule von gegebener Länge und gegebenem Gewichte bei 0° Temperatur ohne Veränderung des Gewichtes dennoch durch Temperaturerhöhung sich ausdehnen, mithin länger und auch kürzer werden kann, und da man die Gröfse ihres Druckes vermittelst der Scale blofs nach ihrer Länge bestimmt, so versteht sich, dafs man diese letztere stets nach der Wärme corrigiren, und deswegen jedes gute Barometer mit einem Thermometer versehen mufs. Indem es bei diesen Thermometern nicht darauf ankommt, dafs sie geringe Veränderungen der Wärme schnell anzeigen, sondern eine gleiche Temperatur mit dem Quecksilber des Barometers haben, so sind solche mit dickeren Cylindern und langen Scalen für genauere Beobachtungen am besten geeignet. Aufserdem müssen sie auf allen Fall in die Hülle des Barometers eingeschlossen, und nach Horner's Vorschlage[1] der Barometerröhre selbst so nahe als möglich gebracht seyn, um genau die Temperatur des Quecksilbers in der letzteren anzuzeigen. Zwei Thermometer mit sehr langen Cylindern, eins im kurzen und eins im langen Schenkel des Barometers nach Prechtl's Angabe[2] anzubringen, ist unausführbar, wenn das Quecksilber sowohl im Barometer als auch im Thermometer gehörig ausgekocht werden soll. Uebrigens machte Amouton[3] zuerst auf diese Correction aufmerksam, allein andere, als de la Hire, du Fay, Beighton[4] bestritten den Einflufs der Wärme auf die ausgekochten Barometer, bis de Lüc[5] die an sich klare Behauptung aus Theorie und Erfahrung erwies. Um indefs den Einflufs der Wärme genau zu corrigiren, mufste man die Ausdehnung des Quecksilbers mit Sicherheit finden, und es ist oben[6] erwähnt, wie verschieden die Angaben hierüber waren. Hinsichtlich auf die Correction der Barometerhöhen folgte man meistens den Angaben von de Lüc[7],

1 S. oben.

2 Jahrbuch des Polytechn. Inst. IV. 288.

3 Mém. de Par. 1740. 4 Phil. Tr. XL, 248.

5 Recherch. §. 355. 6 S. *Ausdehnung*.

7 a. a. O. Vergl. Kaestner Anmerkungen über die Markscheidekunst. Gött. 1775. 8. §. 295 ff.

Shuckburgh[1], Roy[2], und Rosenthal[3], oder nahm aus den verschiedenen Bestimmungen das Mittel, wie Lutz[4], und änderte dieses zuweilen noch für die Bequemlichkeit der Berechnung ab, wie Gerstner[5]. Zur Ersparung einer stets wiederholten mühsamen Rechnung verfertigte Schlögl[6] Tabellen für die Wärmecorrection der Barometerstände von 20 bis 29 Z. nach der 80theil. Scale, worin aber die Ausdehnung des Quecksilbers für 1° C. zu klein $= \frac{1}{5891}$ angenommen ist. Späterhin corrigirte man allgemein den Einfluss der Wärme nach La Place's und Lavoisier's Angabe der Ausdehnung des Quecksilbers für 1° C. $= \frac{1}{5412}$. Gegenwärtig ist diese Bestimmung möglichst genau durch Dülong und Petit gefunden, und somit die Formel für die Wärmecorrection von selbst gegeben, indem man meistentheils weit einfacher als früherhin die Temperatur bei 0° als normal annimmt, und auf diese reducirt. Indem nämlich blofs die absolute Länge der Quecksilbersäule gefunden werden soll, letztere aber so viel leichter oder schwerer, mithin bei unverändertem Gewichte so viel länger oder kürzer wird, als die Ausdehnung oder Zusammenziehung des Quecksilbers beträgt, so ist für t Grade C. über oder unter 0° die beobachtete Länge $=$ L gesetzt, die corrigirte $L' = L\left(1 \mp \frac{t}{5550}\right)$. Für diese Correction hat Winckler[7] Tafeln berechnet, welche indefs nur die Barometerstände von 23 bis 29 Z. und die Thermometerunterschiede von 0° bis 10° R. umfassen. Hier-

1 Phil. Tr. LXVII. n. 29. 2 Ebend. n. 34.

3 Beiträge zur Verfertigung, Kenntnifs und Gebrauch meteorol. Werkzeuge. Gotha 1782—84. 2 Vol. 8.

4 Beschreib. von Bar. §. 77.

5 Beobachtungen über d. Gebrauch d. Barometers bei Höhenmessungen u. s. w. Dresden 1791. 4. p. 279.

6 Tabulae pro reductione quorumvis statuum barometri cet. Monach. et Ingolstad. 1787. 4.

7 Tafeln, um Barometerstände, die bei verschiedenen Wärmegraden beobachtet worden sind, auf jede beliebige Normaltemperatur zu reduciren von C. L. G. Winckler. Halle 1820. 4.

bei ist aber noch Folgendes zu berücksichtigen. Ist die Scale von Papier gemacht und auf Holz geklebt, oder ist eine nur wenige Zolle lang messingene Scale oben angebracht, so ist die angegebene Wärmecorrection völlig zulässig. Schwierig ist die Entscheidung hierüber, wenn jeder Schenkel des Heberbarometers eine besondere Scale hat, indem dann nicht genau angegeben werden kann, nach welcher Seite hin und um welche Gröfse die Scalen sich ausdehnen. Will man daher die Ausdehnung durch Wärme vollständig genau corrigiren, so mufs entweder die Scale auf Glas geätzt oder auf einen, der ganzen Länge der Quecksilbersäule völlig oder mindestens nahe gleichen Messingstab, oder auf die das Barometer einschliefsende messingene Röhre, wie nach Fortin's und Horner's Einrichtung, aufgetragen seyn. Indem dann sowohl die Glasröhre als auch die Messingstange sich nach der nämlichen Seite hin ausdehnen, wie das Quecksilber, so hebt ihre Ausdehnung die des letzteren um ihren aliquoten Theil auf. Wird demnach die Ausdehnung des Glases[1] zwischen den festen Puncten des Thermometers nach Horner $= 0{,}000921$, also für $1°$ C. $= \frac{1}{108577{,}5}$; die des Messings aber $= 0{,}001903$, also $= \frac{1}{52548{,}6}$ angenommen, so wäre hiernach für die in Glas geätzten Scalen $L' = L\left(1 \mp t\left(\frac{1}{5550} - \frac{1}{108577{,}5}\right)\right)$ für messingene Scalen aber $L' = L\left(1 \mp t\left(\frac{1}{5550} - \frac{1}{52548{,}6}\right)\right)$. Indem nun jene Differenz nahe $\frac{1}{19{,}6}$; diese aber nahe $\frac{1}{9{,}5}$ beträgt, so kann man vorzüglich in Beziehung auf die letztere Gröfse, weil die Messingstange oder die einschliefsende Messingröhre selten völlig so lang ist als die Quecksilbersäule, für jenes unbedenklich $\frac{1}{20}$ und für dieses $\frac{1}{10}$ setzen, mithin von der berechneten, oder aus der nachstehenden Tabelle entnommenen Correction bei geätzten Barometern nur 0,05, bei solchen mit messingener Scale 0,1 der Correction abziehen, es mag

[1] S. *Ausdehnung*.

in der Formel für Grade über 0 das obere, oder für Grade unter 0 das untere Zeichen gelten.

Die von Rosenthal[1], Lamanon[2] u. a. gethanen Vorschläge, die Scale nach Angabe des Thermometers am Barometer höher oder niedriger zu schieben, und auf diese Weise den Einfluss der Wärme ohne Rechnung zu corrigiren, sind nur da anwendbar, wo es auf Genauigkeit nicht ankommt. Besser ist der oft in Anwendung gebrachte Vorschlag von Haas[3], neben der Thermometerscale eine Correctionsscale anzubringen, wonach man für jeden Grad R. über oder unter dem Normalpuncte $0^m,05$ par. abzieht oder zusetzt. Indess passt dieses nicht für jeden Normalstand des Barometers, und ist daher gleichfalls zu wenig genau. Einen sehr sinnreichen Mechanismus, wonach die Correction wegen der Wärme auch mit Rücksicht auf den Stand des Barometers von 26 Z. 6 L. bis 28 Z. 6 L. mechanisch corrigirt wird, hat J. H. Müller bekannt gemacht[4]. Allein da vollkommene Genauigkeit dadurch doch nicht erreicht wird, und ausserdem die Anwendung dieses Mittels schwieriger seyn dürfte, als eine einfache Addition oder Subtraction nach der folgenden Tabelle, so wird eine blosse Erwähnung genügen.

Die Correction des Barometerstandes wegen der Wärme, oder die Reduction der Barometerbeobachtungen auf 0° C. als meistens angenommene Normaltemperatur, erfordert für jeden einzelnen Fall eine mühsame und langweilige Rechnung. Um dieser überhoben zu seyn, ist die nachfolgende Tabelle für alle Barometerstände von $0^m,400$ bis $0^m,800$ von 10 zu 10 Millim. und für die zugehörigen Thermometerstände von 0° bis 32° C. nach der Formel $L' = L\left(1 \mp \frac{t}{555o}\right)$ berechnet. Für das neufranzösische Mass ist sie deswegen eingerichtet, weil dieses für physikalische Apparate, namentlich für Barometerscalen am geeignetsten und bereits sehr allgemein eingeführt ist, und ausserdem nach der oben gegebenen Tabelle die in altfranz. Fussmass gemessenen Barometerstände leicht hierauf reducirt werden können. Der Gebrauch der in der Tabelle enthaltenen Zahlen ergiebt sich

1 Anleitung, das de Lücsche Barometer zu einem höheren Grade der Vollkommenheit zu bringen. Gotha 1779. 8. 2 J. de Ph. 1782.
3 Gren J. VII. 238. 4 G. IV. 23.

leicht. Indem die Formel nämlich fordert, dafs die durch den Einfluss der Temperatur erzeugte Verlängerung oder Verkürzung der Quecksilbersäule für alle Grade der Centesimalscale über 0° abgezogen, unter 0° aber zuaddirt werden, so sind diese Gröfsen in der Tabelle in Dixmillim. berechnet, und werden sonach für die obenstehenden Grade abgezogen oder zuaddirt, wie folgende Beispiele zeigen.

1. Wenn der Barometerstand blofs bis auf Centimeter angegeben ist, so giebt die Tabelle die Correction unmittelbar. Es sey z. B. der Barometerstand $0^m,75$, der Thermometerstand 15° C. angegeben; so giebt die Tabelle hierfür 2027, also ist der corrigirte Barometerstand $= 0^m,75 - 0^m,002027 = 0^m,747973$. Wäre aber der Barometerstand $= 0^m,72$ und der Thermoterstand $= -2°$ C. angegeben, so wäre der corrigirte $= 0^m,72 + 0^m,000259 = 0^m,720259$.

2. Ist dagegen, der Barometerstand bis auf Millim. oder Dixmillim. angegeben, so erfordert die Tabelle eine ohne zu grofse Weitläuftigkeit unvermeidliche Interpolation. Die Uebersicht der Tabelle ergiebt indefs, dafs die Unterschiede für einzelne Millim. meistens erst in die millimilim. fallen, und folglich füglich vernachlässigt werden können, indem man diejenigen Gröfsen, welche unter 5^{mm} betragen, nach der vorhergehenden, welche aber über 5^{mm} betragen, nach der folgenden Reihe corrigirt. Es sind daher nur die Differenzen der Thermometergrade zu interpoliren. Ist z. B. $0^m,758$ bei 13°,6 beobachtet auf 0° zu reduciren, so giebt die Tabelle für 760 und 13° $= 1780$, für 14° $= 1917$. Es ist aber $1917 - 1780 = 137$, mithin die Correction $= \overline{+}\ 0{,}001780 + (137 \times 0{,}6) = 1856$, also der reducirte Barometerstand für Grade über $0 = 0^m,75615$ für Grade unter $0 = 0^m,75985$. Endlich ist von selbst klar, dafs bei der Vergleichung von zwei Barometerständen blofs der eine für die Differenz der Temperaturen corrigirt werden mufs, um beide z. B. bei Höhenmessungen, vergleichen zu können. Wäre also der eine bei 15° C. der andere bei 10° beobachtet, so würde es genügen, dem letzteren die Correction für 5° C. hinzuzusetzen.

mm.	1°	2°	3°	4°	5°	6°	7°	8°
400	072	144	216	288	360	432	504	577
10	074	148	221	295	369	443	516	591
20	076	152	227	302	378	454	529	606
30	078	155	232	309	387	465	541	620
40	079	158	238	316	396	476	554	635
50	081	162	243	324	405	486	567	649
60	083	166	248	331	414	497	580	663
70	085	170	254	338	423	508	593	678
80	087	173	259	345	432	519	605	692
90	088	176	264	352	441	530	618	707
500	090	180	270	360	450	540	630	721
10	092	184	275	367	459	551	642	735
20	094	188	281	375	468	562	655	750
30	096	191	287	380	477	573	667	764
40	098	194	292	387	486	584	680	779
50	099	198	297	396	495	594	693	793
60	101	202	302	403	504	605	705	807
70	103	206	308	410	513	616	718	822
80	105	209	313	418	522	627	730	836
90	106	212	319	425	531	638	743	850
600	108	216	324	432	540	648	757	865
10	110	220	330	439	549	659	769	879
20	112	224	335	446	558	670	781	894
30	115	227	341	454	567	681	794	908
40	116	230	346	461	576	692	807	922
50	117	234	351	469	585	702	819	937
60	119	238	356	476	594	713	831	951
70	121	241	362	484	603	724	844	966
80	123	245	367	491	612	735	856	980
90	124	249	373	498	621	746	869	995
700	126	252	378	505	631	757	883	1009
10	128	256	383	512	640	768	896	1023
20	130	259	389	520	649	779	908	1038
30	132	263	394	527	658	790	921	1052
40	134	267	400	534	667	800	935	1067
50	135	270	405	541	676	811	946	1081
60	137	274	410	548	685	822	959	1095
70	139	277	416	556	694	833	971	1110
80	141	281	421	563	703	844	984	1124
90	143	284	427	570	712	855	997	1139

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

mm.	9°	10°	11°	12°	13°	14°	15°	16°
400	649	721	793	865	937	1009	1081	1153
10	665	739	813	886	960	1034	1108	1182
20	681	757	833	908	984	1059	1135	1211
30	697	775	853	930	1007	1084	1162	1240
40	714	793	873	952	1030	1109	1189	1269
50	730	811	892	973	1054	1135	1216	1297
60	746	829	912	994	1077	1160	1243	1326
70	762	847	932	1016	1100	1185	1270	1355
80	778	865	952	1038	1123	1210	1297	1383
90	795	883	972	1060	1147	1235	1326	1412
500	811	901	991	1081	1171	1261	1351	1441
10	827	919	1011	1102	1194	1286	1378	1470
20	843	937	1031	1124	1218	1311	1405	1499
30	860	955	1051	1146	1241	1336	1432	1528
40	876	973	1071	1168	1264	1361	1459	1557
50	892	991	1090	1189	1288	1387	1486	1586
60	908	1009	1110	1210	1311	1412	1513	1615
70	924	1027	1130	1232	1334	1437	1540	1644
80	640	1045	1150	1253	1358	1462	1567	1673
90	956	1063	1170	1275	1382	1487	1594	1702
600	973	1081	1189	1297	1405	1513	1621	1730
10	989	1099	1209	1318	1428	1538	1648	1759
20	1005	1117	1229	1340	1451	1563	1675	1788
30	1022	1135	1249	1362	1474	1588	1702	1817
40	1038	1153	1269	1383	1498	1613	1729	1846
50	1054	1171	1288	1405	1522	1639	1756	1875
60	1070	1189	1308	1426	1545	1664	1783	1904
70	1086	1207	1328	1448	1569	1689	1810	1933
80	1103	1225	1348	1470	1592	1714	1837	1962
90	1119	1243	1368	1492	1616	1740	1864	1991
700	1135	1261	1387	1514	1640	1766	1892	2019
10	1151	1279	1407	1536	1663	1791	1919	2048
20	1167	1297	1427	1557	1687	1816	1946	2077
30	1183	1315	1447	1580	1710	1841	1973	2106
40	1200	1333	1467	1600	1733	1866	2000	2134
50	1216	1351	1486	1622	1757	1892	2027	2163
60	1232	1379	1506	1644	1780	1917	2054	2192
70	1249	1397	1526	1665	1804	1942	2081	2221
80	1265	1405	1546	1687	1827	1967	2108	2250
90	1280	1423	1566	1708	1850	1992	2135	2289

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

mm.	17°	18°	19°	20°	21°	22°	23°	24°
400	1225	1297	1369	1441	1513	1585	1657	1729
10	1255	1330	1403	1477	1551	1624	1698	1772
20	1286	1362	1437	1513	1589	1664	1740	1815
30	1316	1395	1471	1549	1627	1703	1781	1859
40	1347	1427	1515	1585	1664	1743	1822	1902
50	1378	1459	1540	1621	1703	1782	1864	1946
60	1409	1491	1574	1657	1740	1822	1906	1989
70	1440	1524	1608	1693	1777	1862	1948	2032
80	1470	1556	1642	1729	1815	1901	1989	2075
90	1500	1589	1676	1765	1853	1941	2030	2118
500	1531	1621	1711	1802	1891	1981	2071	2161
10	1561	1653	1745	1838	1929	2021	2112	2204
20	1592	1686	1779	1874	1967	2060	2154	2247
30	1623	1718	1813	1910	2005	2100	2195	2291
40	1653	1751	1847	1946	2043	2140	2237	2334
50	1684	1783	1882	1982	2080	2179	2278	2377
60	1715	1816	1916	2018	2119	2219	2320	2421
70	1746	1848	1950	2054	2156	2258	2361	2464
80	1777	1871	1984	2090	2194	2298	2403	2507
90	1807	1903	2019	2126	2232	2338	2444	2551
600	1838	1946	2054	2162	2270	2378	2486	2594
10	1869	1978	2089	2198	2307	2417	2527	2637
20	1900	2011	2123	2234	2345	2457	2568	2680
30	1930	2043	2157	2270	2383	2497	2610	2724
40	1960	2076	2191	2306	2421	2536	2651	2767
50	1991	2108	2225	2342	2459	2576	2692	2810
60	2022	2140	2259	2378	2496	2616	2734	2854
70	2053	2173	2294	2414	2534	2655	2776	2897
80	2084	2206	2328	2450	2572	2695	2818	2941
90	2114	2238	2362	2486	2610	2734	2859	2984
700	2145	2271	2397	2523	2648	2774	2900	3027
10	2176	2303	2431	2560	2686	2813	2941	3070
20	2206	2336	2465	2596	2723	2853	2983	3113
30	2237	2368	2498	2632	2761	2892	3024	3157
40	2268	2400	2533	2668	2799	2932	3065	3200
50	2298	2433	2568	2702	2837	2972	3107	3244
60	2329	2466	2602	2738	2875	3012	3148	3287
70	2360	2500	2636	2774	2913	3052	3190	3330
80	2390	2532	2671	2810	2951	3091	3231	3373
90	2420	2564	2705	2846	2989	3131	3273	3417

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

mm.	25°	26°	27°	28°	29°	30°	31°	32°
400	1801	1873	1945	2017	2089	2162	2234	2306
10	1846	1920	1993	2067	2141	2216	2290	2363
20	1891	1967	2042	2118	2193	2270	2346	2421
30	1936	2014	2090	2168	2246	2324	2402	2479
40	1981	2060	2139	2219	2298	2378	2458	2536
50	2026	2107	2188	2269	2350	2432	2513	2594
60	2071	2154	2236	2319	2402	2486	2569	2652
70	2116	2200	2285	2370	2454	2540	2625	2709
80	2161	2247	2333	2420	2507	2594	2681	2767
90	2206	2294	2382	2471	2559	2648	2737	2824
500	2251	2341	2431	2521	2612	2702	2792	2882
10	2296	2388	2480	2571	2664	2756	2848	2940
20	2341	2435	2528	2622	2716	2810	2904	2997
30	2386	2482	2577	2672	2769	2864	2960	3055
40	2431	2529	2625	2723	2822	2918	3016	3112
50	2477	2575	2674	2773	2873	2972	3071	3170
60	2522	2622	2722	2823	2925	3026	3127	3228
70	2567	2669	2771	2874	2977	3080	3185	3285
80	2612	2716	2820	2925	3030	3134	3239	3343
90	2657	2763	2869	2975	3082	3188	3295	3401
600	2702	2810	2918	3026	3135	3243	3351	3459
10	2747	2857	2966	3076	3187	3297	3407	3516
20	2792	2904	3015	3127	3239	3351	3463	3574
30	2837	2951	3064	3177	3292	3405	3519	3632
40	2882	2998	3112	3228	3344	3459	3575	3689
50	2928	3044	3161	3278	3396	3513	3630	3747
60	2973	3091	3209	3328	3448	3567	3686	3805
70	3018	3138	3258	3379	3500	3621	3742	3862
80	3063	3185	3307	3430	3553	3675	3798	3920
90	3108	3232	3356	3480	3605	3729	3854	3978
700	3153	3279	3405	3531	3658	3784	3910	4036
10	3198	3326	3453	3581	3710	3838	3966	4094
20	3243	3373	3502	3632	1762	3892	4022	4151
30	3288	3420	3550	3682	3815	3946	4078	4209
40	3333	3467	3599	3733	3867	4000	4134	4267
50	3379	3513	3648	3783	3919	4054	4189	4324
60	3424	3560	3696	3833	3971	4108	4245	4381
70	3469	3617	3745	3884	4023	4162	4301	4439
80	3514	3654	3794	3934	4076	4216	4357	4497
90	3559	3701	3843	3985	4128	4270	4413	4555

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Ungleich schwerer läfst sich die zweite Bedingung finden, welche bei der Bestimmung der absoluten Länge der Quecksilbersäule zu berücksichtigen ist, nämlich der Einflufs der Capillardepression,[1] welche dem Durchmesser der Röhre umgekehrt proportional ist, und mit Recht für eine Folge des dem Quecksilber anhängenden geringen Antheils von Luft und Wasser gehalten wird.[2] Indem diese aber mehr oder minder durch sorgfältiges Auskochen weggeschaft werden, so mufs auch die Capillardepression bei verschiedenen Barometern verschieden seyn, und sie ist allezeit um so viel stärker, je mehr die Quecksilbersäule an ihrem Ende halbkugelförmig gewölbt ist. Hat das Quecksilber gar keine Convexität, ist vielmehr die Oberfläche desselben ganz eben, so findet gar keine Capillardepression statt, man kann die Scale vom Rande der Quecksilbersäule ablesen, und die ungleiche Weite der Röhre kommt nicht in Betrachtung. Die Wahrheit dieser Behauptung ergiebt sich aus einem sehr schätzbaren Barometer, welches Clarcy für G. G. Schmidt in Giefsen verfertigt hat.[3] Dieses besteht aus einer Röhre A von mittle- Fig.
rer Weite, welche in drei von sehr ungleichem Durchmesser 169.
endigt. Läfst man das Quecksilber in demselben oscilliren, so bemerkt man allerdings eine langsamere Bewegung desselben in dem Haarröhrchen c, allein nach einer gelinden Erschütterung steht es bei a, b und c in einer völlig horizontalen Ebene und jede Säule endigt in eine ebene Fläche. Einige Physiker wollen statt einer Capillardepression vielmehr eine Attraction wahrgenommen haben, wie aus der concaven Oberfläche des Quecksilbers hervorgehe. Biot[4] äufsert dieses im Allgemeinen, J. T. Mayer desgleichen[5], Casbois[6] giebt sie sogar bis zum Betrage von 2 — 3 Lin. an, Laplace[7] behauptet das Nämliche von seinen mit Lavoisier angestellten Versuchen, Parrot[8] will sie gleichfalls gefunden haben,

1 S. *Capillarität*.
2 Bellani in Brugnatelli Giorn. III. 291.
3 Schmidt Naturlehre. p. 156.
4 G. XXV. 245.
5 Naturlehre §. 115. Anm.
6 Hauy Seances de l'École normale III. 40. Traité élém. de Phys. §. 193.
7 G. XXXIII. 15.
8 Naturlehre 1. §. 448. Anm.

aber nicht so, dafs sie sich auf die Dauer erhielt, vielmehr bekamen die Barometer nach einigen Stunden die gewöhnliche Convexität wieder. Dafs wohl auf kurze Zeit eine durch die Concavität der Oberfläche des Quecksilbers kenntliche Capillarattraction statt finden könne, ist um so weniger zu bezweifeln, als das Quecksilber unmittelbar nach dem Auskochen an der Röhre festhängt, allein sobald es einmal getrennt ist, gehört der Fall unter die höchst seltenen, indem sicher bis jetzt noch nicht viele Barometer mit ebener Quecksilberfläche existiren. Uebrigens ist es eine wichtige Aufgabe für die Künstler, dahin zu streben, dafs durch ein nach oben angegebener Methode vollständiges Auskochen der Barometer die Capillardepression völlig aufgehoben werde.

Der Einflufs der Capillardepression würde bei Heberbarometern wegfallen, wenn man sie in beiden Schenkeln gleich annehmen könnte. Dieses ist indefs nicht wohl möglich, weil der eine luftleer ist, der andere aber mit der äufsern Luft in Verbindung steht, und man wird daher bei guten Barometern auch allezeit einen Unterschied der Convexität beider Flächen wahrnehmen. Im Allgemeinen ist es bei guten Barometern genügend, den Stand derselben nach dem höchsten Puncte der gewölbten Fläche, oder nach der Tangente an diesen zu messen, dieses bei beiden Schenkeln der Heberbarometer zu thun, und bei Gefäfsbarometern die Depression des Quecksilbers im Gefäfse als verschwindend zu vernachlässigen. Eine Berechnung der Depression blofs als Function des Durchmessers der Röhren ist durchaus unzulässig, weil die Beschaffenheit des Glases und insbesondere zugleich die Vollständigkeit des Ausgekochtseyns dabei gleichfalls in Betrachtung kommt. Indefs hat man wiederholt die Stärke der Depression als Function der Durchmesser der Röhren berechnet. Cavendish[1] fand bei

0,6	Z. Durchmesser	die	Depression	= 0,005 Z.
0,5	—	—	—	= 0,007 Z.
0,4	—	—	—	= 0,015 Z.

Laplace hat nach seiner Theorie und mit Benutzung der

1 Phil. Trans. 1776.

durch Hauy und Tremery aus ihren Versuchen gefundenen constanten Gröfsen folgende Tabelle in Millimètres berechnet.[1]

Durchm.		Depression.	Durchm.		Depression.
2	=	4,5599	11	=	03,506
3	=	2,9023	12	=	0,2602
4	=	2,0388	13	=	0,2047
5	=	1,5055	14	=	0,1597
6	=	1,1482	15	=	0,1245
7	=	0,8813	16	=	0,0970
8	=	0,6851	17	=	0,0754
9	=	0,5354	18	=	0,0586
10	=	0,4201	19	=	0,0430
			20	=	0,0352

Die einzige Art, die Depression genau zu berechnen, ist durch Schleiermacher und Eckhart auf Berechnungen nach Laplace's Formel und eigene genaue Versuche gegründet.[2] Nennt man die Höhe der Chorde des Meniscus, welcher das Quecksilber bildet, = a, den Halbmesser der Röhre = b, so ist für die in horizontaler Linie stehenden Werthe von a, und die verticalen von b, beide in Millimetern,

Depression in Millimetern.

	0,1	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0
0,5	4,975	12,560	8,912	12,616							
1,0	1,262	4,377	2,150	5,581	6,098	6,171					
2,0	0,299	1,152	0,595	1,643	2,037	2,338	2,541	2,658	2,681	2,699	2,712
3,0	0,121	0,476	0,242	0,695	0,859	1,066	1,206	1,316	1,397	1,449	1,473
4,0	0,068	0,240	0,120	0,354	0,460	0,546	0,530	0,702	0,758	0,805	0,838
5,0	0,034	0,069	0,138	0,205	0,247	0,299	0,308	0,390	0,428	0,468	0,476

Barometer für Wetterbeobachtungen hängen gewöhnlich in Zimmern an einer Wand unbeweglich fest, Seebarometer sind nach der oben angegebenen Art an einem hervorstehenden Arme freischwebend balancirt, für Reisebarometer hat man Stative, aus drei zu einem Stabe zusammengelegten Füfsen bestehend, wie oben nach Englefield und Fortin beschrieben ist, in Vorschlag gebracht. Bei Bergreisen sucht man indefs so leicht, wie möglich zu seyn, und vermeidet

1 Biot Traité. I. 90. Vergl. G. XXXIII. 112. Eine ausführlichere Tabelle S. *Capillarität.*

2 Delcros in Bibl. univ. 1818. May. p. 1. ff.

gern aufser dem Barometer selbst noch ein Stativ zu tragen. Am einfachsten und sichersten ist es, einen gebogenen Haken mit einer scharfen Holzschraube c mit sich zu führen, die-
Fig. 170. sen in einen Baum oder Ast einzuschrauben, an das Ende a b das Barometer vermittelst eines Ringes zu hängen, und zu gröfserer Sicherheit den kleinen Stift α vorzustecken, um gegen das Abgleiten gesichert zu seyn. Einen geeigneten Baum oder Strauch, um diesen Haken einzuschrauben, findet man leicht überall, und auf nackten Felsen dient hierzu bequem ein Alpenstock, welchen man zwischen Steinen feststellt oder durch einen Gefährten halten läfst. Ist die Quecksilbersäule nach einigen Schwankungen zum Stillstande gekommen, so wird nach der oberen Wölbung oder nach der Tangente an dieselbe abgelesen, wobei die Parallaxe sorgfältig zu vermeiden ist. Am sichersten geschieht dieses vermittelst der durch Horner der Barometerscale gegebenen Einrichtung, auch pflegt man allezeit einigemale mit dem Finger das Instrument zu erschüttern, damit die Quecksilbersäule durch stets abnehmende Schwankungen ihre wahre Länge erhalte. Vorzüglich ist dahin zu sehen, dafs das Barometer vertical hänge, welches entweder aus seiner Construction von selbst folgt, oder absichtlich bewirkt und durch ein Bleiloth nöthigenfalls controlirt werden mufs. Um die Temperatur des Quecksilbers im Barometer genau zu kennen, mufs das zu demselben gehörige Thermometer der Röhre möglichst nahe, auf allen Fall in die Fassung derselben eingeschlossen seyn.

Wie oft und zu welchen Zeiten der Barometerstand aufgezeichnet werden soll, hängt von der jedesmaligen Absicht ab, in welcher die Beobachtungen angestellt werden. Man zeichnet dieselben dann nebst Angabe der Zeit, des Ortes und der Temperatur des Barometers, meistens auch der Luft, in eine Tabelle ein, und da sich diese letzteren beiden stets ändern, in der Regel aber unmittelbar bei der Beobachtung keine Reduction wegen der Temperatur angestellt werden
Fig. 171. kann, so ist die von Musschenbroek[1] vorgeschlagene Verzeichnungsart, welche aus der Figur leicht erkannt wer-

1 Dissert. phys. Lugd. 1729. 4. p. 673.

den kann, nur in dem Falle anwendbar, wenn man zu gleichen Tagsstunden längere Zeit hindurch angestellte, wegen der Temperatur schon corrigirte Beobachtungen zur leichteren Uebersicht graphisch darstellen will. Aus gleichen Gründen findet der eben so kostbare als zusammengesetzte *Barometrograph* von Changeux[1] gegenwärtig keine Anwendung mehr. Dieser besteht aus einem Heberbarometer nach Hooke's Einrichtung, in dessen kürzerem Schenkel ein elfenbeinener Cylinder auf dem Quecksilber schwimmt, und daher beim Steigen und Fallen des Barometers abwechselnd gehoben wird oder herabsinkt. In dem elfenbeinernen Cylinder ist ein Draht befestigt, welcher aus dem Ende des Schenkels hervorragt, und oben einen quer in ihm befestigten Bleistift trägt. Vor diesem wird durch eine Uhr ein Cylinder, mit der von Musschenbroek vorgeschlagenen Tabelle umgeben alle Tage einmal um seine Axe herumgedrehet, und so mufs der Bleistift den jedesmaligen Barometerstand von selbst in diese einzeichnen. Weil aber die Spitze desselben sich abnutzt, leicht abbricht, und einen zu starken Druck zum Schreiben erfordert, so änderte Changeux diese Vorrichtung dahin ab, dafs er statt desselben einen etwas zugespitzten Drahtstift wählte, welcher alle Stunden durch einen kleinen Hammer gegen die Tabelle geschlagen wurde. Nach 24 Stunden sank der Cylinder um 1 bis 2 Z. herab, und so wurde über dem eingezeichneten Striche ein zweiter verzeichnet, und so fort, bis man einen neuen Ueberzug über den Cylinder schob.

Unter allen Selbstregistrirungen, wenn man von denselben anders die erforderliche Genauigkeit erwarten könnte, bleibt diese immer noch die beste. Arthur Macquire[2] befestigte an den Arm des Zeigers, woran das oben beschriebene Steelyard-barometer hängt, einen Bleistift, welcher die Veränderungen des Barometerstandes auf ein durch ein Uhrwerk bewegtes Papier zeichnen sollte. Ein Barometro-

1 J. de Ph. XVI. 325. Vergl. Hist. et Com. Acad. Theod. Pal. VI. 52. Der erste Vorschlag dazu ist von Wren. S. Birch History of the Roy. Soc. I. 343.

2 Trans. of the Royal Irish Acad. Dublin. 1791. 4. IV. art. 8.

graph, welchen Landriani[1] vorschlägt, ist blofs bestimmt, die Maxima und Minima des Standes anzuzeigen, und zeigt auf $\frac{1}{12}$ Lin. genau. Die Construction ist aus der Figur ersicht-
Fig. lich. Auf dem kürzeren Schenkel eines guten Heberbaro-
172. meters schwimmt das Stückchen Holz oder Elfenbein p, welches etwas kleiner im Durchmesser ist, als die Barometerröhre. Der Schwimmer trägt einen Eisendraht s, und an dieser ist ein über eine Rolle geschlungener, und mit dem Gegengewichte r beschwerter, Seidenfaden gebunden. An der Axe der Rolle ist das sehr leichte messingne Rad m m befestigt, welches genau balancirt, gezahnt und mit dem Zeiger k k versehen ist. Der Zeiger zeigt den Stand des Barometers, das gezahnte Rad aber bewegt sich unter dem leichten stählernen Hebel z, welcher ihm zwar das Herumdrehen nach einer Seite verstattet, aber nicht den Rückgang; und auf diese Weise zeigt von zwei Barometern, je nachdem die Richtung der Zähne des Rades und des sperrenden Hebels verschieden ist, das eine das Maximum, das andere das Minimum.

Man sieht leicht, dafs es weit einfacher seyn würde, auf beiden Seiten des Rades zwei, von demselben getrennte, genau balancirte, durch geringe Reibung aber feststehende Zeiger zu befestigen und durch Stifte an beiden Seiten des Rades nach entgegengesetzter Seite bewegen zu lassen, um an demselben Barometer zugleich das Maximum und Minimum zu messen. Die einzige, auf jeden Fall nur durch empirische Regulirung zu überwindende Schwierigkeit besteht darin, die Abtheilungen der äufsern getheilten Scheibe v v so zu machen, dafs sie dem Stande des Barometers in Zollen und Theilen desselben genau correspondiren. Dieses könnte viel leichter noch durch Semple's *absence-barometer*[2] erreicht
Fig. werden, oder ist vielmehr durch dasselbe gegeben, wenn
173. man annimmt, dafs der in der Figur nicht gezeichnete Schenkel des Barometers mit demjenigen völlig gleiche Weite hätte, auf welchem der Schwimmer ruht, oder dafs man die Differenz des oberen weiten Cylinders und des offenen Schenkels in die Scale corrigirte. Uebrigens ergiebt sich die Construc-

---

1 Brugnat. Giorn. X. 54.

2 Ann. of. phil. X. 47.

tion dieses selbstregistrirenden Barometers aus der Zeichnung von selbst, indem man leicht wahrnimmt, dafs der Schwimmer p einen Stift und dieser den horizontalen Draht $\alpha\beta$ trägt, dessen Enden rechts beim Steigen, links beim Fallen leichte Schieber bewegen, und auf dem höchsten oder niedrigsten erreichten Puncte stehen lassen. Bei der gegenwärtig erforderlichen Genauigkeit der Beobachtungen sind alle solche Vorrichtungen unnütz, es sey denn, dafs man wissen wollte, ob bei ungewöhnlichen Veränderungen bei Nacht noch ein Steigen oder Fallen des Barometers erfolgt sey.

Das gut eingerichtete Barometer dient vor allen Dingen zuerst dazu, die Dichtigkeit und Elasticität der atmosphärischen Luft und sonstiger, durch den atmosphärischen Luftdruck zusammengedrückter, im Gefäfse eingeschlossener expansibeler Flüssigkeiten nach dem Mariotteschen Gesetze zu bestimmen, indem allgemein, wenn die Dichtigkeit Δ derselben bei einem Barometerstande $= H$ gefunden ist, die bei einem andern Barometerstande $= h$ beobachtete Dichtigkeit $\Delta' = \Delta\frac{h}{H}$ ist.[1] Als Normalgröfse $= H$ nimmt man hierbei in Deutschland meistens 28 Z. par.; in England 30 Z. lond. = 28,15 Z. par.; in Frankreich $0^m,76 =$ 28,075272 Z. par. an. Aufserdem dient das Barometer vorzugsweise zur Bestimmung der Berghöhen und überhaupt der Erhebungen über der Meeresfläche[2]. Ein noch näherer Gebrauch desselben ist, die Höhe der Atmosphäre unserer Erde aus dem Drucke zu bestimmen, welchen sie gegen das Barometer ausübt[3] und diejenigen regelmäfsigen und unregelmäfsigen Veränderungen zu finden, welche in diesem atmosphärischen Luftmeere vorkommen, theils als naturwissenshaftliche Aufgabe überhaupt, theils um aus derselben auf die muthmafslichen Wetterveränderungen zu schliefsen. Blofs diese beiden letzten Fragen können hier zur näheren Untersuchung kommen, nämlich *erstlich*: welches ist der mittlere Normalbarometerstand im Niveau des Meeres an

1 S. *Luft.*
2 S. *Höhenmessungen.*
3 S. *Atmosphäre d. Erde.*

den verschiedenen Orten der Erdoberfläche und *zweitens*: welche Veränderungen zeigt das Barometer unter verschiedenen geographischen Breiten, in ungleichen Höhen und durch den Einfluss sonstiger Bedingungen.

I. Bei der Untersuchung des *mittleren Barometerstandes im Niveau des Meeres* folgt zuerst aus theoretischen Gründen, dass derselbe unter dem Aequator niedriger seyn muss, als unter höheren Breiten, weil die Atmosphäre ein Sphäroid bildet und vermöge der grösseren Schwungkraft und der grösseren Wärme unter dem Aequator weniger gravitirt. Nach v. Zach[1] giebt das Barometer eben so die Differenz des Luftdruckes unter verschiedenen Breiten an, wie das Pendel die Differenz der Schwere, indem der aus den angegebenen Gründen höheren Atmosphäre der niedrigere Barometerstand entspricht. Indem er daher[2] aus zwei genauen Barometerständen unter verschiedenen Breiten die Abplattung des atmosphärischen Ellipsoids findet, den Unterschied der Höhe der Atmosphäre bis an eine Grenze von gleicher Dichtigkeit Δl, ihre niedrigste Höhe l, den Halbmesser der Erde a nennt, die Barometerstände unter höheren und niederen Breiten aber p und p'; so ist $p : p' = 1 - \frac{2l}{a} : 1 - \frac{2(l+\Delta l)}{a}$ woraus für $l = 30000^t$, den zugleich bestimmten Werth von $\Delta l = 4881^t,56$ und also eine Abplattung des atmosphärischen Ellipsoids $= \frac{1}{338}$, folgende Barometerstände im Niveau des Meeres für 10° R. berechnet sind

Breite.	Barom.	Breite.	Barom.
0°	337,02 par. L.	50°	338,19
10	337,09	60	338,52
20	337,25	70	338,79
30	337,52	80	338,97
40	337,85	90	339,03

Wenn man berücksichtigt, dass, nach den bei barometrischen Höhenmessungen angenommenen Grundsätzen, der Co-

1 M. Cor. XXI. 215.

2 Vergl. *Atmosphäre, Gestalt derselben.*

efficient des Luftdruckes des Einflusse der von den Polen nach dem Aequator abnehmenden Schwere unterworfen ist, und dafs hiernach die ihm correspondirende Länge der Quecksilbersäule in gleichem Grade abnehmen mufs, so ist der hierfür berechnete Coefficient[1] = 0,0027601 cos. 2 φ, wenn φ die Grade der Breite bezeichnet. Setzt man ferner den auf 0° reducirten mittleren Barometerstand im Niveau des Meeres = 0^m,76114 = 337,4098 p. Lin.[2], so erhält man folgende Gröfsen:

Breite.	Barom.	Breite.	Barom.
0°	336,4786 par. L.	50°	337,5717
10	336,5347	60	337,8754
20	336,6964	70	338,1232
30	336,9442	80	338,2849
40	337,2481	90	338,3410

Hiernach betrüge also der Unterschied der Barometerstände im Niveau des Meeres unter dem Pole und dem Aequator 1,8624, nach jener oberen Berechnung 2,01 par. L. Dafs das Barometer auf der südlichen Halbkugel niedriger stehe als auf der nördlichen, ist zwar oft behauptet[3], aber schwerlich erwiesen.

Es wäre wünschenswerth, den mittleren Barometerstand im Niveau des Meeres unter verschiedenen Breiten mit Zuversicht auszumitteln; allein diesem stehen drei Hindernisse im Wege, 1. dafs mehrjährige Beobachtungen, vorzüglich in höheren Breiten, zur Auffindung des mittleren Standes erforderlich sind, 2. dafs die Beobachtungen in den niedrigsten und höchsten Breiten bis jetzt gröfstentheils nur auf Schiffen angestellt wurden, welche nicht leicht eine absolute Genauigkeit gestatten, und 3. dafs man, wo es auf so kleine Differenzen ankommt, sich nicht mit voller Zuversicht auf die Genauigkeit der Barometer verlassen kann. Folgendes sind die wichtigsten, auf 0° Temperatur reducirten, und gröfstentheils nach den Graden der Breite geordneten Resultate.

---

1 S. *Schwere*.

2 Biot précis élém. de Ph. I. 199.

3 Biot a. a. O.

Eine Reihe Beobachtungen Cook's giebt nach Horner's[1] Zusammenstellung für 10° N. B. und 10° S B. 338,945 L.; eine andere, der Wahrheit gewifs näher kommende giebt für die Südsee zwischen 10° N. B. und 10° S. B. 337,786 Lin. Nach v. Humboldt[2] ist der mittlere Barometerstand unter dem Aequator = 337,8 Lin.; Leopold v. Buch[3] nimmt für die Tropen 337,0 Lin. an. Fünfjährige Beobachtungen zu Isle de France gaben für den Meeresspiegel daselbst 338,5 Lin.[4]. Im atlantischen Ocean fand v. Humboldt 337,8 Lin. welches Horner[5] für die richtigste Angabe hält. Sie kommt nahe überein mit der von Bouguer gefundenen Gröfse, nämlich 337,0 Lin. Eschwege erhielt in Rio de Janeiro aus anderthalbjährigen Beobachtungen 20 F. über der gröfsten Fluthhöhe 30,275 engl. Z., welches nach der Temperatur 24°,5C. und auf den Meeresspiegel reducirt nahe 337,8 par. Lin. betragen würde[6]. Eine Reihe von Beobachtungen L. v. Buch's zu Las Palmas auf Gran Canaria angestellt giebt im Mittel auf die Meeresfläche reducirt 339,09 Lin., welches wegen örtlicher Einflüsse zu grofs ist, eben wie vielleicht auch das durch Escolar aus dreijährigen Beobachtungen zu St. Cruz auf Teneriffa erhaltene Mittel von 338,441 L.[7]. Coutelle's Beobachtungen in Cairo in Aegypten geben den mittleren Barometerstand daselbst = 337,7 L.,[8] bei 17,° 7 R. also 336,02 Lin bei 0°. Nach Dangos[9] ist der auf 0° Temperatur corrigirte Barometerstand in Malta = 337,042 Lin. offenbar zu klein. Silvabelle fand aus achtjährigen Beobachtungen zu Marseille den auf 0° Wärme und den Meeresspiegel corrigirten Barometerstand = 337,38 Lin.[10]. Eine

---

1 Mém. de Petersb. I. 464.
2 Mon. Cor. XXI. 217.
3 Berl. Denksch. 1820. p. 113.
4 Bellevue in J. d. Ph. XLVII. 158.
5 Mém. de Pet. I. 464.
6 G. LIX. 118.
7 Berlin. Denksch. 1820. p. 113.
8 Description de l'Égypte cet. 3me Liv. p. 534.
9 J. d. Ph. LXXIII. 152.
10 G. XLIII. 420.

Reihe von 1400 Beobachtungen, welche Bellevue[1] zu Rochelle um 7^h Morgens 6^h Nachm. und 11^h Abends anstellte, giebt auf 0° Temperatur und den Spiegel des Meeres reducirt 338,833 Lin. Aufserdem wurden gefunden in

Brest	aus 1	jähr.	Beobachtungen		338,500
Dieppe	— 1	—	—	—	338,500
Lüçon	— 4	—	—	—	338,334
Insel Oleron	— 3	—	—	—	338,000
Sables d'Olonne	— 1	—	—	—	338,583
St. Malo	— 10	—	—	—	338,166
	Mittel		—	—	338,347

Dieses für 37 F. über dem Wasserspiegel corrigirt, giebt genau wie oben 338,833 Lin. Dreizehnjährige Beobachtungen in Nantes gaben im Mittel 338,00 und wenn die Correction für 40 F. Erhebung dazu kommt, 338,667. Shuckburgh[2] fand aus seinen Beobachtungen in England u. Italien 338,23. Nach Bugge ist aus älteren und neueren Beobachtungen auf der Sternwarte zu Kopenhagen von 1750 bis 1798 der auf den Spiegel des Sundes reducirte Barometerstand 338,21 Lin. P. Heinrich berechnet aus dreijährigen Beobachtungen mit einem Mannheimer Barometer 338,74 Lin.[3] für eben diesen Ort. Dagegen erhielt Herzberg in Bergen in Norwegen aus neunjährigen Beobachtungen nur 335,85 Lin., van Swinden für die Nordsee 336,756 Lin.; aus van de Perre's Beobachtungen zu Middelburg berechnet P. Heinrich 336,58 Lin. für den Meeresspiegel daselbst. Die lezteren niedrigen Barometerstände hält L. von Buch für die Folge der in dortigen Gegenden herrschenden westlichen und südlichen Luftströmungen[4]. Dalton's Beobachtungen in Kendal geben auf den Meeresspiegel und 0° Wärme corrigirt wahrscheinlich genau 337 Lin.[5]. Burckhardt[6]

---

1 J. de Phys. XLVII. 158.
2 Phil. Tr. LXVII. 586. G. XLIII. 412.
3 G. XXVIII. 466. XLIII. 414.
4 G. XXV. 329.
5 G. XLIII. 418.
6 Nouveau Bullet. des sc. de la Soc. philom. An. III. p. 261. G. XLIII. 445.

bestimmt aus Shuckburgh's Beobachtungen zu Marseille den Barometerstand an der Oberfläche des mittelländischen Meeres zu 338,27 L. und im Spiegel des atlantischen Meeres aus Kopenhagener Beobachtungen zu 338,71 L. Nach Bonnenberger [1] ist der auf 0° reducirte Barometerstand unter dem Aequator bei 21°, 6 R. der Lufttemperatur = 337,79; im mittelländischen Meere bei 12° R. = 338,00 L. und an der Nordsee bei 7° R. = 338,20 L., im Mittel aber für barometrische Höhenmessungen nimmt v. Lindenau 387,42 Lin. für mittlere Breiten an[2].

Die hier so vollständig wie möglich und so genau, wie die Angaben verstatten, mitgetheilten Beobachtungen weichen bedeutend von einander ab. Es ist möglich, dafs örtliche Luftströmungen, namentlich an der Küste v. Bergen in Norwegen, an den Küsten v. Dänemark, England, Holland und selbst auch allenfalls an der Küste dessüdlichen Frankreichs einen Einfluss auf den mittleren Barometerstand haben, wie aus einigen neueren Beobachtunge L. von Buch's auf den canarischen Inseln mehr als wahrscheinlich wird[3]. Von der andern Seite aber hat schon v. Humboldt[4] darauf hingedeutet, dafs manche Anomalien ohne Zweifel eine Folge mangelhafter Barometer sind, welche entweder nicht gehörig ausgekocht, oder mit einer nicht absolut richtigen Scale versehen wurden, dafs aber mitunter auch die Ursache an den Beobachtungen selbst rücksichtlich der Zeit, wenn sie gemacht, der Genauigkeit in Vermeidung der Parallaxe und der Correction wegen der Wärme liegen mag. Alles zusammengenommen dürfte es nach Theorie und Erfahrung am richtigsten seyn, folgende auf 0° der Temperatur reducirte mittlere Barometerstände im Niveau des Meeres unter den verschiedenen Breiten anzunehmen:

Breite.	Barometer Lin.	mm.	Breite.	Barometer. Lin.	mm.
00°	337,0000	= 760,214	50°	338,0930	= 762,082
10	337,0560	= 760,341	60	338,3967	= 763,367
20	337,2177	= 760,706	70	338,6445	= 765,927
30	337,4655	= 761,266	80	338,8062	= 764,290
40	337,7694	= 761,951	90	338,8623	= 764,414

1 Tübinger Blätter I. 3. 326.

2 Vergl. Gilbert's Zusammenstellung in Ann. XLIII. 411.

3 Berl. Denksch. 1820. p. 113.

4 G. XXV. 531.

Universitäts- und Landesbibliothek Düsseldorf

Um aus allen, durch den Einfluss der verschiedensten Bedingungen stets wechselnden Barometerständen den *mittleren* zu erhalten, müfste man eigentlich jeden Wechsel mit Rücksicht seiner Dauer aufzeichnen, und aus allen Resultaten das Mittel suchen. Eine solche mühsame Arbeit ist aber nicht erforderlich. Wenn man berücksichtigt, dafs die unregelmäfsigen Schwankungen zu jeder Tagszeit eintreffen, und sich daher ausgleichen, so ist es rücksichtlich dieser genügend, nur anhaltend zu einer bestimmten Tagszeit den Barometerstand aufzuzeichnen. Je weiter aber ein Ort vom Aequator entfernt liegt, um so gröfser und länger dauernd sind die unregelmäfsigen Schwankungen, weswegen man nicht anders als durch mehrere Monate oder jahrelange Beobachtungen das richtige Mittel für höhere Grade der Breits erhält[1]. Nach Beobachtungen in Paris übertrifft die halbe Summe der Barometerstände um 21^h und um 3^h den Barometerstand um Mittag nur um $0^{mm},1$ und in Guyara betrug der Unterschied in 5 Tagen nur $0^{mm},15$, so dafs man also den Stand um Mittag ohne grofsen Fehler als den mittleren ansehen kann[2].

II. Noch weitläuftiger und schwieriger ist die Erörterung der zweiten Frage, nämlich *welche Veränderungen zeigt das Barometer unter verschiedenen geographischen Breiten, in ungleichen Höhen und durch mannigfaltige bedingende Umstände.* Hierbei gilt zuerst als allgemeine Regel, dafs das Barometer unter dem Aequator sich fast gar nicht verändert, seine Veränderungen aber mit den Graden der Breite zunehmen[3], desgleichen dafs der Gang desselben im Allgemeinen auf der See weit regelmäfsiger ist, als am Lande. Die geringen barometrischen Oscillationen innerhalb der Tropen sind so allgemein bekannt, dafs es nur einer Erwähnung dieser Sache bedarf. So folgert schon Cotte[4] aus einer grofsen Menge von Beobachtungen, dafs sie unter dem Aequator fast

---

1 Vergl. *Höhenmessungen, barometrische.* Nach Bugge genügen zweijährige Beobachtungen noch nicht, um für Kopenhagen den mittleren Barometerstand genau zu erhalten. G. XXV. 330.

2 Ann. de Ch. et de Ph. XXV. 429. Ramond ebend. V. 420.

3 Halley in Phil. Tr. N. 181.

4 J. d. Ph. XLIV. 252.

Universitäts- und Landesbibliothek Düsseldorf

= 0 sind; Leopold von Buch [1] setzt die Differenzen des Barometers unter der Linie = 4 L.; in Paris = 20 bis 24 L.; in Petersburg = 30 bis 36 Lin. Nach Eschwege's Beobachtungen in Brasilien betrug dort die Differenz des höchsten und niedrigsten Standes nur 3,3 p. Lin [2]. Bei bevorstehenden heftigen Orcanen fällt das Barometer aber in den Tropen zuweilen stärker als in höheren Breiten. So sah Rochon dasselbe im Jahre 1771 auf Isle de France 25 Lin. sinken [3], und im Japanischen Meere einmal sogar 30 Lin. [4]. Eine schätzbare Uebersicht der Barometerveränderungen, den Graden der Breite proportional, hat Leop. v. Buch aus den Beobachtungen von Chanvallon auf Martinique, von Escolar auf Teneriffa, von Calandrelli in Rom, von Beguelin in Berlin, von Prosperin in Upsala und von Naezén in Umeo mitgetheilt [5]. Sie betrugen in par. Lin. und im Mittel aus den angegebenen Jahren:

Mittel aus	Martin. 15°40′	Tenerif. 28°20′	Rom 41°53′	Berlin 52°31′	Upsala 59°40′	Umeo 63°50′
Jahren	1	3	20	5	12	3,5
Januar	—	7,033	11,24	16,48	15,99	16,05
Febr.	—	5,627	10,215	15,45	15,34	18,42
März	—	5,345	9,540	13,90	15,13	16,40
April	—	4,500	7,960	11,16	13,40	12,80
Mai	—	3,150	7,035	9,48	11,82	14,47
Juni	—	1,870	4,895	7,64	9,93	10,74
Juli	1,33	2,060	4,225	7,94	8,29	8,00
August	2,50	2,060	4,075	7,34	9,81	10,59
Septbr.	3,00	2,250	5,700	11,28	11,61	14,63
Octber.	2,00	3,657	7,610	11,04	14,29	16,6
Novbr.	2,25	3,376	8,690	14,40	16,27	15,62
Decbr.	2,66	4,220	10,150	14,22	15,32	18,05

1 J. de Ph. XLIX. 85.
2 G. LIX. 120.
3 Sprengel's Bibl. d. Reis. X. 110.
4 Rochon's Reis. I. 254.
5 Berlin. Denksch. 1818. Vergl. G. LXVII. 294.

Nach den Petersburger Beobachtungen von 1772 bis 1790 betrug die gröfste Differenz während dieses Zeitraumes daselbst 28,32 par. Lin.[1].

Aus mittleren Breiten findet man die monatlichen und jährlichen Barometerstände nebst ihren Differenzen zahlreich in den physikalischen Zeitschriften, z. B. den Annalen von Gilbert, dem Journal von Schweigger, den Annales de Chim. et de Physique von Gay-Lüssac und Arago, dem Journal de Physique von Blainville, der Bibliotheque universelle von Pictet, den Phil. Transactions, den Annals of Philosophie von Thomson u. a. Sie hier wiederzugeben wäre überflüssig. Nur in seltenen Fällen übersteigen die gewöhnlichen Barometerveränderungen das Mittel bei weitem. So war z. B. in Jena seit 17 Jahren der höchste Barometerstand 1805 = 340 Lin., der niedrigste den 11. Jan. 1806 = 320,5 Lin., Differenz = 19,5 Lin.[2]. In Heidelberg war seit 1817 der höchste auf 0° reducirte Barometerstand den 18. Febr. 1822 = 342,3 der niedrigste[3] den 25sten Dec. 1821 = 318,5; Differenz = 23,8, so dafs man in diesen Breiten 24 Lin. wohl als das Maximum des Unterschieds der Barometerhöhen annehmen kann. Die im Anfange Februars 1823 in Deutschland, Italien, Frankreich und England statt findenden ungewöhnlichen barometrischen Oscillationen haben überhaupt die Aufmerksamkeit der Physiker erregt, und verschiedene Aufsätze in den Zeitschriften veranlafst[4]. Nicht minder auffallend war der in eben den Ländern am 23st. Jan. 1824 beobachtete tiefe Barometerstand[5].

Die *regelmäfsigen täglichen Oscillationen*, wonach das Barometer zu bestimmten Tagszeiten aufser und neben den unregelmäfsigen Schwankungen steigt und fällt, haben schon vor langer Zeit die Aufmerksamkeit der Physiker

---

1 Ann. of Phil. N. S. IV. 15.

2 Voigts Mag. 1806. März. p. 270.

3 An diesem Tage fand insbesondere im nördlichen Europa ein ungewöhnlich niedriger Barometerstand statt. Schouw in Tidsskrift for Natur-vidensk. Kiövenh. 1823. n. 7.

4 G. LXXIV. 65—106. Bibl. Univ. 1823. Jan. p. 108. 142. 146. 197. Correspondance Astron. X. n. IV.

5 Bib. Univ. XXV. 271. G. LXXVI. 107.

Universitäts- und Landesbibliothek Düsseldorf

erregt, und sind sowohl unter niederen als mittleren Breiten von vielen beobachtet, werden aber viel leichter unter den ersteren als den letzteren wahrgenommen, wo sie leicht in den häufigen regellosen Veränderungen verschwinden. Beobachtet sind dieselben aufser durch VAN SWINDEN, CHIMINELLO und andern namentlich durch MUSSCHENBROEK[1] in Leyden, durch ROSENTHAL[2] zu Nordhausen, PLANER[3] in Erfurt, HEMMER[4] in Manheim, TOALDO[5] in Venedig, DUC-LACHAPELLE[6] in Montauban, RAMOND[7] in Paris, v. YELIN[8] in München, MUNCKE[9] in Marburg und nachher in Heidelberg, BALFUR[10] in Bengalen, DON ALZADE Y RAMIREZ[11] in Mexico, GODIN[12] in Peru, CASSAN[13] zu St. Lucie, DE LAMANON[14] im atlantischen Ocean von 1° N.B. bis 1° S. B., BENTO SANCHEZ DORTA[15] zu Rio de Janeiro, HORSBURGH[16] in Bombay, China, im stillen und indischen Ocean, LEOPOLD v. BUCH[17] auf den Canarischen Inseln, COUTELLE[18] in Cairo, vorzüglich durch v. HUMBOLDT[19] in

---

1 Introd. §. 2070.

2 Acta Acad. Mogunt. ad an. 1780 et 81. p. 14.

3 Ibid. Vergl. Observ. oscill. merc. in tubo Torric. Erford. 1780. p. 40.

4 Hist. et Comm. acad. Theod. Pal. Manh. 1790. 4. VI. p. 50. übers. in Gren J. II. 218.

5 Saggio meteorol. Padova. 1781.

6 G. II. 361.

7 Ann. de Chim. et de Ph. IX. 427.

8 Versuche und Beob. zur näheren Kenntnifs der Zambonischen trocknen Säule u. s. w. 1820.

9 Anfangsgr. der Phys. II. 177.

10 Asiatic Research. IV. 217.

11 Cotte Traité de Météorol. p. 336. Mém. sur la Météor. Par. 1788. I. 100.

12 Bouguer Fig. de la Terre. p. 49.

13 Gren J. III. 109.

14 Voy. de La Perouse. IV. 253.

15 Mém. de Petersb. I. 464.

16 Phil. Tr. 1805. II. 117. Bib. Brit. XXXIV. 207.

17 Berl. Denksch. 1820. p. 113.

18 Descript. de l'Egypte. Livrais. III. p. 335.

19 G. VI. 188.

Cumana und vor allen andern durch Horner [1] in Verbindung mit Langsdorf in verschiedenen Gegenden des atlantischen, stillen und indischen Oceans. Ferner fand Wright [2] auf Ceylon die Oscillationen so regelmäfsig, dafs er (wohl etwas übertrieben) glaubt, man könne die Zeit danach bestimmen. Sie ergeben sich endlich auch aus den Beobachtungen welche Capt. Sabine [3] in Sierra Leone, St. Thomas und Jamaica im Jahre 1822 anstellte, aus denen von Boussingault und de Rivero [4] in Guyara im Jahre 1822, und aus denen von Eschwege in Brasilien [5]. Die Sache selbst ist hierdurch also genugsam bestätigt, und es kommt blofs nach darauf an, die Gröfse dieser regelmäfsigen Oscillationen an den verschiedenen Orten aus genauen Beobachtungen zu kennen, und ihre Ursache zu erforschen.

Der erste, welcher die Beobachtung machte, war Godin [6], Bouguer's Begleiter bei der peruanischen Gradmessung. Diesem fiel der gleichförmige Stand und die regelmäfsige Schwankung des Barometers unter der Linie auf, und Bouguer hielt leztere für eine Folge der ungleichen Erwärmung der Luft durch die Sonne, wodurch der Barometerstand im Niveau des Meeres indefs nicht afficirt würde. Die französische Akademie veranlafste nachher Lamanon diese Versuche zu wiederholen, welcher aus seinen stündlichen Beobachtungen fand, dafs das Barometer von 4^h bis 10^h Morgens stieg, von 10^h Morgens bis 4^h Abends fiel, von 4^h bis 10^h Abends stieg, und von 10^h Abends bis 4^h Morgens wieder fiel, woraus also zwei Ebben und zwei Fluthen der Atmosphäre folgten. Nach den Beobachtungen von Francis Balfour und John Farquhar im Jahre 1795 ist in Bengalen das Barometer stillstehend von 6^h bis $7^h\ 30'$ Morgens, steigt dann bis 8^h, ist stillstehend bis Mittag, fällt bis 3^h Nachmittags, ist stillstehend

1 Krusenstern Reise. III. Abh. V. Vergl. Mon. Cor. XXVIII. 72. G. LXII. 190.

2 Edinb. Phil. J. 1823 Oct. p. 398.

3 Meteorological Essays and Observations; by J. F. Daniell. Lond. 1824. 4th Essay.

4 Ann. de Chim. et de Phys. XXV. p. 427.

5 G. LIX. 120.

6 Musschenbroek. Intr. §. 2070.

von 3^h bis 8^h Abends, steigt dann bis zu derjenigen Höhe, welche es um 9^h Morgens hatte, und bleibt stillstehend bis zum Aufgange der Sonne. Leopold v. Buch fand zu Las Palmas auf Gran Canaria den auf 0° reducirten Barometerstand um 7^h Morgens = 338,882 L., um 11^h = 339,0217 L. um 4^h Nachmittags = 338,524 um 11^h Ab. = 338,7445 Lin. Aus sehr zahlreichen Beobachtungen A. v. Humboldt's folgerte dieser, dafs die regelmäfsigen Barometerveränderungen auf gleiche Weise an den Küsten der Südsee als in den Ebenen des Amazonenflusses und in Höhen bis 4000^m statt finden[1]. Eine Uebersicht der mittleren Barometerstände im Niveau des Meeres unter dem Aequator, nebst den stündlichen Veränderungen in genäherten Werthen giebt folgende tabellarische Zusammenstellung[2], die Stunden von Mittag $= 0^h$ an gerechnet, die Barometerhöhe in par. Lin. gemessen:

Stund.	Barom.	St.	Barom.	St.	Barom.	St.	Barom.
0	338,02	6	337,45	12	337,88	18	337,79
1	337,79	7	337,53	13	337,80	19	337,94
2	337,58	8	337,69	14	337,69	20	338,16
3	337,45	9	337,83	15	337,62	21	338,30
4	337,40	10	337,88	16	337,60	22	338,28
5	337,41	11	337,91	17	337,68	23	338,21

Bringt man diese Beobachtung unter einen allgemeinen Ausdruck, so ist für den mittleren Barometerstand = z der veränderliche = z'

z' um 21^h = z + 0,5 L. | um 11^h = z + 0,1 Lin.
4 = z − 0,4 L. | 16 = z − 0,2 Lin.

Horner unterwarf sich auf den Wunsch des wissenschaftlich hochgebildeten Admiral's v. Krusenstern der in der tropischen Hitze höchst ermüdenden Arbeit, unterstützt durch v. Langsdorf 61 Tage lang jede Stunde bei Tage und bei Nacht, das Barometer zu beobachten, und den Stand desselben zu verzeichnen. Diese, auf offener See erhaltenen Resultate sind

1 Tableau phys. des régions équinoxiales. p. 91.

2 Oltmanns in Recueil d'observations astronomiques cet. Livrais. III. p. 289.

gewifs allen andern vorzuziehen, und geben die barometrischen Oscillationen nicht nur hinsichtlich der Zeit, sondern auch der Gröfse auf das Genaueste. Als Resultat derselben ist nach dem oben gegebenen Ausdrucke

z' um 21^h $19'$	$= z + 0{,}484$ L.	um 10^h $6'$	$= z + 0{,}414$ L.
3 50	$= z - 0{,}518$ L.	15 40	$= z - 0{,}360$ L.

Von grofser Wichtigkeit sind ferner diejenigen Beobachtungen, welche Horsburgh anstellte. Die regelmäfsigen Oscillationen stellten sich erst sichtbar ein, als das Schiff 26° N.B. und 20° W. L. von Greenwich errreicht hatte, wurde stärker in 10° N. B. bis 25° S. B., betrugen hier zwischen 0,05 und 0,09 eng. Z., hörten in 28° S. B. und 27° W. L. auf, und fingen in 27° S. B. und 51° O. L. wieder an. Sie waren am Lande sowohl in Bombay als auch in China weniger merklich und regelmäfsig als auf der See, indem die Barometer am Lande meistens stationär waren.

Ganz neuerdings wurde diese Frage abermals untersucht durch Boussingault und Mariano de Rivero. Mit zwei übereinstimmenden und in Paris verglichenen Barometern von Fortin erhielten sie in la Guyara, in der Republik Columbia $10^m{,}67$ über der Meeresfläche im Mittel aus 10 Tagen

Morgens	21^h	$760^{mm}{,}05$
— —	22	760,03
Nachm.	4	757,61
	diff.	2,44

Zwischen dem Stande um 21^h und 22^h war eben so wenig ein bedeutender Unterschied, als zwischen dem um 3^h und 4^h. Eschwege beobachtete die atmosphärische Fluth in Rio de Janeiro Morgens und Abends um 9^h, die Ebbe Nachmittags um 3^h, auch giebt er die Gröfse jener im *maximo* = 0,098 im *minimo* = 0,006 engl. Z., dieser zwischen 0,082 und 0,002 engl. Z. an.

Um auch aus höheren Breiten einige Beobachtungen näher zu berücksichtigen, so will schon Cotte aus denen, welche er viele Jahre anhaltend anstellte, die tägliche Ebbe und Fluth gefunden haben[1], jedoch setzt er das Maximum der Höhe Abends 9^h. Späterhin fand er, dafs das Barometer

1 J. de Ph. XXXVII. 109.

zwischen 10 Uhr Abends und 2 Uhr Nachts, desgleichen am Tage am niedrigsten stehe, zwischen 6 Uhr und 10 Uhr Morgens und am Abend aber am höchsten[1]. Die von Ramond in Paris 1818 angestellten Beobachtungen geben nach dem oben gegebenen Ausdrucke $z = 755{,}7025$ Millim. und

z' um $21^h = z + 0{,}4075$	um $3^h = z - 0{,}4825$
$24 = z + 0{,}1075$	$9 = z - 0{,}0325$

v. Yelin erhielt aus siebenmonatlichen, täglich von 7^h Morgens bis 10^h Abends angestellten Beobachtungen

z' um $22^h = z + 0{,}148$
$3 = z - 0{,}112$
$9 = z + 0{,}108$

Ich selbst erhielt aus 14monatlicher Beobachtung vom Nov. 1818 bis Dec. 1819 in Heidelberg

z' um $19^h = z + 0{,}074$ par. Lin.
$3 = z - 0{,}196$
$10 = z + 0{,}104$

aus 20 monatlichen Beobachtungen vom Jan. 1823 bis Sept. 1824

z' um $21^h = z + 0{,}1273$
$3 = z - 0{,}2041$
$11 = z + 0{,}0768$

Dafs diese periodischen Schwankungen in höheren Breiten abnehmen, liegt in der Natur der Sache, und namentlich versichert Scoresby bei allen seinen höchst zahlreichen Beobachtungen im Eismeere bei Grönland und Spitzbergen nie die mindeste Periodicität wahrgenommen zu haben[2].

Nach der Ursache dieser Erscheinung hat man lange geforscht. Bouguer's Meinung, welcher sie für eine Folge der Erwärmung durch die Sonne hielt, ist oben erwähnt. v. Zach leitet sie aus dem Widerstande her, welchen die Erde bei ihrer theils, rotirenden theils fortschreitenden Bewegung durch den im Weltraume befindlichen Aether erleidet[3]. Obgleich nun die Existenz eines solchen Aethers aus einigen

---

1 J. de Ph. XLIV. 232.

2 Scoresby Account of the Arctic Regions. Edinb. 1822. II Vol. I. 373.

3 M. Cor. XX. 221.

Erscheinungen sehr wahrscheinlich wird[1], so würde doch sein Einfluſs schwerlich so bedeutend seyn, und aufserdem könnte hieraus wahrscheinlich nur *ein* maximum und *ein* minimum des Barometerstandes erwachsen. Da der periodische Wechsel dieser Oscillationen der Höhe der Sonne über dem Horizonte folgt, so konnte man wohl nicht umhin, diesem Himmelskörper die Ursache davon beizumessen, und die Erscheinung selbst als Folge einer ähnlichen *Ebbe* und *Fluth* in der Atmosphäre anzusehen, wie diese durch den Einfluſs der Sonne und insbesondere des Mondes im Meere statt findet. Man suchte daher vorzugsweise nach dem Einflusse des letzteren Himmelskörpers auf den Stand des Barometers, welcher sich indefs nicht fand. Eine eben so gründliche als bestimmte Entscheidung der Frage gab La Place[2], indem er zeigte, dafs Sonne und Mond zwar einen Einfluſs auf die Atmosphäre haben müfsten, dafs dieser aber viel zu geringe sey, um das Barometer zu afficiren, und unter dem Aequator höchstens nur 0,25 Lin. Differenz hervorbringen könne, oder genauer, dafs 0,2795 Lin, das Maximum dieser Wirkung unter den günstigsten Umständen sey[3]. Indem eine erschöpfende Untersuchung dieser Aufgabe mit der Theorie der Ebbe und Fluth des Meeres zusammenfällt, so wird es hier genügen, als Resultat der neuesten Bestimmungen anzugeben, dafs nach Laplace[4] allerdings Schwankungen des Barometers als Folge der Anziehung der Sonne und des Mondes statt finden, und zwar theils durch directe Anziehung dieser Himmelskörper, theils durch die Gestaltänderung des Oceans, als Basis der Atmosphäre, und endlich durch die Anziehung des veränderlichen Meeres gegen die Atmosphäre. Nach sechsjährigen Beobachtungen in Paris beträgt die durch die Sonne bewirkte Schwankung, welche schon in wenigen Tagen bemerklich wird, eine um 9 Uhr statt findende Erhöhung von 0,8 Millim. über das Minimum um 3 Uhr Nachmittags. Der Einfluſs des Mondes, weit schwerer wahrnehm-

1 S. *Aether*.

2 Mém. de l'Ac. 1775. 76.

3 Méc. cél. L. IV. Ch. 5. p. 336. d. Ueb. Vergl. Newtoni opusc. II. 41.

4 Ann. de Chim. et de Ph. XXIV. 284.

bar, weil er mit den unregelmäfsigen Schwankungen zusammenfällt, bewirkt in den Syzygien eine Verminderung der täglichen Variation, in den Quadraturen eine Vermehrung, welche aber nicht mehr als $0^{mm},05443$ beträgt, und um $3^h 18' 36''$ in Paris statt findet.

Die Zahl der sonstigen Beobachtungen, woraus ein Einfluss des Abstandes der Sonne vom Zenith des Beobachtungsortes entnommen werden könnte, ist sehr geringe. Horner's oben erwähnte Beobachtungen, wobei die Sonne stets nördlich war, geben in dieser Hinsicht keine Resultate. Mehr ist dieses dagegen der Fall bei den Beobachtungen von Bento Sanchez Dorta zu Rio de Janeiro unter $22^\circ 54'$ S.B. im Jahre 1785 mit einem Magellanschen Barometer angestellt, welche Horner aus den Schriften der Lissaboner Gesellschaft mittheilt[1]. Hiernach steht das Barometer höher, wenn die Sonne nicht im Zenith ist, und in diesem Falle ist auch die mittlere Höhe des Barometers gröfser. Letztere betrug nämlich 340,12 Lin. bei nördlicher und 337,92 Lin. bei südlicher Abweichung der Sonne, eine Erscheinung, welche der Wärme nicht füglich beigemessen werden kann[2]. Cotte[3] folgert aus zahlreichen eigenen und fremden Beobachtungen, dafs die Sonne zwar durch ihre Wärme keinen Einfluss auf den Barometerstand habe, wohl aber durch ihre Anziehung, indem die Gröfse der barometrischen Oscillationen mit der Erhebung derselben über den Horizont zunehme, bei ihrer Annäherung zum Horizonte abnehme, speciell aber die im Sinken begriffene Quecksilbersäule mehr sinke, wenn die Sonne sich dem Meridian nähert, und zu sinken anfange, wenn sie stationär ist. Anderweitige Erklärungen dieser periodischen Oscillationen mögen nur der Vollständigkeit wegen historisch erwähnt werden. Changeux[4] erklärt sie aus einer Vermehrung und Verminderung der Luft; Spärn[5]

---

1 Mém. de Pet. I. 462.

2 Bei einer so bedeutenden Differenz liegen wahrscheinlich noch andere Ursachen zum Grunde.

3 J. d. Ph. XLIV. 232.

4 J. d. Ph. IV. 85.

5 Gren J. III. 455.

aus der Anziehung der Sonne gegen die Atmosphäre, wodurch die Schwere der letzteren vermindert werden müfste, u. dgl. m.

Das Bestreben, den Einflufs des Mondes auf die Witterung aufzufinden, hat die Untersuchungen seiner Einwirkung auf das Barometer ausnehmend vervielfacht, und das Stattfinden eines solchen Einflusses ist von vielen, jedoch ohne hinreichenden Grund behauptet, z. B. von Kratzenstein[1], Toaldo[2], insbesondere von Lamark[3], welcher denselben sehr hoch anschlägt, als allgemein statt findend, und die Constitution der Witterung vorzüglich bedingend annimmt. Auch Cotte[4] hielt anfänglich ein den Mondsphasen correspondirendes Schwanken des Barometers für unleugbare Thatsache. Er wurde aufs neue auf diesen Gegenstand aufmerksam gemacht durch die Resultate, welche Luke Howard aus eigenen einjährigen Beobachtungen zu Plaiston in Essex im Jahre 1798 und aus den zehnjährigen Londonern von 1787 bis 1796 erhalten zu haben meinte[5], wonach das Barometer in den Syzygien sinken, in den Quadraturen dagegen steigen soll, und zwar im Mittel um 0,4 engl. Lin. über oder unter den mittleren Stand. Dieses traf indefs nicht überein mit demjenigen, was Cotte beobachtet haben wollte[6], nämlich ein Steigen des Barometers vom Neumond bis Vollmond, und ein Sinken vom Vollmond bis Neumond, desgleichen einen höheren Stand in den Apogeen, als in den Perigeen, ein Steigen beim Uebergange des Mondes aus dem nördlichen Lunistiz zum südlichen, und ein Sinken beim Uebergange aus dem südlichen in das nördliche. Aufmerksam gemacht durch Howard's Behauptung prüfte Cotte dieselbe nach seinen 34,5 jährigen Beobachtungen, und fand

	Neumond	Erste V.	Vollm.	Letzte V.
Steigen d. Bar.	218	296	199	290
Fallen d. Bar.	281	229	279	106
differ.	63	67	80	84

1 Abhandl. vom Einflusse des Mondes in die Witterung. Halle 1746.

2 Saggio meteorologico. Padova 1771. 8.

3 J. de Ph. III. 428. G. VI. 204.

4 Traité de Météorologie. Par. 1774. p. 186 ff. Mémoires sur la Météorologie. Par. 1788. I. 100 ff.

5 Phil. Mag. VII. Bibl. univ. XIX. 227.

6 J. d. Ph. XLIV. 232.

Hierdurch findet Cotte Howard's Behauptung bestätigt, nämlich dafs das Barometer in den Quadraturen steigt, in den Syzygien aber fällt. Aufserdem geben ihm die Differenzen noch das Gesetz, dafs zwischen den beiden ersten und den beiden letzten Lunationen ein nahe gleiches Verhältnifs statt finde, und dafs der Einflufs bei den beiden letzten am stärksten sey[1]. Hierbei mufs aber auffallen, dafs die Summen der Fälle des Steigens und Fallens nicht gleich sind, und wenn man dieses aus der Nichtangabe der unveränderten Stände erklären wollte, so haben 34,5 Jahre, jedes zu 13 Mondwechseln gerechnet, nur 448,5 Mondwechsel, welche Zahl in den Angaben dreimal überschritten wird. Es liegt also entweder eine Unrichtigkeit hierbei zum Grunde, oder Cotte hat mehrere Tage um die Zeit der Mondwechsel aufgezählt und mit in Rechnung gebracht, woraus indefs kein sicheres Resultat gefolgert werden kann. Weit zweckmäfsiger ist dagegen diejenige Zusammenstellung, welche derselbe auf Veranlassung von Laplace mittheilt[2], nämlich der mittleren Barometerstände am Tage der Lunationen und am nächstfolgenden, welches für 20 Jahre oder 260 Mondsmonate folgende Resultate gab:

Neumond	. .	27 Z. 9,16 Lin.
Erstes V.	. .	27 Z. 9,09 —
Vollmond	. .	27 Z. 8,99 —
Letztes V.	. .	27 Z. 9,05 —

Hieraus folgt für die Syzygien eine Vermehrung von 0,005 Lin. über den Stand in den Quadraturen, eine allerdings unmerkliche, und nur durch eine sehr grofse Menge von Beobachtungen aufzufindende Gröfse. Nach 27 jährigen Beobachtungen von Placidus Heinrich[3] betrug die Summe aller Unterschiede über den mittleren Barometerstand in den Apogeen — 6,0954 Lin. in den Perigeen + 4,4756 Lin., die Hälfte des Unterschiedes giebt also für den ersteren — 0,8099 L., gerade das Gegentheil dessen, was man erwarten sollte.

---

1 J. d. Ph. LIV. 413.
2 J. d. Ph. LV. 197.
3 Mon. Cor. XV. 537.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Die durch Horner und Langsdorf angestellten Beobachtungen der barometrischen Oscillationen innerhalb der Tropen dienen insbesondere dazu, auch den Einfluss des Mondes auf dieselben auszumitteln[1]. Die gröfsten täglichen Oscillationen betrugen 1,02 Lin. engl. und fielen in die Zeit, wenn die Declination des Mondes 5° S. war. Der Durchgang des Mondes durch den Meridian zeigte keinen Einfluss, und eben so der Abstand desselben vom Zenith, auch liefs sich über die Verschiedenheit der Wirkung im Apogeo und Perigeo kein sicheres Resultat erhalten. Die kleinsten täglichen Oscillationen betrugen 0,61 Lin. engl. und auch hierbei fiel der Punct des stärksten lunaren Einflusses auf den Stand des Mondes in 4°,6 S. Weder die Zenithdistanz des Mondes noch der Sonne zeigten irgend einen Einfluss, wohl aber das Befinden des Mondes im Apogeum, und dafs sowohl das Maximum als das Minimum der Oscillationen mit der Entfernung des Beobachtungsortes vom Aequator zunahm, geht gleichfalls sichtbar hervor. Wird hiermit endlich dasjenige verbunden, was nach der oben mitgetheilten Angabe von Laplace hinsichtlich auf den Einfluss des Mondes auch in mittleren Breiten folgt, so ist die Sache selbst zwar erwiesen, zugleich ergiebt sich aber, dafs die sehr geringe Einwirkung desselben nur durch vieljährige sehr genaue Beobachtungen aufgefunden werden kann.

Aus den oben angegebenen Barometerhöhen zur Bestimmung der regelmäfsigen täglichen Oscillationen folgt im Allgemeinen, dafs das Barometer am Tage höher steht als bei Nacht. Nach Horner[2] beträgt dieser Unterschied 0,2 Lin. engl., jedoch ist derselbe nicht geneigt, die Wärme allein als Ursache hiervon anzusehen, wie meistens geschieht.

Einen allgemeinen Einfluss der Wärme auf den Stand des Barometers haben Perrier[3], Garden[4], Halley[5], le Cat[6],

---

1 Mém. de Pet. I. 457.
2 Mém. de Pet. I. 455.
3 Pascal Traité de l'équil. p. 199.
4 Phil. Tr. n. 171.
5 Ebend. n. 181.
6 Nouv. Mag. François. 1750. Dec.

Mairan[1] Copland[2] und andere angenommen, und zwar in der Art, dafs sie ein Fallen desselben bewirken solle. Indefs zieht de Lüc[3] diese Behauptung in Zweifel, und nach Cotte[4] ist sie der Erfahrung nach unstatthaft. So fern aber, als die Wärme die Verdunstung und die wässerigen Meteore aller Art bedingt, kann sie zugleich auch mittelbare Ursache der barometrischen Schwankungen seyn.

Alle übrigen Barometerveränderungen, aufser den angegebenen regelmäfsigen, werden unter die unregelmäfsigen gerechnet, worüber man im Allgemeinen sagen kann, dafs sie, die feinsten Schwankungen mitgerechnet, nie aufhören, indem vorzüglich unter höheren Breiten bei den unausgesetzten Zersetzungen in der Atmosphäre, der ungleichen und partiellen Erwärmungen derselben und den dadurch erzeugten Strömungen nebst dem Widerstande, und den mannigfaltigen Modificationen, welche diese durch die Gegenstände auf der Erdoberfläche erleiden, an sehr feinen Barometern eine unaufhörliche Bewegung wahrgenommen wird. Leicht ist es daher erklärlich, dafs die barometrischen Schwankungen auf der See weit geringer und minder zahlreich sind als an den Küsten, und noch mehr tiefer landeinwärts, desgleichen dafs sie mit der Erhebung über die Meeresfläche abnehmen. Nach 15 monatlichen Beobachtungen nämlich in Genf und auf dem Hospitium des St. Bernhard in den Jahren 1817 und 18 betrug die Differenz des höchsten und niedrigsten Standes unten 7,74 Lin. oben 7,14[5]. Auch in Thälern sollen nach Cotte[6] die Barometerveränderungen stärker seyn als auf Bergen. Als allgemeine Regel ist ferner ausgemacht, dafs die Schwankungen stärker sind im Winter, als im Sommer, nach einigen Beobachtern am zahlreichsten in den Nachtgleichen; die gröfste mittlere Höhe aber fällt in

---

1 Recueil des Diss. qui ont remporté le Prix de l'Ac. de Bourdeaux. T. I.

2 Manchester Mem. IV. Darwin's Botanik Garden I. p. 79. ff.

3 Recherch. T. I. sect. I. chap. 3.

4 J. d. Ph. XLIV. 232.

5 Bibl. univ. X. 23.

6 J. de Ph. XLIV. 232.

Universitäts- und Landesbibliothek Düsseldorf

den Sommer. Cotte[1] hat diese Regeln aufgestellt, und aus seinen späteren Beobachtungen in Paris von 1806 bis 1808 die Gröfse der Variationen für jede Jahrszeit angegeben[2]. Hiernach betrugen sie:

Im Winter	von 27 Z. 2 L. bis	28 Z. 9 L.	= 19 L.
Im Frühling	— 27 Z. 5 L. —	28 Z. 7 L.	= 14 L.
Im Sommer	— 27 Z. 8 L. —	28 Z. 7 L.	= 11 L.
Im Herbst	— 27 Z. 4 L. —	28 Z. 9 L.	= 17 L.

Hiernach fiele indefs der höchste Stand in den Winter und Herbst, übereinstimmend mit Gronau[3], nach welchem das Barometer öfter und schneller und stärker im Winter schwankt als im Sommer, indem es im Winter seinen höchsten und niedrigsten Stand erreicht, ersteren in der Regel im December, letzteren im Januar. Eben dieses bestätigen die durch Ramond[4] im Jahre 1807 zu Paris und Clermont-Ferrand angestellten Beobachtungen. Auch aus den Petersburger Beobachtungen von 1772 bis 1790 folgt, dafs die gröfsten Schwankungen im December statt finden[5]. Aus den von Meyer und Kraft angestellten ergeben sich nach Leopold v. Buch[6] folgende Variationen.

Im Januar	— 16,600 Lin.	Im Juli	— 7,536 Lin.
Februar	— 14,880 —	August	— 9,000 —
März	— 13,416 —	Sept.	— 12,360 —
April	— 12,003 —	Oct.	— 13,954 —
Mai	— 9,900 —	Nov.	— 15,960 —
Juni	— 8,640 —	Dec.	— 16,680 —

Die oben nach dem eben genannten Gelehrten mitgetheilte Uebersicht der Differenzen des Barometerstandes unter verschiedenen Breiten ergeben gleichfalls, dafs die gröfsten in den Januar fallen. Blofs in Umeo fallen sie, wie in Petersburg, in den December. Merkwürdige Resultate liefern die meteorologischen Register, welche von Parry auf und

---

1 a. a. O.
2 J. de Ph. LXVIII. 327.
3 Schrift. der Berl. Ges. nat. Fr. II. 31.
4 Biot Traité. I. 103.
5 Ann. of Phil. N. S. IV. 15.
6 J. d. Ph. XLIX. 85.

in der Nähe der Insel Melville ein ganzes Jahr hindurch geführt wurden. Hiernach betrugen die Differenzen des Barometerstandes in par. Zollen[1]

Aug.	0,137	Febr.	0,426
Sept.	0,668	März	0,806
Oct.	0,479	Apr.	0,990
Nov.	0,307	Mai	0,117
Dec.	1,065	Juni	0,407
Jan.	0,884	Juli	0,264

Die gröfste Differenz fällt auch hier in den December, erreicht aber keine 13 par. Lin. Es mufs dieses so viel auffallender erscheinen, da Scoresby im nördlichen Polarmeere weit stärkere, und oft sehr schnelle Wechsel wahrnahm. Unter die merkwürdigsten gehören folgende in englischen Zollen, und während der in Stunden angegebenen Zeit von ihm beobachteten[2]:

Jahr	Monat	Breite	Veränd.	Zeit
1808	Apr. 4	66°.59′	fiel 0,92	24
—	Mai 12	77. 40	— 0,72	24
1809	— 6	73. 49	— 0,62	24
1812	— 2	75. 23	— 0,77	12
—	— 3	75. 35	— 0,92	24
1813	Apr. 7	66. 30	stieg 0,50	12
—	— 13	73. 11	fiel 1,02	12
—	— 23	80. 07	— 0,82	24
—	— 24	80. 10	stieg 0,86	24
1814	— 13	71. 00	fiel 1,00	24
1815	— 12	77. 21	stieg 0,60	14
—	— 27	78. 20	fiel 0,81	24
—	— 28	78. 10	stieg 0,67	12
—	— 29	78. 00	— 0,80	20
1816	— 14	72. 54	fiel 0,53	16
1817	— 13	68. 03	— 0,73	24
—	— 18	71. 56	— 1,12	21
—	— 20	73. 25	stieg 1,01	35

1 Zweite Entdeckungsreise von Parry. Hamb. 1822.

2 Account of the Arctic Regions cet. II Vol. 8. Edinb. 1820 I. 571.

Die gröfste, von ihm beobachtete Höhe betrug 30,57 e. Z. am 2. Mai 1815, die geringste 28,03, am 5. Apr. 1808 unter 66° 50′ N. B. Sonst stand jenseits 71° N. B das Barometer nie unter 28,75 Z. Uebrigens betrugen die stärksten Differenzen

Im April während	7	Jahren	2,45 engl. Z.
Mai —	12	—	1,34
Juni —	10	—	1,12
Juli —	6	—	1,00

Dafs das Barometer im Allgemeinen im Sommer höher steht als im Winter, und dafs namentlich der höchste mittlere Stand desselben in den Juni fällt, folgert Dalton [1] aus eigenen Beobachtungen zu Manchester, desgleichen aus denen von Hutchinson während 25 Jahren in Liverpool angestellten, und aus 38 jährigen der Königl. Societät. Als Ursache hiervon sieht er die gröfsere Menge der Feuchtigkeit an, welche zwar leichter ist als die Luft, aber doch die absolute Menge derselben vermehrt. Wäre dieser Grund richtig, wie immer noch fraglich ist, wenn man ein Gleichgewicht der Atmosphäre auf beiden Hemisphären annimmt, so müfste der Barometerstand auf der südlichen Halbkugel im Winter gleichfalls gröfser seyn. Sonst kann man im Allgemeinen annehmen, dafs die unregelmäfsigen barometrischen Oscillationen hauptsächlich eine Folge der veränderlichen Winde sind [2]. Krusenstern schreibt daher die Sicherheit, womit er den Gefahren eines Sturmes jederzeit die geeignetsten Mafsregeln entgegen stellte, hauptsächlich den beharrlichen Barometerbeobachtungen zu, und Scoresby versichert [3], dafs er die Zeit und Stärke der Stürme aus dem Verhalten des Barometers mit einer unter 18 Malen 17 Male zutreffenden Gewifsheit vorausgesagt habe. Mit gleicher Gewifsheit kann man nach Flinders [4] auch an den Küsten von Neuholland aus dem Barometerstande auf die Richtung und Stärke der nahe be-

---

1 Ann. of Phil. XV, 249.

2 S. *Winde*, und ebend. die Theorie des Zusammenhanges zwischen den Luftströmungen und Barometerständen.

3 Account. I. 375.

4 Phil. Trans. 1806. P. II.

vorstehenden Winde schliefsen. Kurze Andeutungen über den Zusammenhang der Winde und der Barometerstände in Paris giebt Cotte[1], ausführlichere Wild[2] und Burckhardt[3] nach vierjährigen Kopenhagener Beobachtungen, welche für den mittleren Barometerstand bei Ostwinde und Westwinde eine Differenz von 2,45 p. L. zeigen, desgleichen nach 27 jährigen Beobachtungen von Messier in Paris[4], wonach folgende Winde und mittlere Barometerstände in p. L. einander zugehören

N.	NW.	W.	SW.	S.	SO.	O.	NO.
337,6041	7,3805	6,4978	5,5084	5,3151	6,2945	7,1583	7,7684.

Aus Bequelin's Beobachtungen von 1782 bis 86 findet Leopold v. Buch[5] den mittleren Barometerstand

bei N.	NW.	W.	SW.	S.	SO.	O.	NO.
Lin. 336,32	5,85	5,13	3,61	3,06	4,55	6,36	6,62

Hiernach zeigt er, wie nach Ramond's Behauptung man die Richtung des Windes eigentlich besser nach dem Barometerstande als nach der Windfahne bestimmen könne. Ebenderselbe nahm deutlich wahr, wie die verschiedenen Luftströmungen bei Teneriffa das Barometer ungleich afficirten[6]. Im Sommer nämlich, wenn unten NO. oben SW. herrschte, ist dort der Barometerstand höher, nämlich im Mai bis Aug. im Mittel 339,173 Lin., wenn aber der Südwind allein herrscht, vom Sept. bis April, im Mittel 338,017 Lin., beide auf 0° reducirt. Beispiele eines bedeutenden Einflusses einzelner beobachteter Stürme auf den Stand des Barometers giebt es eine solche Menge, dafs es sich nicht der Mühe belohnt, sie einzeln namhaft zu machen, z. B. von Bedemar[7], v. Buch[8] u. v. a.

---

1 J. de Ph. LXVI. 190.

2 Allg. Geogr. Ephem. IV. 385.

3 M. C. III. 66.

4 M. C. III. 543.

5 Berlin. Denksch. 1818. im Ausz. b. G. LXVII. 294. Vergl. 437.

6 Berlin. Denksch. 1820. 115.

7 Reisen. I. 59.

8 G. LXVII. 300

Dafs vor und beim Regen und Schneien das Barometer fällt, ist seit Pascal[1], Beal und Wallis[2], Garcin[3], de Lüc[4], Chiminello[5] u. a. allgemein bekannt, und hat Veranlassung gegeben, dieses in die Scalen der gemeinen Wetterbarometer mit aufzunehmen[6]. De Lüc[7] war geneigt, die gesammten Barometerveränderungen auf die Bildung oder den Niederschlag des spec. leichteren Wasserdampfes zurückzuführen, wogegen de Saussure[8] geltend machte, dafs das spec. Gew. der völlig trocknen Luft zu der völlig feuchten sich wie 765 : 761 verhalte, mithin das Aufsteigen des Wasserdampfes das Gewicht der Luft nur um $\frac{4}{765}$ vermindern, und also nur 2 Lin. Barometerveränderung bewirken könne, wodurch allerdings de Lüc's Ansicht widerlegt wird. Das Fallen des Barometers, so fern es durch den atmosphärischen Wasserdampf bedingt wird, ist indefs nicht sowohl Folge des aufsteigenden leichteren Wasserdampfes, als vielmehr des niedergeschlagenen, und einer dadurch erzeugten örtlichen Verminderung der Luftmasse. Indefs hat hierbei zugleich die Richtung des Windes einen bedeutenden Einflufs, so dafs man nur mit Berücksichtigung dieser Bedingung vom Stande des Barometers auf das eine oder das andere dieser Phänomene schliefsen kann[9]. Leopold v. Buch zeigt, dafs, wenn die von ihm angegebenen mittleren Barometerstände, welche den zugleich genannten Winden zugehören, Regen oder Schnee bringen sollen, das Barometer für dieselben Winde folgende Differenzen zeigen mufs:

	N.	NW.	W.	SW.	S.	SO.	O.	NO.
Reg.	1,90	0,81	0,95	1,05	0,96	1,52	1,19	1,52
Sch.	3,07	1,48	1,51	1,68	2,30	1,34	2,98	2,87

1 Traité de l'équil. des liqueurs. p. 153.
2 Phil. Tr. N. 9 und 10.
3 Journ. Helvétique. 1734 u. 35.
4 Recherch. T. I. Sect. I. ch. 3.
5 Gehlen's Journ. VIII. 195.
6 S. *Regen*. Daselbst die Theorie.
7 Recherch. T. II. Sect. IV.
8 Essay sur l'hygrom. Ess. IV. ch. 3.
9 Halley Phil. Tr. n. 181. Gersten Tentam. System. novi ad mutationes barom. ex natura elateris aërii demonst. Frankf. 1733. 8. de la Hire Mém. de Par. 1705. Mariotte Discours de la nature de l'air. 1676.

Universitäts- und Landesbibliothek Düsseldorf

Es ist sonach kein Landregen zu erwarten, so lange das Barometer nicht unter den mittleren Stand herabgeht. Die Differenzen, wenn es schneien soll, sind noch stärker, auch mufs das Barometer bei nördlichen und östlichen Winden tiefer fallen, mithin kann der Schnee nicht aus den Polargegenden kommen, sondern mufs durch Abkühlung der südlichen feuchten Luftströmungen entstehen. Andere vielfache Hypothesen über die Ursachen der Barometerveränderungen, z. B. von Woodward [1], D. Bernoulli [2], Pignotti [3] verdienen gegenwärtig keine weitere Berücksichtigung. Nach Kirwan [4] sind die Barometerveränderungen eine Folge der unter dem Aequator aufsteigenden verbrennlichen Luft, welche nach den Polen abfliefsend die Nord- und Südlichter erzeugen soll. Darum glaubt er auch, die Barometerveränderungen pflanzten sich bei uns von W nach O fort, welches Planer [5] und Steigleuner [6] bestätigt finden wollten. De Lüc nahm seine Theorie später wieder zurück, als er den Wasserdampf für aufgelöset in Luft hielt. Auf diese Hypothese gründeten Lampadius [7] und Hube [8] ihre Erklärungen der Barometerveränderungen, welche aber mit dem Untergange jener Hypothese ihre Stütze verloren haben [9]. Dafs die Elektricität einen unmittelbaren Einfluſs auf das Barometer habe, u. z. dafs eine grofse Menge vorhandener Luftelektricität das Barometer fallen mache, hat man zwar geglaubt [10], indefs wird gegenwärtig niemand dieser Meinung

---

1 Hist. natur. telluris. Lond. 1695.

2 Hydrodyn. Sect. X.

3 De Saussüre Essay II. ch. 5 et 9.

4 Trans. of the Irish Acad. T. II. 49. in Gren. J. IV. 59. Phil. Tr. 1770. 148 Bibl. Brit. VI. 97. 193.

5 Ephem. Soc. met. Palat. II.

6 Atmosphaerae pressio varia observat. bar. propr. et alienis quaesita. Ingolst. 1783. 4.

7 Kurze Darstellung der vorzüglichsten Theorien des Feuers. Gött. 1793. p. 104.

8 Ueber d. Ausdünstung cet. Leipz. 1790. Cap. 69 u. 70. Vollständiger und fafslicher Unterricht in d. Naturl. Leipz. 1793. II. Br. 39.

9 Vergl. *Atmosphäre, Bestandtheile.*

10 Giovene in Memor. di Mat. e di Fis. della Soc. Ital. delle Scienze Tom. VIII. Chiminello ebend. T. XIII. P. II. p. 140.

mehr beipflichten. Lister[1] glaubte sogar die Ursachen der Barometerveränderungen im Quecksilber des Barometers suchen zu müssen.

Bei den oft sehr partiellen und auf kleine Districte beschränkten Luftströmungen und den mannigfaltigen Hindernissen und bedingenden Umständen, wodurch die Richtung und Stärke derselben auf dem Lande abgeändert wird, bei den oft sehr partiellen Gewittern, Regen- und Schneeschauern, kann es nicht befremden, wenn die Barometerstände an Orten, welche einen oder mehrere Grade von einander entfernt liegen, oft bedeutend verschieden sind. Insbesondere wird diese Differenz auf nicht eben bedeutende Strecken dann bemerkbar, wenn die Oerter in ungleichen Höhen liegen, in welchem Falle sie in einzelnen Tagen und selbst in einzelnen Monaten beträchtlich seyn kann. So gaben monatliche mittlere Barometerstände zwischen Rolle und Genf für eine mittlere Höhe von $15^m,5$, noch mehr zwischen Rolle und dem St. Bernhard für eine mittlere Höhe von $2111^m,7$ und zwischen Genf und dem St. Bernhard für eine mittlere Höhe von 2097^m eine nicht unmerkliche Differenz[2]. Dagegen müssen auf der andern Seite bei der Beweglichkeit des in sich zusammenhängenden Luftmeeres, wenn man die Zeit berücksichtigt, in welcher sich die Bewegungen der Luft fortpflanzen können, die Barometerstände auf nicht zu weit entfernte Strecken sehr übereinstimmend seyn. Diese Correspondenz, welche auf dem Meere viel gröfser ist, findet zuweilen auch auf dem Lande auf eine merkwürdige Weise statt, wie aus mehreren Vergleichungen gleichzeitiger Beobachtungen evident hervorgeht, z. B. zu La Chapelle und Florenz auf eine Strecke von 262 lieues, zwischen Harvid in Dänemark, Gotha, Bordeaux, München, Udine, Pisa, Turin, Florenz und Macerata in der Romagna[3], desgleichen zwischen Gotha und Dijon[4] u. a. m. Ein ähnliches Resultat

1 Phil. Tr. n. 165.

2 Bibl. univ. XIX. 157. Ueber den Einfluss, welchen die Höhe auf den Stand des Barometers hat S. *Höhenmessungen, barometrische.*

3 Ebend. XVIII. 261.

4 Ebend. XIX. 97.

erhielt schon MARALDI[1] aus einer Reihe gleichzeitiger Beobachtungen zu Paris und Zürich, COTTE[2] durch Vergleichung von Barometern zu Bordeaux und Montmorenci und RAMOND[3] aus den verglichenen gleichzeitigen Barometerveränderungen zu Paris und Clermont Ferrand.

Das *Leuchten* der Barometer endlich, welches PICARD 1676 zuerst wahrnahm, und nebst DE LA HIRE, JOH. BERNOULLI, HOMBERG und MAIRAN nach den Begriffen der damaligen Zeit aus einem eigenthümlichen Phosphor erklärte[4], hielt man mit DU FAY meistens für eine Folge des guten Ausgekochtseyns[5], obgleich MUSSCHENBROEK die Anwesenheit von etwas Luft für nothwendige Bedingung erklärte[6]. HAWKSBEE[7] hielt das Licht für elektrisches, durch Reibung des Quecksilbers an den Glaswänden, oder von durchströmender Elektricität entstanden, welche Meinung ohne Zweifel richtig und jetzt allgemein angenommen ist[8]. Dafs das Leuchten ein Beweis aller Abwesenheit von Luft sey, ist falsch, aber eben so wenig ist Anwesenheit von Luft eine nothwendige Bedingung, obgleich nicht völlig ausgekochte Barometer leichter leuchten. Vorzügliche Bedingung ist die eigenthümliche Beschaffenheit des Glases der Röhren[9]. *M.*

---

1 Mém. de l'Ac. 1709. p. 23. u. 233.
2 J. de Ph. XLI. 54. XLII. 340.
3 Biot Traité. I. 103.
4 Hist. de l'Acad. 1700.
5 Hist. de l'Ac. 1723. p. 295.
6 De Lüc Recherch. §. 69.
7 Phil. Tr. 1708.
8 Trembley in Phil. Tr. XLIV. 58.
9 Aufser der angegebenen Literatur können noch genannt werden: MICHAEL DU CREST kleine Schriften von Barometern und Thermometern. A. d. Fr. von J. C. Thenn. Augsb. 1770. BRANDER Beschreibung zweier besonderer und neuer Barometer, die zu Höhenmessungen vorzüglich zu gebrauchen sind, als ein Zusatz zu du Crest's Sammlung. Augsb. 1772. J. C. HOLLMANN Nöthiger Unterricht von Barometern. Gött. 1783. 8. J. G. v. MAGELLANS Beschreibung neuer Barometer u. s. w. Leipz. 1782. Ueber die älteren Barometer handelt ausführlich BÜLFINGER in Com. Pet. I. 317 ff. Ueber die neueren Beiträge zur Verfertigung und Verbesserung d. Barometers von VOIGT, Erst. Hft. Frankf. 1795. 2tes Hft. Leipz. 1799. BISCHOF bei Schweig. J. XV. 397. Anleitung zur Verfertigung übereinstimmender Thermometer und Barometer für Künstler und Liebhaber dieser Instrumente von Dr. F. KÖRNER. Jena 1824. 8. (Vollständig und gründlich).

Baryum.

Baryum; Baryum, *Barium.* Dieses Metall hat bis jetzt nur vermittelst der galvanischen Elektricität oder vielleicht auch vermittelst des Knallgasgebläses in sehr kleiner Menge rein dargestellt werden können. Nach H. Davy, seinem Entdecker, ist es grau, ductil und bedeutend schwerer als Vitriolöl. Es oxydirt sich schon bei gewöhnlicher Temperatur an der Luft und im Wasser.

Seine Verbindungen sind folgende:

Der *Baryt*, die *Baryt-* oder *Schwererde* (68 Baryum auf 8 Sauerstoff) ist eine hellgraue erdige Substanz von alkalischätzender Wirkung. Der Baryt löst sich im Wasser zu Barytwasser auf; die heifse Auflösung gibt beim Erkalten wasserhaltige Barytkrystalle. Mit Säuren bildet der Baryt die *Barytsalze*, welche im aufgelösten Zustande giftig wirken und, wenn sie in Wasser löslich sind, vorzüglich daran erkannt werden, dafs sie selbst bei grofser Verdünnung mit Wasser durch die Schwefelsäure und ihre Salze gefället werden. Die wichtigeren Barytsalze sind: der *kohlensaure Baryt*, welcher als *Witherit* natürlich vorkommt; der *schwefelsaure Baryt* oder *Schwerspath*, ein nicht blofs in Wasser, sondern auch in allen Säuren, aufser Vitriolöl, unauflöslicher Körper; der *salzsaure* und der *salpetersaure Baryt*, welche im Wasser löslich sind, und vorzüglich zur Entdeckung der Schwefelsäure in irgend einer wässrigen Flüssigkeit angewendet werden.

Das *Baryumhyperoxyd* (scheint auf 68 Baryum 16 Sauerstoff zu enthalten) ist ebenfalls grau. In wässriger Salzsäure löst es sich zu salzsaurem Baryt auf, während der überschüssige Sauerstoff desselben an einen Theil des Wassers tritt und dieses in Wasserstoffhyperoxyd verwandelt, worauf die Darstellung dieser merkwürdigen Substanz beruht.

Das *Chlorbaryum* ist eine weifse, schmelzbare, sich in Wasser zu salzsaurem Baryt auflösende, das *Schwefelbaryum* eine braune, in Wasser als hydrothionsaurer Baryt lösliche Substanz und das *Phosphorbaryum*, welches dunkelrothbraun ist, zerfällt im Wasser zu Baryt, unterphosphoriger Säure und sich entwickelnden Phosphorwasserstoffgas. *G.*

Bathometer.

Ein Instrument, um grofse Tiefen im Meere zu messen, von βάθος, Tiefe und dem bekannten Worte μέτρον, Mafs. Gewöhnlich wird die Tiefe unmittelbar mit der *Sonde* gemefsen, einer starken hänfenen Schnur, welche mit kleinen Lappen bunten Zeuges von Klafter zu Klafter eingetheilt ist, und deren unteres Ende ein cylindrisches Bleigewicht, 20 bis 50 Pfund schwer, trägt. Dieses Letztere hat an seiner untern Grundfläche eine konische Höhlung, die mit Talg ausgefüllt wird, damit die Substanz des Grundes, Schlamm, kleine Steine, Muscheln sich daran anklebe, was etwa bei tiefliegenden Sandbänken zur Erkenntnifs des Bodens, und dadurch zur Bestimmung der geographischen Lage des Schiffes dienlich ist. Allein dieses Werkzeug, so sehr es durch seine Einfachheit und Genauigkeit sich empfiehlt, wird in gröfsern Tiefen von unbequemem Gebrauche. Ein besonderes Hindernifs liegt in der Anhängung des Wassers an die Lothleine und der daher entstehenden Reibung der Wassertheile an einander, welche auf Längen von ein und mehrern tausend Fufs einen Widerstand ausmacht, welcher vereint mit dem Gewichte des Bleilothes und der Leine selbst, das Heraufziehen ungemein mühsam macht [1]. Die raschen Hebungen und Senkungen des Schiffes, die am Hintertheil leicht ein Paar Klafter und mehr betragen mögen, erschweren diese Arbeit durch die Ungleichförmigkeit des Zuges. Hierzu kommt die Seltenheit gänzlicher Windstillen, die Unannehmlichkeit, durch Beilegen des Schiffs sich auch der kleinen Vortheile des Vorrückens zu berauben, die schiefe, oft gekrümmte Richtung, welche die Lothleine erhält, wenn das Schiff nur einigermafsen aus der Stelle rückt, was denn allerdings die richtige Bestimmung der Lothrechten Tiefe schwieriger macht.

Diese Mängel der gewöhnlichen Meeressonde haben schon längst die Physiker auf die Erfindung eines Instruments ge-

---

1 An der Insel Tenariffa bedienen sich die Fischer zum Angeln in grofsen Tiefen des Messingdrathes. Bei einer solchen Leine würde allerdings die Reibung des Wassers wegfallen.

führt, bei welchem die Tiefe nicht durch eine Schnur, sondern durch eine Vorrichtung, die denen unserer Wegemesser gleicht, bestimmt werden könnte. Es besteht aus drei Haupttheilen: 1. einem Gewichte, welches die Maschine in die Tiefe zieht, 2. einem Schwimmer, welcher sie, wenn jenes abgelöst ist, wieder steigen macht, und 3. aus einigem Räderwerke, als Wegemesser. Zugleich befindet sich an derselben eine Vorrichtung, vermittelst welcher das Gewicht, ein Stein, oder eine Stückkugel, herausfällt, so wie die Maschine auf den Grund stöfst. Der Schwimmer ist eine gut bemalte Stange von Tannenholz, die man oben mit einer leichten blechernen Fahne versehen kann, damit sie beim Auftauchen desto leichter gesehen werden könne. Der Wegemesser enthält eine leicht bewegliche Axe, an deren Vorderende zwei kleine, wie Windmühlenflügel geneigte Flächen befestigt sind, welche durch den schiefen Stofs des Wassers in Bewegung gesetzt werden. Eine auf dieser Axe eingeschnittene Schraube ohne Ende greift zu gleicher Zeit in die Peripherien zweier Räder ein, von denen das eine 100, das andere 101 Zähne hat, so dafs die *relative* Verrückung beider Räder um ein Hunderttheil ihrer Eintheilung zu erkennen giebt, dafs ein ganzer Umlauf, mithin 100 Umdrehungen der Axe vollendet worden seyen[1]. Man kann also mit diesen zwei Rändern bis auf 10000 Umläufe des Axe zählen, der Werth eines solchen Umlaufs in Theilen der von der Maschine durchlaufenen Weges wird durch Versuche bestimmt. Noch mufs die Anordnung getroffen werden, dafs, indem durch das Aufstofsen auf den Boden das Gewicht aufgelöst wird und herausfällt, auch zugleich entweder die Bewegung des Wegmessers abgestellt, oder (was vielleicht noch besser wäre) derselbe senkrecht umgewendet und so der Weg auch beim Heraufsteigen gemessen werde.

Dieses wäre im Allgemeinen ein Abrifs eines zweckmäfsig eingerichteten Bathometers[2]. Schade jedoch ist es, dafs

---

1 Aehnlich der Einrichtung an Breguets Schrittzählern. Die Engländer nennen solche Räder *hunting wheels*.

2 Wir übergehen hier die unvollkommnern Constructionen, bei welchen man den Wegmesser durch minder sichere Mittel ersetzen wollte.

die Brauchbarkeit dieses Werkzeuges noch durch keine Versuche im Grofsen entschieden ist. Nicht zu gedenken der Schwierigkeiten, welche ein schlammiger Boden, Seegras, und selbst das Eindringen des Seewassers in hohle oder poröse Körper in so grofsen Tiefen dem Wiederaufsteigen der Maschine entgegensetzen könnte, so scheint die wichtigste Bedenklichkeit in der Frage zu liegen, ob es möglich sey, vom Verdecke des Schiffes einen Körper von so unbedeutender Gröfse, wie jene Spindel mit ihrer Fahne wäre, auf dem weiten Ocean wahrzunehmen, besonders wenn, was wohl in den meisten Fällen statt finden dürfte, entweder das Schiff durch eine unmerkliche Wirkung des Windes weiter getrieben, oder das Bathometer durch Strömungen entführt worden wäre. Das Stillschweigen, welches bei den neueren in England mit so grofser Vollständigkeit veranstalteten Ausrüstungen für die Entdeckung der Nordwestlichen Durchfahrt in Beziehung auf dieses Instrument beobachtet worden ist, läfst für seine Anwendbarkeit kein günstiges Vorurtheil von Seiten der Seefahrer voraussetzen. Die Sondirungsversuche, die auf diesen letztern Reisen öfters bis 1000 und mehr Klafter gemacht worden sind, beweisen übrigens, dafs, wenn es der Wille des Befehlshabers ist, auch die oben bemerkten Hindernisse nicht vermögend sind, von einem Versuch abzuschrecken, welcher der Physik und der Erdkenntnifs so interessante Resultate gewähren kann. Zu wünschen wäre jedoch, dafs Seefahrer, welche dazu Gelegenheit haben, wenigstens Versuche über das Wiederemporkommen solcher Stangen und die Möglichkeit sie wahrzunehmen, anstellen möchten. Man könnte sich hierbei zur Auslösung des Steines einer einfachen hölzernen Vorrichtung, einer Art Falle, bedienen, die überall leicht anzufertigen ist[1].

H.

---

1 Man sehe hierüber: Gilb. Ann. Bd. 19. p. 344. und besonders Bd. 33. p. 417 und folgg. wo nebst der Nachricht von einer Schrift des Stiprian Luisius hierüber auch das Geschichtliche der frühern Vorschläge zu lesen ist.

Batterie.

Elektrische Batterie; *Suggestus phialis leidensibus pluribus una explodentibus*; Batterie électrique; *Electric battery*. Eine zur elektrischen Geräthschaft gehörige Verbindung von mehreren Leidner Flaschen, belegten Glastafeln oder andern belegten, die Elektricität nicht leitenden Körpern, welche man auf einmal laden und entladen, und dadurch elektrische Schläge von ungemeiner Heftigkeit hervorbringen kann, die in ihren Wirkungen denen des Blitzes schon sehr nahe kommen[1].

Gralath in Danzig verband zuerst, bald nach Entdekkung des Leidner Versuchs, mehrere mit Wasser gefüllte Destillirkolben, um den elektrischen Schlag mehr zu verstärken. Franklin[2] setzte eilf viereckige Glastafeln in ähnlicher Absicht zusammen, und gab dieser Einrichtung den Namen der *elektrischen Batterie*. Je nachdem man solche Batterieen aus Flaschen oder belegten Glastafeln zusammensetzt, fällt die Einrichtung verschieden aus.

1. Batterieen aus Flaschen.

Die Figur zeigt eine Batterie von 16 mit Stanniol belegten Flaschen, wie sie bis zu den von van Marum angegebenen Verbesserungen als die beste Einrichtung von den Physikern empfohlen war, und von Cavallo in seiner vollständigen Abhandlung von der Elektricität beschrieben und abgebildet ist. Jede von den cylindrischen Flaschen ist mit einem, mit Siegellackfirnifs überzogenen Deckel verschlossen, durch welche ein mit ihrer innern Seite verbundener messingener Stab (s. *Flasche belegte*) hervorgeht, der oben rund um den Draht EE gebogen, oder noch besser an denselben angelöthet ist. Man kann diesen Draht auch mit einem Knopfe versehen, der quer durchbohrt ist, wo denn der Draht EE durch die Löcher der vier in einer Reihe stehenden Flaschen hindurchgesteckt wird. Jeder Draht EE verbindet so die innere Seite von vier Flaschen, und hat an jedem Ende einen Knopf. Durch die Drähte FFF können Fig 174.

1 Vergl. *Flasche, geladene; Schlag, elektrischer.*

2 Briefe von der Elektr. übers. von Wilke. Leipzig 1758. 8. p. 36.

die innern Seiten aller sechzehn Flaschen mit einander verbunden werden. Jeder von denselben hat an dem einen Ende einen Ring, durch welchen einer von den Drähten E geht, an dem andern Ende aber einen messingenen Knopf. Da jeder derselben sich um den Draht E, der durch seinen Ring geht, bewegen läfst und auf dem nächsten Draht E aufliegt, so kann man ihn leicht von diesem wegnehmen und auf den entgegengesetzten Draht E auflegen, und auf diese Art kann man die Verbindung einer Reihe Flaschen mit der andern nach Belieben aufheben und entweder die ganze Batterie oder nur drei, zwei oder eine einzige Reihe von Flaschen gebrauchen. Man kann die Verbindung auch durch einen quergehenden Draht, der durch die Löcher der Erdknöpfe der vier je eine Reihe von Flaschen verbindenden Drähte hindurch gesteckt wird, und auf dessen beide Enden gleichfalls Knöpfe aufgeschraubt werden, zu Stande bringen. Der viereckige Kasten, worin diese Flaschen stehen, ist von Holz und auf dem Boden mit Blei oder Stanniol überlegt. Man theilt ihn am besten durch quergehende Leisten von 0,5 Z. Dicke in so viele Fächer als man Flaschen hat, damit diese sich nicht unmittelbar berühren, weil bei unmittelbarer Berührung unter einander es sonst leicht geschieht, dafs wenn durch Selbstentladung eine der Flaschen an einer Stelle durchbohrt wird, die mit ihr in Berührung stehende Flasche, wenn der Durchbruch an dem Berührungsorte erfolgt, zugleich mit zerbrochen wird. Der Kasten selbst hat an zwei einander gegenüberstehenden Seiten Handhaben, an welchen man ihn von einem Orte zum andern tragen kann. In der einen Seite ist ein Loch, durch welches ein eiserner Haken geht, der mit der metallischen Belegung des Bodens und also mit der inwendigen Belegung der Flaschen verbunden ist. An diesem Haken hängt ein Draht, der mit dem andern Ende an dem Auslader befestigt wird.

Man bestimmt die Gröfse einer Batterie nach der Gröfse der belegten Glasfläche, welche die zu ihr gehörigen Flaschen enthalten, weil sich die Stärke ihres Schlags unter übrigens gleichen Umständen nach der Gröfse dieser Fläche richtet. Hat z. B. jede Flasche $\frac{3}{4}$ Quadratfufs belegte Glasfläche, so

wird die beschriebene Batterie von sechzehn Flaschen eine Batterie von 12 Quadratschuhen genannt. Eine solche gehört in Vergleich mit andern jetzt gebräuchlichen noch unter die kleinern, und ist für manche Versuche noch viel zu schwach. Zum Schmelzen eines Stahldrahts von 0,02 Zoll Dicke fordert Cavallo eine Batterie von wenigstens dreifsig Quadratschuhen. Cavallo räth lieber zwei, drei oder mehr kleinere Batterieen, wie sie die Figur vorstellt, anzulegen, als eine einzige von sehr grofsen Flaschen, welche schwer und unbequem sey. Man könne dann mehrere solcher Batterieen durch einen Draht oder eine Kette leicht vereinigen, wobei sie in jeder Hinsicht wie eine einzige grofse wirken. Kleine Flaschen haben indessen den Nachtheil, dafs bei ihrer grossen Menge die Gelegenheiten zum Ausströmen der Elektricität durch die vielen Knöpfe und Drähte, an welchen kleine Unebenheiten nicht ganz zu vermeiden sind, viel häufiger vorkommen.

Zu den Flaschen grofser Batterieen mufs man starkes und wohl gekühltes Glas nehmen, und besonders darauf achten, dafs sich nirgend Fehlstellen, z. B. Körner von Glasgalle u. dgl. finden, weil an solchen Stellen der Durchbruch einer starken Ladung bald erfolgt. Man kann solche Flaschen bis zur Höhe von 23 — 24″ und von einem Durchmesser von 12″ aus Glashütten erhalten, wo denn eine einzelne Flasche über 5 Quadratschuh Belegung hat, (wenn man nämlich die Belegung auf beiden Seiten zusammenrechnet, wie dies gewöhnlich von den Schriftstellern über Elektricität geschieht). Cylindrische Flaschen von 15″ Höhe und 4 — 5″ Durchmesser sind zu gewöhnlichen Batterieen sehr passend. Batterieen aus gewöhnlichen Apothekergläsern verfertigt, sind nicht zu empfehlen.

So wie die *Teylerische* Stiftung zu Haarlem die gröfste Elektrisirmaschine besitzt, so hat sie auch die gröfste elektrische Batterie aufzuweisen, die van Marum so vollkommen als möglich einzurichten sich bemüht hat. Die beste Batterie, mit welcher er seine interessanten Versuche über die Wirkung starker elektrischer Schläge anstellte, bestand aus 9 einzelnen Batterieen, wovon jede 15 Flaschen enthielt, deren jede einzelne einen Quadratschuh Belegung hatte. Die

Kasten, worin die Flaschen standen, wurden so an einander gestellt, dafs drei in einer Linie neben einander standen und folglich 15 Flaschen in einer Reihe. Die ganze zusammengesetzte Batterie bestand so aus 135 Flaschen und hatte eine Belegung von 135 Quadratschuhen. Später vermehrte er diese Batterie noch mit sechs neuen gleichen Kasten, so dafs sie demnach aus 225 Quadratfufs belegte Glasfläche in 15 Kasten vertheilt, deren jeder wieder 15 Flaschen enthielt, bestand. Sie ward durch 160 Umdrehungen der Maschine völlig geladen. Die absolute Gewalt ihres stärksten Schlags schätzt VAN MARUM auf 10040 Pfd., indem es ihm nämlich gelang, einen Buchsbaumcylinder von 4″ Durchmesser und eben so viel Länge, seiner ganzen Länge nach dadurch zu spalten und also den Zusammenhang von 16 Quadratzoll aufzuheben, der auf jeden Quadratzoll seinen Versuchen zufolge 615 Pfd. betrug. Von Drähten von $\frac{1}{32}$″ Durchmesser schmolz sie den bleiernen und zinnernen in einer Länge von 120, den eisernen von 5″, den goldenen von 3″,5, von den silbernen, kupfernen und messingenen keinen Viertelzoll [1]. VAN MARUM verglich diese Batterie mit der von ihm früher gebrauchten von 125 Quadratschuh Belegung, und fand, dafs die beiderseitigen Wirkungen genau mit der verschiedenen Gröfse der Belegung im Verhältnifs standen, indem letztere von einem $\frac{1}{40}$″ dicken Eisendrath 6 Zoll weit, die verstärkte Batterie dagegen 10 Zoll schmolz[2]. Jedoch führte er eine noch viel gröfsere Batterie aus, die gröfste, die wohl zu Stande gebracht ist. Sie besteht, so wie sie noch jetzt in der Teylerischen Sammlung aufbewahrt wird, aus 100 Flaschen jede von 12″ Durchmesser und $22\frac{1}{2}$—23″ Höhe. Die Gläser selbst sind cylindrisch, bis ungefähr 4″ unterhalb ihrer Oeffnung, deren Weite ungefähr 5″ ist. Sie sind bis ungefähr 4 Zoll unterhalb dieser mit Stanniol überzogen, so dafs sie also in einer Höhe von $18\frac{1}{2}$—19″ belegt sind, die belegte Oberfläche jeder Flasche folglich $5\frac{1}{2}$ Quadratfufs, und demnach die Belegung der ganzen Batterie 550 Quadratfufs beträgt. Diese 100 Flaschen

---

1 Vergl. *Schlag, elektr.*

2 van Marum première Continuation des Experiences. cet. p. 2.

sind in 4 Kasten von gleicher Gröfse vertheilt, wovon also jeder 25 Flaschen enthält. Jeder Kasten ist durch Leisten von $\frac{1}{2}$ Z. Dicke in 25 Fächer abgetheilt, aus dem oben angegebenen Grunde. Die Verbindung von je 25 Flaschen ist so eingerichtet, dafs jede Flasche einzeln herausgenommen, und wenn sie etwa durch eine Selbstentladung durch ihre Glaswand zerbrochen wäre, schnell ersetzt werden kann. Ein senkrechtes Rohr befindet sich nämlich auf der Mittelflasche jedes Kastens, an seinem obern Ende mit einer Kugel von 6″ Durchmesser versehen, die rund um 24 Löcher hat, in welche die, einen Zoll dicken, metallenen Röhren hineinpassen, deren untere Enden von den Kugeln, in welchen die Zuleiter der übrigen 24 Flaschen endigen, aufgenommen werden. Diese Kugeln von 3″ im Durchmesser haben zu diesem Behuf Löcher von 0,25 Z. und die Röhren sind an ihren unteren Enden mit Zapfen versehen, die in diese Oeffnungen hineinpassen. So kann man jede Flasche (mit Ausnahme der Mittelflasche) einzeln herausnehmen, ohne dafs die Verbindung der übrigen unter einander etwas gestört wird, indem man das Rohr aus seiner Kugel herausnimmt, welches sehr leicht geschieht, wenn man sein oberes Ende so weit in die gröfsere Mittelkugel hineinschiebt, dafs der Zapfen am unteren Ende aus der Oeffnung der Kugel der Flasche selbst herausgeht. Die Verbindung dieser 4 Batterieen, die aber auch einzeln, und wie aus dem Bisherigen erhellt, auch mit einem beliebigen Theile ihrer Flaschen bis auf eine einzige herab gebraucht werden können, zu einer einzigen geschieht durch 4 kupferne Röhren von zwei Zoll Durchmesser, die in eine kupferne Kugel von 6 Z. Durchmesser eingeschraubt sind, so dafs sie ein Kreuz bilden; die andern Enden dieser Röhre sind mit dicken Kupferplatten versehen, in ihrer Mitte mit einem Loche durchbohrt, durch welches die männliche Schraube geht, die am Ende der Röhre jeder Mittelflasche der vier Batterieen sich befindet, und auf welche Messingkugeln von 12″ Durchmesser aufgeschraubt werden. Die Zuleitung geschieht durch zwei Metallröhren, welche von den Kugeln des Einsaugers ausgehen, und in die zwei der Maschine nächsten grofsen Kugeln der Mittelflaschen eingesteckt werden. Beim Gebrauche wird auf eine andere

dieser vier Kugeln ein Adamsches Ausladeelektrometer aufgesteckt [1]. Der angegebene beträchtliche Durchmesser der Verbindungsröhre und Kugeln hindert alles Ausströmen der Elektricität bei Zunahme der Ladung. Diese Riesenbatterie entsprach auch in ihren Wirkungen vollkommen ihrer Gröfse. Von jenem Eisendrathe von $\frac{1}{40}$ Zoll Durchmesser, von welchem die Batterie von 225 Quadratfufs Belegung 10″ geschmolzen hatte, schmolz diese Batterie von 550 Quadratschuh nicht blos $24\frac{1}{2}$″, sondern zerstäubte denselben in glühende Kügelchen. Eine Hauptverbesserung der Flaschen dieser Batterie bestand in der Art, wie die Verbindung mit der innern Belegung gemacht ist [2].

2. Batterieen aus Glastafeln.

Statt der Flaschen kann man auch, wie Franklin zuerst gethan hat, mehrere belegte Glastafeln zu einer Batterie vereinigen. Es läfst sich dadurch alles in einen viel kleineren Raum zusammenbringen. Bohnenberger hat dazu in Vorschlag gebracht, die Glastafeln in die Einschnitte oder Näthe zweier über einander in der gehörigen Entfernung befindlicher Brettchen zu schieben, und die positive Belegung auf der einen Seite der Glastafel bis an den einen Rand derselben zu verlängern, und auch noch etwas darüber weggehen zu lassen, so dafs sie alle zusammenstofsen, und eben so mit der negativen Belegung auf der andern Seite zu verfahren. Die Glastafeln brauchten in keiner gröfseren Entfernung von einander als 0,75 Z. gebracht zu werden. Verbände man dann nur die positive Belegung einer der Glastafeln mit dem Zuleiter der Elektrisir-Maschine, so würden auf diese Weise alle Glastafeln geladen werden, wenn die entgegengesetzten Belegungen mit dem Erdboden in Verbindung ständen. Indessen wird doch das obere Brettchen, wenn es auch in wohl überfirnifste Glassäulen, die in das untere Brettchen eingekittet sind, eingepafst wird, zum Ausströmen Veranlassung geben [3].

---

1 S. *Elektrometer*.

2 S. *Flasche, belegte*.

3 Beschreibung einer Elektrisirmaschine u. s. w. von G. C. Bohnenberger. Stuttg. 1784. p. 44.

Universitäts- und Landesbibliothek Düsseldorf

D. Dana [1] hat folgende sinnreiche Einrichtung erdacht, um eine Menge von belegten Glastafeln zu einer Batterie in einen so engen Raum als möglich zusammen zu bringen. Er schichtet starke Glastafeln von gleicher und ähnlicher Gröfse mit Zinnfolie über einander, nämlich Glasplatte, Zinnfolie, Glasplatte, wieder Zinnfolie und so fort, und zwar so, dafs jede Schicht Zinnfolie rings um etwa zwei Zoll schmäler ist als die Glasplatte, diese aber 12″ Länge und Breite hatte. Der wechselnden Schichten waren sechs, und die unterste Glasplatte ruhte auf einer Tafel und stand mit dem Boden in Verbindung. Die Schichten von Zinnfolie, welche hier die Belegungen darstellten, waren wechselsweise durch Zinnstreifen unter einander verbunden, nämlich die erste Schicht mit der dritten und diese mit der fünften, die zweite aber mit der vierten und diese mit der sechsten und obersten, welche zuletzt mit dem Conductor durch einen Draht im Zusammenhange stand. Auf diese Weise ward die eine Hälfte der Folienschichten positiv, die andere negativ geladen. Die Anordnung der einzelnen Theile ist folgende: a a a a a a Zinnfolie; b b b b b b Glasplatten; c verbindende Streifen von Zinnfolie für die sechste, vierte und zweite Schicht; d verbindende Streifen von Zinnfolie für die fünfte, dritte und erste Schicht. Oder aber es ist a der verbindende Streifen über dem Rande der Glasplatten für die erste, dritte und fünfte Schicht, b der Streifen, welcher die oberste Zinnfolie mit der vierten verbindet. Um die Feuchtigkeit abzuhalten und die Zinnfolienschichten völlig zu isoliren, überzieht man den mit Zinnfolie nicht bedeckten Rand mit einem Firnifs. Fig. 175. Fig. 176.

Eine solche Batterie soll dem Erfinder zufolge schon sehr stark wirken, wenn sie den Raum eines mäfsigen Quartanten oder Folianten einnimmt, und sie empfehle sich durch ihre geringe Kostbarkeit und leichte Tragbarkeit. Ich habe mit 6 Glasplatten, jede von einem Quadratfufs Oberfläche nach der angezeigten Vorrichtung einen Versuch angestellt, bin aber in meiner Erwartung getäuscht. Es scheint das blofse Aufliegen der

---

1 Schweig. J. XXVIII. 257.

Zinnfolie nicht zu genügen, um das Glas gehörig zu laden; die Berührung mufs vielmehr so innig seyn, als dies bei den gewöhnlichen belegten Flaschen und Glastafeln durch Hülfe des Aufleimens durch Hausenblase, Stärkemehlkleister oder arabisches Gummi der Fall ist. Auch scheint der schmale Streifen der Zinnfolie am Rande der Glasplatte zum Ausströmen der Elektricität Veranlassung zu geben [1]. Ueberhaupt sind die Glasplattenbatterieen bei gleicher Belegungsgröfse nicht so wirksam wie die aus Flaschen, und lassen sich nicht zu so hoher Spannung laden, wahrscheinlich weil der scharfe Rand der Glasplatten zum Entweichen der Elektricität oder zum Ueberströmen von der positiven zur negativen Seite Veranlassung giebt. Hierzu kommt noch die im Ganzen viel leichtere Zerbrechlichkeit der Glasplatten, und die Nothwendigkeit eigener Gestelle zu ihrer Aufstellung, da Dana's Vorschlag nicht praktisch scheint. Aus allen diesen Gründen sind wohl diese Glasplattenbatterieen nicht recht in Gebrauch gekommen.

Die Batterieen werden eben so wie einzelne Flaschen geladen und entladen, doch thut beim Laden ein kleiner erster Leiter bessere Dienste als ein grofser, weil er nicht so viel Elektricität als der gröfsere zerstreut. Die Endladung von grofsen Batterieen mufs mit der äufsersten Behutsamkeit geschehen; wenn Versehen bei andern Versuchen blofs unangenehme Empfindungen zur Folge haben, so können sie hier für die Umstehenden Gesundheit und selbst das Leben in Gefahr bringen. Man bedient sich daher zur Entladung einer Batterie stets eines *Ausladers*, und es ist bei den mannigfaltigen, mit dem verstärkten elektrischen Schlage der Batterieen anzustellenden, Versuchen der unter dem Artikel „*Auslader*" beschriebene allgemeine Henleysche besonders brauchbar. Er verschafft den Vortheil, den Schlag einer Batterie durch oder über jeden Körper gehen zu lassen, den man in die zwischen beide Seiten derselben gemachte Ver-

---

1 Boeckmann in Carlsruhe hat nach brieflicher Mittheilung gleichfalls mit diesen Flaschen Versuche angestellt, aber kein günstiges Resultat erhalten. Er leitete dieses davon ab, dafs die zu nahen entgegengesetzten Elektricitäten einander neutralisiren.

bindung gebracht hat. In manchen Fällen ist auch der gewöhnliche einfache Auslader dazu hinreichend.

Van Marum hat zur Entladung seiner grofsen Batterie von 550 Quadratschuh Belegung einen entsprechenden grossen Auslader angewandt, der ihm den Vortheil gewährte, sich in jeder beliebigen Entfernung halten zu können. Auf einer in einem Dreifufs eingekitteten Glassäule ist eine kupferne Kugel von 6″ im Durchmesser isolirt, von welcher ein langes kupfernes Rohr ausgeht, das in einem Charniere leicht beweglich und an seinem Ende mit einer Kugel versehen ist, und durch eine, über eine hinlänglich entfernte Stelle gehende seidene Schnur auf eine der grofsen Mittelkugeln der Batterie mit ihrer Endkugel herabgelassen werden kann, um den Erschütterungskreis zu schliefsen. Mit der äufsern Belegung findet eine Verbindung durch ein ähnliches von jener kupfernen Kugel abwärts gehendes kupfernes Rohr statt, das auf einer am Kasten der Batterie angebrachten Bleiplatte aufruht, zu welcher selbst vom Innern des mit Blei ausgefütterten Kastens ein starker Metalldraht führt. Will man irgend einen Gegenstand der Entladung der Batterie unterwerfen, so bringt man ihn in eine solche Lage, dafs er einerseits die Bleiplatte unten am Kasten der Batterie, andererseits das untere Ende jenes abwärts gerichteten kupfernen Armes des grofsen Ausladers berührt.

Durch den Schlag einer starken Batterie werden Drähte von 2 bis 3 Lin. Dicke glühend gemacht, Drähte von $\frac{1}{30}$ Z. Dicke in einer Strecke von mehreren Zollen in glühende Kugeln verwandelt und weit umher zerstreut, noch dünnere Drähte in einer Strecke von mehreren Schuhen, namentlich durch die grofse Batterie der Teylerischen Stiftung der mit No. 16 bezeichnete Eisendraht, der $\frac{1}{240}$ Zoll Durchmesser hat, in einer Strecke von 100 Schuhen und darüber geschmolzen, kleinere Strecken desselben in Rauch verwandelt, durch Gewichte gespannte Drähte verlängert, durch ein Buch Papier oder ein Spiel Karten Löcher geschlagen, wobei jedes Blatt von der Mitte aus durchbohrt wird, so dafs sich die Ränder des Lochs gegen die anliegenden Blätter hinausbeugen, als wenn der Schlag aus jedes Blattes Mitte ausgebrochen wäre. Man kann durch den Schlag gröfserer Bat-

tericen selbst gröfsere Thiere, Katzen und Hunde tödten, wenn man den Schlag auf den Kopf richtet, und überhaupt die Wirkungen der Maschinen-Elektricität den Wirkungen des Blitzes schon sehr nahe bringen [1]. Die Wirkungen einer Batterie werden noch ansehnlich verstärkt, wenn die zur Entladung dienende Verbindung hin und wieder durch unvollkommene Leiter unterbrochen wird z. B. durch Strecken trockenen Holzes, durch Glasröhren, die man inwendig durch einige Tropfen Wasser feucht erhält, durch nasse Schnüre u. s. w. [2]. *P.*

Bauchredner.

ventriloquus; ventriloque; *ventriloquist;* nennt man denjenigen, welcher eine aus verschiedener Entfernung dem Anscheine nach herkommende, der seinigen ungleiche und von ihm scheinbar nicht ausgehende oder auch gleichsam in seinem Bauche gebildete Stimme und Sprache hervorbringt.

Die Kunst des Bauchredens ist ohne Zweifel sehr alt, und wenn man die Uebersetzung der Septuaginta für genau ansieht, so geht sie in das höchste Alterthum hinauf, und hing mit den morgenländischen und griechischen Orakeln innig zusammen. Rücksichtlich der ersteren übersetzen diese [3] Zeichen der Wahrsager (אֹבֹת וְיִדְּעֹנִים) durch *σημεῖα ἐγγαστριμύθων*, wobei die Wortbedeutung dieses Ausdruckes zur Genüge ergiebt, dafs eigentlich Bauchredner gemeint sind, welche von späteren kirchlichen Schriftstellern den pythonischen Wahrsagern, Zauberern, Gnostikern u. a. gleich gestellt wurden [4]. Weniger von eigentlichen Bauchrednern, als vielmehr blofs von Wahrsagern scheint Cyrillus von Alexandrien [5] die Stelle des Propheten verstanden zu

1 s. das Ausführlichere unter dem Artikel: *Schlag, elektrischer.*

2 Cavallo vollständige Abhandl. über Elektricität II. Thl. 3. u. 11. Cap.
Adams Versuch über die Elektricität aus dem Engl. übers. Leipzig 1785. gr. 8. Cap. 8.
Van Marum première et seconde Continuation des Experiences électriques etc.

3 Jesaias XLIV. 25.

4 Balsamon ad Canon LXV. Concilii in Trullo p. 441.

5 Comment. in Jes. loc. laud. *Ἐγγαστριμύθους φησὶ τοὺς ψευδομάντεις, ἤτοι πυθωνικοὺς, τοὺς ἀπό γε τῆς σφῶν αὐτῶν καρδίας ἀνερευγομένως τὸ δοκοῦν*, etc.

haben, wenn man nicht annehmen will, dafs die Wahrsager auf dem Dreifufs zu Delphi wirkliche Bauchredner waren, was indefs viele Gründe für sich hat. An einer noch älteren Stelle[1] wird Wahrsagergeist, oder richtiger Geist der Todtenbeschwörung, (בַּעֲלַת־אוֹב) von der Septuaginta durch Bauchredner übersetzt[2], in welcher Bedeutung das nämliche Wort noch öfter vorkommt[3], und die Kenntnifs dieser Kunst überzeugt nur zu sehr, wie viel durch dieselbe bei Unkundigen rücksichtlich solcher Betrügereien gewirkt werden konnte.

Durch Combinationen kann man es mindestens sehr wahrscheinlich machen, dafs beim delphischen Orakel gleichfalls, wo nicht stets, doch zuweilen Bauchrednerkünste angewandt wurden. Es mufs nämlich dort, oder überhaupt in Griechenland ein Wahrsager mit Namen Eurykles existirt haben, welcher diese Künste anwandte, indem nachher als Beiwort *εὐρυκλὴς* mit *ἐγγαστρομύθος*, und *Πύθων* für gleichbedeutend galt[4]. Diesen Eurykles erwähnt Aristophanes[5], und es leidet keinen Zweifel, dafs er als Bauchredner gewahrsagt habe, denn der Scholiast zu dieser Stelle nennt ihn geradezu so[6], und Hesychius sowohl als Suidas nehmen beide für eins[7], Plutarch aber nennt ihn auch Python. Weit wichtiger für eine physikalische Untersuchung als alle diese Zeugnisse sind indefs die der Aerzte, welche durch genauere Beschreibung der Sache alle Zweifel über die Existenz dieser Kunst in Griechenland und ihre Identität mit derjenigen, welche noch jetzt gezeigt wird, heben. Hippokrates[8] beschreibt das Sprechen einer an der Bräune leidenden Patientin durch: aus der Brust reden[9], und Galenus,

---

1 Samuel. lib. I. cap. XXVIII. v. 7—9.

2 *μάντευσαι δή μοι ἐν τῷ ἐγγαστριμύθῳ.*

3 z. B. ib. v. 3. v. 9. Levit. XIX. 31. XX. 6. u. a.

4 Plutarch opp. ed. Hutten. IX. p. 313. *ὥσπερ τοὺς ἐγγαστριμύθους εὐρυκλέας πάλαι, νυνὶ δὲ Πύθωνας προσαγορευομένους.*

5 Vespae. v. 104.

6 *οὗτος ὡς ἐγγαστριμύθος λέγεται Ἀθήνησι ταληθῆ μαντευόμενος διὰ ἐνυπάρχοντος αὐτῷ δαίμονος.*

7 *Εὐρυκλῆς, πας ὁ ἐγγαστριμύθος.*

8 Opp. ed. Genev. 1657—62 II. p. 1156. u. 1217.

9 *ἐκ τοῦ στήθεος ὑπεφώνεεν ὥσπερ αἱ ἐγγαστριμύθαι λεγόμεναι.*

indem er diesen Ausdruck erklärt, sagt noch bestimmter, dafs die Engastrimythen mit verschlossenem Munde geredet hätten, wodurch sie scheinbar aus dem Bauche redeten[1].

Der Zweck der Bauchredner ist, durch ihre Kunst zu täuschen, und ihr Werth beruhet in akustischer Hinsicht auf dem Grade der Vollkommenheit, womit sie Töne hervorbringen, welche nicht ihnen, sondern irgend einer andern, von ihnen entfernten Person zuzugehören scheinen. In dieser Hinsicht kommt ihnen die Leichtigkeit der Ohrentäuschungen und die Unsicherheit, aus einem gehörten Schalle den Ort und die Ursache desselben zu bestimmen, vorzüglich zu statten. Sie lassen daher die Person, mit welcher sie sich scheinbar unterhalten, auf eine von der ihrigen ganz verschiedene Weise reden, indem sie namentlich ein Kind mit einer sehr feinen Stimme darstellen, wenn sie selbst im tiefen Bafs reden, oder einen alten Mann mit einer tiefen und rauhen Stimme, wenn die ihrige ein heller Tenor ist, auf allen Fall ist der Klang der erkünstelten Stimme wesentlich verschieden von ihrer natürlichen. Zugleich wenden sie sich mit scheinbar grofser Aufmerksamkeit nach dem Orte hin, wo sich die fingirte Person befinden soll, und da sie hierdurch und durch Modification der künstlich hervorgebrachten Stimme rücksichtlich ihrer Helligkeit oder Schwäche die Aufmerksamkeit der Zuhörer auf diesen Ort hinrichten, so treiben sie die Täuschung so weit, dafs auch die behutsamsten unter denselben nicht umhin können, den fingirten Redenden an diesem Orte zu suchen, und dann auch bald zu hören. Hierzu kommt dann insbesondere noch die Wirkung des Dialogs, welcher an sich das Vorhandenseyn zweier Personen voraussetzt, und wenn dann das Zwiegegespräch so schnell geführt wird, dafs Reden und Antworten gleichsam in einander fliefsen und sich in einander wirren, so ist bei mitwirkendem Gebärdenspiel des Künstlers die Täuschung vollendet. Ganz besonders wichtig ist die Kunst der Bauchredner, die Stimme der dargestellten Personen in bestimm-

---

1 Ἐγγαστριμύθοι, οἱ κεκλεισμένου τοῦ στόματος φθεγγόμενοι, διὰ τὸ δοκεῖν ἐκ τῆς γαστρὸς φθέγγεσθαι. Vergl. Mém. de la Soc. des Sciences, Agricult. et Arts de Strasbourg. I. p. 427.

ten Abstufungen so zu moderiren, dafs sie übereinstimmend mit der fingirten Entfernung derselben von einer scharfen Helligkeit und Klarheit zur undeutlichsten Stumpfheit und Schwäche übergeht. Ist ihre Fertigkeit ausgezeichnet grofs, so können sie mehrere verschiedene Stimmen, jede vom Hellen bis zum Dumpfen verändert, hervorbringen, wie z. B. Charles vier Tenorstimmen, so dafs es ihm möglich wurde, sich mit mehreren Kranken hinter einem Schirme scheinbar zu unterhalten[1]. Zugleich gesticulirt und beträgt sich der geübte Künstler vollkommen so, als ob die Person seiner Unterhaltung sich wirklich entferne oder näher komme, und so wie man sich bei den Augentäuschungen auch beim besseren Wissen nicht überzeugen kann, die Sache verhalte sich nicht wirklich so, wie man sie zieht, z. B. wenn die Sonne und der Mond im Horizonte gröfser scheinen, so ist es um so mehr verzeihlich und erklärlich, wenn unter mitwirkenden Nebenumständen man den dumpferen und minder deutlichen Ton aus gröfserer Entfernung kommend glaubt, als in welcher man den Bauchredner sieht, und seine ungekünstelte Stimme deutlich hört. So unterhielt sich namentlich der Bauchredner Charles mit seinem Bedienten, liefs diesen undeutlich im Nebenzimmer bei verschlossener Thüre, vor der Gasse herauf bei verschlossenem Fenster, und auf einer Gallerie in verschiedener Entfernung reden, die Stimme wurde dann aber heller und deutlicher, als Thüre oder Fenster geöffnet war[2]. Vorzüglich täuschend ist das Kunststück der Bauchredner, wenn sie die fingirte Person in die Thüre eines Windofens kriechend, dann durch Ofenrohr und Schornstein entweichend darstellen, wobei die Stimme zuerst dumpf, auf dem Ofen hohl tönend und stets dumpfer und abnehmender wird, bis zum gänzlichen Verschwinden. Wer dieses durch einen geübten Künstler dargestellt gesehen hat, wird es nicht übertrieben finden, dafs nach öffentlichen Blättern ein Bauchredner in Paris den Wirth und über hundert Gäste glauben machte, ein Dieb habe sich im Schornsteine verkrochen, und wolle von Durst gequält

---

1 G. XXXVIII. 110.

2 Ebendaselbst.

befreiet seyn, so dafs der Camin aufgebrochen wäre, hätte sich nicht der vermeintliche Dieb von dem ersten Orte scheinbar nach einem andern entfernt, wohin er nur durch ein zwanzig Fufs langes Ofenrohr gekommen seyn konnte, so dafs die Unmöglichkeit seiner wirklichen Existenz hierdurch evident dargethan war. Etwas weniges mag die Täuschung auch durch die Reflection der Schallwellen vermehrt werden, wenn der Bauchredner die erkünstelte Stimme gegen irgend ein Object, eine Wand, ein Fenster, eine Thür, einen absichtlich hingestellten Schirm u. s. w. richtet, dafs aber dieses Mittel von bedeutendem Einflufs seyn sollte, ist wegen der Nähe dieser Gegenstände nicht wahrscheinlich. Die Bauchredner können mit ihrer erkünstelten Stimme auch singen, aber sehr unvollkommen und nur kurze Zeit[1], und es gehört das Singen überhaupt zu den schwersten Aufgaben, welche sie selten zu lösen vermögen.

Mehr als Charles und sonstige Bauchredner hat insbesondere Comte Aufsehen erregt, welcher es in seiner Kunst ausnehmend weit gebracht hatte, und in der durch v. Montègre verfafsten ausführlichen Abhandlung über diesen Gegenstand vorzüglich berücksichtigt ist[2]. Unter andern veranlafste er zu Tours das Aufbrechen einer Bude, aus welcher ein vor Hunger sterbender um Rettung bat, setzte in Rheims die Einwohner in Schrecken, als die Todten zu reden anfingen, liefs zu Nevers einen Esel reden und sich weigern, seinen Führer länger zu tragen, heilte mehrmals Gemüthskranke durch das Austreiben der bösen Geister, verjagte einst aus einer Kirche eine Menge revolutionärer Bilderstürmer dadurch, dafs er die Statüen reden, und ihnen ihren Vandalismus vorwerfen liefs, rettete sich selbst aber im Canton Freiburg gegen die Bauern, welche ihn als Schwarzkünstler in einen Ofen werfen wollten, nur dadurch, dafs er eine fürchterliche Stimme aus demselben erschallen liefs, wodurch die Zeloten verjagt wurden[3].

---

1 Autenrieth bei Voigt. VII. 491.
2 J. d. Ph. LXXXI. 85.
3 G. LV. 419.

Man hat sich wiederholt Mühe gegeben, den eigentlichen Mechanismus des Bauchredens, und die eigenthümlichen Bedingungen aufzufinden, worauf die Täuschungen durch dasselbe beruhen. Aufser denjenigen Mitteln, welche oben als hauptsächlich wirksam angegeben sind, unterscheidet Lauth[1] zweierlei Arten des Bauchredens. Bei dem einen soll sich die Stimme blofs in der Kehle bilden, und zu deren Hervorbringung ein stärkerer Druck der Brust und Bauchmuskeln erfordert werden, welches übrigens für die leichtere Art gilt; bei der andern dagegen soll die Brust aufgeblasen, mit Luft erfüllt, und hierin die Stimme gebildet werden, welches weit schwerer, und diejenige eigentliche Kunst seyn soll, deren sich die alten Wahrsager bedienten. Dieses ist indefs wohl sicher blofse Muthmafsung, und an sich unbegründet. Eben so unrichtig ist die Voraussetzung, dafs die fingirte Stimme nicht beim Ausstofsen, sondern vermittelst des Einziehens der Luft gebildet werde[2]. Hallé, Pinel und Percy, welche den Bericht über Montègre's Abhandlung im Nationalinstitute abstatteten, finden das Wesen des Bauchredens in derjenigen Modification der Stimme, welche durch die Resonanz des Gaumens, der Zähne, der Lippen und der andern Sprachwerkzeuge hervorgebracht wird, insbesondere aber in einer sichtbaren Zusammenziehung und Verengerung der Brust, wodurch diese ihre Resonanz verlieren soll[3]. Dafs ein Zusammenziehen, oder vielmehr eine vorzügliche Anstrengung der Brust erfordert werde, stimmt mit der Angabe eines Bauchredners von grofser Fertigkeit überein, welcher aussagte, dafs er sich anfangs Brust und Bauch durch eine Binde zusammengeschnürt habe, später aber nur zuweilen durch einen Druck der Hand gegen die Seite die Anstrengung der Bauchmuskeln zu erleichtern pflege.

Die Bauchredner, welche Gough[4] und Autenrieth[5] hörten, so wie derjenige, welchen Lichtenberg zu erwäh-

1 Mém. de la Soc. des Sciences, Agric. et Arts de Strasbourg. I. 427. Percy in J. de Ph. LXXXI. 62.

2 Gilbert Ann. LIII. 443. Autenrieth bei Voigt. J. VII. 489.

3 J. d. Ph. LXXXI. 58. G. LIII. 439.

4 Manchester Mém. V. 2. Nicholsons J. 1802. Jun.

5 Voigt J. VII. 477.

nen pflegte, konnten blofs Kinderstimmen nachmachen, welches dann auf ihre physikalischen Erklärungen des Phänomens einigen Einfluss hat. Charles, und Comte, weit vollendetere Künstler, brachten dagegen tiefere Stimmen hervor, und ersterer erklärt das Hervorbringen der Kinderstimmen für einen Beweis unvollkommener Kunstfertigkeit[1]. Nimmt man aufser den oben angegebenen Hülfsmitteln der Täuschung alles dasjenige zusammen, was Gough, vorzüglich Autenrieth und Gilbert nach den Aussagen Charles zur Erklärung dieser Kunst aufgestellt haben, so führt es im Wesentlichen zu folgendem Resultate. Die eigentliche Stimme des Bauchredners, womit er ungekünstelt redet, wird auf die gewöhnliche Weise in der Stimmritze durch die aus der Lunge ausgestofsene Luft hervorgebracht, durch Kehldeckel, Gaumsegel, Zunge, Zähne, Lippen und Nasencanal modificirt, und erhält in ihrer Fortpflanzung eine auf die Deutlichkeit des Wahrgenommenwerdens einfliefsende Modification durch den Fortgang des Luftstromes aus dem Munde des Redenden, und durch die Resonanz, welche Mund und Kopf desselben als feste, die Schallwellen von einer Seite begrenzende Körper ihr geben. So sehr man nämlich auch gewohnt ist, die Schallwellen von dem Puncte ihres Entstehens aus als mit gleicher Stärke sich nach allen Seiten verbreitend zu betrachten, so ergiebt doch die allgemeine Erfahrung, dafs man ganz anders hört, wenn der Redende mit dem Gesichte, als wenn er mit dem Rücken gegen den Hörenden gewandt ist. Man kann ferner nicht eigentlich behaupten, dafs zur Hervorbringung der natürlichen Rede ein bedeutender motus progressivus der Luft aus der Lunge nothwendig erforderlich sey, und dem Sänger, wie insbesondere dem Künstler auf einem Blaseinstrumente ist oft die Exspiration der überflüssigen Luft ein gleich grofses Bedürfnifs, als die Inspiration neuer sauerstoffgashaltiger. Allein weil die Exspiration während dem Reden an sich, und durch die dadurch verbreitete Inspiration allerdings eine Erleichterung gewährt, so gewöhnt sich der Mensch allmälig daran, sein Sprechen mit einem nicht unbedeutenden Fortstofsen der Luft

---

5 G. XXXVIII. 116.

aus der Lunge zu begleiten. Dieses giebt indefs den Zuhörern ein durch Uebung bis zur hohen Fertigkeit gebrachtes Mittel, den Ort des Redenden zu erkennen, und hierüber weit weniger in Ungewifsheit zu seyn, als rücksichtlich sonstiger gehörter Töne. Indem nun der Bauchredner dieses vermeidet, gewinnt er aufser den oben angegebenen Mitteln der Täuschung noch ein vorzügliches dadurch, dafs aufser seiner eigenen Stimme von einem bestimmten Orte noch eine andere von keinem bestimmten Orte gehört wird. Dieses erreicht er aber um so besser, je vollkommener er das Fortstofsen der Luft aus den Lungen vermeidet, indem er vielmehr durch die Anstrengung der Lungen, desgleichen der Brust- und Bauch-Muskeln vermittelst der eingeschlossenen, zwischen den Bändern der Stimmritze oscillirenden Luft die erforderlichen Töne hervorbringt[1]. Daher kommt das Bedürfnifs des Bauchredners, vor jeder erkünstelten Rede die Lungen mit Luft zu erfüllen, daher die Anstrengung, welche das Hervorbringen der Töne erfordert, daher die kurzen Perioden, worin er die fingirten Personen reden läfst und das Erfordernifs des Dialogs, indem er durch natürliches Reden sich wieder ausruhet, nebst der Unmöglichkeit des Singens, daher die unbestimmten Antworten der Bauchredner auf die Frage, ob sie die Töne durch Einziehen der Luft hervorbringen, indem nach Autenrieth's, Gilbert's und Montègre's Berichten sie selbst den Mechanismus nicht kennen, wodurch sie die künstlichen Töne erzeugen, daher endlich die gröfsere Leichtigkeit, womit Kinderstimmen nachgemacht werden, weil die Bildung derselben bei grösserer Verengerung der Stimmritze nur geringere und kürzere Oscillationen der Luftsäule bedarf. Sehr natürlich mufs eine auf diese Weise hervorgebrachte Stimme, genau belauscht, ihren Sitz anscheinend im Bauche haben, dessen Höhlungen, nebst denen der Brust ihr eine in der Akustik nicht unbekannte eigenthümliche Resonanz geben[2]. Aufserdem aber ist die natürliche Stimme eines jeden Menschen nach dem Baue seiner Sprachorgane mit allen dazu gehörigen Theilen

1 Vergl. Autenrieth bei Voigt J. VII. 484.

2 S. *Schall;* Täuschung durch die ivisible girl.

auf eine eigenthümliche Weise modificirt, worauf eben ihre Individualität beruhet, insbesondere aber erhalten die Lippen- und Zahn-Buchstaben hierdurch einen unterscheidbaren Charakter. Die künstliche Stimme des Bauchredners dagegen wird auf eine hiervon verschiedene Weise modificirt, vorzüglich durch das Gaumsegel und die Lippen, durch mehrere oder mindere Oeffnung des Nasencanals, durch gröfsere oder geringere Erweiterung des Raumes über der Stimmritze u. dgl. mehr. Indem somit also der Bauchredner aufser seiner eigentlichen Rede noch eine andere wesentlich verschiedene redet, deren Ort dem Hörenden unbekannt ist, und welche er daher dahin setzt, wohin sie zu setzen die angegebenen Mittel ihn vermögen, deren sich der Künstler bedient, so werden offenbar zwei oder mehrere Personen als redend gehört, worauf die eigentliche Kunst des Bauchredens beruhet. Eine vollständige Bewegung der äufsern Sprachorgane, namentlich der Lippen und des Unterkiefers findet zwar nicht statt, auch mufs der Künstler sorgfältig vermeiden, dafs dergleichen von den Zuhörern wahrgenommen werde, weil hierdurch die Täuschung hinsichtlich des Ortes des fingirten Redenden aufgehoben würde. Wenn aber einige glauben, es beruhe auf dieser Nichtbewegung das ganze Geheimnifs des Bauchredens, so ist dieses ein Irrthum, und steht mit den genauen Beobachtungen Gilbert's[1] im Widerspruche.

M.

Bedeckungen der Gestirne.

Occultationes; Occultations; *Occultations.* Ein Gestirn wird von dem andern bedeckt, wenn das letztere, vor dem ersteren vorbei gehend, uns den Anblick desselben ganz oder zum Theil entzieht. So ist selbst die Sonnenfinsternifs eine Bedeckung der Sonne durch den Mond, und auf ähnliche Weise, wie hier der Mond die Sonne bedeckt, zeigt er uns auch oft Bedeckungen der Planeten und der Fixsterne. Die wichtigsten dieser Bedeckungen werden im Berliner Jahrbuche und andern astronomischen Kalendern für jedes

1 Ann. XXXVIII. 114. Vergl. Mayer über d. Bauchreden; im Litterär. Archiv d. Akad. zu Bern. IV. 3. 68.

Jahr im Voraus angezeigt[1]; da sie indefs an jedem Orte, wegen der Parallaxe des Mondes anders erscheinen, so mufs man für jeden Ort hierauf gehörig Rücksicht nehmen.

Die Beobachtung der Bedeckungen kann, wenn die Lage der Beobachtungspuncte bekannt sind, dienen, die Parallaxe des Mondes zu bestimmen, und von Zach empfiehlt dazu vorzüglich diejenigen Zusammenkünfte mit Sternen, wo diese den Mondrand gleichsam streifen, ohne wirklich bedeckt zu werden[2]. Solche nahe Zusammenkünfte und so auch die Bedeckungen, wobei der Stern nur eine kleine Sehne hinter dem Monde durchläuft, bieten oft merkwürdige Erscheinungen dar, indem der Stern zuweilen hinter Randbergen versteckt wird und dann abwechselnd wieder hervortritt[3].

Die Bedeckungen der Sterne vom Monde dienen zu Längenbestimmungen, wovon unter dem Art. *geographische Länge* mehr vorkommt[4]. Die Berechnung einer Bedeckung für einen gegebenen Ort beruht ungefähr auf denselben Regeln, wie die Berechnung der Sonnenfinsternisse, und es kommt dabei hauptsächlich darauf an, dafs man, mit Berücksichtigung der Parallaxe, die hierbei höchst wichtig ist, den Augenblick bestimmt, wenn der Mond-Mittelpunct genau um den Halbmesser des Mondes von dem Sterne entfernt ist; daraus bestimmt man den Eintritt und Austritt des Sternes[5].

Auch die Planeten bedecken zuweilen Fixsterne oder ein Planet den andern. Die älteren Beobachtungen solcher Bedeckungen hat Lexell gesammelt und berechnet[6], und darunter mehrere, wobei die Bedeckung wirklich statt fand, andere wo blofs die Zusammenkunft sehr nahe war, aufgeführt. Eine Beobachtung, wo Mars den Stern b im Schützen bedeckte, hat Flaugergues angestellt[7]. In frühern Zeiten waren diese Beobachtungen zur Berichtigung der Kenntnisse

1 Mehrere als im Astr. Jahrb. stehen für 1825. 1826 in de Zach Corresp. astronomique VIII. 260. X. 352. 482.

2 v. Zach Correspondance astronomique. III. p. 591. u. I. p. 179.

3 v. Zach an eben dem Orte; u. Berlin. Astron. Jahrb. 1797. S. 168.

4 S. *Länge, geographische.*

5 Vergl. Littrow theoret. u. pract. Astronomie II. 302.

6 Acta academ. Petropol. 1782. II. 291.

7 v. Zach corresp. astron. I. 178 und VII. 220.

von den Bahnen der Planeten wichtiger als jetzt. Eine noch seltnere Beobachtung, nämlich die Bedeckung eines kleinen Fixsternes durch den dritten Jupitersmond, erzählt Flaugergues[1].

Ueber die Berechnung der Bedeckungen der Sterne durch Planeten hat Möbius Regeln gegeben[2]. *B.*

Beobachtung.

Observatio ; Observation ; *Observation.* Was eine Beobachtung im Allgemeinen sey, und was beobachten heifse, darf hier wohl nicht eigentlich gezeigt werden. In der Physik sind Beobachtungen und Versuche die Mittel, durch welche wir zu *Erfahrungen* gelangen, und diese letzteren machen die Grundlage aus, worauf die Gesetze der Natur gebauet werden. Man unterscheidet *Beobachtungen* und *Versuche*, und bezieht *jene* auf die Wahrnehmungen derjenigen Erscheinungen, welche die Natur uns darbietet, ohne dafs wir dieselben eigends zu bestimmten Zwecken modificiren; bei *diesen* dagegen sucht man gewisse Phänomene, die man mit gröfserer oder geringerer Wahrscheinlichkeit im Voraus erwartet, hervorzubringen, um ein schon bekanntes Naturgesetz zu bestätigen oder ein für falsch gehaltenes zu widerlegen, oder endlich ein neues noch unbekanntes zu entdecken. Man hat dabei auch die Frage aufgeworfen, ob Beobachtungen oder Versuche zur Erlangung von Erfahrungen wichtiger seyen, und welche von beiden wohl am leichtesten oder überhaupt entbehrt werden könnten. Allein diese Fragen sind durchaus überflüssig, indem viele zur Auffindung der Naturgesetze ganz unentbehrliche Erfahrungen theils nur durch Beobachtungen, theils nur durch Versuche erhalten werden können. So lassen sich die Beobachtungen des Regens, der Gewitter, der Stürme, Erdbeben, Vulcane u. a. auf keine Weise durch Experimente ersetzen, und auf der andern Seite würden die brennende Kraft der concentrirten Sonnenstrahlen, die Gewalt der Dämpfe, die Erscheinungen des Galvanismus, des Elektromagnetismus und

---

1 v. Zach corr. astr. V. 456.

2 De computandis occultat. fixarum per planetas. Lips. 1815.

unzählige andere ohne Versuche nicht erkannt seyn. Zudem sind beide so mit einander verbunden, dafs sie in der Wirklichkeit nur selten getrennt werden und oft bis zur Unbestimmbarkeit ihres Unterschiedes in einander übergehen. So bringt man z. B. Wasser im Versuche zum Sieden, und beobachtet das Thermometer, um den Siedepunct zu finden, man beobachtet die Luftelektricität am Keraunoskop, mifst die Quantität des im beobachteten Regen herabgefallenen Wassers im Regenmesser u. dgl. m. Ueberhaupt giebt es wenige Versuche oder überhaupt keinen, bei welchem nicht zugleich auch beobachtet wird, weswegen auch das, was von den Beobachtungen zu sagen ist, zugleich auf die Versuche pafst, und der Unterschied beruhet hauptsächlich nur darauf, dafs bei jenen mehr die Sinne, bei diesen zugleich auch hauptsächlich die Werkzeuge zu berücksichtigen sind. Blofs bei den astronomischen Beobachtungen, insofern auch diese hierher gehören, kommt die Beschaffenheit der Instrumente unmittelbar mit in Betrachtung.

Beobachtungen werden entweder mit *freien* oder mit *bewaffneten* Sinnen angestellt, und sind die ersteren bei weitem die zahlreicheren. Unter den Sinnen werden die edleren am meisten gebraucht, hauptsächlich das Gesicht, weniger das Gehör, der Geruch und Geschmack, am wenigsten aber das Gefühl. Auf gleiche Weise wird auch blofs das Auge bewaffnet; namentlich mit Fernrohr, Loupe und Mikroskop; seltener oder fast nie das Gehör[1], indem der Gebrauch des Hörrohrs nur der Unvollkommenheit des Sinnes aufhilft und denselben nicht bis zur normalen Schärfe bringen kann; niemals aber einer der übrigen Sinne.

Sollen die Beobachtungen genau und zur Begründung sicherer Erfahrungen tauglich seyn, so kommt dabei sowohl der physische als auch der psychische Zustand des Beobachters in Betrachtung. Dafs ein jeder zum Beobachten um so viel geschickter sey, je schärfer seine Sinne sind, ist an sich klar. Wichtiger ist indefs Unbefangenheit und Freiseyn von Vorurtheilen und vorgefafsten, vorzüglich mit Leidenschaft

1 Der Gebrauch des Untersuchungs-Hörrohrs, Stetoskops, auch schlechtweg Hörrohr genannt, ist zunächst nur ärtzlich.

gehegten Vorurtheilen, indem jeder Mensch und am meisten der mit lebhafter Phantasie begabte nur zu leicht dasjenige wahrzunehmen glaubt, was er zu finden mit Sicherheit erwartet. Ein gemäfsigter Skepticismus und bescheidenes Vertrauen in die Zuverlässigkeit der Sinne und des Urtheils sind daher wesentliche Eigenschaften eines guten Beobachters, welche mit Behutsamkeit, Geduld, Beharrlichkeit und scharfer Beachtung der Haupt- und Nebenumstände das sogenannte natürliche Talent desselben ausmachen. Zu diesen Anlagen gehört dann hauptsächlich noch eine angeborene Geschicklichkeit in der Behandlung der erforderlichen Werkzeuge. Dafs indefs alles dieses durch Fleifs und Anstrengung wo nicht vollständig erlangt, doch sehr erhöhet werden könne, unterliegt keinem Zweifel, wie denn überhaupt der Schatz schon gesammelter Erfahrungen und gründlicher Kenntnisse jeden Beobachter um so geschickter macht, je genauer und bestimmter er hiernach die Hauptsachen schon kennt oder mit gröfserer Sicherheit ahndet, auf deren Beachtung es vorzüglich ankommt, und nicht durch unbedeutende Nebendinge gefesselt die Hauptsachen übersieht. Nicht minder nützlich und nothwendig ist ferner die Kenntnifs der möglichen Schärfe der Beobachtungen, welche durch unbewaffnete Sinne erreicht werden kann, desgleichen derjenigen, welche die Werkzeuge gewähren, und um diese letztere zu bestimmen, ist wiederum eine genaue Bekanntschaft mit der Güte und den Fehlern der gebrauchten Instrumente erforderlich. Indem hierauf vieles ankommt und es verschiedene Grade der gröfseren und geringeren Genauigkeit giebt, so hat man neuerdings noch allgemeiner als vormals angefangen, bei wichtigen Beobachtungen die gebrauchten Instrumente genau zu beschreiben, insbesondere wenn sie nicht zu den allgemein bekannten und üblichen gehören, oder im letzteren Falle ihre Güte, oft durch Nennung des erprobten Verfertigers derselben, zu versichern. Sollen dann endlich die Resultate der angestellten Beobachtungen und Versuche Zutrauen erhalten, vorzüglich wenn der Beobachter sich noch nicht hinlänglich vor dem Publicum gerechtfertigt hat, so müssen die Beobachtungen selbst im Allgemeinen und im Einzelnen genau beschrieben, auch die dabei befolgte Methode, die

Zahl wie oft sie auf gleiche oder abgeänderte Weise wiederholt sind und die hierbei erhaltenen Resultate mit Rücksicht auf den Einfluss der bedingenden Nebenumstände genau angegeben werden[1].

Wie gross indess immer der Eifer, die Aufmerksamkeit, Unbefangenheit und Uebung im Experimentiren und Beobachten seyn mag, und wie hoch auch die Güte und Genauigkeit der gebrauchten Werkzeuge angeschlagen werden muss, so lassen sich doch die erhaltenen Resultate in den wenigsten Fällen oder nie für absolut genau halten, indem einige Fehler aus der begrenzten Schärfe der Sinne und der Apparate nothwendig folgen. Um unter zahllosen Beispielen nur einige anzuführen, läfst sich z. B. beim Messen der Zeitdauer einer Erscheinung diese nur so weit genau finden, als wohin die Abtheilungen der Uhr oder eines sonstigen Zeitmessers reichen, bedingt durch das Zeitintervall, welches erforderlich ist, um die Aufmerksamkeit der Seele auf die zu beobachtende Erscheinung und die verflossene Zeit selbst zu richten[2]. Die Abstände zweier Puncte können entweder durch directe Anlegung eines Masses oder durch ein Winkelmessswerkzeug nur bis zu einem gewissen Grade der Genauigkeit gemessen werden, welcher im Allgemeinen durch die Schärfe und Feinheit der Theilung des gebrauchten Masses bedingt wird. Berechnet man aber, bis wie weit völlige Genauigkeit in allen einzelnen, zu einer Beobachtung gehörigen, Theilen erreicht werden kann, summirt die auf diese Weise gefundenen Gröfsen und dividirt sie durch das ganze gefundene Resultat, so erhält man die Fehlergrenze oder die Grenze der möglichen Fehler einer Beobachtung, über welche hinaus sie nicht für absolut genau angesehen werden kann, ob-

---

1 Vorschriften und Regeln über die Kunst des Beobachtens haben gegeben Baco von Verulam in: De interpretatione Naturae; und in: De augmentis scientiarum. S. Works, V Vol. 4. Lond. 1765. Vorzüglich Senebier in l' Art d'observer. Genève 1775. II Vol. 8. Die Kunst zu beobachten, von J. Senebier; a. d. Fr. übers. von J. F. Gmelin Leipz. 1776. II Vol. 8. Carrard art d'observer. à Amsterdam 1777. 8. Allgemeine Anweisungen enthalten auch die Handbücher der Logik.

2 Vergl. als Regel und Beispiel Benzenberg Vers. über d. Umdrehung d. Erde. p. 54 u. 59.

gleich keineswegs folgt, dafs sie nur bis zu dieser Grenze wirklich genau ist. Beobachtete man z. B. die Zeitdauer zwischen dem Sehen des Aufblitzens eines Kanonenschusses und dem Hören des Schalles an einer Uhr, deren Pendel halbe Secunden angeben möge, liefse sich annehmen, dafs hiervor noch der fünfte Theil sicher geschätzt werden könnte; hat man ferner Grund anzunehmen, dafs bei der Beobachtung des Aufblitzens ein Fehler von 0,1 Secunde und bei der des ersten Schalleindrucks bis zur Beachtung der Zeit 0,2 Secunden Verspätung eintreten könnte, den Gang der Uhr selbst als völlig genau vorausgesetzt, so wäre $0,1 + 0,1 + 0,2 = 0,4$ Secunde die Summe der Fehler; und betrüge die ganze Dauer der Beobachtung 5 Secunden, so wäre $0,4 : 5 = 0,08$ die Fehlergrenze. Hätte man also gefunden, dafs der Schall in jeder Secunde 1030 p. F. zurücklegte, so würde diese Beobachtung bis auf $\frac{1030}{5} \times 0,08 = 16,48$ F. genau seyn. Hierbei ist zur leichteren Berechnung des Beispiels angenommen, dafs die gesammten Fehler die Unrichtigkeit vergröfsern oder zusammenfallen, welches indefs nicht immer der Fall ist, indem vielmehr oft auch einige negativ seyn können, so dafs sie sich wechselseitig aufheben, mithin nur als entgegengesetzte Gröfsen summirt werden dürfen. So würde namentlich in dem angenommenen Falle, wenn bei der Beobachtung des Blitzes ein möglicher Fehler von 0,1 Sec. und bei der des anfangenden Schalles von 0,2 Sec. anzunehmen wäre, Letzteres durch Ersteres um den aliquoten Theil aufgehoben werden, und könnte sonach die Summe der Fehler nur 0,2 Sec. seyn. Indefs wird hierbei wiederum angenommen, dafs alle drei Fehler wirklich begangen sind. Wäre dieses der Fall, so müfsten sie als bestimmte Gröfsen in Rechnung genommen und corrigirt werden, wonach sie dann aber verschwänden, und die Beobachtung als völlig genau anzunehmen wäre. In der Annahme aber liegt, und so findet es sich auch hiermit übereinstimmend in der Wirklichkeit, wenn wir das angenommene Beispiel beibehalten, dafs die Zeit zwar völlig genau, aber auch bis zu einer gewissen Grenze falsch, und eben so der Moment des Aufblitzens und der erste Eindruck des Schalles absolutgenau beobachtet seyn könnten. Hiernach läfst sich also die Grenze, über welche

hinaus die Beobachtungen nicht füglich für falsch zu halten sind, mit einem hohen Grade der Schärfe und der Gewifsheit angeben, die Bestimmung aber, bis wie weit sie dieses wirklich seyn mögen, fällt der Wahrscheinlichkeit anheim.

Indefs geht aus der Natur der Sache unmittelbar ein Hülfsmittel hervor, durch welches man dem genauen Resultate sich bis zu einer gewissen Grenze immer mehr zu nähern vermag, nämlich dafs man die Versuche und Beobachtungen wiederholt, und hierdurch die sich gegenseitig aufhebenden Fehler eliminirt[1]. Hätte man z. B. in dem zur Erläuterung gewählten Falle bei zwei Beobachtungen einmal 0,1 Sec. zu viel und das anderemal 0,1 Sec. zu wenig gemessen, so würden beide Gröfsen addirt ein vollkommen genaues Resultat geben. Indem aber leicht beidemale eine zu grofse Zeitbestimmung statt haben konnte, oder allgemein, da der nämliche Fehler auch zweimal hintereinander begangen werden kann, so ergiebt sich hieraus, dafs zwei Beobachtungen zur Eliminirung der Fehler nicht genügen, und man kommt durch weitere Betrachtung der Sache zu der Frage, wie viele Beobachtungen zur Erhaltung immer gröfserer Genauigkeit angestellt werden müssen. Hierauf läfst sich indefs nur im Allgemeinen eine Antwort ertheilen, welche dann den einzelnen Fällen anzupassen ist. Vorläufig kommt es nämlich darauf an, wie oft eine Beobachtung nach der stets auf gewisse Weise beschränkten Zeit, der Dauer der Erscheinung und der endlich wandelbar werdenden Apparate wiederholt werden kann. Demnächst läfst sich wohl nicht leugnen, dafs die möglichen Fehler um so mehr verschwinden müssen, je öfter eine Beobachtung wiederholt wird, und dafs man daher das richtigste Resultat aus der gröfsten Menge der Beobachtungen und Versuche erhält, jedoch blofs unter der Bedingung, dafs alle nahe oder völlig von gleich grofser Genauigkeit sind, indem offenbar fehlerhafte nur die Unrich-

1 Das Wiederholen der zu messenden Winkel mit ganzen Kreisen, von T. Mayer 1752 erfunden und *artificium multiplicationis* genannt, von de Borda nach seinen 1755 angestellten Versuchen in Ansehn gebracht, S. Description et usage d'un nouveau Cercle de reflection. IVol. 4. beruhet zum Theil gleichfalls hierauf, kann aber als rein geometrische Operation hier nicht beschrieben werden.

tigkeit vermehren können, welche man daher auch auszuschliefsen pflegt. Dabei wird jedoch vorausgesetzt, indem in sich falsche Beobachtungen überhaupt nicht aufgenommen werden können, dafs man das richtige Resultat schon kenne; und durch die Vergleichung des, aus einem Versuche erhaltenen, mit diesem die Unrichtigkeit aus der Abweichung davon finde, da doch eben das richtige Resultat erst gefunden werden soll. Indefs ergiebt sich von selbst, dafs die einzelnen wegen der bestimmbaren Fehler corrigirten, Ergebnisse so viel genauer seyn müssen, je mehr sie unter einander selbst übereinstimmen. Hat man also hieraus das nahe richtige Resultat gefunden, so ist es leicht, die zu sehr hiervon abweichenden Ergebnisse auszuschliefsen [1].

Einige Beobachtungen geben ohne Weiteres die Resultate selbst, wie z. B. der Thermometer die Temperaturen, der Barometer bei 0° Temperatur den Luftdruck; andere dagegen müssen erst berechnet werden, um sie aus ihnen zu erhalten, wie z. B. zwei oder drei Thermometerbeobachtungen zur Auffindung der mittleren täglichen Temperatur, oder zwei Barometerstände an verschiedenen Orten zum Auffinden ihrer ungleichen Erhebung über die Meeresfläche. Auf welche Weise die Beobachtungen jedesmal zu berechnen sind, wenn man die gesuchten Resultate aus ihnen finden will, kann bei dem Umfange dieses Gegenstandes hier nicht vollständig angegeben werden, um so mehr, als es hierfür keine allgemeine Methode giebt, indem vielmehr das Gesuchte in jedem einzelnen Falle auf eine oder mehrere eigenthümliche Arten gefunden wird. Als Beispiele zu dem Gesagten mögen indefs unter zahllosen andern dienen die Methode, wonach Cavendish aus den Beobachtungen an der Drehwaage die Stärke der Anziehung gegebener Massen findet [2], Biot aus den Pendelversuchen die Abplattung der Erde [3] und J. T.

---

1 Vergl. Gauss Theoria combinationis observationum erroribus minimis obnoxiae. in Com. Soc. Reg. Sc. Gott. T. V. ad ann. 1819—22.

2 Phil. Tr. LXXXVIII. 469.

3 Recueil d'observations cet. par M. M. Biot et Arago. Par. 1821. I. Vol. 4.

Mayer aus den Entfernungen abgestofsener Kügelchen das Gesetz der elektrischen Abstofsung[1].

Werden die Resultate der einzelnen Beobachtungen für sich durch Berechnung derselben gefunden, so müssen diese aus den oben angegebenen Gründen mit gröfseren oder geringeren Fehlern behaftet seyn, und werden daher nicht vollkommen mit einander übereinstimmen. Es folgt ferner sehr einfach, dafs man das richtigste Resultat aus allen erhält, wenn man mit Weglassung der auffallend abweichenden das arithmetische Mittel aus denselben nimmt[2], eine Methode, welche man schon sehr lange angewandt hat, indem man die sämmtlichen in Rechnung zu nehmenden Gröfsen addirt und die Summe durch die Zahl derselben dividirt. Le Gendre zeigt[3], dafs das hieraus erhaltene arithmetische Mittel zu nehmen nichts anders als eine sehr einfache Anwendung der neuerdings aufgefundenen Methode der kleinsten Quadratsummen sey[4]. Hat man nämlich für eine gewisse Gröfse $= x$ verschiedene Werthe $= a', a'', a''' \ldots$ erhalten, so ist die Summe der Quadrate der Irrthümer $= (a' - x)^2 + (a'' - x)^2 + (a''' - x)^2 + \ldots$ und indem man hieraus das Minimum sucht, so erhält man

$$0 = (a' - x) + (a'' - x) + (a''' - x) + \ldots$$

$$\text{woraus } x = \frac{a' + a'' + a''' + \ldots}{n}$$

für n Beobachtungen gefunden wird.

Ungleich zusammengesetzter wird indefs das Verfahren, wenn man aus mehreren Beobachtungen und den arithmetischen Mitteln derselben ein gewisses Gesetz finden will, in welchem eine veränderliche Gröfse $= y$ als Function einer anderen veränderlichen Gröfse $= x$ und beständiger Gröfsen $= a, b, c \ldots$ ausgedrückt ist, z. B. wenn man die Temperaturen $= y, y', y'' \ldots$ eines an beiden Enden ungleich er-

---

1 Comment. Soc. Reg. Gott. Vol. V. Gott. 1823.

2 Lambert Beiträge zum Gebrauche der Mathematik und deren Anwendung. Berl. 1765. I. 426. Gauss Theor. Mot. Corp. p. 206.

3 Mém. de l'Inst. 1810. II. 152.

4 Vergl. Gauss Theoria Combinationis observ. error. min. obnoxiae in Com. Gott. V. p. 62.

wärmten Metallstabes für wachsende Entfernungen von einem der Endpuncte = ax, bx, cx .... aus den beobachteten Thermometergraden; oder etwa den Gang der östlichen und westlichen Abweichung der Magnetnadel in einer Reihefolge von Jahren; oder das Gesetz der Ausdehnung einer gegebenen Flüssigkeit bei verschiedenen Graden der Temperatur kennen wollte, u. dgl. m. Auch hierfür giebt es sehr verschiedene, nach der eigenthümlichen Beschaffenheit der Aufgabe modificirte Methoden, von denen nur einige der wichtigsten und allgemeiner anwendbaren hier erwähnt werden können. Als eine sehr allgemein brauchbare kann man die geometrische Construction der zu einander gehörigen Gröfsen durch eine gerade oder krumme Linie ansehen, je nachdem sich dieselbe darstellt, bei welcher man am einfachsten rechtwinkliche Coordinatenaxen annimmt. Es seyen zu diesem Ende x und y die Coordinatenaxen für die gefundenen Gröfsen x und die zugehörigen von y, man trage die ersteren von A an nach m, n, o, p,... und die letzteren als $m\alpha$, $n\beta$, $o\gamma$, $p\delta$.... mit AY parallel auf, ziehe durch die Endpuncte die krumme Linie, so drückt diese letztere das Gesetz aus, wonach sich y für verschiedene Werthe von x verändert. Fände sich z. B. dafs für eine verschwindende Veränderung von x = dx der Werth von $\frac{dy}{y}$ gehörte, so ergäbe sich aus der Gleichung $dx = \frac{dy}{y}$, dafs x = Log. y und die Curve eine logarithmische seyn müfste. Fände sich ferner bei irgend einer auf ähnliche Weise erhaltenen Curve, dafs für x = 0 auch y verschwände, so würde die Curve in A anfangen, wäre dieses aber nicht der Fall, sondern käme noch eine beständige Gröfse = a hinzu, so würde dieselbe in a anfangen, und in r, s, t, q ... die Enden der Ordinaten treffen. Um noch einen, auf das zweite oben gewählte Beispiel passenden Fall zu erläutern, mögen X und Y abermals die rechtwinklichen Coordinatenaxen bezeichnen, dann auf der ersteren die den Jahren proportionalen Räume a, b, c, d ... und die mit der letzteren parallelen Linien $a\alpha$, $b\beta$, $g\gamma$.... den Graden der östlichen Abweichung der Magnetnadel proportional

Fig. 177.

Fig. 178.

genommen werden, so bezeichnet die durch die Endpuncte gezogene Curve $\alpha, \beta, \gamma \ldots$ den Gang der östlichen Abweichung, welche die Axe Y schneidend $= 0$ und dann westlich, also in Beziehung auf die vorige negativ wird. Liefse sich dann die Krümmung der Curve und somit auch die Länge einer jeden Ordinate y als Function der Jahre von einem gewissen Zeitpuncte an, oder welches einerlei ist, als der auf der Abscissenaxe X genommenen Räume x, x', x'' .... genau ausdrücken, so dürfte man nur die Zeit nehmen, um hieraus die zugehörige Abweichung durch Messung oder Rechnung zu finden.

Es ist indefs nicht unumgänglich nothwendig, oft sogar beschwerlich, die Resultate der Beobachtungen zur Darstellung des Naturgesetzes auf die angegebene Weise geometrisch zu construiren, vielmehr kann man letzteres meistens leichter und bequemer algebraisch oder analytisch ausdrücken, wovon es abermals so viele und verschiedene Methoden giebt, dafs es unmöglich ist, sie sämmtlich hier aufzuzählen. Im Allgemeinen findet man das Gesetz des Fortganges der veränderlichen Gröfse entweder durch Interpolation der durch die Beobachtungen erhaltenen Resultate, oder indem man dasselbe als eine aus der Natur der Sache selbst folgende und auf unwandelbare Thatsachen gestützte Function ausdrückt. Als Beispiel der ersteren Art möge das Verfahren dienen, durch welches Biot den Gang eines Wasserthermometers und die den wachsenden Temperaturen zugehörigen Grade desselben aus der Vergleichung mit einem Quecksilberthermometer gefunden hat[1]. Die Sache allgemein genommen, seyen T, T', T'', T'''.... die willkührlichen Grade eines Wasserthermometers; t, t', t'', t'''.... die bei gleichen Temperaturen beobachteten Grade des Quecksilberthermometers nach irgend einer Scale, so würde man den Gang des ersteren allgemein finden, wenn man

$$T = at + bt^2 + ct^3 + dt^4 + \ldots.$$
$$T' = at' + bt'^2 + ct'^3 + dt'^4 + \ldots$$
$$T'' = at'' + bt''^2 + ct''^3 + dt''^4 + \ldots$$
$$T''' = at''' + bt'''^2 + ct'''^3 + dt'''^4 + \ldots$$

1 S. *Ausdehnung*.

setzte, die unbekannten Coefficienten a, b, c,.... für die höheren Potenzen von t, t'..., so weit diese erforderlich sind, genommen, nach bekannten Regeln fände[1], wonach dann allgemein

$$T_o = a t_o + b t_o^2 + c t_o^3 + d t_o^4$$

wäre. Dafs die Rechnung hierbei so viel leichter wird, je wenigere höhere Potenzen berücksichtigt werden müssen, indem ihre Werthe so geringe sind, dafs man ihren Einfluſs vernachlässigen kann, versteht sich von selbst[2]. Als ein Beispiel der zweiten Art möge die Methode dienen, nach welcher J. T. Mayer das Gesetz für die Elasticität der Dämpfe gefunden hat, welche man unter dem Artikel: *Dampf* vollständig angegeben findet. Hat man demnach durch die eine oder die andere dieser Methoden, oder irgend eine sonstige das Gesetz des Fortganges einer Zahlenreihe oder überhaupt einer Gröfse gefunden, oder y als Function von x ausgedrückt erhalten, so kann man jeden Werth der ersteren veränderlichen Gröfse erhalten, wenn man $y = f(x)$ setzt, und die letztere Function auf die gefundene Weise ausdrückt, wobei wiederum zu der Function x noch eine beständige Gröfse hinzukommt oder nicht.

Beide hier angegebenen Methoden beruhen im Wesentlichen darauf, dafs durch die allgemeine Formel, in welcher die beständigen Gröfsen durch möglichst genaue und hinlänglich weit von einander liegende Beobachtungen bestimmt sind, die Abweichungen der einzelnen Beobachtungen von dem richtigen Naturgesetze ausgeglichen werden. Fände man bei der Vergleichung der dann nach der Formel berechneten Werthe mit den durch die Beobachtung erhaltenen eine zu grofse Differenz, so würde folgen, dafs entweder das allgemeine Gesetz durch die Formel unrichtig ausgedrückt sey, oder dafs die abweichenden Beobachtungen eigenthümliche Fehler enthielten. Im ersten Falle wäre dann erforderlich, die beständigen Gröfsen aus genaueren Beobachtungen zu bestim-

---

1 In dem vorliegenden Falle würden z. B. aus den vier Gleichungen, in denen T, T'... desgleichen t, t'... bekannt sind, die vier unbekannten Gröfsen a, b, c, d gefunden werden können.

2 Vergl. *Ausdehnung des Wassers.*

men, oder, was ungleich vorzüglicher ist, man kann durch Anwendung der später zu erörternden Methode der kleinsten Quadrate die Abweichungen der berechneten Werthe von den beobachteten auf ein Minimum bringen; im letzteren aber könnten die Beobachtungsfehler durch die Anwendung der Formel verbessert werden, und allgemein lassen sich auch diejenigen unbekannten Gröfsen (Werthe von y) durch Rechnung finden, welche durch Versuche nicht unmittelbar gefunden werden können. Aufser den beiden angezeigten allgemeinen Methoden kann auch folgende, durch Eytelwein [1] vorgeschlagene, angewandt werden, um aus einer gröfseren Reihe gegebener Beobachtungen das Gesetz zu finden, nach welchem irgend eine Zahlenreihe oder Gröfse abnehmend oder zunehmend fortschreitet. Es setzt dieses allgemein voraus, dafs die Gröfsen durch Differenzen wachsen, und es fragt sich dann, ob die 2te, 3te,...nte Differenzen beständig werden, indem nur in denjenigen Fällen eine Anwendung derselben statt finden kann, wenn dieses wirklich so ist, und die Rechnung wird dann um so leichter ausfallen, je wenigere Differenzen gesucht werden müssen, bis sie beständig werden, die so gefundene Formel aber wird mit den Beobachtungen so viel genauer übereinstimmen, je mehr die letzten Differenzen sich der Gleichheit nähern. Der Kürze wegen werde die Art des Verfahrens nur in der von Eytelwein gegebenen Form und Ausdehnung, nämlich für zweite und dritte constante Differenzen $= \Delta^2 u$ und $\Delta^3 u$ hier mitgetheilt, indem die Anwendung auf höhere Differenzen selten erforderlich, und dann auch nicht schwer zu machen ist.

Es sey demnach von einer arithmetischen Reihe der *dritten* Ordnung die (algebraische) Summe $= S$; die Summe ihrer ersten Differenzen $= S'$; der zweiten $= S''$; der dritten $= S'''$; das erste Glied u; das zweite u_2; das nte u_n und n die Zahl der Glieder, so ist [2]

$$S = nu + (n-1)\Delta u + \frac{n-1 \cdot n-2}{2}\Delta^2 u + \frac{n-1 \cdot n-2 \cdot n-3}{2 \cdot 3}\Delta^3 u$$

1 G. XXXIX. 221.

2 L. Euler. Institut. Calc. Diff. Petrop. 1755. 4. T. I. C. 2 §. 57. p. 55.

$$S' = (n-1)\Delta u + \frac{n-1.n-2}{2}\Delta^2 u + \frac{n-1.n-2.n-3}{2.3}\Delta^3 u$$

$$S'' = (n-2)\Delta^2 u + \frac{n-2.n-3}{2}\Delta^3 u$$

$$S''' = (n-3)\Delta^3 u.$$

Aus diesen vier Gliedern erhält man nach gehöriger Entwikkelung

$$u = \frac{12S - 6nS' + n.n-1.S''}{12n}.$$

$$\Delta u = \frac{12S' - 6(n-1)S'' + n-1.n-2.S'''}{12(n-1)}$$

$$\Delta^2 u = \frac{2S'' - (n-2)S'''}{2(n-2)}$$

$$\Delta^3 u = \frac{S'''}{n-3}.$$

Auch ist allgemein das nte Glied der Reihe

$$u_n = u + (n-1)\Delta u + \frac{n-1.n-2}{2}\Delta^2 u + \frac{n-1.n-2.n-3}{2.3}\Delta^3 u$$

Für eine Reihe der zweiten Ordnung wird $\Delta^3 u = 0$ und also auch $S''' = 0$, also

$$u = \frac{12S - 6nS' + n.n-1.S''}{12n}$$

$$\Delta u = \frac{12S' - 6(n-1)S''}{12(n-1)}$$

$$\Delta^2 u = \frac{S''}{n-2}$$

$$u_n = u + (n-1)\Delta u + \frac{n-1.n-2}{2}\Delta^2 u.$$

Hätte man also die Summe der Zahlen $= S$ und die Summen der Differenzen $= S'$, S'' und S''' gefunden, so könnte man hieraus Δu, $\Delta^2 u$, $\Delta^3 u$ und hieraus jedes einzelne Glied $= u_n$ berechnen. Weil aber das Finden der Summen der Differenzen durch wirkliche Addition, vorzüglich wenn sich negative darunter befinden, oft beschwerlich ist, so lassen sich dieselben auch auf folgende Weise erhalten. Es ist

$u_2 = u + \Delta u$
$u_3 = u_2 + \Delta u_2 = u + \Delta u + \Delta u_2$
$u_4 = u_3 + \Delta u_3 = u + \Delta u + \Delta u_2 + \Delta u_3$
$\vdots \quad \vdots \quad \vdots \quad \vdots \quad \vdots$
$u_n = u + \Delta u + \Delta u_2 + \ldots + \Delta u_{n-1} = u + S'$

Daher $S' = u_n - u$ und ebenso

$S'' = \Delta u_{n-1} - \Delta u = u_n - u_{n-1} - (u_2 - u)$

$S''' = \Delta^2 u_{n-2} - \Delta^2 u = u_n - 2u_{n-1} + u_{n-2} - (u_3 - 2u_2 + u)$

wonach also aus den ersten und letzten Gliedern der Reihe die Summen der Differenzen gefunden werden können. Ist demnach eine Reihe von Zahlen $= A, B, C, D, \ldots L, M, N$ gegeben, deren Anzahl $= n$ seyn möge, und man will einen allgemeinen Ausdruck suchen, aus welchem jedes nte Glied $= u_n$ gefunden werden kann, so suche man zuerst die Summe der ganzen Reihe $= S$ durch Addition, alsdann

$S' = N - A$
$S'' = N - M - B + A$
$S''' = N - 2M + L - C + 2B - A$

und mit Hülfe dieser Zahlen für Reihen, in denen die dritten Differenzen nahe constant sind

$$\alpha = \frac{12S - 6n\,S' + n.n-1.S''}{12n}$$

$$\beta = \frac{12S' - 6(n-1)S'' + n-1.n-2.S'''}{12(n-1)}$$

$$\gamma = \frac{2S'' - (n-2)S''}{2(n-2)}$$

$$\delta = \frac{S'''}{n-3};$$ so findet man jedes beliebige Glied

$u_n = \alpha + \beta(n-1) + \frac{1}{2}\gamma(n-1)(n-2) + \frac{1}{6}\delta(n-1)n-2)(n-3)$

Sind aber die zweiten Differenzen nahe constant, so bestimme man aufser der Summe $= S$

$S' = N - A$
$S'' = N - M - B + A$

$$\alpha = \frac{12S - 6nS' + n.n-1.S''}{12n}$$

$$\beta = \frac{12S' - 6(n-1)S''}{12(n-1)}$$

$\gamma = \frac{S''}{n-2}$; und erhält dann

$u_n = \alpha + \beta(n-1) + \frac{1}{2}\gamma(n-1)(n-2)$.

Da das ganze Verfahren hier vollständig dargestellt und an sich leicht ist, so wird es überflüssig seyn, die Anwendung desselben durch ein Beispiel noch mehr zu erläutern[1].

Hat man durch die eine oder die andere der angegebenen Methoden oder durch eine diesen ähnliche einmal eine allgemeine Formel gefunden, welche eine veränderliche Gröfse als Function einer andern veränderlichen und beständiger Coefficienten ausdrückt, z. B. die Elasticität der Dämpfe nach irgend einem Mafse als Function der veränderlichen Wärme, (wobei, allgemein genommen, eine veränderliche Gröfse auch als Function von zwei und mehreren veränderlichen Gröfsen mit verschiedenen beständigen Coefficienten ausgedrückt seyn kann), so ist nicht erforderlich, dafs alle Gröfsen, für welche die Formel aufgestellt wird, durch Beobachtungen schon gefunden sind, wie bei der zuletzt erläuterten der Fall seyn mufste, um S oder die Summe der gesammten Gröfsen durch Addition zu erhalten, sondern es müssen nur so viele genaue Beobachtungen vorhanden seyn, als hinreichen, um die Art der Curve zu bestimmen, welche geometrisch construirt oder analytisch durch die Formel ausgedrückt, den Fortgang und die Verhältnisse der gesuchten Gröfse bezeichnet. Die zum Grunde liegenden Beobachtungen sind dann entweder *weit von einander abstehend*, so dafs man die nicht beobachteten Gröfsen durch Interpolation dazwischen legen kann, oder sie sind *nahe bei einander liegend*, bezeichnen somit nur ein Stück der gesuchten Curve, und man setzt dann voraus, dafs die Art der letzteren hierdurch vollständig gegeben sey. Besser ist es immer, nach der ersteren Art zu verfahren, und die Formel auf hinlänglich weit von einander liegende Beobachtungen zu gründen, auf allen Fall aber müssen wirkliche, durch Beobachtungen und Versuche gegebene Gröfsen zum Grunde lie-

---

1 Eytelwein a. a. O. benutzt diese Methode, um die Dichtigkeit des Wassers für verschiedene Temperaturen aus den Gilpinschen Versuchen zu finden.

gen, indem das Aufstellen einer Formel kein Naturgesetz begründen kann, wie Mollweide sehr richtig aus einander setzt[1].

Noch ist aber hinsichtlich auf die Resultate der Beobachtungen und Versuche, insofern sie zur Begründung eines allgemeinen Gesetzes dienen sollen, eine Hauptsache zu erörtern. Man ist nämlich allgemein darüber einverstanden, wie oben gezeigt wurde, dafs für eine und dieselbe Gröfse das arithmetische Mittel aus der gröfstmöglichen Zahl von Beobachtungen, mit Ausschlufs der von diesem Mittel selbst am weitesten abweichenden, als das der absoluten Wahrheit am meisten genäherte anzusehen sey. So lange indefs noch alle Beobachtungen und Versuche von Menschen mit nicht ablolut vollkommenen Sinnen und Werkzeugen angestellt werden, kann auch das Resultat nicht anders als der Wahrheit mehr und mehr genähert seyn. Beim Nehmen des arithmetischen Mittels wird nämlich der allerdings wahrscheinliche Fall vorausgesetzt, dafs ausser den absolut genauen Beobachtungen eben so oft zu viel als zu wenig gemessen sey, wonach also durch Addition dieser entgegengefetzten Gröfsen sie sich wechselseitig aufheben müssen. Diese Voraussetzung beruhet aber wieder auf blofser Wahrscheinlichkeit, und da es doch eben so gut möglich ist, dafs zwei oder dreimal mehr auf der Seite des *Zuviel* als des *Zuwenig* gefehlt ist; so folgt nothwendig, dafs kein durch das arithmetische Mittel aus n Beobachtungen erhaltenes Resultat für absolut gewifs gelten kann, womit auch die Erfahrung übereinstimmt. Soll aber auf eine gegebene Anzahl solcher arithmetischen Mittel das Gesetz des Fortganges einer Gröfse gegründet werden, so sind entweder nur so viele Gleichungen gegeben, als unbekannte Gröfsen da sind, oder mehrere (denn den Fall, dafs auch weniger gegeben seyn können, läfst die Aufgabe unbestimmt, und gehört nicht hierher). Im erfteren Falle würde das Gesetz des Fortganges ein bestimmt gegebenes seyn, in welches die mittleren Resultate aller Beobachtungen oder Versuche genau pafsten, im letzteren dagegen müssen bei der Voraussetzung nicht absoluter

1 G. LXII. 422.

Uebereinstimmung aller Resultate der Beobachtungen mit denen durch die Formel gefundenen, als nothwendiger Folge nicht absolut genauer Beobachtungen, einige zu grofs, andere zu klein für das angenommene, auf nur einige der genauesten Beobachtungen gegründete, Gesetz seyn [1]. Um Fig. 179. diesen Gegenstand durch einen sehr einfachen Fall zu erläutern, mögen a und b oder α und β die Ordinaten bezeichnen, durch deren Endpuncte die Linien AB oder AC gelegt sind, welche zu denen der ersten Ordnung gehören, und bei gleichem Verhältnifs zu den Abscissen eine einfache Function zweier veränderlicher Gröfsen ausdrücken. Wären für jede nicht mehr als die zwei genannten Ordinaten durch Beobachtungen gegeben, so wäre ihre Richtung genau mit den Beobachtungen übereinstimmend. Sollte dagegen durch drei dieser Ordinaten, oder durch alle vier, oder durch noch mehrere Ordinaten der Gang der geraden Linie bestimmt werden, und wären diese sämmtlich mittlere Resultate gleich genauer Beobachtungen, so müfste offenbar die Linie so gezogen werden, dafs sie nicht durch die Endpuncte aller gehen könnte, vielmehr einige nicht erreichte, von andern etwas abschnitte. Die hiernach entstehenden Differenzen sind Abweichungen der Beobachtungen vom berechneten Gesetze des Fortganges der gesuchten Gröfse, sie sind theils + theils —, und man darf im Allgemeinen annehmen, dafs

---

1 Hätte man z. B. um eine der oben angenommenen Aufgaben zur Deutlichmachung zu benutzen, bei einem an einem Ende siedend heifsen, am andern eiskalten, Metallstabe die jedem Grade des achtzigth. Thermometers zugehörige Entfernung von einem dieser festen Puncte möglichst genau gemessen, entwickelte dann aus 4 Beobachtungen, welche den Graden 5°; 30°; 50°; 70°; zugehören, die allgemeine Relation zwischen den Entfernungen vom Eispuncte = x und den zugehörigen Thermometergraden = y; so würden nur die bei 5°; 30°; 50°; 70°; gemachten Beobachtungen mit den durch die Formel gefundenen Gröfsen völlig übereinstimmen, alle andere aber in Folge unvermeidlicher Mangelhaftigkeit aller Beobachtungen mehr oder weniger abweichen. Indefs könnten auch diese Abweichungen nur *scheinbar*, das richtige Gesetz aber eben durch dieselben aufzufinden seyn, wenn man voraussetzen dürfte, dafs die dem Gesetze zum Grunde gelegten Beobachtungen selbst von der Wahrheit abweichend, die nicht mit in Rechnung genommenen aber mit derselben übereinstimmend wären.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

das berechnete Gesetz der gesuchten Wahrheit um so näher kommt, je mehr die Summe der Differenzen durch Addition derselben verschwindet oder = 0 wird. Dieses folgt allerdings nothwendig aus der Natur der Sache, jedoch würde bei verwickelten Fällen eine unabsehbare Menge von Rechnungen erforderlich seyn, wenn man durch stete Abänderung der beständigen Gröfsen sich dem Verschwinden der entgegengesetzten Differenzen immer mehr zu nähern versuchte. Es entsteht hieraus also das Bedürfnifs einer *allgemeinen Methode*, die Differenzen der gleich genauen Beobachtungen und des aus ihnen erhaltenen Gesetzes möglichst klein zu machen. Eine solche ist früher schon von Lambert angegeben [1], allein gegenwärtig bedient man sich der sogenannten *Methode der kleinsten Quadratsummen*, welche wegen ihrer ausgezeichneten Vorzüge mit vollem Rechte als eine der wichtigsten und bedeutendsten Erweiterungen im Gebrauche des Calcüls bei astronomischen und physikalischen Beobachtungen angesehen wird. Es mag daher erlaubt seyn, diese allerdings nicht ganz leichte Rechnungsmethode hier so einfach und lichtvoll, wie ich dieses zu leisten im Stande bin, darzustellen, wobei ich dem Erfinder derselben C. F. Gauss [2] und einer gehaltreichen Abhandlung von Paucker [3] durchaus folge, und das Beispiel aus des letzteren Schrift um so lieber entlehne, als von den hierdurch gefundenen Resultaten schon unter dem Art. *Ausdehnung* Gebrauch gemacht ist, und noch mehr bei dem Artikel *Dampf* erwähnt werden wird.

Es liegt in der Natur der Sache, dafs ein, aus einer gröfseren Menge von Beobachtungen (wodurch die Coefficienten in den Gleichungen als unbekannte Gröfsen bestimmt werden müssen) erhaltenes Gesetz dann der Wahrheit wahrscheinlich am nächsten kommt, wenn die Summe der positiven und negativen Differenzen, welche als Folgen begangener

---

1 Beiträge I. 436.

2 Theoria motus corporum coelestium in sectionibus conicis solem ambientium. Hamb. 1809. 1 Vol. 4. §. 172—187.

3 Ueber die Anwendung der Methode der kleinsten Quadratsumme auf physikalische Beobachtungen. Mitau 1819. 4.

Universitäts- und Landesbibliothek Düsseldorf

Fehler zu betrachten sind, am kleinsten oder = 0 wird, weil man dann voraussetzen darf, dafs gleich oft zu viel, als zu wenig bei den Beobachtungen gemessen ist. Bestimmt man nämlich, um uns des oben gewählten Beispiels zu bedienen, in der Formel

$$y = ax + bx^2 + cx^3 + dx^4 + \ldots.$$

den Werth der Coefficienten a, b, c, d..... durch eben so viele Gleichungen, in denen x und y durch Beobachtungen gefunden sind, indem man die veränderlichen Gröfsen als beständig, die beständigen dagegen als veränderlich (oder unbekannt) ansieht; setzt dann in einer andern gleichen Anzahl von Gleichungen andere Werthe von x und y, und wiederholt dieses bei viel mehreren Beobachtungen, als zur Bestimmung *eines* Werthes von a, b, c..... erforderlich sind, so wird man für diese beständigen Gröfsen wegen der Unvollkommenheit aller Beobachtungen verschiedene Werthe erhalten, und die Differenzen als Beobachtungsfehler ansehen müssen. Man wird dann ferner der Wahrheit aus dem eben angegebenen Grunde am nächsten kommen, je kleiner die Summe dieser Fehler zum Theil positiven, zum Theil negativen ist, und daher wollte schon La Place nach einem früheren Vorschlage von Boscovich alle Fehler positiv nehmen, und durch eine Differenzialgleichung ihre Summe zur kleinsten machen. Um aber hierbei der willkührlichen Umänderung zu entgehen, darf man nur, damit alles positiv werde, die Fehler auf das Quadrat, oder überhaupt auf die 2 nste Potenz erheben, und ihre Summe zur kleinsten machen. Weil aber die höheren Potenzen zu unnöthig verwickelten Rechnungen führen würden, so bleibt man lieber bei den Quadraten der Fehler, differentiirt die Gleichung derselben nach den beständigen Gröfsen, und setzt den Werth der Differentialgleichung = 0. Indem dieses nur dann möglich ist, wenn die Summe aller der Glieder, die jedes einzelne Differenzial der beständigen Gröfsen multipliciren, = 0 gesetzt wird, so erhält man so viele Gleichungen als beständige Gröfsen, aus denen man diese letzteren dann numerisch entwickelt.

Gauss war der erste, welcher sich 1795 dieser Methode bei der Berechnung der Planetenbahnen bediente. Le-

GENDRE[1] wandte dieselbe später an, um den Elementen zweier Kometenbahnen gröfsere Genauigkeit zu geben, und machte die Geometer darauf aufmerksam; seitdem aber GAUSS die Wichtigkeit derselben für astronomische und physikalische Berechnungen nachgewiesen hat, ist sie mehr beachtet und häufiger angewandt.

Um die Anwendung dieser Methode an einem Beispiele zu zeigen, wollen wir annehmen, es sey der Werth der veränderlichen Gröfse y als Function einer anderen x bis zur dritten Potenz der letzteren gefunden, so dafs allgemein

$$y = ax + bx^2 + cx^3$$

ist, und die beständigen Gröfsen nach der oben angegebenen Methode bestimmt sind. Wären dann die beständigen Gröfsen absolut richtig bestimmt, und alle Beobachtungen völlig fehlerfrei, so müfsten die für alle Werthe von x berechneten Werthe von y mit den beobachteten genau übereinstimmen. Es sey aber

für $x = 1$ der Werth von $y = y_{,}$
für $x = 2$ . . . . . $y = y_{,,}$
für $x = 3$ . . . . . $y = y_{,,,}$
u. s. f.

so sind die Beobachtungsfehler $f_{,}$, $f_{,,}$, $df_{,,,}$ .....

$$a.1 + b.1^2 + c.1^3 - y_{,} = f_{,}$$
$$a.2 + b.2^2 + c.2^3 - y_{,,} = f_{,,}$$
$$a.3 + b.3^2 + c.3^3 - y_{,,,} = f_{,,,}$$
u. s. w.

Soll hierin die Summe der Quadrate der Fehler, oder $f_{,}^2 + f_{,,}^2 + f_{,,,}^2$ ..... ein kleinstes werden, so setzt man

$$f_{,}.df_{,} + f_{,,}.df_{,,} + f_{,,,}.df_{,,,} .... = 0.$$

Sieht man die beständigen Gröfsen als veränderlich an, so ist

$$da.1 + db.1^2 + dc.1^3 = df_{,}$$
$$da.2 + db.2^2 + dc.2^3 = df_{,,}$$
$$da.3 + db.3^3 + dc.3^3 = df_{,,,}$$
: : : :
: : : :

---

1 Nouvelles méthodes pour la détermination des orbites des Comètes. Avec un supplément contenant divers perfectionnemens de ces méthodes et leurs applications aux deux Comètes de 1805. Par A. M. Legendre. A Paris 1806.

Universitäts- und Landesbibliothek Düsseldorf

$$
\begin{aligned}
f_{,}.df_{,} &= da.(a.1^2 + b.1^3 + c.1^4 - y_{,}.1) \\
&+ db.(a.1^3 + b.1^4 + c.1^5 - y_{,}.1^2) \\
&+ dc.(a.1^4 + b.1^5 + c.1^6 - y_{,}.1^3) \\
f_{,,}.df_{,,} &= da.(a.2^2 + b.2^3 + c.2^4 - y_{,,}.2) \\
&+ db.(a.2^3 + b.2^4 + c.2^5 - y_{,,}.2^2) \\
&+ dc.(a.2^4 + b.2^5 + c.2^6 - y_{,,}.2^3) \\
f_{,,,}.df_{,,,} &= da.(a.3^2 + b.3^3 + c.3^4 - y_{,,,}.3) \\
&+ db.(a.3^3 + b.3^4 + c.3^5 - y_{,,,}.3^2) \\
&+ dc.(a.3^4 + b.3^5 + c.3^6 - y_{,,,}.3^3)
\end{aligned}
$$

u. s. w.

Setzt man der Kürze wegen

$$
\begin{aligned}
y_{,}.1 + y_{,,}.2 + y_{,,,}.3 \ldots &= \Sigma yx \\
y_{,}.1^2 + y_{,,}.2^2 + y_{,,,}.3^2 \ldots &= \Sigma yx^2 \\
y_{,}.1^3 + y_{,,}.2^3 + y_{,,,}.3^3 \ldots &= \Sigma yx^3
\end{aligned}
$$

und berücksichtigt, dafs nach der Lehre von der Summirung der Reihen[a]

$$
\begin{aligned}
&1^0 + 2^0 + 3^0 \ldots\ldots + x^0 = S_0 = x \\
&1^1 + 2^1 + 3^1 \ldots\ldots + x^1 = S_0 = \tfrac{1}{2}x.(x+1) \\
&1^2 + 2^2 + 3^2 \ldots\ldots + x^2 = S_2 = \tfrac{1}{6}x.(x+1)(2x+1) \\
&1^3 + 2^3 + 3^3 \ldots\ldots + x^3 = S_3 = \tfrac{1}{4}x^2.(x+1)^2 \\
&1^4 + 2^4 + 3^5 \ldots\ldots + x^4 = S_4 = \tfrac{1}{30}x.(x+1)(2x+1) \\
&\qquad\qquad (3x^2 + 3x - 1) \\
&1^5 + 2^5 + 3^5 \ldots\ldots + x^5 = S_5 = \tfrac{1}{12}x^2.(x+1)^2. \\
&\qquad\qquad (2x^2 + 2x - 1) \\
&1^6 + 2^6 + 3^6 \ldots\ldots + x^6 = S_6 = \tfrac{1}{42}x.(x+1)(2x+1) \\
&\qquad\qquad [3x^2(x+1)^2 - 3x(x+1) + 1]
\end{aligned}
$$

so ergiebt sich

$$
\begin{aligned}
&f_{,}.df_{,} + f_{,,}.df_{,,} + f_{,,,}.df_{,,,} \ldots\ldots \\
&= \left\{\begin{array}{l} da.[a.S_2 + b.S_3 + c.S_4 - \Sigma xy] \\ + db.[a.S_3 + b.S_4 + c.S_5 - \Sigma xy^2] \\ + dc.[a.S_4 + b.S_5 + c.S_6 - \Sigma xy^2] \end{array}\right\} = 0
\end{aligned}
$$

Indem diese Gleichung nur dann allgemein $= 0$ werden kann, wenn die einzelnen Coefficienten von da, db, dc $= 0$ werden, so erhält man zur Bestimmung von a; b und c

---

a Vergl. Klügel math. Wörterbuch. III. 867.

$$\odot)\begin{cases}\Sigma yx &= a.S_2 + b.S_3 + c.S_4\\ \Sigma yx^2 &= a.S_3 + b.S_4 + c.S_5\\ \Sigma yx^3 &= a.S_4 + b.S_5 + c.S_6\end{cases}$$

Nach den Regeln der Elimination erhalten die Werthe von a, b, c, einen gemeinschaftlichen Nenner $= n$, welcher eine symmetrische Function der Gröfsen S_2, S_3 ..... ist, nämlich:

$$n = S_2.S_4.S_6 + 2.S_3.S_4.S_5 - S_2.S_5.S_5 - S_4.S_4.S_4 - S_6.S_3.S_3$$

und dann ist

$$\mathfrak{D})\begin{cases} a = \Sigma yx.\dfrac{S_4.S_6 - S_5.S_5}{n} + \Sigma yx^2.\dfrac{S_4.S_5 - S_3.S_6}{n} + \Sigma yx^3.\dfrac{S_3.S_5 - S_4.S_4}{n}\\ b = \Sigma yx.\dfrac{S_4.S_5 - S_3.S_6}{n} + \Sigma yx_2.\dfrac{S_2.S_6 - S_4.S_4}{n} + \Sigma yx^3.\dfrac{S_3.S_4 - S_2.S_5}{n}\\ c = \Sigma yx.\dfrac{S_3.S_5 - S_4.S_4}{n} + \Sigma yx^2.\dfrac{S_3.S_4 - S_2.S_5}{n} + \Sigma yx^3.\dfrac{S_2.S_4 - S_3.S_3}{n}\end{cases}$$

wodurch also die beständigen Gröfsen so gegeben sind, dafs die Summe der Quadrate der Fehler ein Kleinstes wird.

Die Rechnung läfst sich bequemer machen, wenn man $\frac{\Sigma yx}{S_2} = l_0$; $\frac{\Sigma yx^2}{S_3} = l_,$; $\frac{\Sigma yx^3}{S_4} = l_{,,}$ setzt für $S_2, S_3 \ldots$ die oben angegebenen Werthe, und zur Abkürzung $x(x+1) = z$ nimmt, wodurch man statt der Gleichungen in ⊙) erhält

$$l_0 = a + b.\tfrac{3}{2}.\frac{z}{2x+1} + c.\tfrac{1}{5}.(3z - 1)$$

$$l_, = a + b.\tfrac{2}{1\,5}.\frac{(2x+1)(3z-1)}{z} + c.\tfrac{1}{3}.(2z - 1)$$

$$l_{,,} = a + \tfrac{5}{2}\,b.\frac{z.(2z-1)}{(2x+1)(3z-1)} + c.\tfrac{5}{7}.\frac{3z^2 - 3z + 1}{3z - 1}$$

Hieraus erhält man, für

$$n=(x-1)(x-2)(x+2)(x+3)(z+3)=(z-2)(z-6)(z+3)$$

$$a=l_0.\frac{25.(4z^3-8z^2-3z+2)}{n}-l_{,}.\frac{75\,z^2.(3\,z-4)}{n}$$
$$+l_{,,}.\frac{7.(18z^3-15z^2+9z-2)}{n}$$

$$b=l_0.\frac{50(2x+1).z.(3z-4)}{n}+l_{,}.\frac{90.(2x+1).z.(4z-3)}{n}$$
$$-l_{,,}.\frac{70.(2x+1).z.(3z-1)}{n}$$

$$c=l_0.\frac{35.(6z^2-3z+2)}{n}-l_{,}.\frac{525\,z^2}{n}$$
$$+l_{,,}.\frac{35.(3z-1)(3z+2)}{n}$$

Die drei Coefficienten in dem Werthe von a müssen zusammengenommen $=n$, die von b und die von $c=0$ seyn.

Das gegebene Beispiel, und die danach bestimmten Formeln reichen nicht weiter als bis zur dritten Potenz der veränderlichen Gröfse x, weil es selten erforderlich ist, mehr als die dritte Potenz einzuführen, obwohl sie sich allgemein machen und noch weiter ausdehnen liefsen, dann aber auch weitläuftiger würden. Hätte indefs die Gleichung folgende Gestalt

$$y=m+ax+bx^2+bx^3$$

so würden folgende Gleichungen erhalten werden.

$$\Sigma y = m.S_0+a.S_1+b.S_2+c.S_3$$
$$\Sigma yx = m.S_1+a.S_2+b.S_3+c.S_4$$
$$\Sigma yx^2 = m.S_2+a.S_3+b.S_4+c.S_5$$
$$\Sigma yx^3 = m.S_3+a.S_4+b.S_5+c.S_6$$

Hieraus erhält man durch eine ähnliche Substitution wie oben, indem man

$$\frac{\Sigma y}{S_0}=m_0\,;\ \frac{\Sigma yx}{S_1}=m_{,}\,;$$
$$\frac{\Sigma yx^2}{S_2}=m_{,,}\,;\ \frac{\Sigma yx^3}{S_3}=m_{,,,}\text{ und}$$

$x(x+1)=z$ setzt:

$$m_0 = m + a.\tfrac{1}{2}.(x+1) + b.\tfrac{1}{6}.(x+1)(2x+1) + c.\tfrac{1}{4}.(x+1).z$$
$$m_I = m + a.\tfrac{1}{3}.(2x+1) + b.\tfrac{1}{2}.z + c.\tfrac{1}{15}(2x+1)(3z-1)$$
$$m_{II} = m + a.\tfrac{1}{2}.\frac{z}{2x+1} + b.\tfrac{1}{5}.(3z-1) + c.\tfrac{1}{2}.\frac{z.(2z-1)}{2x+1}$$
$$m_{III} = m + a.\tfrac{2}{15}.\frac{(2x+1)(3z-1)}{z} + b.\tfrac{1}{3}.(2z-1) + c.\tfrac{2}{21}.\frac{(2x+1)(3z^2-3z+1)}{z}.$$

Setzt man der Kürze wegen

$(x-1)(x-2)(x-3) = p$

$(x-1)(x-2)(x-3)(x+2)(x+3) = (x-3)(z-2)(z-6) = q$,

so erhält man folgende Werthe:

$$m = m_0.\frac{8.(2x+1)(z+3)}{p} - m_I.\frac{10.(x+1)(6z+5)}{p} + m_{II}.\frac{20.(x+1)(4z+1)}{p} - m_{III}.\frac{35.(x+1).z}{p}$$

$$a = -m_0.\frac{20.(6z+5)}{p} + m_I.\frac{100.(6x^4+27x^3+42x^2+30x+11)}{p} - m_{II}.\frac{50.(x+1)(2x+1)(3x+2)(3x+5)}{q} + m_{III}.\frac{70.z.(6x^2+15x+11)}{q}$$

$$b = m_0.\frac{120.(2x+1)}{p} - m_I.\frac{150.(x+1)(3x+2)(3x+5)}{q} + m_{II}.\frac{60.(4z+1)(9x+13)}{q} - m_{III}.\frac{1050.(x+1).z}{q}$$

$$c = -m_0.\frac{140}{p} + m_I.\frac{140.(6x^2+15x+11)}{p} - m_{II}.\frac{700.(2x+1)(x+1)}{q} + m_{III}.\frac{700.z}{q}$$

Unter den verschiedenen Beispielen der Anwendung dieser Formel in der angezeigten Abhandlung von Paucker möge

dasjenige hier zur weiteren Erläuterung dienen, worin die Ausdehnung des Wassers bei verschiedenen Temperaturen berechnet ist. De Lüc hat nämlich[1] an einem Quecksilberthermometer die Grade t nach R und bei gleichen Temperaturen an einem Wasserthermometer die zugehörigen Grade T beobachtet, indem beide bei 0° und 80° übereinstimmten:

t	T	t	T	t	T	t	T
5	— 0,4	25	7,3	45	26,1	65	53,5
10	+ 0,2	30	11,2	50	32,0	70	62,0
15	1,6	35	15,9	55	38,5	75	71,0
20	4,1	40	20,5	60	45,8	80	80,0

Es sey für diese Versuche $T = lt + mt^2 + nt^3$ und

$$\frac{t}{5} = x\,; \quad \frac{T}{5} = y, \text{ wodurch}$$

$y = lx + \frac{1}{5} mx^2 + \frac{1}{25} mx^3$ oder

$y = ax + bx^2 + cx^3$ wird.

Sämmtliche Beobachtungen durch 5 dividirt geben folgende Vergleichung

x	y	x	y	x	y	x	y
1	— 0,08	5	1,46	9	5,22	13	10,70
2	+ 0,04	6	2,24	10	6,40	14	12,40
3	0,32	7	3,18	11	7,70	15	14,20
4	0,82	8	4,10	12	9,16	16	16,00

Indem in diesem Beispiele der Werth von $x = 16$ ist, so kann man diesen in die oben gefundenen Formeln für a, b und c setzen, und erhält dann

$$a = l_o \cdot \frac{1997547650}{19750500} - l_, \cdot \frac{4505625600}{19750500} + l_{,,} \cdot \frac{512080800}{19750500}$$

$$b = -l_o \cdot \frac{364425600}{19750500} + l_, \cdot \frac{876506400}{19750500} - l_{,,} \cdot \frac{512080800}{19750500}$$

---

1 S. *Ausdehnung; des Wassers.*

$$c = l_0 \cdot \frac{15508150}{19750500} - l_{,} \cdot \frac{38841600}{19750500} + l_{,,} \cdot \frac{2333450}{19750500},$$

worin die gefundenen Quotienten leicht beträchtlich verkleinert werden hönnen. Es ist ferner

x	y	yx	yx^2	yx^3
1	—0,08	—0,08	—0,08	—0,08
2	+ 0,04	+ 0,08	+ 0,16	+ 0,32
3	0,32	0,96	2,88	8,64
4	0,82	3,28	13,12	52,48
5	1,46	7,30	36,50	182,50
6	2,24	13,44	80,64	483,84
7	3,18	22,26	155,82	1090,74
8	4,10	32,80	262,40	2099,20
9	5,22	46,98	422,82	3805,38
10	6,40	64,00	640,00	6400,00
11	7,70	84,70	931,70	10248,70
12	9,16	109,92	1319,04	15828,48
13	10,70	139,10	1808,30	23507,90
14	12,40	173,60	2430,40	34025,60
15	14,20	213,00	3195,00	47925,00
16	16,00	256,00	4096,00	65536,00

Diese Columnen summirt geben:

$\Sigma yx = 1167{,}34$; $\Sigma yx^2 = 15394{,}70$; $\Sigma yx^3 = 211194{,}70$

$S_2 = 1496$; $S_3 = 18496$; $S_4 = 243848$

vermittelst welcher Werthe nach gehöriger Substitution

$$y = -0{,}10718396\,x + 0{,}084360326\,x^2 - 0{,}0009540412\,x^3$$

$$T = -0{,}10718396\,t + 0{,}0168720652\,t^2 - 0{,}000038161648\,t^3$$

gefunden wird. Die nach dieser Formel berechneten Werthe von T mit den durch die Beobachtungen gefundenen verglichen geben Differenzen, von denen die Summe der Quadrate nur 1,381 beträgt, statt dafs sie nach Biot's Formel = 2,873 ist.

Diese zwar etwas weitläuftige, und mühsame aber für die Berechnung aller wichtigen astronomischen und physikalischen Beobachtungen und die darauf zu gründenden allgemeinen Gesetze höchst fruchtbare Methode ist von ihrem berühmten Erfinder mit einer Aufgabe in Verbindung gesetzt,

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

welche gleichfalls bei allen aus einer Reihe von Beobachtungen und Versuchen erhaltenen Resultaten sehr in Betrachtung kommt, nämlich mit der Berechnung der wahrscheinlichen Genauigkeit einer auf die angegebene Weise gefundenen Gröfse. Zunächst beweiset derselbe[1]: der Grundsatz, durch das arithmetische Mittel aus einer Anzahl Beobachtungen von gleicher Genauigkeit der Wahrheit möglichst nahe zu kommen, setze voraus, dafs die Wahrscheinlichkeit $= w$, einen gewissen geringen Fehler $= f$ bei den Beobachtungen begangen zu haben, durch eine Exponentialfunction dieses Fehlers ausgedrückt werden könne, deren Exponent dem Quadrate des Fehlers multiplicirt in das Quadrat der Genauigkeit der Beobachtung $= g$ proportional sey, wonach also

$$w = \frac{g}{\sqrt{\pi}} \left(\frac{1}{e}\right) g^2 f^2 \text{ ist,}$$

wenn e die Grundzahl der hyperbolischen Logarithmen, und π das Verhältnifs der halben Peripherie des Kreises zum Radius $= 1$ bezeichnet. Hieraus folgt unmittelbar, dafs die Wahrscheinlichkeit $= W$, in einer Reihe von n Beobachtungen die gefundenen einzelnen Fehler $f_{,}, f_{,,}, f_{,,,} \ldots$ gleichzeitig begangen zu haben, bei allen gleiche Genauigkeit $= g$ vorausgesetzt, einer ähnlichen Exponentialfunction proportional seyn mufs, deren Exponent das Quadrat der Genauigkeit multiplicirt mit der Summe der Quadrate aller Fehler ist, oder:

$$w_{,}, w_{,,}, w_{,,,} \ldots . w_n = W = \left(\frac{g}{\sqrt{\pi}}\right)^n \cdot \left(\frac{1}{e}\right) g^2 \, [f_{,}^2 + f_{,,}^2 + f_{,,,}^2 \ldots . + f_n^2]$$

Bei der Anwendung der Methode der kleinsten Quadrate ist nicht erforderlich das Mafs der Genauigkeit der einzelnen Beobachtungen, oder den Werth von g zu kennen. Bei den grofsen Forderungen aber, welche man gegenwärtig insbesondere an die astronomischen Beobachtungen macht, ist es allerdings von Wichtigkeit, auch dieses zu bestimmen. Gauss[2] hat daher auf eine sinnreiche Weise gezeigt, wie man durch

---

1 a. a. O. §. 177. Vgl. Paucker a. a. O. p. 6.

2 Zeitschrift für Astronomie und verwandte Wissenschaften von Lindenau u. Bohnenberger. Tüb. 1816. I. 185.

die Beobachtungen selbst hierzu gelangt, was indefs wichtiger für die Astronomie ist, wegen der grofsen Anzahl der für irgend einen Werth erforderlichen Beobachtungen, als für die Physik. Auf eine leichtere Weise würde man nach Th. Young[1] zu einem ähnlichen Resultate gelangen, wenn sich in Gemäfsheit seiner Berechnungen annehmen liefse, dafs der wahrscheinliche mittlere Fehler $= e'$ aus n Beobachtungen durch die Formel: $e' = 0{,}85 \frac{e}{\sqrt{n}}$ gefunden werden könne, worin e das arithmetische Mittel der sämmtlichen Beobachtungsfehler ist. Indefs bleibt es immer ungewifs, ob auch das Mittel aller Beobachtungsfehler wirklich gefunden ist, vorzüglich wenn die sämmtlichen Beobachtungen mit dem nämlichen Instrumente und von derselben Person angestellt wurden. Wie der mittlere Fehler bestimmt, und somit auch das wahrscheinlichste End-Resultat aus den Resultaten einer grofsen Menge von Beobachtungen erhalten werden könne, hat auch Laplace in einer gelehrten Abhandlung gezeigt[2], desgleichen, wie das Resultat der Beobachtungen nach der Wahrscheinlichkeit zu corrigiren sey[3]. Nimmt man indefs die Sache in ihrem ganzen Umfange, und berücksichtigt, dafs dabei nicht blofs die Güte der Instrumente, die Art ihres Gebrauches, die Zahl der Wiederholungen und die Methode der Berechnung, sondern die Schärfe der Sinne, Uebung und Geduld des Beobachters oder Experimentators, selbst sein Gemüthszustand, vorgefafste Meinungen und Leidenschaftlichkeit desselben, ja sogar kaum zu bestimmende Zufälligkeiten in Betrachtung kommen, so ergiebt sich leicht, dafs die Aufgabe, die wahrscheinliche Genauigkeit der durch Beobachtungen und Versuche erhaltenen Resultate zu bestimmen, unter die allerschwierigsten gehört, welche alle Hülfsmittel der scharfsinnigsten Psychologie und des tiefsten Calcüls in Anspruch nimmt. Indefs haben sich die gröfsten Geometer älterer und neuerer Zeiten mit diesen und verwandten Untersuchungen beschäftigt, unter denen

1 Phil. Tr. 1819. p. 77.
2 Mon. Cor. XXV. 105.
3 Mém de l'Inst. XI. 317.

aufser den genannten Erfindern der Methode der kleinsten Quadratsummen vorzüglich Jacob Bernoulli[1] de Moivre[2], Simpson[3], Bayes[4], Beguelin[5], Condorcet[6], Lagrange[7], Bicquilly[8] u. a.; vor allen aber Lacroix[9] und Laplace[10], genannt zu werden verdienen. In dem gröfseren Werke hat letzterer insbesondere die Formeln angegeben, vermittelst deren die wahrscheinliche Genauigkeit der durch Beobachtung und Versuche gefundenen Resultate berechnet werden kann; indefs läfst sich diese weitläuftige und schwierige Aufgabe nicht in einer kurzen Uebersicht darstellen. Ebendaselbst[11] befindet sich auch die von ihrem Erfinder genannte: *méthode la plus avantageuse*, wonach die sämmtlichen Beobachtungen verbunden werden können, um die wahrscheinlichst richtigsten Werthe der unbekannten Gröfsen zu erhalten, welche indefs gleichfalls hier nicht in derjenigen Weise deutlich dargestellt werden kann, als eine praktische Anwendung derselben erfordern würde. *M.*

Berge. S. Erde.

Beschleunigung. S. Bewegung.

Bestandtheile.

Partes constitutivae; Parties constituantes; *component or constituent parts.* So heifsen die ungleichartig-

---

1 Ars conjectandi. 1713.

2 On the Doctrine of Chances. Lond. 1738. 4.

3 Laws of Chance. Lond. 1742. 4.

4 Phil. Tr. 1763. p. 370. 1764. p. 296.

5 Mém. de Berl. 1767.

6 Mehrere Mémoirs z. B. Mém. de l'Ac. 1781.

7 Mém. de Turin a. a. O.

8 Die Rechnung der Wahrscheinlichkeit a. d. Fr. mit Anm. von Ch. F. Rüdiger. Leipz. 1788. 8.

9 Traité élémentaire du Calcul des Probabilités. Par. 1816. 8. A. d. Fr. m. Zus. und Erläuter. von Unger. Erfurt 1818. 8.

10 Essay philosophique sur les Probabilités. 4me éd. Par. 1819. 8. die 3te übers. von F. W. Tönnies mit Anm. von K. C. Langsdorf. Heid. 1819. Théorie analytique des Probabilités. 3me éd. Par. 1820. 1 Vol. 4. Das letztere Werk ist wohl das schwerste unter allen Producten, welche aus der tiefsten Kenntnifs im höheren analytischen Calcül hervorgegangen sind.

11 Ibid. 3me Supplem.

gen Materien, welche in irgend einer chemischen Verbindung enthalten sind. Während eine solche chemische Verbindung durch mechanische Mittel blofs in kleine Theile getrennt wird, welche unter sich homogen sind, und auch mit der ursprünglichen Masse in allen Beziehungen, die räumlichen abgerechnet, übereinkommen, so kann man durch chemische Mittel, welche den Hauptgegenstand der chemischen Analyse ausmachen, und welche auf der Zersetzung der Verbindung durch Hinzutretenlassen anderer wägbarer oder unwägbarer Materien beruhen, aus einer solchen chemischen Verbindung die sie constituirenden heterogenen Materien für sich ausscheiden. Durch Erhitzen des Salzwassers z. B. trennt man dasselbe in Kochsalz und Wasserdampf, der sich in der Kälte zu Wasser verdichtet. Demnach wären Kochsalz und Wasser die Bestandtheile des Salzwassers. Jeder dieser zwei Bestandtheile kann durch weitere Einwirkung verschiedener Materien wieder in neue Bestandtheile zerlegt werden, nämlich das Kochsalz in Chlor und Natrium, und das Wasser in Sauerstoff- und Wasserstoff. Man lasse aber auf die zuletzt genannten 4 Bestandtheile einwirken, welche Substanz man will, so gelingt es nicht, dieselben wieder in andere ungleichartige Theile zu zerlegen. Hieraus ergeben sich folgende Bezeichnungen: Kochsalz und Wasser sind die *näheren Bestandtheile* des Salzwassers; Chlor, Natrium, Sauerstoff und Wasserstoff seine *entfernteren;* und sofern diese entfernteren Bestandtheile nicht weiter in noch entferntere zerlegt werden können, so heifsen sie auch *unzerlegte* oder (bis dahin) unzerlegbare oder auch *einfache Stoffe* oder *Elemente.* Bei sehr verwickelten Verbindungen reicht die Unterscheidung der Bestandtheile in nähere und entferntere nicht aus, sondern es sind oft nächste, nähere, entferntere und entfernteste zu unterscheiden. Der krystallisirte Alaun besteht z. B. aus trocknem Alaun und Wasser; der trockene Alaun aus schwefelsaurem Kali und schwefelsaurer Alaunerde; diese beiden Salze aus Schwefelsäure, Kali und Alaunerde, und diese Säure und diese zwei Salzbasen endlich aus Schwefel, Kalium, Alumnium und Sauerstoff. *G.*

Beugung des Lichtes. S. Inflection.

Bewegung.

Motus; Mouvement; *Motion.* Obgleich ein jeder Mensch leicht und gleichsam von selbst einen Begriff mit dem Worte Bewegung verbindet, und in sofern auch weifs, was Bewegung sey, wie schon s'Gravesande[1] sagt, so ist es doch nicht leicht, alles dasjenige, was man darunter versteht, in einer schulgerechten Definition zusammenzufassen. Die Schwierigkeit wächst, wenn man dasjenige zugleich in die Definition aufnehmen will, was einige Naturforscher durch *innere Bewegung der Theile einer Masse*, oder *innere Bewegung der Materie* bezeichnen, woraus manche Veränderungen, namentlich chemische Wirkungen, zuweilen auch die Wärmeerscheinungen erklärlich seyn sollen. Insofern aber dieses kein Gegenstand der Erfahrung ist, wir auch zur Annahme einer solchen Art von Bewegung als wirklich vorhanden, nicht durch nothwendig und unmittelbar aus der Erfahrung folgende Schlüsse geleitet werden, so kann dieselbe hier überhaupt nicht mit zur Untersuchung kommen[2].

Bewegung, als das Gegentheil der *Ruhe*, nennt man seit den frühesten Zeiten die *Veränderung des Ortes, oder des Raumes, welchen ein Körper einnimmt*, Ruhe dagegen das *Beibehalten dieses Ortes*, indem überhaupt kein Körper anders als im Zustande der Ruhe oder der Bewegung seyend gedacht werden kann[3]. Diese, die Sache in ihrer Allgemeinheit hinlänglich genau bezeichnende, Definition ist bis auf die neuesten Zeiten in den verschiedenen Lehrbüchern der Mechanik allgemein beibehalten, und nur wenige sind von derselben abgewichen. Nach Kant z. B. ist Bewegung die Veränderung der äufsern Verhältnisse eines Dinges zu einem gegebenen Raume[4], wobei aber die unbestimmte Angabe der *äufsern Verhältnisse* unnöthig und die Forderung eines *gegebenen Raumes* zu enge ist. Nach Fries[5] ist Be-

---

1 Elem. Phys. I. 28.

2 Hutton Dict. II. 74. Intestine motion.

3 L. Euler Mechanica, sive Motus scientia analytice exposita. Petrop. 1736. II Vol. 4. I. 1.

4 Metaphys. Anf. 4.

5 Math. Naturphil. 413.

wegung die *stetige Veränderung des Ortes*, wobei das: *stetige* vielleicht ein überflüssiger, im Begriffe: *Veränderung*, schon enthaltener Beisatz ist[1]. Ruhe dagegen ist nach beiden genannten Gelehrten die *andauernde Gegenwart eines Dinges an demselben Orte*, wobei andauernd heifst, was eine Zeit hindurch existirt. Auch hierbei macht der Beisatz: *andauernd*, die Definition unbestimmt. Gesetzt aber auch, es liefse sich eine dieser Definitionen rechtfertigen, wie allerdings mindestens bei der durch Fries aufgestellten Definition der Bewegung leicht geschehen könnte, wenn man nicht den Beisatz: *stetig*, aus dem angegebenen Grunde verwerflich findet, so ist doch jene ältere kürzer, allgemeiner und zur Erläuterung der mechanischen Gesetze pafslicher, weswegen sie beizubehalten ist.

Die Bewegung nebst den Gesetzen, welche bei derselben in Betrachtung kommen, machen das Object der gesammten Mechanik aus. Indem aber dieser weitläuftige Zweig der Mathematik hier nicht vollständig abgehandelt werden kann, so beschränkt sich die vorliegende Untersuchung blofs auf die allgemeinen Gesetze der Bewegung, wobei die verschiedenen speciellen Betrachtungen andern Artikeln vorbehalten bleiben.

Im Allgemeinen ist die Bewegung entweder *wirklich* oder *scheinbar*, letzteres aber nur in so fern, als wir sie auf ein bestimmtes Object beziehen, denn ohne das Vorhandenseyn einer *wirklichen* Bewegung findet auch keine *scheinbare* statt. Die *wahre* Bewegung (wirkliche, motus verus, mouvement réel) ist in der Regel diejenige, welche wir kennen zu lernen suchen, obwohl die scheinbare nicht selten ein Gegenstand der Untersuchung ist, wie namentlich in der Astronomie, worin jedoch die Bewegung der Planeten die wahre, die von der Erde aus beobachtete der Himmelskörper die scheinbare heifst. Jede scheinbare Bewegung, z. B. der Gestirne, entfernter Objecte beim Fahren, Schiffen oder Gehen u. s. w. (*motus apparens*, mouvement apparent) beruhet auf einer Augentäuschung, indem entweder das beobachtete Object ruhet, das Auge aber sich bewegt; oder indem

1 S. unten Nr. 4.

die Bewegung des Objectes selbst vermöge der Stellung des Auges zu demselben von diesem nicht genau beurtheilt und nicht gemessen werden kann, weswegen denn die ganze Untersuchung nicht hierher gehört[1].

Die Bewegung ist ferner entweder eine *absolute* oder *relative* (*motus absolutus et relativus*; mouvement absolu et relatif; *absolute and relative motion*). Mit der Bestimmung dieses Unterschiedes ist die Festsetzung der Begriffe vom absoluten und relativen *Orte* nothwendig verbunden, indem nach der aufgestellten Definition die Veränderung des absoluten Ortes absolute, des relativen aber, relative Bewegung genannt wird; der absolute Ort eines Körpers kann aber nicht wohl ein anderer seyn, als derjenige, welchen er ohne irgend eine Beziehung (Relation) weder zu einem andern Körper, noch zu einem bestimmten Raume einnimmt. Diesen Ort nimmt aber der Körper ein, insofern er ausgedehnt oder überhaupt im Raume ist, er kann ihn nie verlassen, und es gäbe somit keine absolute Bewegung. L. Euler[2] dagegen versteht unter absolutem Orte denjenigen, welchen ein Körper im unendlichen Weltraume einnimmt, und sofern er diesen verändert, bewegt er sich in absoluter Bewegung. Allein dieser Raum ist unendlich, mindestens für uns unmefsbar und unbestimmbar, auch nicht vorstellbar, mithin können wird keine Ortsveränderung in demselben wahrnehmen, und auch nicht eigentlich denken, und es gäbe hiernach gleichfalls keine absolute Bewegung. Ganz abweichend hiervon, und offenbar unrichtig ist der Begriff der absoluten Bewegung, wie er in der Encyclopédie méthodique[3] festgesetzt wird, wonach sie in einer Veränderung der Lage eines Körpers im Verhältnifs zu allen ihn umgebenden Gegenständen bestehen soll, wobei das aufgenommene: *Verhältnifs* eben eine Relation, mithin eine relative Bewegung andeutet. Es ergiebt sich sonach gleichsam von selbst, dafs man bei der Bestimmung des Begriffes der absoluten Bewegung nicht zu ängstlich an der Bedeutung des Ausdruckes:

---

1 S. *Gesicht; Augentäuschungen.*
2 Mechanica. I. 1 bis 3.
3 Vol. IV. 133.

absoluter Ort, und dessen Veränderung hängen darf, indem sie vielmehr auf dem Gegensatze gegen relative Bewegung beruhet. Hiernach besteht also, wie Hutton[1] richtig angiebt, die absolute Bewegung in der Veränderung des einen Ortes und dem Uebergange in einen andern, wenn man sowohl jenen als auch diesen absolut und ohne ihr Verhältnifs (ihre Relation) zu einem dritten Orte oder Gegenstande betrachtet. Jede Bewegung ist daher absolut, wenn sie nicht in dieser letzteren Beziehung genommen wird, oder nicht relativ ist.

Hinsichtlich der *relativen Bewegung*, welcher die relative Ruhe entgegengesetzt ist, sind dagegen alle Mathematiker einverstanden, und setzen sie in die Veränderung des Ortes in Beziehung auf einen dritten Punct, welcher wiederum entweder ruhend oder bewegt seyn kann. Hieraus folgt von selbst, dafs ein Körper in Beziehung auf verschiedene ihn umgebende, nähere oder entferntere, gegen einige in relativer Ruhe, gegen andere aber in relativer Bewegung seyn kann, und dafs man somit von demselben zu gleicher Zeit behaupten könne, er ruhe, und er werde bewegt, je nachdem man das eine oder das andere Verhältnifs berücksichtigt. Ein Mensch in einem Schiffe z. B. ist stillsitzend in relativer Ruhe zu diesem, und in relativer Bewegung zu den Gegenständen am Ufer; geht er aber in demselben so viel rückwärts, als dasselbe in einer gleichen Zeit vorwärts segelt, so ist er zu jenem in relativer Ruhe, zu diesem in relativer Bewegung. In Beziehung auf die Bewegung der Erde um ihre Axe und im Weltraume ist jeder Mensch, wenn er stillsteht, im Verhältnifs zu ihr selbst in Ruhe, zu den umgebenden Himmelskörpern in Bewegung. Indem man hiernach die Beziehung bald auf den einen bald auf den andern Körper nehmen kann, so lassen sich Fälle denken, in denen die Bestimmung (jedoch nur scheinbar) schwierig scheint, ob man einen Körper ruhend oder bewegt nennen soll. Lichtenberg pflegte diesen Satz durch das Paradoxon anschaulich zu machen, dafs man in gewissen Fällen nicht bestimmen könne, ob bei einer belagerten Fe-

1 Dictionary II. 73.

stung diese oder die abgeschossenen Kugeln als ruhend zu betrachten seyen. Denkt man sich nämlich zur leichteren Uebersicht eine Festung unter dem Aequator, so wird sie in Beziehung zur Sonne vermöge der Axendrehung der Erde in einer Secunde einen Raum von etwas mehr als 1400 F. von W. nach O. zurücklegen, die Peripherie = 5400 Meilen, die Meile = 22840 p. F. angenommen. Befände sich nun die Kanone genau in Osten der Festung, die Geschwindigkeit der Kugel aber gleichbleibend und etwas mehr als 1400 F. in 1″ betragend, oder genau so viel, als die Rotationsgeschwindigkeit der Erde beträgt, so mufs allerdings im Verhältnifs zur Sonne und von dieser aus betrachtet, abgesehen von der Bewegung der Erde im Weltraume die Kugel ruhend, die Festung dagegen bewegt erscheinen. In der Mechanik, und selbst auch im gemeinen Leben, wird diese Unbestimmtheit der Annahme von Ruhe und Bewegung niemals Schwierigkeiten machen, obgleich man lange Zeit die scheinbare tägliche Bewegung der Himmelskörper als eine wirkliche ansah, und noch jetzt von dieser als einer solchen zu reden pflegt.

Die relative Bewegung eines Körpers kann zwar sehr mannigfaltig seyn hinsichtlich derjenigen Bedingungen, welche überhaupt bei der Bewegung zu betrachten sind; indefs wird es genügen, von den verschiedenen vorkommenden Fällen hier nur einiges Allgemeine zu erwähnen. In der Hauptsache ist derjenige Körper, auf welchen die Bewegung eines andern Körpers bezogen wird, entweder ruhend, oder bewegt, und ihre beiderseitige Bewegung ist wiederum entweder geradlinig oder krummlinig in verschiedenem Wechsel sowohl des einen als auch des andern. Bewegen sich beide geradlinig und gleichförmig, so ist die Bewegung eines jeden in Beziehung auf den andern gleichfalls geradlinig und gleichförmig, und läfst sich leicht geometrisch construiren; auch ist dieses nicht schwierig, wenn beide eine krummlinige Bahn beschreiben. Um Letzteres unter den vielen möglichen Fällen nur an einem zu zeigen, so bewege sich der eine

Fig. 180. Körper durch L, M, N, O, P, Q, R, und gleichzeitig ein anderer (das Auge des Beobachters) durch A, b, c, d, e, f, g; man verbinde die den proportionalen Räumen zugehörigen

Puncte bM, cN, dO, eP, fQ, gR, mache $A\alpha$ gleich und parallel mit bM, $A\beta$ mit cN; $A\gamma$ mit dO; $A\delta$ mit eP; $A\varepsilon$ mit fQ; $A\xi$ mit gR, so ist die Linie $\alpha, \beta, \gamma, \delta, \varepsilon, \xi$ die Bahn, worin sich der Punct L relativ zu dem Puncte A zu bewegen scheint, wenn letzterer scheinbar ruhet[1].

Mit der absoluten und relativen Ruhe und Bewegung genau verbunden ist ein anderer Unterschied, wonach abermals beide entweder eigen oder gemeinschaftlich sind. Weil indefs die Bewegung jedes einzelnen Körpers nur an sich betrachtet werden mufs, so wird im Allgemeinen, ohne Rücksicht auf den Gegensatz der *eigenen Bewegung* (*motus proprius*, mouvement propre), hauptsächlich nur die *gemeinschaftliche Bewegung* (*motus communis*; mouvement commun; *common motion*) und die ihr entgegenstehende *gemeinschaftliche Ruhe* beachtet. Diese gemeinschaftliche Bewegung findet sehr häufig, und zwar zwischen solchen Körpern statt, welche in relativer Ruhe zu einander sind, z. B. die Himmelskörper, welche ihren relativen Ort zu einander nicht ändern, aber scheinbar sich um die Erde bewegen, oder Menschen, welche gegen die Erde in relativer Ruhe sich befindend ihre Bewegung um die Axe und im Weltraume theilen. Aehnliche Fälle z. B. eines Reuters und seines Pferdes, des Wagens und des Menschen, welcher darin fährt, und dergleichen mehr sind so gemein, dafs es unnöthig ist, mehrere nahmhaft zu machen, obgleich die Constructionen mancher Bewegungen, namentlich wenn ein Körper in der ihm hierdurch mitgetheilten Bewegung beharret, und dann einzeln durch eine neu hinzukommende Kraft sollicitirt wird, hierauf Rücksicht zu nehmen fordern. Indem dieses aber in den geeigneten Fällen geschehen wird, so würde es überflüssig seyn, hier weitläuftiger darüber zu handeln.

Noch ist aber bei den allgemeinen Untersuchungen über die Bewegung und ihre Gesetze ein Umstand wohl zu berücksichtigen. Ein bewegter Körper nämlich ist oft sehr grofs von Masse, und es ist zuweilen der Fall, dafs bei und während der Bewegung des Ganzen ein Theil zugleich eine roti-

---

1 Brandes Lehrb. II. 8.

rende Bewegung um eine willkührliche, innerhalb der Masse des Körpers liegende Axe hat, wie z. B. die Axendrehung der Erde während ihrer Bewegung im Weltraume, einer abgeschossenen Kugel oder Bombe beim Durchlaufen ihrer Bahn, eines Rades oder sonstiger gewälzter Körper. Hiernach mufs indefs die Bestimmung der Bahn ganz verschieden ausfallen, je nachdem man den einen oder den andern Theil des Körpers betrachtet. Um die hieraus entstehenden Ungewifsheiten zu vermeiden, und die allgemeinen Bewegungsgesetze übersichtlicher zu machen, wird bei der Feststellung derselben nur ein Punct als bewegt angenommen, welches in den meisten Fällen um so besser geschehen kann, als ohnehin bei den meisten mechanischen Gesetzen die ganze Schwere, und somit auch eigentlich die gesammte Masse in einem Puncte, nämlich dem Schwerpuncte, vereinigt gedacht wird.

Manche einzelne Bezeichnungen der Bewegung, z. B. Kreisbewegung, Cykloidalbewegung, abwechselnde Bewegung, wenn bei einer Maschine ein Theil (z. B. die Unruhe in einer Uhr, ein Feldgestänge u. dgl.) aus einer gehabten Bewegung durch eine kurze Ruhe in die entgegengesetzte übergeht, vibrirende oder vibratorische Bewegung, freiwillige oder gezwungene, innere oder äufsere Bewegung, automatische, thierische und Muskelbewegung, rechtläufige und rückläufige, tägliche, mittlere Bewegung und dergleichen mehr, sind entweder an sich verständlich, oder werden am gehörigen Orte erklärt, und bedürfen daher hier keiner speciellen Erörterung.

Bei der Bewegung im allgemeinen kommen zwar nicht jederzeit und nothwendig, doch aber sehr häufig folgende Stücke hauptsächlich in Betrachtung: 1. die Ursachen derselben: 2. die bewegte Masse: 3. die Richtung derselben: 4. der zurückgelegte Weg: 5. die Zeit, und aus der Vergleichung dieser beiden letzteren, 6. die Geschwindigkeit; 7. die Gröfse der Bewegung.

1. *Ursachen der Bewegung* giebt es so viele, dafs zur genaueren Uebersicht dieses Gegenstandes nothwendig zuvor einige Hauptbegriffe festzusetzen sind. Indem es hier der Ort nicht ist, das Wesen der Materie selbst genau

zu untersuchen, so läst sich als Resultat der bisherigen Forschungen blofs im allgemeinen angeben, dafs die Materie, als solche, nach unserer Vorstellung die Ursachen der Bewegungen nicht enthält, sondern dafs diese als von ihr getrennt gedacht werden. Diesemnach kann die Materie sowohl ruhen, als auch sich bewegen, jenachdem irgend eine bewegende Ursache sie aus dem wilkührchen Zustande der Ruhe oder Bewegung bringt, auch wird sie nach den nämlichen Grundsätzen in dem erhaltenen Zustande der Ruhe oder Bewegung unausgesetzt beharren, bis derselbe durch irgend eine Ursache wieder aufgehoben wird, welches man *Trägheit*[1] nennt. Obgleich man hiergegen mit Grunde einwenden kann, dafs es keine bekannte Materie giebt, welche sich nicht wirklich in Bewegung befände oder das Bestreben nach Bewegung allezeit sichtbar zeigte[2], so müssen wir doch hinsichtlich auf die mechanischen Bewegungsgesetze den aufgestellten Satz durchaus bestehen lassen, weil die Bewegung aus der Ruhe anfangend und durch fortgesetzte Abnahme wieder in dieselbe übergehend demonstrirt wird, hierbei auch, aufser der Schwere, oder Gravitation, keine allgemeine, die Körper zur Bewegung sollicitirende, Ursache in Betrachtung kommt, letztere aber in vielen Fällen als nicht vorhanden betrachtet, und von ihrer Wirkung abstrahirt wird. Alles dasjenige aber, was Bewegung hervorbringt, nennen wir *Kraft*, und bestimmen die Gröfse derselben meistens oder stets aus der Wirkung, welche sie hervorbringt. Indefs kann auch hier abermals nicht zur Untersuchung kommen, weder was Kraft an sich sey, noch auch wie viele und wie mancherlei Arten der Kräfte es geben mag[3], indem es hier vielmehr genügt, im allgemeinen von dem Grundsatze auszugehen, dafs man bei der Aufsuchung der Bewegungsgesetze die Materie als das Ruhende anzusehen habe, wel-

1 S. *Trägheit.*

2 S. *Materie.*

3 S. *Kraft.*

ches durch die verschiedenden einwirkenden Kräfte in Bewegung gesetzt und erhalten wird [1].

Man kann die Bewegungen hervorbringenden Ursachen in *unmittelbar* und *mittelbar* wirkende abtheilen. Unter die ersteren gehört hauptsächlich die im Thier- und Pflanzenreiche thätige Lebenskraft als Ursache der mannigfaltigsten Bewegungen bei den Animalien und Vegetabilien, dann die allgemeine Anziehung in ihren Aeufserungen der Gravitation, Schwere, Adhäsion und Capillarität, der Krystallisation und chemischen Verwandtschaft, und endlich die Wärme als Ursache der Ausdehnung und Expansion. Man mufs zu den unmittelbar wirkenden Ursachen aber ausserdem noch diejenigen rechnen, welche ohne bestimmt angebrachtes Zwischenmittel oder ohne selbst erst durch eine andere Ursache bewegt zu seyn, Bewegung hervorbringen, als die Muskelkraft lebender Wesen, das Gewicht lebender und todter Körper, das Gewicht und der Stofs tropfbarer und expansibeler Flüssigkeiten, die Expansion der Dämpfe und dergleichen mehr. Unter die mittelbar wirkenden Ursachen der Bewegung gehören aber vor allen Dingen alle diejenigen Vorrichtungen bei den Maschinen (die sogenannten Mittelheile) welche selbst deswegen in Bewegung gesetzt werden, um diese auf andere Körper fortzupflanzen, alle geworfene, geschleuderte oder überhaupt bewegte Massen, welche während dieser ihrer Bewegung auf andere Körper treffen, und diese wiederum in Bewegung versetzen, im Allgemeinen also auch die gesammte *Mittheilung* der Bewegung. Ohne hier auf eine ausführliche Erörterung dieses weitläuftigen Gegenstandes einzugehen, wird es genügen, die Sache durch eine specielle Beobachtung etwas zu erläutern.

Eine merkwürdige Art der Mittheilung der Bewegung nämlich wird wahrgenommen in dem gegenseitigen Einflusse anscheinend frei und von einander unabhängig bewegter

---

1 Die irrigen Ansichten, welche F. W. Sack in Geologie oder Betrachtung der Erde u. s. w. Breslau 1785. 8. vergl. Lichtenb. Mag. III. 2. 19 über die den Atomen eigenthümlichen bewegenden Kräfte aufstellt, verdienen keine ernste Widerlegung.

Universitäts- und Landesbibliothek Düsseldorf

Körper, wie sich vorzüglich bei den Schwingungen nebeneinander befindlicher Pendel zeigt. Auf diese schon frühzeitig und oft beobachteten Erscheinungen hat neuerdings insbesondere La Place[1] aufmerksam gemacht, und das Wichtigste darüber zusammengestellt. Schon Huygens erwähnt in seinem Horologio oscillatorio, dafs die Pendel zweier neben einander stehender Uhren einen gegenseitigen störenden Einflufs ausüben, so dafs die Schwingungen des einen Pendels anfangen, wenn die des andern aufhören. Richtiger aber ist wohl das Ergebnifs der Beobachtungen eines Ungenannten[2], dafs sie in einer gleichbleibenden Zahl von Schwingungen zusammentreffen und sich wieder von einander entfernen. Am interessantesten sind die Versuche von Ellicot[3], welcher zwei Pendeluhren, jede in einem besondern Gehäuse, an die nämliche hölzerne Latte gelehnt, beobachtete. Wurde das Pendel der einen in Bewegung gesetzt, so machte nach 16 Minuten das der andern so starke Schwingungen, dafs es das ganze Räderwerk bewegte, letztere aber vermochte nicht der ersteren eine gleichstarke Bewegung mitzutheilen. Stemmte er einen kurzen hölzernen Stab zwischen die zweite Uhr und die Latte, so wurde der Einflufs sehr vermindert, waren aber beide auf diese Weise isolirt und durch einen seitwärts zwischen sie gesperrten Stab verbunden, so war der Einflufs bedeutend stärker. Wenn die Pendel der Uhren kleine Bogen beschrieben, so brachten sie einander abwechselnd zum Stillstehen und in Bewegung, beschrieben sie aber grofse Bogen, so gingen sie überein, indem sie auf eine merkwürdige Weise ihre Ungleichheiten durch gegenseitige Beschleunigung und Verminderung ihres Ganges ausglichen. Auch Daniel Bernoulli[4] erzählt einen Fall ähnlicher Art, aber am genauesten ist die Erscheinung beobachtet durch Brequet's *Doppelchronometer*, welche vermittelst einer Kupferplatte auf einander wirkten, und zugleich zeigten, dafs die Luft dabei gar keinen Einflufs hat.

---

1 Ann. de. Chim. et de Phys. III. 162. G. LVII. 229.

2 In Journ. des Savans. 1665. Mars. a. o. a. O.

3 Phil. Tr. 1741.

4 Com. Petr. 1777.

Indem sonach Bewegungen nicht blofs leicht mitgetheilt werden, sondern auch störend auf einander einwirken, und da es in vielen Fällen sehr wichtig ist, gewisse Bewegungen, wie namentlich die Schwingungen der Pendel ganz ohne Einfluſs solcher Mittheilungen oder mindestens unter einem constanten zu erhalten[1], so ist das von W. Hardy erfundene, aufwärts gekehrte, *Federpendel* gewifs ein sehr nützlicher Apparat, um zu erforschen, ob irgend ein Gerüst durch seine Festigkeit gegen jede Mittheilung der Bewegung hinlänglich gesichert sey, und da es als eigentliches Pendel zur Zeitmessung schwerlich geeignet seyn möchte, so wird seine Beschreibung hier nicht am unrechten Orte stehen[2]. Das Ganze der Einrichtung ist aus der Zeichnung leicht zu erkennen, a a ist nämlich die Bodenplatte des Instrumentes, welche nach Angabe der beiden Libellen b,b vermittelst der Stellschrauben c,c,c horizontal gestellt wird, d ist ein Träger, oben mit einem Arme, woran die in Grade des Kreises getheilte elfenbeinerne Scale festsitzt, an deren beiden Enden zwei Stifte f,f die Spitze der Kugel gegen ein weiteres Herabsinken schützen. Die messingne Bodenplatte g nimmt die flache Stahlfeder h auf, welche die Pendelstange i trägt. Diese ist cylindrisch, und oben mit einem Gewinde versehen, um vermittelst der Schraube m die Kugel l höher oder niedriger zu stellen, wodurch der Apparat mehr oder weniger empfindlich wird. Eine Glasglocke schützt gegen Staub und Luftzug, und man begreift leicht, dafs

Fig. 181.

---

1 Astronomische Pendeluhren haben leicht einen unregelmäfsigen Gang, wenn sie nicht völlig unbeweglich festgemacht sind, indem dann die Schwingungen des Pendels und die unmerklichen des Körpers der Uhr störend auf einander wirken. Aber auch dann, wenn sie an einem elastischen Brette befestigt sind, theilen sie diesem nach La Place a. a. O. geringe Oscillationen mit, welche auf das Pendel wieder zurückwirken. Ueberhaupt dürfte es wohl unmöglich seyn, sie auf eine solche Art zu befestigen, dafs dergleichen Mittheilungen der Bewegung gar nicht stattfinden, und die Aufgabe kann also nur die seyn, zur Erhaltung eines unveränderlichen Ganges sie so genau zu befestigen, dafs der unvermeidliche störende Einfluſs eine constante Gröfse wird, und somit corrigirt werden kann.

2 G. LXXV. 389.

ein so feiner Apparat jede mitgetheilte Bewegung oder Erschütterung durch gröfsere oder kleinere Schwingungen anzeigen mufs.

Eine höchst merkwürdige Art von Mittheilung der Bewegung zeigt die eben so interessante als wichtige Maschine, welche die Umdrehung der Erde um ihre Axe und die Lage ihrer Pole bei ihrer Bewegung im Weltraume zu versinnlichen dient. Wegen dieser ihrer eigentlichen Bestimmung kann dieselbe indefs hier nicht beschrieben werden[1], und es genügt nur zu bemerken, dafs die um ihre Axe schnell rotirende Kugel, welche die Erde vorstellt, die genau balancirten Ringe, in denen sie leicht beweglich schwebt, je nach der Neigung dieser Ringe gegen den Horizont und der Lage ihres Schwerpuncts gleichfalls in regelmäfsige drehende Bewegung versetzt.

Gelegentlich können hier auch die vielen Bemühungen erwähnt werden, welche man darauf verwandt hat, die Bewegung irgend eines Körpers zugleich als die Ursache der ununterbrochenen Fortdauer, dieser oder einer andern Bewegung zu benutzen, oder ein sogenanntes perpetuum mobile zu erfinden. Indefs verdient dieser Gegenstand eine nähere Betrachtung, welche am gehörigen Orte angestellt werden wird[2].

2. Die *zu bewegende* oder *bewegte Masse* kommt in zwiefacher Rücksicht in Betrachtung, zuerst wenn die bewegende Kraft gesucht wird, insofern diese zu der zu bewegenden Masse und der erforderlichen Geschwindigkeit jederzeit in einem gewissen Verhältnisse stehen mufs, und zweitens wenn die Gröfse der Bewegung zu bestimmen ist, welche als das Product der Masse und der Geschwindigkeit berechnet wird. Oft heifst sie namentlich bei den Maschinen, auch die *Last*, die zu wältigende Last, und besteht in den meisten Fällen aus der Summe der schweren Theile, welche den zu bewegenden Körper bilden, wie diese meistens durch das absolute Gewicht desselben ausgedrückt wird, oder ausgedrückt werden

---

1 S. *Erde*.
2 S. *Selbstbewegung*.

kann. Meistentheils kommt blofs dieses in Betrachtung, zuweilen aber auch das Volumen, in welchem die schweren Theilchen des Körpers vereinigt sind, also auch das spec. Gewicht, namentlich z. B., wenn derselbe in einem widerstehenden Mittel bewegt wird.

3. Die *Richtung* der Bewegung wird allezeit durch eine geometrische Linie ausgedrückt, weil man entweder einen blofsen Punct als in der Bewegung befindlich betrachtet, oder bei einem bewegten Körper die Richtung nach derjenigen Linie bestimmt, welche sein Schwerpunct durchläuft. Letzteres findet zwar am wenigsten in denjenigen Fällen statt, in denen die Bewegung der Körper um eine feste oder gleichfalls bewegte Axe betrachtet wird, z. B. der Schwungräder, der Wagenräder, der Treträder und Tretscheiben, der Räder mit Zähnen und Getriebe, der Kurbeln, der excentrischen Scheiben u. dgl. m., allein auch in diesen Fällen pflegt man meistens nur die Bewegung eines einzelnen Punctes, z. B. des Schwerpunctes, oder eines sonstigen, etwa in der Peripherie oder in der Axe liegenden, um welche der rotirende Körper sich dreht, bei den im Raume bewegten Körpern aber, namentlich den Himmelskörpern, nur ihr Centrum besonders zu berücksichtigen. Im Allgemeinen ist dann die Richtung des bewegten Körpers entweder geradlinig oder krummlinig. Die *geradlinige* Bewegung ist bei weitem die einfachste, und wird, wie die geometrische Linie, durch zwei Puncte gegeben, welche zugleich die Richtung der Bewegung des Körpers und der einfachen ihn bewegenden Kraft bestimmen. Der *krummlinigen* Bewegungen giebt es dagegen eine Menge Arten, weil eine jede krumme Linie zugleich auch als die Bahn eines bewegten Körpers angesehen werden kann. Es versteht sich indefs von selbst, dafs man zu den verschiedenen Curven nicht die Bewegungen sucht, sondern unter den letzteren nur diejenigen näher betrachtet, welche an sich der Untersuchung werth sind, und die gefundene Bahn dann auf die geeignete Curve zurückführt. Auch die Bestimmung der krummen Bahnen bewegter Körper geschieht mit Rücksicht auf die bewegenden Ursachen oder Kräfte,

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

jedoch mit dem Unterschiede, dafs diese letzteren nicht wie jene erstere durch eine einzige Kraft und deren Richtung gegeben seyn können, sondern dafs mindestens zwei auf den Körper wirken müssen, worunter auch der Fall gehört, wenn ein schon bewegter, also durch irgend eine Ursache in Bewegung gesetzter, und in derselben beharrender Körper dann durch noch eine stetig wirkende Kraft sollicitirt wird, wie dieses z. B. bei den bewegten Himmelskörpern der allgemeinen Ansicht nach statt findet.

4. Der *Raum*, welchen ein Körper bei seiner Bewegung durchläuft, ist die Entfernung desjenigen Ortes, welchen er früher einnahm, von demjenigen, an welchem er sich später befindet. Er ist ein Gegenstand der Messung, und wird hierdurch ungleich an Gröfse, vom kleinsten bis zum gröfsten gefunden. Ferner ist derselbe ein *absoluter*, wenn man ihn ohne Rücksicht auf irgend ein Verhältnifs durch ein willkührliches Mafs ausdrückt, oder ein *relativer*, wenn man ihn mit einem andern gegebenen an sich oder mit Rücksicht auf die Zeitdauer der Bewegung vergleicht. Jener kann weder grofs noch klein genannt werden, dieser aber allerdings[1]. Dafs jeder Körper, wenn er von einem Orte zum andern bewegt wird, sey es in absoluter oder relativer, wirklicher oder scheinbarer Bewegung, alle Theile des zwischenliegenden Raumes, oder diesen selbst ganz durchlaufen müsse, hat Euler[2] gezeigt. Jede Bewegung setzt daher einen successiven oder stetigen Wechsel des Ortes voraus, indem sonst der Körper an demjenigen Orte, welchen er vorher einnahm, vernichtet, und an demjenigen, welchen er nachher inne hat, wieder neu hervorgebracht werden müfste, wenn er den zwischenliegenden Raum nicht successiv durchlaufen sollte. Fries[3] hat daher nicht ohne einen triftigen Grund den Ausdruck: *stetig*, als nothwendigen Beisatz der Veränderung des Ortes mit in die Definition der Bewegung aufgenommen, welchem

1 S. *Raum*.
2 Mechanica. I. 5.
3 S. *oben im Anfange*.

allein im Wege steht, dafs dieser Beisatz eigentlich schon im Begriffe der Veränderung enthalten ist, eine Definition aber so kurz wie möglich seyn mufs.

5. Aus dem eben Gesagten, und somit aus dem Begriffe der Bewegung überhaupt, folgt nothwendig, dafs sie eine gewisse *Zeit* erfordern und nicht instantar seyn könne, eben weil jede Bewegung etwas Successives ist, und der Begriff des Successiven den der Zeit nothwendig einschliefst. So wie aber der Raum vom gröfsten bis zum kleinsten abnehmen kann, eben so ist dieses auch mit der Zeit, beide können ferner so grofs und so klein werden, dafs sie kein Gegenstand der wirklichen Messung mehr sind, und zwar auch in der Art, dafs für eine gegebene mefsbare Zeit der durchlaufene Raum, und für einen gegebenen mefsbaren Raum die erforderliche Zeit den Mitteln der Messung entschwindet, wie z. B. der Weg, welchen der allerdings bewegte Stundenzeiger einer Uhr binnen einer Secunde zurücklegt, mindestens ohne künstliche Mittel nicht gemessen werden kann, noch auch die Zeit, binnen welcher das Licht irdische Räume durchläuft. Die Geometrie giebt indefs Ausdrücke sowohl für die gröfsten als auch für die kleinsten Zeiten und Räume, so lange beide noch endliche Gröfsen sind; werden sie aber unendlich, entweder grofs oder klein, so hören sie überall auf Gegenstände der Messung, der Bestimmung oder der Vergleichung zu werden. Hiernach läfst sich leicht der bekannte Trugschlufs des alten Sophisten Zeno von Elea wiederlegen, welcher beweisen wollte, Achilles und eine Schildkröte liefen gleich schnell, weil beide in einem unendlich kleinen Theilchen der Zeit ein unendlich kleines Theilchen des Raumes zurücklegten[1]. Der Irrthum hiervon liegt darin, dafs unendlich kleine Theilchen zugleich ein Verhältnifs der Zahl (bei beiden Geschwindigkeiten gleichviel) gegeben wird. So lange nämlich bei beiden genannten Bewegungen der Raum und die Zeit (dem blofsen Begriffe nach) in *unendlich kleine* Theile ge-

1 Aristot. Phys. VI. 9. vergl. Tennemann Geschichte d. Philosophie I. 199.

theilt werden, ist aus dem angegebenen Grunde durchaus keine Messung und somit auch keine Vergleichung zulässig, sobald letztere aber statt finden soll, müssen die Gröfsen mefsbar, also endlich seyn, und dann findet für gleiche, auch noch so kleine, Zeittheilchen stets das ursprüngliche Verhältnifs der zugehörigen Räume beider Bewegungen statt. Auch die Zeit wird gemessen, und zwar nach verschiedenen Mafsen, welche einzeln namhaft zu machen überflüssig seyn würde, indem man sich ohnehin fast ausschliefslich der Tage und ihrer Theile nach Sonnenzeit oder Sternenzeit hierzu bedient, und ist hiernach gleichfalls entweder eine absolute, insofern man sie durch irgend ein solches bekanntes Mafs ausdrückt, oder eine relative, wenn man sie mit einer andern mehr oder minder genau bekannten vergleicht[1].

6. Aus der Vergleichung der Zeiten und der in ihnen durchlaufenen Räume entsteht von selbst der Begriff der *Geschwindigkeit*, welche also eigentlich nicht als etwas durch sich selbst Bestehendes bei der Bewegung anzusehen ist. Indefs mufs sie doch besonders betrachtet werden, obgleich sie nicht, wie ihre beiden eben genannten Bedingungen, absolut, sondern allezeit nur relativ ist[2], als solche aber vor der kleinsten bis zur gröfsten wächst, nur gleichfalls nicht im strengsten Sinne des Wortes unendlich werden kann, wenn sie mefsbar bleiben soll. So ist die Bewegung einer Schnecke schnell gegen die eines wachsenden Keimes, aber langsam gegen den gewöhnlichen Gang eines Menschen, dieser gegen den Flug eines Vogels, dieser gegen den einer Kanonenkugel, dieser gegen die Bewegung der Erde um die Sonne, diese gegen die Fortpflanzung des Lichtes und, wer weifs, ob beide hier genannte Extreme nicht noch von andern übertroffen werden[3].

7. Die Gröfse der Bewegung endlich (*quantitas motus;* quantité de mouvement; *quantity of mo-*

---

1 S. *Zeit.*

2 Biot Traité. III. 148. Il n'y a rien en soi de lent ou de rapide.

3 S. *Geschwindigkeit.*

tion) ist diejenige Gewalt, welche ein bewegter Körper durch die ihm mitgetheilte Bewegung gegen andere ruhende oder bewegte Körper wieder auszuüben im Stande ist. Ein bewegter Körper wird sonach wieder eine bewegende Ursache, wie unter Nro. 1. schon angedeutet ist. Man begreift übrigens bald, und es folgt aus dem Erfordernifs einer gröfseren Kraft zur Bewegung einer gröfseren Masse so ziemlich von selbst, dafs die Gröfse der Bewegung im geraden Verhältnisse der Masse und der Geschwindigkeit zunehmen müsse. Der geometrische Ausdruck zur Bezeichnung der Quantitas Motus, oder der Gröfse der Bewegung ist übrigens, wenn man diese für verschiedene Körper von den Massen m und m′, und den Geschwindigkeiten v und v′ durch q und q′ bezeichnet

$$q : q' = mv : m'v'.$$

Für alle nicht beschleunigende Kräfte, deren Wirkung also augenblicklich ist, dient die Gröfse der Bewegung als Mafs, und es wird dieselbe Kraft gegen alle Körper die nämliche Gröfse der Bewegung ausüben, dadurch aber Geschwindigkeiten hervorbringen, welche den Massen der bewegten Körper umgekehrt proportional sind. Würde also irgend eine Kraft einer Masse m die Geschwindigkeit v mittheilen, so ist die, einem andern Körper von der Masse M mitgetheilte Geschwindigkeit $v' = \frac{vm}{M}$. Uebrigens heifst die Kraft, welche eine gegebene Masse von gegebener Geschwindigkeit in Erzeugung der Bewegung ausübt, auch das mechanische Moment[1].

Bisher sind diejenigen Stücke, welche bei der Bewegung in Betrachtung kommen, nur einzeln und in gänzlicher Allgemeinheit untersucht, die Gesetze der Bewegung können aber nur dann vollständiger vorgetragen werden, wenn man mehrere mit einander verbindet. Ehe dieses aber genügend geschehen kann, müssen erst folgende Betrachtungen vorausgehen.

---

1 Ueber den Streit unter den Geometern, deren einige die *quantitas motus* der einfachen Potenz der Geschwindigkeit, andere dagegen dem Quadrate derselben proportional setzen wollten. S. *Stofs*.

Da es bei jeder Untersuchung einer Bewegung darauf ankommt, denjenigen *Ort* zu bestimmen, wo sich der bewegte Körper zu irgend einer gegebenen Zeit im Raume befindet, so mufs die Geometrie die Mittel zur Bestimmung dieser Oerter angeben. Bewegt sich also der Körper in einer geraden Linie, so ist diese selbst die Ordinate, vermittelst welcher seine Bewegung bestimmt werden kann, bewegt er sich aber in einer Ebene, so sind zwei Ordinaten erforderlich, um die Lage derselben, und also auch eines in ihr bewegten Punctes zu bezeichnen, bewegt er sich aber im Raume, so sind drei Ordinaten erforderlich, deren Axen rechtwinkelig oder schiefwinkelig auf einander gerichtet seyn können. Indem alle drei Fälle füglich aus dem letzteren allein erkannt werden können, so seyen X; Y und Z die von C ausgehenden, rechtwinklig zusammengefügten Ordinatenaxen. Nimmt man auf diesen die Ordinaten x; y und z, so ist E der Punct im Raume, wo sich diesemnach der Körper befinden mufs. Leichter ist es in den meisten Fällen, aus zwei Coordinaten eine Ebene zu construiren und in derselben oder über ihr den Ort des Körpers zu bestimmen[1].

Fig. 182.

A. Bewegende Kräfte.

Um die Bewegungsgesetze eines Punctes oder eines Körpers kennen zu lernen müssen vor allen Dingen die ihn sollicitirenden Kräfte berücksichtigt werden, deren Richtung und Gröfse die Bahn und Geschwindigkeit desselben bestimmen. Ein absolutes Mafs der Kräfte giebt es indefs nicht, sondern man kann dieselben blofs unter sich, oder mit andern, aus ihrer Wirkung bekannten, vergleichen, und dann ihre Gröfse durch das Verhältnifs der Zahlen oder der Linien ausdrücken. Sind unter diesen Kräften zwei gleiche nach entgegengesetzten Richtungen wirkend, so heben sie sich einander auf, und der Körper bleibt ruhend; sind sie aber ungleich, so folgt er der stärkeren im Verhältnisse ihres Unterschiedes gegen die andere. Indem aber sonach entgesetzte Kräfte sich um gleiche Theile aufheben, so kann man

1 Brandes Lehrb. II. 1.

aufser den gegebenen bewegenden Kräften jederzeit noch eine willkührliche Menge solcher annehmen, die sich gegenseitig aufheben. Ferner wirken die sämmtlichen Kräfte entweder auf einen oder auf mehrere Puncte des Körpers, welche dann entweder der Einwirkung derselben frei folgen können, oder durch einen unüberwindlichen Widerstand hieran gehindert werden. Im letzteren Falle wird der Punct oder Körper entweder gegen den widerstehenden Körper blofs drücken, oder auf demselben hin bewegt werden, oder endlich um denselben eine drehende Bewegung annehmen.

Wird also ein Körper durch mehrere Kräfte bewegt, so kann er nicht einer allein folgen, mithin auch seine Bahn nicht durch die Richtung der einen dieser Kräfte allein gegeben seyn, wenn nicht von zwei entgegengesetzten Kräften nur ein aliquoter Theil der einen, als Differenz beider, mithin als eine einzige auf den Körper wirkende übrig bleibt. Bilden also die Richtungen zweier Kräfte mit einander einen Winkel, so kann dieser von 0° bis 180° wachsen. Im ersten Falle werden sie einander gar nicht aufheben, im zweiten dagegen um ihre ganzen Gröfsen, und so mufs also jeder zwischenliegende Winkel das Verhältnifs angeben, in welchem beide Kräfte die Richtung der Bahn des durch sie sollicitirten Punctes bedingen, indem es unmöglich ist, dafs er einer von beiden allein oder keiner folgen sollte, weil im ersten Falle die eine Kraft $= 0$, im letzteren beide Kräfte, jede einzeln, $= 0$ seyn müfsten, welches gegen die Voraussetzung ist. Im Allgemeinen nennt man die durch eine einzige Kraft hervorgebrachte Bewegung eine einfache (*motus simplex*; mouvement simple; *simple motion*), die durch mehrere erzeugte eine zusammengesetzte[1]

---

1 Es ist bei genauer Bestimmung der Begriffe unrichtig, die durch zusammenwirkende Kräfte entstandene Bewegung gleichfalls eine zusammengesetzte zu nennen, indem die Bewegung eines Punctes allezeit nur einfach seyn kann, ja sogar, wenn man die nach verschiedenen Richtungen gehenden Bewegungen desselben vereinigen wollte, dieses nur eine (aus verschiedenen Stücken) zusammengesetzte *Bahn* seyn könnte. Im Texte ist also nur der Sprachgebrauch vieler Schriftsteller beibehalten. Eine eigentliche zusammengesetzte Bewegung dagegen kann man

(*motus compositus;* mouvement composé; *compound motion*), die beiden Kräfte, die Zusammenwirkenden (*componentes;* composantes; *composing*) und erhält durch ihre Zusammensetzung (*compositio;* composition; *composition*) die Resultirende (la resultante). Letztere giebt das Parallelogramm der Kräfte, wobei es genügt, die Untersuchung vorläufig nur auf zwei Kräfte zu beschränken, indem bei mehreren so lange die resultirende von zweien gesucht, und statt dieser letzteren substituirt werden kann, bis sie endlich auf zwei zurückgebracht sind[1].

Berücksichtigt man demnach blofs die Hauptresultate, ohne in das Einzelne der oft weitläuftigen Beweise einzugehen, so kommen hauptsächlich folgende Fälle in Betrachtung.

1. Werden die beiden, auf den Punct m zusammenwirken- Fig.
den Kräfte hinsichtlich ihrer Richtung und Stärke durch 183.
die Linien mp, mp' ausgedrückt, so beschreibt man das Parallelogramm der Kräfte mpdp' und findet md als die Resultirende entweder unmittelbar durch Construction oder analytisch, wenn allgemein die zusammenwirkenden Kräfte

---

diejenige nennen, wenn ein Körper zweien von einander unabhängigen Bewegungen zugleich folgt, z. B. eine um ihre Axe rotirende und im Raum bewegte Kugel.

2 Das Problem des Parallelogramm's der Kräfte findet man in allen allgemeinen Lehrbüchern der Mechanik abgehandelt. Den Beweis desselben hat man auf verschiedene Weise, mit mehr oder minderem Aufwande geometrischer Kunstgriffe versucht, wovon man eine sehr vollständige Uebersicht in zwei Preisschriften findet, nämlich: Praecipuorum inde a Newtono conatuum, compositionem virium demonstrandi, Recensio. Auct. Car. Jacobi. Gott. 1817. 4. und: Demonstrationum compos. virium expositio cet. Auct. J. H. Westphal. Gott. 1817. 4. Die vorzüglichsten sind von Dan. Bernoulli in Comm. Pet. 1728. I. 120; von d'Alembert in Traité de Dynamique. à Paris 1748. 4. p. 22 ferner in Opuscules math. I. 169, VI, 306. und in Mém. de l'Ac. 1769. p. 278; von Eytelwein in Stat. u. Mech. fester Körper. I. 7. vergl. G. XVIII. 181 von Laplace in Mech. d. Him. I. 2 nebst Zusatz von Burckhardt; hauptsächlich von Poisson in Traité de Méc. I. 6 und einer der leichtesten und bekanntesten von Duchayla in Correspondance de l'Ecole polytech. I. 83. Ihm folgen die meisten, z. B. Francoeur Traité de Méc. I. 11. Boucharlat Élem. de Méc. p. 7. Baumgartner die Naturlehre nach ihrem gegenwärt. Zustande. Wien 1824. I. 38 u. a.

p, p′, der eingeschlossene Winkel a, die Resultirende R genannt wird:

$$R = \sqrt{(p^2 + p'^2 + 2\,pp'\,\mathrm{Cos.}\,\alpha)}.$$

Fig. 184. 2. Sind mehrere zusammenwirkende Kräfte zu vereinigen, so seyen diese p, p′, p″ p‴ .... man zeichne das Parallelogramm von p und p′, und finde ihre Resultirende mr = r; ziehe der p″ parallel rr′ und finde die resultirende mr′ = r′, ziehe der mp‴ parallel r′r″ und finde die resultirende mr″ = r″..... so findet man durch ein solches fortgesetztes Verfahren r″ als Resultirende von n + 1 Zusammenwirkenden = p, p′, p″ .... p^{n+1}.

Beide hier erläuterte Sätze, wobei vorausgesetzt wird, dafs die zusammenwirkenden Kräfte in einer Ebene liegen, hat man durch verschiedene Maschinen anschaulich machen und auch beweisen wollen. Letzteres ist insofern unzulässig, als die geometrische Construction die Sache ungleich schärfer darthut; des Geschichtlichen wegen mögen die hauptsächlichsten indefs hier kurz erwähnt werden. Für zwei Kräfte hat Fig. 185. Nollet[1] zwei Maschinen angegeben. Die eine, wohl die sinnreichste und instructivste, besteht aus zwei Hämmerchen a, a, welche an den in Charnieren drehbaren Rahmen so gerichtet werden können, dafs sie einen Winkel von 0° bis 180° mit einander bilden, und indem sie, in irgend einen derselben gerichtet, aufgehoben und gleichzeitig losgelassen werden, gemeinschaftlich die Kugel m treffen, und diese, auf einem kleinen Billard liegend in der Diagonale ihrer gemeinschaftlichen Richtung fortstofsen. Die andere besteht Fig. 186. aus einem Brette ABCD, an welchem in J ein Faden befestigt ist, an dessen anderem Ende das Gewicht m über die verschiebbare Rolle G herabhängt. Bewegt man die letztere von G nach J, so wird das Gewicht m nach der Richtung GF und GJ sollicitirt, und bewegt sich also in der Diagonale mp. Eine der bekanntesten ist die Eberhard'sche Diagonalmaschine[2]. Sie besteht aus einer Tafel mit einer Walze Fig. 187. E, um welche ein Faden mit dem Gewichte m gewickelt ist. So wie diese auf dem Rande der Tafel sich hinwälzt, folgt das Gewicht theils dieser Bewegung, theils der Schwere in

1 Leçons de Physique experimentale. à Paris 1743. II. 24.

2 Erste Gründe d. Naturlehre. Halle 1767. 8. §. 64.

den Richtungen m b, m a, und gelangt somit nach p. Die von s'Gravesande[1] vorgeschlagene Maschine erläutert die Zusammensetzung mehrerer Kräfte. An dem horizontalen, auf einem geeigneten Stative ruhenden Rahmen M N P Q sind willkührlich viele Rollen angebracht, über welche die ungleichen Gewichte p, p', p'', p'''..... an Schnüren herabhängen, welche sich sämmtlich im Puncte m vereinigen, und als Kräfte gedacht diesen sollicitiren. Kennt man die Gewichte, und die Winkel, welche die Schnüre mit einander machen, so läfst sich der Ort angeben, welchen der Punct m einnehmen wird. Fig. 188.

3. Liegen die willkührlich vielen zusammenwirkenden Kräfte in einer Ebene, so kann man durch ein ähnliches Verfahren die Resultirende finden, und durch ein umgekehrtes diese wieder in ihre Zusammenwirkenden (composantes) zerlegen. Heifst nämlich im rechtwinkligen Dreieck A C B der Winkel bei A, α, der bei B, β, und A B, p, so ist $AC = p \cdot \text{Cos. } \alpha$ und $BC = p \cdot \text{Cos. } \beta$, wodurch die Linie $AB = p$ in ihre Zusammensetzenden zerlegt ist. Sind diesemnach $mp = p$, $mp' = p'$, $mp'' = p''$..... gegeben, und zieht man die Axen m x, m y, nennt die Winkel, welche sie mit jener machen α, α', α''.... mit dieser β, β', β''...., so sind die Linien p, p', p''....; die Resultirenden in Beziehung auf x von

$$p \cdot \text{Cos. } \alpha,\ p' \cdot \text{Cos. } \alpha',\ p'' \cdot \text{Cos. } \alpha''.....$$

und in Beziehung auf y von

$$p \cdot \text{Cos. } \beta,\ p' \cdot \text{Cos. } \beta',\ p'' \cdot \text{Cos. } \beta''.....$$

Nimmt man sie sämmtlich zusammen, und nennt

$$p \cdot \text{Cos. } \alpha + p' \cdot \text{Cos. } \alpha' + p'' \cdot \text{Cos. } \alpha'' + p''' \cdot \text{Cos. } \alpha''' + \ldots = X$$

$$p \cdot \text{Cos. } \beta + p' \cdot \text{Cos. } \beta' + p'' \cdot \text{Cos. } \beta'' + p''' \cdot \text{Cos. } \beta''' + \ldots = Y$$

nennt dann R die Resultirende derselben, so ist $X^2 + Y^2 = R^2$ oder $\sqrt{X^2 + Y^2} = R$.

Dieses läfst sich ohne Schwierigkeit auf diejenigen Fälle anwenden, in denen die Kräfte gröfsere Winkel als 90° mit x und y machen, indem dann nur die gehörigen positiven und negativen Zeichen der Cosinus zu beobachten sind. Nennt man ferner den Winkel, welchen die Resultirende mit der

---

1 Phys. Elem. math. I. 64.

Coordinatenaxe x macht = a, und mit der y = b, so ist X = R . Cos. a und Y = R . Cos. b, woraus Cos. $a = \frac{X}{R}$ und Cos. $b = \frac{Y}{R}$ erhalten wird. Es folgt hieraus also von selbst, dafs wenn p, p′, p″... desgleichen die Winkel mit x und y gegeben sind, die Resultirende R gefunden werden kann.

Sollen alle Kräfte im Gleichgewichte seyn, so ist R = 0, also auch $X^2 + Y^2 = 0$, welches zugleich X = 0 und Y = 0 voraussetzt. Wäre X allein = 0, so wäre R = Y, Cos. a = 0, Cos. b = 1 und der Punct m müfste sich in der Richtung der Axe y allein bewegen.

Durch ein umgekehrtes Verfahren kann man jede bewegende Kraft als die Resultirende einer willkührlichen Anzahl in einer Ebene liegender Kräfte ansehen, indem man sie entweder in zwei zusammenwirkende zerlegt (das Umgekehrte von 1) und von diesen eine jede wieder in zwei (das Umgekehrte von 2), oder indem man (nach 3) sie = R nennt, und dann die Werthe für p, p′, p″....; Cos. α, Cos. α'... und Cos. β, Cos. β'... bestimmt.

4. Liegen die sollicitirenden Kräfte nicht in einer Ebene, sondern im Raume, so kann man die Resultirende auf folgende Weise finden. Von dem zu bewegenden Puncte m aus ziehe man die drei Coordinatenaxen mx, my, mz. Wirken dann die Kräfte mb, bc, cd mit diesen parallel, so ist md die Resultirende. Heifsen dann die einzelnen wirkenden Kräfte p, p′, p″,.....; die Winkel, welche diese mit den Ordinatenaxen machen α, β, γ; α', β' γ'; α'', β'', γ''.....; so giebt die Zerlegung der Kräfte wie vorher p. Cos. α, p. Cos. β, p. Cos γ

Fig. 191.

p. Cos. α, p. Cos. β, p. Cos. γ
p′. Cos. α', p′. Cos. β', p′. Cos. γ'
p″. Cos. α'', p″. Cos. β'', p″. Cos. γ''
: : : : : :
: : : : : :

Es sind aber auf gleiche Weise

p. Cos. α + p′. Cos. α' + p″. Cos. α'' +... = X
p. Cos. β + p′. Cos. β' + p″. Cos. β'' +... = Y
p. Cos. γ + p′. Cos. γ' + p″. Cos. γ'' +... = Z

Universitäts- und Landesbibliothek Düsseldorf

und sonach $X^2 + Y^2 + Z^2 = R^2$, also die Resultirende $R = \sqrt{X^2 + Y^2 + Z^2}$. Heifsen dann die Winkel, welche die Resultirende mit den Coordinatenaxen macht a, b, c, so ist wiederum $X = R.\,Cos.\,a$, $Y = R.\,Cos.\,b$, $Z = R.\,Cos.\,c$, wodurch die zusammenwirkenden aus der Resultirenden gefunden werden. Dieses giebt wiederum

$$Cos.\,a = \frac{X}{R},\quad Cos.\,b = \frac{Y}{R},\quad Cos.\,c = \frac{Z}{R}.$$

Für den Zustand des Gleichgewichts aber ist $X^2 + Y^2 + Z^2 = 0$, welches voraussetzt, dafs auch $X = 0$, $Y = 0$ und $Z = 0$ sey.

Indem hiernach alle Kräfte auf drei rechtwinklige Coordinaten X, Y, Z zurückgeführt sind, so ist die Resultirende R die Diagonale eines Parallelopipedums von den Seiten X, Y, Z, und es mufs also die Resultirende AD durch die Puncte A und D gehen, wovon die Coordinaten des ersteren = X, Y, Z sind.

Um die Sache allgemein darzustellen, seyen für den An- Fig. griffspunct A die Coordinaten x', y', z', so sind sie für den 192. Punct D:

$$x' + X;\ y' + Y;\ z + Z.$$

Hiernach ist also die Resultirende eine gerade Linie, deren Gleichung ist

$$z = ax + b,\ z = a'y + b \ldots.$$

und wenn man hierin statt x, y, z die Ordinaten des Punctes D setzt:

$z' + Z = ax' + aX + b$, $z' + Z = a'y' + a'Y + b' \ldots.$

Weil aber die Coordinaten x', y', z' für den Punct A der Gleichung auch genügen müssen, so erhält man:

$$z' = ax' + b,\ z' = a'y' + b' \ldots..$$

Letztere von ersterer abgezogen giebt

$$Z = aX,\ Z = a'Y,\ \text{also}\ a = \frac{Z}{X},\ a' = \frac{Z}{Y}.$$

Wird auch b und b' eliminirt, so erhält man

$$z - z' = a(x - x'),\ z - z' = a'(y - y')$$

und hierin für a und a' substituirt giebt für die Gleichung der Resultirenden

$$z - z' = \frac{Z}{X}(x - x'),\ z - z' = \frac{Z}{Y}(y - y').$$

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

5. Wirken zwei Kräfte parallel, so findet man die Resultirende auf folgende Weise. Es seyen die beiden parallelen, auf die Enden der geraden Linie AB wirkenden Kräfte P, Q durch die Linien AP, BQ vorgestellt. Man setze die beiden gleichen und entgegengesetzten (mithin einander aufhebenden) Kräfte AM, BN hinzu, construire die Resultirenden AD, BJ, und verlängere sie rückwärts, bis sie sich in C schneiden. Von hieraus construire man CE = AD, CF = BJ, welche von selbst in die Kräfte CK, KF, CL, LE zerfallen, unter denen KF, LE einander aufheben, und indem CL = AP = P; CK = BQ = Q sind, und in gleicher Richtung auf C wirken, so stellen sie die Wirkung dieser Kräfte dar. Es ist aber die Resultirende R = P + Q. Ferner ist

Fig. 193.

$$CO : AO = CL : EL$$
$$OB : CO = KF : CK$$
$$\overline{OB : AO = CL \cdot KF : EL \cdot CK}$$

und da $EL = KF = AM = BN$

$$OB : AO = P : Q.$$

Der Angriffspunct O der Resultirenden der Kräfte P und Q theilt somit die gerade Linie AB in zwei, den Intensitäten der Kräfte proportionale Theile.

Es ist ferner

$$OB + OA : OA = P + Q : Q$$
$$AB : OA = R : Q$$

Eben so ist

$$AB : BO = R : P$$

woraus $P = \frac{R.BO}{AB}$ und $Q = \frac{R.AO}{AB}$ folgt.

Fig. 194. Wirken die Kräfte schief auf den Körper, so ändert dieses die Construction nicht; denn ist O der Angriffspunct der Resultirenden, und zieht man durch diesen die lothrechte Linie CD auf P und Q, so ist $AO : BO = CO : DO$.

Fig. 195. Wirkt aber eine der Kräfte in entgegengesetzter Richtung, so ist die Resultirende der Differenz derselben gleich. Denn es sey S die Resultirende der beiden Kräfte P und R, so ist $S = P + R$. Ist dann $Q = S$, so ist $R = Q - P$. Nimmt man ferner das so eben gefundene Verhältniss

$$AB : BO = R : P,$$

so ist für R substituirt

$$BO = \frac{P \cdot AB}{Q - P}$$

woraus hervorgeht, dafs mit der Abnahme der Differenz von Q und P die Entfernung OB wächst, und für $Q = P$ unendlich wird. In diesem Falle kann also das Gleichgewicht nicht hergestellt werden, vielmehr wird AB eine drehende Bewegung um sein Centrum erhalten.

Man kann hiernach die Resultirende von einer beliebigen Anzahl paralleler Kräfte finden, welche auf verschiedene mit einander durch gerade Linien verbundene Puncte wirken. Es seyen dieses die Kräfte p, p', p'', p''', p^{iv} und ihre An- Fig. griffspuncte in A, B, C, D, E. Man sucht die Resulti- 196. rende der beiden Kräfte p und p' und findet ihren Angriffspunct in M, indem $AB : AM = p + p' : p'$, woraus $AM = \frac{AB \cdot p'}{p + p'}$. Zieht man dem MC, so ergiebt sich auf gleiche Weise $MN = \frac{MC \cdot p''}{p + p' + p''}$ und so fort NO und endlich K als Angriffspunct der Resultirenden aller Kräfte. Für entgegengesetzte und in schiefer Richtung wirkende Kräfte liegen die Regeln im Vorhergehenden.

Um die Coordinaten des Centrums der parallelen Kräfte zu finden, seyen m, m', m'' . . . die Angriffspuncte der Kräfte p, p', p'' . . . .

die Coordinaten des Punctes m seyen x, y, z.

. . . . . m' . . . x', y', z'.

. . . . . m'' . . . x'', y'', z''.

: : :

die Coordinaten des Centrums der Kräfte $x_{,}$, $y_{,}$, $z_{,}$; N der Fig. Angriffspunct der Resultirenden der beiden Kräfte p und p'; 197. so ist

$$MM' : NM' = p + p' : p$$

$$MM' : NM' = ML' : NL$$

also $ML' : NL = p + p' : p$.

und $(p + p')\, NL = p \cdot ML'$.

auf beiden Seiten $(p + p')\, LK$ addirt

$$(p + p')(NL + LK) = p(ML' + LK) + p'.LK,$$

woraus leicht wird

$$(p + p')NK = p.MH + p'.M'H'.$$

Heifst dann Q die Resultirende von p und p', die Ordinate ihres Angriffspunctes Z, so ist $QZ = pz + p'z'$.

Heifst dann Q' die Resultirende der Kräfte Q und P'' und Z' die Ordinate des Angriffspunctes Q', so hat man $Q'Z' = QZ + p''z'' = pz + p'z' + p''z''$; und, indem man so fortfährt, für die Resultirende aller parallelen Kräfte $= R$ und die Ordinate ihres Angriffspunctes $= z_{,}$

$$Rz_{,} = pz + p'z' + p''z'' + \ldots\ldots$$

Hiernach ist also das *Moment der Resultirenden der Kräfte* p, p', p'' . . . . *hinsichtlich der Coordinaten* x, y *gleich der Summe der Momente der einzelnen Kräfte hinsichtlich auf diese Coordinaten.* Auf gleiche Weise sind die Momente der Kräfte hinsichtlich zweier anderen Coordinaten

$$Ry_{,} = py + p'y' + p''y'' + \ldots.$$
$$Rx_{,} = px + p'x' + p''x + \ldots.$$

Fig. 198. Um die Bedingungen des *Gleichgewichtes* paralleler Kräfte zu finden, nehme man die Ordinatenaxe z mit der Richtung der Kräfte parallel. Hat man demnächt alle nach einer Seite wirkende Kräfte in die Resultirende $R_{,}$ und die nach der entgegengesetzten wirkenden in die Resultirende $R_{,,}$ vereinigt, so wird das Gleichgewicht hergestellt seyn, wenn beide gleich und gerade entgegengesetzt sind. Letzteres kann nur statt finden, wenn die Entfernung $C'C'' = 0$ ist, also wenn die Coordinaten x, und y, des Centrums C' den Coordinaten $x_{,,}$ $y_{,,}$ des Centrums C'' gleich sind. Hieraus folgt $x_{,} = x_{,,}$ und $y_{,} = y_{,,}$ aus dem Ersteren aber $R_{,} = -R_{,,}$ und aus beiden $R_{,}x_{,} = -R_{,,}x_{,,}$; $R_{,}y_{,} = -R_{,,}y_{,,}$

Ist dann $R_{,}x_{,} = px + p'x' + p''x'' + \ldots$

$$R_{,,}x_{,,} = p^{IV}x^{IV} + p^{V}x^{V} + p^{VI}x^{VI} + \ldots$$

so wird

$$px + p'x' + p''x'' + \ldots + p^{IV}x^{IV} + p^{V}x^{V} + \ldots = 0$$

und eben so

$$py + p'y' + p''y'' + \ldots + p^{IV}y^{IV} + p^{V}y^{V} + \ldots = 0$$

und da $p + p' + p'' +$ die zusammenwirkenden von $R_{,}$ sind, so ist

$$p + p' + p'' + \ldots + p^{IV} + p^{V} + \ldots = 0.$$

Universitäts- und Landesbibliothek Düsseldorf

Das Gleichgewicht wird also statt finden, *wenn die Summe der Momente der Kräfte hinsichtlich auf zwei rechtwinkliche und mit der gemeinschaftlichen Richtung parallele Ebenen* $= 0$ *ist, und wenn zugleich die Summe der Kräfte* $= 0$ ist.

6. Wirken die verschiedenen Kräfte p', p'', p''' . . . . willkührlich im Raume, sind ferner die Coordinaten des Angriffspunctes von $p' = x'$, y', z'; von $p'' = x''$, y'', z''; von $p''' = x'''$, y''', z''' u. s. w. die Winkel, welche sie mit den Coordinateraxen machen bei $p' = \alpha'$, β', γ'; bei $p'' = \alpha''$, β'', γ''; bei $p''' = \alpha'''$, β''', γ''' u. s. w., so findet man den Zustand des Gleichgewichts, indem man sie zerlegt in solche, welche in der Ebene der x, y und welche parallel mit der Axe z liegen.

Liegt keine der Kräfte parallel mit der Ebene der x, y, so sey p' eine der gegebenen Kräfte mit ihrem Angriffspuncte in m'. Man verlängere sie, bis sie in C' in die Ebene der x, y fällt, und zerfälle sie dann in C1 parallel mit z und C'n in der Ebene der x, y, wodurch die Bedingung erfüllt ist. Wenn aber eine der Kräfte parallel mit der Ebene der x, y ist, so kann dieses Verfahren nicht statt finden. Man ziehe also von m' aus mit z parallel $m'o = m'o'$ und nenne diese g' und $-g'$, so kann man den Punct m' durch p' und g' und $-g'$ sollicitirt ansehen. Wird dann p' und $-g'$ in die Resultirende R' vereinigt, so wird der Punct m' durch zwei Kräfte sollicitirt, wovon $-g'$ mit z parallel ist, und R' die Ebene x, y treffen wird, daselbst aber in C' in zwei Kräfte, die eine parallel mit z, die andere in der Ebene der x, y liegend, nach dem eben angegebenen Verfahren zerlegt werden kann.

Fig. 199.

Fig. 200.

Um die Bedingungen des Gleichgewichts der hiernach construirten Kräfte zu finden, sind die Coordinaten der Angriffspuncte zu suchen. Es ist aber oben (4 am Ende) gezeigt, dafs die Gleichungen einer Resultirenden R' für einen beliebigen Punct, dessen Coordinaten x', y', z' sind, durch

$$z - z' = \frac{Z}{X}(x - x'); \quad z - z' = \frac{Z}{Y}(y - y')$$

ausgedrückt werden. Indem hierin aber X, Y, Z die Projectionen der Resultirenden R' auf die Axen der Coordinaten

ausdrücken, diese Projectionen aber den Zusammensetzenden von R', den Coordinatenaxen parallel, gleich sind, so ist nur erforderlich, jene durch diese auszudrücken. Es ist aber R' die Resultirende von p' und $-g$, also auch von $p' \cos. \alpha'$, $p' \cos. \beta'$, $p' \cos. \gamma'$, $-g'$. Indem aber diese Kräfte den Coordinatenaxen parallel wirken, so giebt dieses $X = p'. \cos. \alpha'$; $Y = p'. \cos. \beta'$; $Z = p'. \cos. \gamma' - g'$, welche Werthe in die obigen Gleichungen gesetzt giebt:

$$z - z' = \frac{p'. \cos. \gamma' - g'}{p'. \cos. \alpha'} (x - x')$$

$$z - z' = \frac{p'. \cos. \gamma' - g'}{p'. \cos. \beta'} (y - y')$$

Fig. 200. Sollen hiernach die Coordinaten des Punctes C' gefunden werden, wo die Resultirende R' die Ebene der x, y trifft, so ist hier $z = 0$. Heifsen aber die Coordinaten $x = a_,$; $y = b_,$ und wird dieses in die obigen Gleichungen substituirt, so ist:

$$-z' = \frac{p'. \cos. \gamma' - g'}{p'. \cos. \alpha'} (a_, - x')$$

$$-z' = \frac{p'. \cos. \gamma' - g'}{p'. \cos. \beta'} (b_, - y'),$$

woraus

$$a_, = x' - \frac{z'. p'. \cos. \alpha'}{p'. \cos. \gamma' - g'}$$

$$b_, = y' - \frac{z'. p'. \cos. \beta'}{p'. \cos. \gamma' - g'}.$$

Fig. 201. Ist eine der Kräfte durch die Linie $M'R'$ ausgedrückt, so kann man sie bis zum Puncte C' fortführen, indem man $C'D' = M'R'$ nimmt. Es läfst sich aber $C'D'$ in drei rechtwinklich in C' zusammengefügte zerlegen, und somit $C'D'$ eben wie $M'R'$ als die Resultirende der drei Kräfte ansehen. Diesemnach ist der Punct C' sollicitirt durch drei Kräfte, $p' \cos. \alpha'$, $p' \cos. \beta'$, $p' \cos. \gamma' - g'$; deren erste beide in der Ebene der x, y liegen, letztere aber mit z parallel ist. Man erhält sonach statt der Kraft p', deren Angriffspunct in M' ist:

in M' die Kraft g' parallel mit z

in C' die Kraft $p' \cos. \gamma' - g'$ parallel mit z

in C' die Kraft p' Cos. α'
in C' die Kraft p' Cos. β' } in der Ebene von x, y.

Auf gleiche Weise verfährt man mit den andern gegebenen Kräften p'', p''' .... zu denen g'' — g'', g''' — g''' ... gehört, und bei denen die mit der Ordinatenaxe z parallelen Kräfte für die Puncte M'', M''' .... sind g'', g''' .... und für die Puncte C'', C''' .... p'' Cos. γ'' — g'', p''' Cos. γ''' — g''' ....; die in der Ebene der x, y liegenden Kräfte für die Puncte C'', C''' .... aber sind p'' Cos. α'', p''' Cos. α''', p''' Cos. γ''' — g''' und p'' Cos. β'', p''' Cos. β''', wodurch alle einzelnen Kräfte construirt werden können.

Wenn man hiermit zugleich die Frage über die Bedingungen des Gleichgewichts verbindet, so ist klar, dafs dieses statt finden mufs, wenn *zuerst* die mit der Axe der z parallel wirkenden Kräfte im Gleichgewichte sind, und *zweitens* die in die Ebene der x, y fallenden.

Um die *erste* Bedingung zu erfüllen, ist erforderlich, dafs 0 werde:

a. die Summe der Kräfte parallel mit der Axe z;
b. die Summe der Momente hinsichtlich auf die Ebene der y, z;
c. die Summe der Momente hinsichtlich auf die Ebene der x, z.

a. Die erste Bedingung erfordert einfach

p' Cos. γ' — g' + g' + p'' Cos. γ'' — g'' + g'' + ... = 0

woraus p'. Cos. γ' + p''. Cos. γ'' + ... = 0.

b. Die zweite erfordert zweierlei Momente zu berücksichtigen, zuerst die der Kräfte g', g'' ... welche auf die Angriffspuncte M', M'' .... wirken, und zweitens die der Kräfte p' Cos. γ' — g', p'' Cos. γ'' — g'' ..... welche auf die Puncte C', C'' .... wirken. Das Moment der Kraft g' Fig. in Beziehung auf die Ebene der y, z ist g'. M' N' = 202.
g'. B' D' = g', A G' = g'. x'. Das Moment der Kraft g' in Beziehung auf die Ebene der y, z ist g'. M' N' = = g'. B' D' = g'. A G' = g'. x'. Das Moment der Kraft p' Cos. γ' — g' für den Punct C' ist in Beziehung auf dieselbe Ebene = (p'. Cos. γ' — g') E' C' = (p'. Cos. γ' — g') $a_{,}$; mithin ist die Summe dieser Momente g' x' + (p' Cos. γ' — g') $a_{,}$, und hierin für $a_{,}$ substituirt: g' x' + (p'. Cos. γ' — g') $\left(x' - \frac{z' p'. \text{Cos. } \alpha'}{p'. \text{Cos. } \gamma' - g'} \right)$ welches p' (x' Cos.

$\gamma' - z' \text{ Cos. } \alpha'$) giebt, und wenn man für die Puncte M'', M''' .... C'', C''' .... auf gleiche Weise verfährt, so mufs seyn:

$p'(x'. \text{Cos. } \gamma' - z'. \text{ Cos. } \alpha') + p''(x''. \text{Cos. } \gamma'' - z''. \text{Cos. } \alpha'') + \ldots = 0$

c. Die dritte Bedingung betreffend ist das Moment der Kraft g' auf den Angriffspunct M' rücksichtlich der Ebene der x, z durch g'. $M'L' = g'$. $B'G' = g'y'$ dargestellt; das der Kraft $p' \text{ Cos. } \gamma' - g'$ auf den Punct C' durch $(p'. \text{ Cos. } \gamma' - g')\, b_{,}$ und die Summe beider ist $g'y' + (p'. \text{ Cos. } \gamma' - g')\, b_{,}$. Wird dann für $b_{,}$ der oben gefundene Werth substituirt und mit andern Puncten M'', M''' ... C'', C''' .... eben so verfahren, so erhält man p' (y'. Cos. $\gamma' - z'. \text{Cos. } \beta') + p''.(y''. \text{Cos. } \gamma'' - z''. \text{Cos. } \beta'') + \ldots = 0$

Um die *zweite* Bedingung zu erfüllen, ist nothwendig, dafs 0 werde:

a. die Summe der Kräfte parallel mit der Axe x

b. die Summe der Kräfte parallel mit der Axe y

c. die Summe der Momente der Kräfte in Beziehung auf den Anfangspunct der Bewegung. Die beiden ersten erhält man einfach, wenn

$p' \text{ Cos. } \alpha' + p'' \text{ Cos. } \alpha'' + p''' \text{ Cos. } \alpha''' + \ldots = 0$

$p' \text{ Cos. } \beta' + p'' \text{ Cos. } \beta'' + p''' \text{ Cos. } \beta'' + \ldots = 0$

Fig. 203. Hinsichtlich des dritten sey C' der Angriffspunct der beiden Kräfte $p'. \text{ Cos. } \alpha'$, $p' \text{ Cos. } \beta'$. Sucht man die Momente dieser Kräfte hinsichtlich auf den Anfangspunct A, so ist das Moment der Kraft $p' \text{ Cos. } \alpha$:

$p' \text{ Cos. } \alpha'. AE' = p' \text{ Cos. } \alpha' C'F' = p' \text{ Cos. } \alpha'. b_{,}$,

und eben so ist:

$p' \text{ Cos } \beta'. C'E' = p' \text{ Cos. } \beta'. AF' = p' \text{ Cos. } \beta'. a_{,}$.

Beide müssen entgegengesetzt seyn, weil sie den Körper um den Punct A nach entgegengesetzten Seiten zu drehen streben, und man erhält also

$p' \text{ Cos. } \alpha'. b_{,} - p' \text{ Cos. } \beta'. a_{,} = 0$

für $a_{,}$ und $b_{,}$ substituirt, was sich aufhebt, weggestrichen giebt

$y'p' \text{ Cos. } \alpha - x'p' \text{ Cos. } \beta' = 0$

und indem man ebenso mit den Puncten C'', C''' .... verfährt

$p'(y' \text{ Cos. } \alpha' - x' \text{ Cos. } \beta') + p''(y'' \text{ Cos. } \alpha'' - x'' \text{ Cos. } \beta'') + \ldots = 0.$

Universitäts- und Landesbibliothek Düsseldorf

Hierbei sind indefs blofs diejenigen Kräfte berücksichtigt, welche einen ruhenden Körper zu bewegen streben[1], und ihrer Natur nach nur eine geradlinige Bewegung hervorbringen können. Diese ist dann dem Ueberschusse des Momentes der nach einer Richtung wirkenden Kräfte über die Momente der in entgegengesetzter Richtung wirkenden gleich. Das Gesetz, wonach man das Gleichgewicht der sich einander aufhebenden Kräfte aufsucht, hat man ehemals das Cartesische genannt, später das *Princip der virtuellen Geschwindigkeiten*, indem jede Kraft zwar das Bestreben hat, den gegebenen Punct in ihrer Richtung und mit der ihr zukommenden Stärke zu bewegen, hieran aber durch die andern Kräfte gehindert wird[2].

Wird ein Körper gegen eine unbewegliche Ebene bewegt, so wird seine Bewegung hierdurch gehindert werden, aber nur vollständig, wenn die Richtung seiner Bewegung auf die Ebene normal ist, widrigenfalls wird er mit einem aliquoten Theile seiner Bewegung herabgleiten.

Die Zusammensetzung und Zerlegung der Kräfte kommt in der Mechanik und überhaupt bei allen Bewegungen so häufig vor, dafs man sie als allgemein anwendbar betrachten darf, z. B. beim Ziehen der Schiffe, Heben der Stammklötze, bei der Construction der schiefen Fläche, und der verschiedenen Kräfte, welche die Magnetnadeln in ihre eigenthümliche

---

1 Die Darstellung ist nach Boucharlat Elémens de Mécanique. Par. 1815. p. 1 — 66, welcher dem Poisson in Traité de Mécanique I. p. 11 — 98 folgt, aber leichter ist. Auf ähnliche Weise ist dieser Gegenstand behandelt in den Lehrbüchern der Statik. Die Bedingungen des Gleichgewichts der Kräfte nämlich, welche eigentlich unter den Artikel Statik gehören, sind hier zugleich mit berücksichtigt, um unnöthige Wiederholungen zu vermeiden, und wird bei jenem Artikel hierauf verwiesen werden.

2 Brandes Lehrbuch der Ges. des Gleichgew. u. d. Bew. I. 38. Dieses Princip ist als allgemeines dynamisches Princip vorzüglich benutzt durch d'Alembert in Traité de Dynamique. Par. 1748. noch mehr und mit vorzüglicher Eleganz und scharfsinniger Behandlung durch La Grange in Mécanique analytique. Par. 1811 u. 15. II Vol. 4. Vergl. Graf v. Buquoy Weitere Entwickelung und Anwendung des Gesetzes der virtuellen Geschwindigkeiten. Leipz. 1814.

Lage bringen, bei den fliegenden Brücken[1], der Bewegung der Windmühlenflügel, der Rädchen in den Ventilatoren u. s. w. Es mag daher genügen, die Sache nur an einem Beispiele zu zeigen. Es sey AB der Kiel des Schiffes, CE das dem in Fig. 204. der Richtung VD blasenden Winde schief entgegengespannte Segel, so läfst sich die Kraft desselben in zwei zerlegen, deren eine mit dem Segel parallel ist und daher verschwindet, die andere DG aber lothrecht auf dasselbe wirkt. Diese würde ohne den Widerstand des Wassers das Schiff in der gegebenen Richtung bewegen. Aus Rücksicht auf diesen aber zerfällt sie wieder in zwei, nämlich DF, welche auf die Axe des Schiffes senkrecht ist, und FG, welche mit demselben parallel läuft. Nimmt man den Widerstand des Wassers so stark an, dafs er die erstere ganz aufhebt, so würde die letztere allein übrig bleiben. Weil aber die Bewegung in der Richtung von DF nicht ganz aufgehoben wird, und auch gegen das Vordertheil des Schiffes in der Richtung GF = AB einiger Widerstand statt findet, so ist die Bahn des Schiffes nicht genau mit GF parallel, sondern liegt seitwärts von DA in der Richtung der Linie DL, welche mit dem Kiele den Winkel BDL (*angle de la dérive*) bildet[2].

Unter die Bewegungen durch zusammenwirkende Kräfte gehören auch diejenigen Fälle, in denen ein Körper in der einmal erhaltenen Bewegung verharret, und zugleich durch eine andere Kraft von der geraden Bahn abzuweichen sollicitirt wird, z. B. ein aus dem Mastkorbe eines schnell segelnden Schiffes herabfallender Körper u. dgl. m.[3].

Ueber Gewichte, welche an Faden ziehen, und sie nach verschiedenen Richtungen spannen, hat Newton[4] Untersuchungen angestellt, welche sich auf die Zusammensetzung und Zerlegung der Kräfte beziehen, und von Mylius[5] erläutert sind.

---

1 Leupold Theat. Pont. Cap. XX. Musschenbroek Int. I. §. 578.

2 Muschenbroek Int. I. §. 572. daselbst sind noch mehrere Beispiele angeführt.

3 S. *Fall. Trägheit.*

4 Arith. univ. probl. 48. 49.

5 Acta Acad. El. Scient. util. Erfordinae. I. art. V.

Einige Schriftsteller nennen die unveränderlichen bewegenden Kräfte *absolute*, die veränderlichen aber *relative*; auch werden die Kräfte in *lebendige* und *todte* eingetheilt, und es sind dann die ersteren diejenigen, welche wirkliche Bewegung hervorbringen, die letzteren aber solche, welche dieses wegen widerstehender Hindernisse nicht vermögen. Sonst heifsen lebendige Kräfte auch diejenigen, welche einem endlichen Körper in einem unendlich kleinen Zeittheilchen eine endliche Geschwindigkeit geben; todte hingegen diejenigen, welche hierzu einer endlichen Zeit bedürfen[1]. Diese Bezeichnungen sind überflüssig, und die letzte ist ohnehin an sich verwerflich, weil danach eine lebendige Kraft unendlich seyn müfste. Die erste Bezeichnung kommt mit der von Leibnitz gegebenen überein, wonach z. B. die Kraft eines fallenden Körpers eine lebendige genannt wird, zum Unterschiede des blofsen Druckes desselben, welche eine todte heifst[2].

B. Geschwindigkeit der Bewegung.

Es ist oben schon im Allgemeinen angegeben, dafs es zwar absolute Mafse des Raumes (Zolle, Linien, Erdhalbmesser u. dgl.) und der Zeit (Stunden, Secunden, Jahre u. s. w.) giebt, aber kein absolutes Mafs der Geschwindigkeit. Letztere ist also bloís relativ, und wird durch die Vergleichung der Räume bestimmt, welche von verschiedenen Körpern in gegebenen Zeiten durchlaufen werden. So die Sache in ihrer Allgemeinheit genommen, ist sie sehr einfach[3]. Sind also die Körper a und a′; die Geschwindigkeiten ihrer Bewegungen C und c; die durchlaufenen Räume S und s; die hierzu erforderlichen Zeiten T und t, so ist allgemein $t : T = s : \frac{st}{T}$, desgleichen $C : c = S : \frac{Sc}{C}$ oder $C : c = \frac{S}{T} : \frac{s}{t}$ woraus man sieht, dafs die Geschwindigkeiten den Räumen direct, den Zeiten aber umgekehrt proportional sind. Endlich ist auch $S : s = CT : ct$, oder die Räume stehen im zusammengesetzten Verhältnisse der Zeiten und Geschwindigkeiten.

1 Vega Vorlesungen über Math. III. 22.
2 Montucla. II. 413.
3 L. Euler Mechan. I. 10.

Die Geschwindigkeit der Bewegung ist entweder gleichbleibend gleichförmig oder veränderlich, und die letztere ist wieder gleichmäfsig oder ungleichmäfsig beschleunigt oder vermindert.

1. Die *gleichförmige* Bewegung setzt voraus, dafs in gleichen Zeiten gleiche Räume durchlaufen werden. Behalten wir daher die vorige Bezeichnung bei, so ist $s = c\,t$ die allgemeine Gleichung für die gleichbleibende Geschwindigkeit. In der Natur giebt es, genau genommen, nur wenige Bewegungen von gleichbleibender Geschwindigkeit. Eine Uhr scheint zwar ihre Zeiger in gleichbleibender Geschwindigkeit zu bewegen, allein man sieht bei genauerer Prüfung bald, dafs diese Bewegung aus lauter kleinen ungleichförmigen, durch die Schwingungen des Pendels oder der Unruhe bedingten Bewegungen zusammengesetzt ist, deren Summen dann allerdings für gleiche Zeiten gleiche Räume, und in sofern also auch gleiche Geschwindigkeiten geben. Die einzige in der Natur vorhandene, stets gleichbleibende Geschwindigkeit ist in der Axendrehung der Erde gegeben, welche sich nach La Place[1] seit Hipparchs Zeiten, also ohngefähr 150 J. vor C. G. bis jetzt noch um nicht 0,01 Sec. geändert hat, und daher auch zur Controle der in ihrer Summe gleichförmigen Bewegung der Uhren benutzt wird. Alle übrigen gleichförmigen Bewegungen können nur als genähert angesehen werden, obgleich man bei vielen Maschinen absichtlich eine solche zu erhalten strebt. Dahin gehört hauptsächlich das Schwungrad[2], namentlich bei den Dampfmaschinen u. dgl. m.
2. Eine *gleichmäfsig beschleunigte oder verzögerte* Bewegung wird am leichtesten vorstellbar, wenn man den allgemeinen Grundsatz der Mechanik berücksichtigt, dafs jeder bewegte Körper in der einmal angenommenen Bewegung beharret, wenn nicht eine neue bewegende oder die Bewegung hindernde Kraft hinzukommt. Man denkt also, dafs die einmal angenommene Bewegung von gegebener

---

1 Méc. Cél. II. L. V. n. 12.

2 S. *Schwungrad.*

Geschwindigkeit ein verschwindendes Zeittheilchen fortdauert, und alsdann durch eine der oben erwähnten, Bewegung erzeugenden Ursachen, abermals für ein verschwindendes Zeitelement, zunimmt oder abnimmt. Die wirkende Kraft mufs dann als eine *beständig* verzögernde oder beschleunigende angesehen werden, weil sie allezeit auf die nämliche Weise den beweglichen Körper afficirt.

Berücksichtigen wir vorerst die *Beschleunigung*, als am häufigsten vorkommend, nennen allgemein den durchlaufenen Raum s, die Zeit t, die Anfangsgeschwindigkeit c, die Endgeschwindigkeit v, die Zunahme g, so wird $c + g$ die Geschwindigkeit am Ende des ersten Zeittheilchens, $c + 2g$, $c + 3g$ am Ende des zweiten und dritten Zeittheilchens, also allgemein:

$$v = c + gt$$

die Geschwindigkeit am Ende der Zeit t seyn. Wird für eine verschwindende Vermehrung der Zeit $= dt$ eine verschwindende Vergröfserung des durchlaufenen Raumes ds angenommen, und betrachtet man während dieses Zeittheilchens die Bewegung als gleichförmig, und der in der Zeit t erlangten Geschwindigkeit $= v$ zugehörig, so ist

$$ds = v\,dt \text{ oder } ds = c\,dt + g\,t\,dt,$$

woraus $s = C + ct + \frac{gt^2}{2}$

wird, worin C als Constante den im Anfange der Zeit t schon durchlaufenen Raum bezeichnet, welchen man, wenn von einem einzigen bewegten Körper die Rede ist $= 0$ setzen, und den Raum erst vom Anfange der untersuchten Bewegung an messen kann. Ist in diesem Ausdrucke g positiv, so ist die Bewegung beschleunigt, ist es negativ, so ist sie vermindert, und gleichförmig, wenn $g = 0$ ist. Wenn in der gegebenen Formel ferner $C = 0$ und auch $c = 0$ ist, so erhält man allgemein

$$s = \frac{gt^2}{2}$$

welches das Gesetz ausdrückt, dafs *bei gleichmäfsiger Beschleunigung der Bewegung der in einer gegebenen Zeit durchlaufene Raum dem Quadrate der Zeit direct proportional ist,*

und in Beziehung auf $\frac{g}{2}$, *dafs der in einer gegebenen Zeit durchlaufene Raum nur die Hälfte desjenigen ist, welcher mit der am Ende der Zeit erlangten Geschwindigkeit, diese als gleichbleibend angenommen, durchlaufen seyn würde.*

Wirkt die Kraft verzögernd, so entsteht eine gleichmäßsig verminderte Bewegung. In diesem Falle ist

$$v = c - gt \text{ und } s = ct - \frac{gt^2}{2}$$

Die hier angegebenen Gesetze[1] kommen vor allen Dingen in Betrachtung bei den verschiedenen Erscheinungen des Fallens, indem fallende Körper in jedem neu hinzukommenden Zeittheilchen durch die stets gleichmäßsig wirkende Schwere aufs neue sollicitirt werden[2].

3. Ist die Stärke der auf einen Körper wirkenden, oder seiner Bewegung entgegen wirkenden beschleunigenden Kraft nicht stets gleich, so wird die durch sie erzeugte oder verzögerte Geschwindigkeit in gleichen Zeiträumen ungleich vermehrt oder vermindert werden, hiernach also die Bewegung keine gleichmäßsig, sondern eine *ungleichmäßsig beschleunigte* oder *verminderte* seyn. Insbesondere giebt der Widerstand der Mittel, welcher mit der Geschwindigkeit der Bewegung wächst, ein Beispiel dieser Art ab, desgleichen die in verschiedenen Entfernungen vom Mittelpuncte der Erde veränderliche Schwere. Bei denjenigen Bewegungen, welche unter diese Classe gehören, sind der durchlaufene Raum, die jederzeit hinzukommende Vermehrung oder Verminderung der Bewegung und die dieses bewirkende Kraft, drei Functionen der Zeit. Heifst dann t die Zeit, s der durchlaufene Raum, v die erlangte Geschwindigkeit, so ist allgemein[3]

---

1 Nach Poisson Traité de Méc. I. 266 ff. Andere, vorzüglich ältere elementare Darstellungen dieser Gesetze werden hier, wie billig, übergangen.

2 S. *Fall.*

3 Einen allgemeinen Beweis für diesen Ausdruck liefert Poisson a. a. O. I. 282. Derselbe ist der nämliche, welcher oben unter Nro. 2.

$v = \frac{ds}{dt}$, oder $ds = v\,dt$.

Um die beschleunigende Kraft $= \varphi$ zu finden, mufs man diese mit einer bekannten vergleichen. Zwei beschleunigende Kräfte verhalten sich nämlich wie die in gleichen Zeiten durch dieselben erzeugten Geschwindigkeiten. Ist aber eine derselben eine veränderliche, so mufs das Zeitintervall so klein genommen werden, dafs man die durch die beschleunigende Kraft erzeugte Geschwindigkeit für die Dauer desselben als gleichbleibend ansehen kann. Es sey demnach g die Geschwindigkeit, welche eine gleichmäfsig wirkende beschleunigende Kraft p einem Körper in der Zeit t mittheilt, so ist $g\,dt$ die in dem Differential der Zeit $= dt$ erhaltene Geschwindigkeit. Während dieser nämlichen Zeit erzeugt aber die Kraft φ eine Geschwindigkeit $= dv$ (indem die am Ende der Zeit t erlangte Geschwindigkeit $= v$ gesetzt, die am Ende der Zeitt $+ dt$ erlangte $= v + dv$ seyn wird), woraus man erhält

$$\varphi : p = dv : g\,dt; \text{ also } \varphi = \frac{p}{g} \cdot \frac{dv}{dt}$$

Nimmt man hierin p als Einheit, und die zugehörige Gröfse g gleichfalls als Einheit[1], so wird der Ausdruck einfacher, nämlich $\varphi = \frac{dv}{dt}$, und für v den oben gefundenen Werth substituirt wird $\varphi = \frac{d^2 s}{dt^2}$.

Von diesen allgemeinen Sätzen wird bei den einzeln zu erörternden Bewegungen, namentlich beim Fall der Körper

---

für die gleichförmig beschleunigte Geschwindigkeit gebraucht ist, und besagt, dafs das Differential des durchlaufenen Raumes dem Producte aus dem Differential der Zeit in die Geschwindigkeit der Bewegung gleich ist, dessen Richtigkeit aus sich selbst hervorgeht.

1 Man nimmt im Allgemeinen stets die Schwere als die beschleunigende Kraft an, und dann wird für $t = 1''$ die Gröfse g dem Raume gleich, durch welchen ein Körper an der Erdoberfläche in dieser Zeit lothrecht frei herabfällt. S. *Fall*.

in Entfernungen vom Mittelpuncte der Erde, wo die Schwere verschieden ist, Gebrauch gemacht werden[1].

C. Bahn des Körpers.

In wiefern die Bahn, in welcher ein durch eine oder mehrere Kräfte sollicitirter Punct (der Schwerpunct eines Körpers und also auch der Körper selbst) sich bewegt, durch die Zahl, Richtung und Stärke dieser Kräfte bestimmt werde, läfst sich nach Poisson[2] auf folgende Weise einfach darstellen. Im Allgemeinen lassen sich hierbei zwei Fälle unterscheiden, indem die Bewegung entweder *frei*, oder *nicht frei* ist, die letztere aber geschieht wieder entweder in einer vorgeschriebenen Bahn oder um einen festen Punct, woran der bewegte Körper befestigt ist.

1. Die *freie Bewegung* ist entweder eine *geradlinige* oder eine *krummlinige*. Wenn nur eine Kraft auf einen Körper wirkt, oder die mehreren Kräfte sich in ihrer Wirkung stets gleichbleiben oder ein durchaus gleichbleibendes Verhältnifs beibehalten, so kann die Bahn nur eine gerade Linie seyn. Auf welche Weise dagegen eine krummlinige Bewegung entstehen müsse, ergiebt sich aus dem Folgenden leicht.

Es ist oben unter A gezeigt, dafs wenn ein Körper m durch zwei Kräfte, welche P und Q, heifsen mögen, sollicitirt wird, er die Diagonale m c zwischen beiden durchläuft. Wird dann m c als die Resultirende von zwei oder mehreren Kräften angesehen, so ist die geradlinige Bahn damit gegeben, und der Körper wird durch c ... C ..., sich bewegen. Kommt aber in m' eine neue Kraft hinzu, welche R genannt und durch die Linie m'D ausgedrückt seyn möge, so wird diese mit der vorhergehenden Resultirenden abermals durch die Construction des Parallelogramms der Kräfte eine Resul-

Fig. 205.

---

1 Ueber die *Scalen der Geschwindigkeiten* und *der Kräfte*, auch die Scalen der Bewegung genannt (Verzeichnung der in gegebenen Zeiten mit bestimmten Geschwindigkeiten durchlaufenen Räume durch Linien und Flächen). S. Brandes Lehrbuch u. s. w. II. 33 ff. Vega Vorlesungen über d. Mathemetik. Wien, 1818. 8. III. 51. u. a. Werke über d. Mechanik.

2 a. a. O. I. 308.

tirende geben, und der Körper wird von m' nach 'c' gelangen. Kommen also nach einander stets aufs neue die Kräfte R, S, T, U.... hinzu, so ist die Bahn ein Polygon, dessen Seiten so viel kleiner werden müssen, je kürzer die Zeitdauer bis zum Einwirken einer neuen Kraft ist, und durch eine in unmefsbar kleinen Zeitintervallen ablenkende Kraft von selbst zur krummen Linie wird.

Um aber im Allgemeinen die Bahn zu bestimmen, welche ein frei im Raume bewegter Punct durchläuft, ist es am zweckmäfsigsten, dieselbe auf sie Wirkung der Kräfte in der Richtung dreier Coordinatenaxen zurückführen, welches durch das oben unter A gezeigte Verfahren in sofern leicht geschieht, als man die Resultirende sucht, und auf eine ähnliche Weise, als dort gezeigt ist, hiernach denjenigen Punct im Raume bestimmt, in welchem er sich nach einer gegebenen Zeit befindet. Es sey demnach o der Punct, von welchem aus die Bewegung anfängt, es seyen ferner A, B, C, die Intensitäten der in der Richtung der drei Coordinatenaxen und auf diese reducirten Kräfte, a, b, c, die hierdurch erzeugten Geschwindigkeiten, R die Resultirende α, β, γ, die Winkel, welche dieselbe mit den Zusammensetzenden A, B, C, macht; so ist[1]: Fig. 206.

$A = R \cos. \alpha, B = R \cos. \beta, C = R \cos. \gamma; \quad R^2 = A^2 + B^2 + C^2.$

Bezeichnet dann v die der Resultirenden R zugehörige Geschwindigkeit, so kann man unter der Voraussetzung, dafs die Verhältnisse der Geschwindigkeiten hierbei und bei a, b, c, welche den Kräften A, B, C, zugehören, die nämlichen sind, als der sie erzeugenden Kräfte, substituiren

$a = v \cos. \alpha, b = v . \cos. \beta, c = v . \cos. \gamma; \quad v^2 = a^2 + b^2 + c^2.$

Der bewegte Punct wird also hiernach in einer gegebenen Zeit Θ in der Diagonale einen Raum $v\Theta$ durchlaufen, während die Projectionen der ihn sollicitirenden Kräfte auf die drei Coordinatenaxen o x, o y, o z sind:

$v\Theta \cos. \alpha, v\Theta . \cos. \beta, v\Theta . \cos. \gamma$. oder $a\Theta, b\Theta, c\Theta,$

oder aber während die auf die Coordinatenaxen projicirten

---

1 S. oben B. 4. wo statt A, B, C, die Buchstaben X, Y, Z, gebraucht sind, wie auch später hier geschieht, wenn der Ausdruck allgemein in Beziehung auf die Coordinatenaxen genommen wird.

Kräfte sich mit den Geschwindigkeiten a, b, c bewegen, wird der bewegte Punct sich mit der Geschwindigkeit v auf der Diagonale bewegen.

Angenommen es wirkten nach der Zeit Θ auf diesen Punct andere Kräfte $A_{,}$, $B_{,}$, $C_{,}$, parallel mit den gegebenen Ordinatenaxen, und ihre Geschwindigkeiten wären $a_{,}, b_{,}, c_{,}$; so würde es seyn, als wenn der Punct in Ruhe seyend durch die Kräfte A, B, C, $A_{,}$, $B_{,}$, $C_{,}$, oder durch $A + A_{,}$, $B + B_{,}$, $C + C_{,}$ sollicitirt würde, mit den correspondirenden Geschwindigkeiten $a + a_{,}$, $b + b_{,}$, $c + c_{,}$. Wäre dann die hierdurch erlangte Geschwindigkeit $v_{,}$; so giebt dieses

$$v_{,}^{2} = (a + a_{,})^{2} + (b + b_{,})^{2} + (c + c_{,})^{2}$$

und hinsichtlich auf die Richtung

$$\frac{a + a_{,}}{v_{,}}, \quad \frac{b + b_{,}}{v_{,}}, \quad \frac{c + c_{,}}{v_{,}}$$

als die Cosinus der Winkel, welche diese mit den Coordinatenaxen o x, o y, o z macht. Während einer Zeit $\Theta_{,}$, welche auf die Zeit Θ folgt, durchlaufen die auf die Coordinatenaxen projicirten Kräfte die Räume

$$a\,\Theta + (a + a_{,})\,\Theta_{,}, \quad b\,\Theta + (b + b_{,})\,\Theta_{,}, \quad c\,\Theta + (c + c_{,})\,\Theta_{,}.$$

Kommen nach der Zeit $\Theta + \Theta_{,}$ abermals neue Kräfte hinzu, für welche die Bezeichnungen auf gleiche Weise A_{2}, B_{2}, C_{2}; a_{2}, b_{2}, c_{2} seyn mögen, so werden während der Zeit Θ_{2} die auf die Coordinatenaxen projicirten componirenden Kräfte die Räume

$$(a + a_{,} + a_{2})\,\Theta_{2}, \quad (b + b_{,} + b_{2})\,\Theta_{2}, \quad (c + c_{,} + c_{2})\,\Theta_{2}$$

durchlaufen, so dafs sie sich nach der Zeit $\Theta + \Theta_{,} + \Theta_{2}$ in den Entfernungen vom Puncte o befinden, welche durch

$$a\,\Theta + (a + a_{,})\,\Theta_{,} + (a + a_{,} + a_{2})\,\Theta_{2}$$
$$b\,\Theta + (b + b_{,})\,\Theta_{,} + (b + b_{,} + b_{2})\,\Theta_{2}$$
$$c\,\Theta + (c + c_{,})\,\Theta_{,} + (c + c_{,} + c_{2})\,\Theta_{2}$$

ausgedrückt werden können. Fährt man auf ähnliche Weise fort bis Θn, die nämliche Bezeichnung beibehalten, und nennt x, y, z die auf die Coordinatenaxen von dem bewegten Puncte m aus projicirten durchlaufenen Räume; so ist allgemein:

$$x = a\Theta + (a + a_{,})\Theta_{,} + (a + a_{,} + a_{2})\Theta_{2} + \ldots + (a + a_{,} + a_{2} + \ldots + a_{n})\Theta_{n}$$
$$y = b\Theta + (b + b_{,})\Theta_{,} + (b + b_{,} + b_{2})\Theta_{2} + \ldots + (b + b_{,} + a_{2} + \ldots + b_{n})\Theta_{n}$$
$$z = c\Theta + (c + c_{,})\Theta_{,} + (c + c_{,} + c_{2})\Theta_{2} + \ldots + (c + c_{,} + a_{2} + \ldots + c_{n})\Theta_{n}.$$

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Es ergiebt sich hieraus, dafs der Raum, welchen die auf eine der Axen projicirte Kraft des beweglichen Punctes m durchläuft, blofs von der Geschwindigkeit abhängt, welche die Kraft parallel mit dieser Axe wirkend erzeugt, ohne dafs eine Modification durch die mit den beiden andern Axen parallel wirkenden statt findet. Der Werth von x wird also blofs durch die Geschwindigkeiten $a, a_1, a_2, \ldots a_n$ bestimmt, welche durch die Componirenden $A, A_1, A_2, \ldots A_n$ parallel mit ox erzeugt werden, gleich als wenn alle andern $= 0$ wären, und so desgleichen bei y und z. Ferner hängt diese Demonstration nicht von der Gröfse der $\Theta, \Theta_1, \Theta_2, \ldots \Theta_n$ ab, welche demnach verschwindend klein genommen werden können. Es ergiebt sich demnach der allgemeinen Satz: *Wenn man die gesammten, eine krummlinige Bewegung des Punctes m bewirkenden Kräfte in drei mit den Coordinatenaxen parallele Kräfte zerlegt, und wenn man die Projectionen des bewegten Punctes (Körpers) auf diese Axen als bewegliche Puncte betrachtet, so wird die Bewegung in jeder Axe als erzeugt anzusehen seyn durch Kräfte, welche mit derselben parallel sind, während alle andern als nicht existirend betrachtet werden können.* Man führt hiernach also jede krummlinige Bewegung auf drei, mit den Coordinatenaxen parallele, geradlinige zurück, oder auf zwei, wenn der bewegte Körper stets in einer durch zwei Coordinatenaxen gegebenen Ebene bleibt. Als einfachstes Beispiel hierzu dient die Bahn eines geworfenen Körpers, welcher in der verticalen Ebene den Zeiten proportionale horizontale Abscissen durchläuft, während die Ordinaten seiner lothrechten Bewegung dem Quadrate der Zeiten proportional zunehmen.

Sind x, y, z die drei rechtwinkligen Coordinaten eines beweglichen Punctes, auf den Coordinatenaxen ox, oy, oz gemessen, wodurch nach Verlauf der Zeit t der Ort bestimmt werden kann, an welchem sich der bewegliche Punct befindet, wird ferner jede der bewegenden Kräfte in drei andere, den Coordinatenaxen parallele, zerlegt, und nennt man die Summen der Componirenden, parallel den Axen x, y, z genommen: X, Y, Z; so können diese letzteren in jedem einzelnen Falle positiv oder negativ, je nachdem ihre Wirkung ist, als Functionen der ersteren ausgedrückt werden. Es ist

aber, wie eben gezeigt wurde, die auf jede der Axen projicirte Bewegung des bewegten Körpers als durch Kräfte bewirkt zu betrachten, welche jeder dieser Axen parallel wirken. Bedient man sich diesemnach des [1] für die beschleunigende Kraft φ gefundenen Ausdruckes, so ist

$$X = \frac{d^2x}{dt^2}, \quad Y = \frac{d^2y}{dt^2}, \quad Z = \frac{d^2z}{dt^2}.$$

In diesen allgemeinen Gleichungen ist aber weder die Geschwindigkeit begriffen, welche der bewegte Körper schon erlangt hat, noch der von demselben schon durchlaufene Raum, deren Bestimmung zusammen sechs Constanten für die drei Gleichungen mit Differentialen der zweiten Ordnung geben würde. Einfacher wird die Aufgabe, wenn man weifs, dafs der Körper sich in einer gegebenen Ebene bewegt, wodurch $Z = 0$ wird. In ihrer Allgemeinheit aber erfordert die Aufgabe drei Gleichungen zwischen x, y, z und t, und, wenn man die letzter eliminirt, zwei zwischen x, y und z, als Ausdruck der Curve, worin sich der Körper bewegt, und welche die *Trajectorie* genannt wird.

Der einfachste Fall ist der, wenn X, Y und Z sämmtlich $= 0$ sind, indem dann durch Integration aus

$$\frac{d^2x}{dt^2} = 0, \frac{d^2y}{dt^2} = 0, \frac{d^2z}{dt^2} = 0$$

$$x = at + a'; y = bt + b'; z = ct + t'$$

wird, worin a, b, c, a', b', c' sechs willkührliche Constanten sind. Setzt man den Anfang der Coordinaten in den Anfangspunct der Bewegung, mifst man die Zeit gleichfalls von hier an, so werden dafür x, y, z und $t = 0$ und sonach a', b' und c' gleichfalls $= 0$, wonach dann

$$x = at; y = bt; z = ct$$

werden, und durch Elimination von t

$$x = \frac{a}{c} . z; \quad y = \frac{b}{c} . z,$$

welches die gerade Linie als Trajectorie giebt.

Wäre u ein Theil der Bahn vom Anfange der Bewegung

---

[1] S. oben B. 3.

an bis zu einem den Coordinaten x, y, z entsprechenden Puncte, so ist[1]

$$U = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2} = t.\sqrt{a^2 + b^2 + c^2}$$

Indem hierin u der Zeit proportional ist, so folgt, dafs die Bewegung eines materiellen Punctes im Raume gleichförmig seyn mufs, wie die einer jeden seiner Projectionen auf die Coordinatenaxen. Man kann hiernach also die Geschwindigkeiten auf gleiche Weise zerlegen, als die Kräfte, indem a, b, c die Zusammensetzenden der Geschwindigkeit $\sqrt{a^2+b^2+c^2}$ sind, letztere aber ist die Resultirende der Geschwindigkeiten a, b, c. Nennt man weiter die Winkel, welche die Resultirende u mit den Coordinatenaxen der x, y, z macht, welche zugleich ihre Projectionen sind, α, β, γ, so ist

$$x = u.\,\text{Cos.}\,\alpha,\quad y = u.\,\text{Cos.}\,\beta,\quad z = u.\,\text{Cos.}\,\gamma.$$

Substituirt man für x, y, z und u ihre Werthe, dividirt durch t und setzt $v^2 = a^2 + b^2 + c^2$, so ist

$$a = v.\,\text{Cos.}\,\alpha,\quad b = v.\,\text{Cos.}\,\beta,\quad c = v.\,\text{Cos.}\,\gamma,$$

woraus sich ergiebt, dafs die Zusammensetzung der Geschwindigkeiten mit der Zusammensetzung der Kräfte auf gleichen Gesetzen beruhet, weil die Geschwindigkeiten unter einander das nämliche Verhältnifs als die sie erzeugenden Kräfte haben.

Wenn in irgend einer Zeit der Bewegung die beschleunigenden Kräfte X, Y, Z zu wirken aufhörten, so würde die Bewegung in der Richtung jeder Coordinatenaxe gleichförmig werden, das heifst $= \frac{dx}{dt}$ auf der Axe der x, $\frac{dy}{dt}$ auf der Axe der y und $\frac{dz}{dt}$ auf der Axe der z. Hiernach wäre die Bewegung eine geradlinige und gleichförmige. Bezeichnet dann v die Geschwindigkeit dieser Bewegung, ds das Differential der Trajectorie, so wäre

$$v = \sqrt{\left[\frac{dx^2}{dt^2} + \frac{dy^2}{dt^2} + \frac{dz^2}{dt^2}\right]} = \frac{ds}{dt}.$$

und wenn α, β, γ die Winkel bezeichnen, welche die Richtung dieser Geschwindigkeit mit den Coordinatenaxen x, y, z macht, so ist

1 Vergl. oben A, 4.

$$\text{v. Cos. } \alpha = \frac{dx}{dt}, \quad \text{v. Cos. } \beta = \frac{dy}{dt}, \quad \text{v. Cos. } \gamma = \frac{dz}{dt}.$$

Hierin der Werth für v substituirt, ist

$$\text{Cos. } \alpha = \frac{dx}{ds}, \quad \text{Cos. } \beta = \frac{dy}{ds}, \quad \text{Cos. } \gamma = \frac{dz}{ds}.$$

Indem aber die Cosinus der Winkel, welche die Tangente der Trajectorie mit den Axen der Coordinaten macht, gleichfalls den Verhältnissen $\frac{dx}{dt}, \frac{dy}{dt}, \frac{dz}{dt}$ gleich sind, so folgt hieraus, dafs die Richtung der Geschwindigkeit v mit der Tangente zusammenfällt. Hieraus aber geht hervor, dafs, wenn man die beschleunigenden Kräfte plötzlich aufhebt, der bewegte Körper sich mit gleichmäfsiger Geschwindigkeit im Raume in der Tangente der durchlaufenen Curve bewegen mufs. Die Geschwindigkeit eines in einer Curve bewegten Punctes aber, welche der Ausdruck $\frac{ds}{dt}$ bezeichnet, ist diejenige, mit welcher er sich in dem gegebenen Zeitelemente in der Tangente der Curve bewegen würde, wenn die ablenkenden und beschleunigenden Kräfte plötzlich aufhörten zu wirken.

Unter die krummlinigen freien Bewegungen der Körper gehören vorzüglich diejenigen, wobei die krumme Bahn in einer Ebene um einen festen Punct liegt, und welche dadurch bedingt werden, dafs die ablenkenden Kräfte stets nach diesem Puncte hin gerichtet sind. In Beziehung auf diesen Punct, das Centrum der Bewegung oder auch der Bahn, nennt man sie *Centralbewegung*, welche indefs am gehörigen Orte für sich untersucht werden wird[1]. Die wesentlichste Anwendung der Untersuchungen über die Bahnen, worin sich die Körper um einen gegebenen Punct bewegen, liefert die Astronomie in den verschiedenen Curven, welche die Himmelskörper um die Sonne beschreiben, deren Bestimmung aus mehr oder minder zahlreichen Beobachtungen unter die interessantesten, aber auch schwierigsten Probleme der

---

1 S. *Centralbewegung*.

Geometrie gehört[1]. Eine gleichfalls wichtige Anwendung der allgemeinen Theorie der freien Bewegung der Körper zur Bestimmung der durchlaufenen Bahn giebt die Wurfbewegung, wenn ein Körper durch eine im Momente ihrer Wirkung erschöpfte Kraft fortgeschleudert, und dann durch die Schwere stetig afficirt wird, woraus entweder eine gerade oder eine krumme Bahn entsteht, die erstere, wenn die Richtung der Schwere mit der Richtung der Wurfbewegung zusammenfällt, also beim verticalen Wurfe, die letztere, wenn sie mit derselben irgend einen Winkel bildet. Die hierhin gehörigen Untersuchungen sind im Artikel *Ballistik*[2] abgehandelt.

2. Unter die nicht freie Bewegung gehören die schon oben angegebenen zwei Fälle, nämlich erstlich die Bewegung in einer gegebenen Bahn und zweitens die um einen gegebenen festen Punct.

a. Untersuchen wir zuerst die Bewegung in einer *gegebenen Bahn*, so ist diese letztere entweder eine *gerade* oder eine *krumme*. Die Bewegung in einer vorgeschriebenen geraden Bahn kommt wohl ausschliefslich, nur dann vor, wenn ein schwerer Körper mit oder ohne Rücksicht auf die Reibung auf der geneigten Ebene aufwärts oder herabwärts bewegt werden soll. Es wird daher hier genügen nur im Allgemeinen zu bemerken, dafs, wie auch immer die Richtung und Lage der Ebene seyn mag, in welcher die Bahn des bewegten Körpers (oder Punctes) liegt, so werden die ihn sollicitirenden Kräfte auf die Weise zerlegt, dafs diejenigen Zusammensetzenden, welche auf die Ebene normal gerichtet sind, durch den unüberwindlichen Widerstand der letzteren $= 0$ werden, mithin der Körper der aus den übrigen Resultirenden folgt, wodurch also dieses Problem ganz auf dasjenige zurückgeführt wird, was sich oben unter A über die Zusammensetzung der Kräfte findet[3].

Soll dagegen irgend ein Punct m ohne Rücksicht auf die Schwere in einer gegebenen Curve K durch eine gegebene Kraft bewegt werden, so wird diese letztere in zwei Zusammensetzende

Fig. 207.

1 S. *Bahn.* Ueber die tägliche mittlere Bewegung. S. *Anomalie* No. 8.

2 S. *Ballistik.*

3 Die weitere Ausführung und Anwendung. S. *Ebene, geneigte.*

zerlegt, die eine $mN = K'$, normal auf die Curve, die andere $mT = K''$, dieselbe berührende; und indem die erstere durch den Widerstand der Curve $= 0$ wird, so mufs der Punct der letzteren allein folgen. Stellt man sich die Curve als ein Polygon vor, dessen Seiten mm', $m'm''$, $m''m'''$ ... sind, und denkt sich diese als verschwindend klein, so ist der Winkel $m''m't$, welchen die Verlängerung der Seite mm' mit der Curve macht, der Berührungswinkel (*angulus contactus*, angle de contingence), und die Ebene $tm'm''$ ist die osculirende Ebene.

Fig. 208.

Kommt der durch die Kraft K getriebene Körper m, nachdem er den Raum mm' mit einer Geschwindigkeit $= v$ zurückgelegt hat, in m' an, so mufs er sich wenden, um den Raum $m'm''$ zu durchlaufen, wobei er indefs von seiner Geschwindigkeit verliert. Wird seine Geschwindigkeit v durch $m'q$ ausgedrückt, und diese lineare Gröfse in $m'n$ und $m'l$ zerlegt, so ist

$$m'l = m'q.\ \text{Sin.}\ tm'm'' = v.\ \text{Sin.}\ \omega$$
$$m'n = m'q.\ \text{Cos.}\ tm'm'' = v.\ \text{Cos.}\ \omega;$$

und indem die erstere durch den Widerstand der Curve verschwindet, so bleibt die zweite allein übrig, und der Verlust der Geschwindigkeit ist daher $v - v.\ \text{Cos.}\ \omega = v(1 - \text{Cos.}\ \omega) = v.\ \text{Sin.}\ \text{vers.}\ \omega$. Verwandelt sich das Polygon in eine krumme Linie, so ist der Winkel ω verschwindend klein, ein Differential der zweiten Ordnung, wie schon daraus folgt, dafs bei der Construction der Bogen verschwindend klein genommen werden mufs. Indem ferner die gegen die Curve drückende Kraft $v.\ \text{Sin.}\ \omega$ sich in jedem Zeittheilchen ändert, weil Sin. ω sich stets ändert, so kann man sie als eine auf den beweglichen Punct wirkende beschleunigende Kraft ansehen. Wirken dann aufser dieser noch mehrere Kräfte auf den beweglichen Punct, so müssen nach ihrer Zerlegung alle die Zusammenwirkenden normalen zu derselben hinzugesetzt werden. Nennt man die aus allen Resultirende N, und bezeichnet hiermit zugleich den Widerstand, welchen die Curve ihr entgegensetzen mufs, nennt man ferner die Winkel, welche sie mit den drei Coordinatenaxen macht α, β, γ, so sind die Zusammensetzenden derselben hinsichtlich dieser Winkel:

N. Cos. α, N. Cos. β, N. Cos. γ.

Behalten wir die oben für die beschleunigenden Kräfte und die dadurch erzeugte Geschwindigkeit gebrauchten Bezeichnungen bei, und nennen die ersteren X, Y, Z, so giebt dieses die drei Gleichungen:

$$\frac{d^2x}{dt^2} = X + N.\ Cos.\ \alpha$$

$$\frac{d^2y}{dt^2} = Y + N.\ Cos.\ \beta$$

$$\frac{d^2z}{dt^2} = Z + N.\ Cos.\ \gamma.$$

Nimmt man hinzu, dafs

$$Cos.^2\ \alpha + Cos.^2\ \beta + Cos.^2\ \gamma = 1$$

ferner dafs, wenn zwei rechtwinklich auf einander gefällte gerade Linien im Raume mit den Coordinatenaxen die Winkel α, β, γ; α', β', γ' machen,

$$Cos.\ \alpha.\ Cos.\ \alpha' + Cos.\ \beta.\ Cos.\ \beta' + Cos.\ \gamma.\ Cos.\ \gamma' = 0$$

ist, so giebt dieses in dem vorliegenden Falle die Gleichung zwischen der Tangente und der Normale. Denn α, β, γ sind die Winkel, welche die Normale N mit den Coordinatenaxen macht, diese ist aber perpendicular auf die Tangente in m, welche mit den Coordinatenaxen die Winkel α', β', γ' macht, also die nämlichen eines Elementes der Curve mit den Ordinatenaxen, und so ist also

$$\alpha' = \frac{dx}{ds},\ \beta' = \frac{dy}{ds},\ \gamma' = \frac{dz}{ds}.$$

welche Werthe in die vorige Gleichung substituirt giebt

$$\frac{dx}{ds}\ Cos.\ \alpha + \frac{dy}{ds}\ Cos.\ \beta + \frac{dz}{ds}\ Cos.\ \gamma = 0.$$

Wird von den oben gegebenen drei Gleichungen die erste mit $2\,dx$, die andere mit $2\,dy$, die dritte mit $2\,dz$ multiplicirt, so giebt die Addition derselben

$$2\,dx\,\frac{d^2x}{dt^2} + 2\,dy\,\frac{d^2y}{dt^2} + 2\,dz\,\frac{d^2z}{dt^2} = 2\,(X\,dx + Y\,dy + Z\,dz)$$
$$+ 2\,N\,(dx\ Cos.\ \alpha + dy\ Cos.\ \beta + dz\ Cos.\ \gamma)$$

Indem aber der letzte Theil der Gleichung in Gemäfsheit der vorhergehenden $= 0$ wird, so ist

$$2\,dx\,\frac{d^2x}{dt^2}+2\,dy\,\frac{d^2y}{dt^2}+2\,dz\,\frac{d^2z}{dt^2}=2\,(X\,dx+Y\,dy+Z\,dz)$$

oder aber

$$\frac{d\,(dx^2+dy^2+dz^2)}{dt^2}=2\,(X\,dx+Y\,dy+Z\,dz).$$

Wird statt der Quadrate der Differentiale der Ausdruck für die Geschwindigkeit gesetzt[1] und integrirt, so erhält man:

$$\frac{ds^2}{dt^2}=v^2=2\int(X\,dx+Y\,dy+Z\,dz).$$

Der einfachste Fall ist auch hierbei, wenn die beschleunigenden Kräfte X, Y, Z aufhören, oder $=0$ werden, wodurch $v^2=$ Const. wird. Also wird auch ein, in einer gegebenen Curve sich bewegender Körper ohne beschleunigende Kräfte eine gleichmäfsige Bewegung stets beibehalten.

Wirkt dagegen auf den bewegten Körper nur eine beschleunigende Kraft, (es sey dieses die Schwere), so ist $X=0$, $Y=0$, $Z=g$, und wir erhalten

$$v^2=2\int g\,dz=2\,gz+C.$$

Ist $v=V$ wenn $z=0$ wird, so ist $V^2=C$, also $v^2=2\,gz+V^2$, oder $v=\sqrt{2\,gz+V^2}$, welche Gleichung unabhängig von x, y und z ist, mithin für jede Curve statt finden kann.

Die hier gefundene Gleichung für die Geschwindigkeit eines in einer gegebenen Curve bewegten Körpers genügt indefs nicht, um den zurückgelegten Raum oder die hierzu erforderliche Zeit zu bestimmen. Denn setzt man $\frac{ds}{dt}$

$$=\sqrt{2\,gz+V^2} \text{ oder } \frac{\sqrt{dx^2+dy^2+dz^2}}{dt^2}=\sqrt{2gz+V^2},$$

so hat man eine Relation zwischen drei veränderlichen Grössen. Wären aber die Gleichungen für die Curve

$$z=f(x,y)\,;\ z=\varphi(x,y)$$

und könnte man hierdurch zwei veränderliche Gröfsen eliminiren, so hätte man eine Gleichung zwischen dt und einer Coordinate der krummen Linie zu integriren.

---

1 S. oben unter I. am Ende.

Eine unmittelbare praktische Anwendung zur Erklärung der Naturerscheinungen bieten diese Untersuchungen nicht dar, aufser etwa, dafs man durch dieselben zur Auffindung der Schwungkraft gelangen kann, d. h. derjenigen Kraft, womit ein in einer gegebenen Bahn und mit bekannter Geschwindigkeit um einen Mittelpunct bewegter Körper sich von diesem letzteren zu entfernen strebt, wovon am gehörigen Orte ausführlicher gehandelt werden wird [1]. Dafs ferner die genauere Kenntnifs der Bewegungsgesetze im Allgemeinen zur Erklärung der vielfachen Bewegungen der Himmelskörper beitrage, bedarf kaum einer Erwähnung. Bei allen sonstigen Bewegungen irdischer Körper erleichtert man sich die Berechnung sehr durch Zurückführung derselben auf die gerade oder einfach gekrümmte geneigte Ebene, wobei die Schwere und die Reibung als die einzigen oder wichtigsten wirkenden Kräfte vorzüglich in Betrachtung kommen. Indefs giebt es einige Curven, in welchen die durch die Schwere afficirten Körper bestimmte Gesetze der Geschwindigkeiten befolgen, sie können indefs, als rein geometrische Probleme, hier nur wegen ihres geschichtlichen Interesses kurz erwähnt werden.

Die erste derselben ist die *Isochrone*, deren Construction Leibnitz 1687 den Anhängern des Cartesius aufzusuchen aufgab, um die Vortheile der von ihm erfundenen höheren Analyse darzuthun [2]. Wenn man nämlich annimmt, dafs ein auf der geneigten Ebene herabfallender Körper durch die Schwere sollicitirt wird, zunehmend gröfsere verticale Räume zu durchlaufen, so wurde die Aufgabe gestellt, diejenige Curve zu finden, auf welcher ein schwerer Körper herabfallend in gleichen Zeiten gleiche Räume in lothrechter Richtung herabsinkt. Die Auflösung dieses Problems gab als die hierzu erforderliche Curve eine kubische Parabel, deren Gleichung ist: $y^3 = ax^2$, wenn man ihre Axe in die horizontale Ebene legt, und ihre concave Seite aufwärts kehrt. Sie heifst der angegebenen Eigenschaft wegen auch *curva*

1 S. *Centrifugalkraft; Schwungkraft.*

2 Acta Erud. Lips. 1689. p. 195.

descensus aequabilis[1]. Sie gab Veranlassung zu einer andern Aufgabe, nämlich diejenige Curve zu finden, in welcher ein Körper fallen müfste, um sich in gleichen Zeiten einem gegebenen Puncte um gleiche Räume zu näheren oder davon zu entfernen. Leibnitz nannte sie *isochrona paracentrica*[2]. Die zweite dieser merkwürdig gewordenen Curven ist die *Tautochrone*, oder diejenige, in welcher ein schwerer Körper sich bewegend den tiefsten Punct in gleichen Zeiten erreicht, wie grofs auch der durchlaufene Bogen derselben seyn mag. Für ein widerstandleeres Mittel und die Schwere aus solcher Entfernung wirkend gedacht, dafs ihre Richtungen auf die verschiedenen Theile der Curve parallel sind, erfüllt die *Cykloide* diese Bedingung, und kann sonach Tautochrone genannt werden. Sie ist wegen dieser Eigenschaft vorzüglich wichtig geworden durch die von Huygens beabsichtigte Benutzung derselben zur Erhaltung isochronisch schwingender Uhrpendel[3]. Nimmt man zugleich Rücksicht auf den Widerstand des Mittels, so wird die Aufgabe, eine Tautochrone zu finden, ungleich schwieriger, indefs ist es auch unter dieser Bedingung die Cykloide, oder vielmehr die Epicykloide diejenige Curve, welche derselben Genüge leistet[4]. Eben diese Curve ist auch drittens *Brachystochrone* genannt, weil sich ein schwerer Körper in derselben bewegen mufs, wenn er in der kürzesten Zeit von einem Puncte zu einem andern, weder mit ihm in einer horizontalen Ebene noch auch lothrecht unter ihm liegenden, gelangen will. Die zur Erfüllung dieser Bedingung erforderliche Curve ist eine Cykloide mit horizontaler Basis[5].

In der Mechanik kommt noch eine Art der Bewegung auf vorgeschriebenem Wege in Untersuchung, welche hier wenigstens erwähnt werden möge, nämlich auf einer gege-

---

1 Klügel Math. Wörterb. III. 725. Vergl. Maupertuis in Mém. de l'Acad. 1730. p. 233, welcher auch auf den Widerstand der Mittel Rücksicht nimmt.

2 Montucla Hist. des Math. II. 466.

3 S. *Pendel.*

4 Euler Com. Pet. VII. 49. Mech. II. p. 202 und 292. Ueber das Geschichtliche S. Montucla a. a. O. III. 654.

5 Euler Mech. II. 174. Vergl. Montucla II. 472.

benen Oberfläche. Trennen wir hiervon zuerst die Bewegung auf der geraden geneigten Ebene, welche hierbei nicht berücksichtigt zu werden pflegt, so ist die Bahn des bewegten Körpers entweder eine Linie einfacher oder doppelter Krümmung. Das erstere findet statt, wenn eine durch die Bahn gelegte Fläche eben ist, z. B. wenn ein an einer in der verlängerten Axe eines Kegels befestigten Linie hängender Körper auf der Oberfläche des Kegels herumliefe; das letztere dagegen, wenn jene Fläche gleichfalls krumm ist, z. B. wenn man eine Cykloide um einen Cylinder wickelte, und einen Körper auf derselben herabfallen liefse. Man findet die Bewegungsgesetze für diese Art der Bewegung, indem man, wie oben, bei der Zerlegung der Kräfte diejenigen aufsucht, welche auf die gegebene Ebene normal gerichtet sind, und diese dann durch den Widerstand derselben als aufgehoben betrachtet, wodurch das Problem im Wesentlichen auf das oben untersuchte zurückkommt[1].

b. Die *nicht freie Bewegung um einen gegebenen Punct* begreift abermals zwei, gleichfalls nicht wesentlich verschiedene, Arten, welche indefs einzeln betrachtet werden können, nämlich zuerst die *oscillatorische* und dann die *um eine feste Axe rotirende* Bewegung. Zur Uebersicht der ersteren, der oscillirenden Bewegung sey ABA'209. eine gegebene Curve, ohne eine solche Beugung, wodurch eine Verzögerung der Geschwindigkeit entstehen müfste. Die Tangente BT sey horizontal und normal auf die längste Ordinate BP, wonach BP lothrecht, die Ebene der xy aber horizontal ist. Bewegt sich dann ein schwerer Körper auf dieser Curve, so gehört die Aufgabe zu denen unter a betrachteten, und der einfachste Fall wird der seyn, wenn $X = 0$, $Y = 0$ und $Z = g$ genommen wird, oder aber dafs die Schwere die einzige beschleunigende Kraft ist. Hiernach wird, wie oben, die Gleichung für die Geschwindigkeit v seyn:

Fig.

$$v^2 = 2gz + V^2.$$

---

1 Euler Mech. II. 457. ff. Poisson Traité de Mécanique. I. 446. ff. Dem letzteren Schriftsteller bin ich in der Darstellung hauptsächlich gefolgt.

Indem aber die Ordinaten (z) von O bis B wachsen und dann wieder abnehmen, so zeigt die Gleichung, dafs der Körper in B sein Maximum der Geschwindigkeit erreicht haben mufs, welche in gleichen Entfernungen von B gleich ist. Weil dieselbe ferner stets abnimmt, und oberhalb O die Gröfse $2gz$ verneinend wird, so mufs es irgend einen Punct geben, wo dieselbe $= 0$ ist. Es sey dieser in A, so folgt aus der Gleichung, dafs die Bewegung hier anfangend wächst, in B am gröfsten, in m und m' gleich ist, mithin allgemein, dafs der Körper vom Anfangspuncte der Bewegung an mit beschleunigter Geschwindigkeit bis B gelangt, dann mit abnehmender Geschwindigkeit A' erreicht, hier sich zu bewegen aufhört, dann durch die Schwere getrieben wieder durch B nach A gelangt, und auf diese Weise stets zwischen A und A' oscillirt, indem er bei gleicher Geschwindigkeit zwischen AB und A'B gleiche Zeiten gebraucht, um den einen oder den andern dieser Bogen zu durchlaufen[1].

Fig. 210. Liefe die Curve in sich selbst zurück, wären die Tangenten an B und B' parallel und horizontal, und bewegte sich der Körper von O aus mit einer solchen Geschwindigkeit durch B, dafs er durch O' bis nach B' gelangte, ohne seine Geschwindigkeit ganz verloren zu haben, so würde er hier die Bewegung aufs neue beginnen, und auf diese Weise beständig um den Mittelpunct der Curve oscilliren.

Die rotirende, oder Rotationsbewegung, wenn man sie blofs auf einen an einer nicht schweren Linie befindlichen schweren Punct bezieht, welcher sich stets um eine feste Axe drehend bewegt, fällt mit der oscillirenden zusammen. Ist ferner ein Körper von irgend einer Gestalt auf einer gegebenen unbeweglichen[2] Axe befestigt, und wirken auf denselben verschiedene beschleunigende Kräfte, so werden von diesen alle diejenigen $= 0$ werden, welche auf die Axe senkrecht wirken, dagegen aber wird der Körper durch die-

---

1 Eine Anwendung dieser Gleichung auf die Pendelschwingungen S. im Artikel *Pendel.*

2 Die Axe wird blofs hinsichtlich der die Rotation bewirkenden Kräfte als unbeweglich angenommen. Dafs sie übrigens zusamt dem Körper gleichfalls bewegt werden könne, ist oben schon angegeben, und zeigt sich namentlich bei den Himmelskörpern.

Universitäts- und Landesbibliothek Düsseldorf

jenigen eine um die Axe rotirende Bewegung erhalten, welche nach der Zerlegung der Kräfte mit jenen senkrechten einen rechten Winkel bilden, und in einer auf die Axe senkrechten Ebene liegen. Eben so leicht begreift man, dafs ein jeder einzelner Punct um die feste Axe einen Kreis beschreiben mufs, welcher seiner Entfernung von der Axe direct proportional ist, wodurch die Aufgabe der Bestimmung seiner Bahn gelöset ist. Nimmt man die Rotationsbewegung aber in ihrer Allgemeinheit, so ist zuvörderst zu bemerken, dafs sich in jedem Körper drei rechtwinklige coordinirte Axen annehmen lassen, um deren jede alle zwischen mehr oder minder genäherten, mit der Ebene der beiden andern Axen parallelen Ebenen liegende Theile des Körpers rotiren können. Soll dann die Aufgabe umfassend behandelt werden, und will man insbesondere den Druck bestimmen, welchen bei gegebener Geschwindigkeit die rotirenden Theile gegen die feste Axe ausüben, so wie die Kraft, welche aus der Masse und der Geschwindigkeit des bewegten Körpers erwachsen, so mufs zugleich die Schwungkraft und das Moment der Trägheit zur Untersuchung kommen, und die Aufgabe gehört dann unter die schwierigern geometrischen Probleme. Ohne in jene Untersuchungen tiefer einzugehen [1] mögen daher hier nur die allgemeinsten Gesetze der Rotationsbewegung betrachtet werden.

Denkt man sich also die verschiedenen Theile M, M′, M″ . . eines Körpers an der Linie AL befestigt und gemeinschaftlich um den Punct A beweglich, so werden sie, durch irgend eine Kraft, z. B. die Schwere, getrieben, sämmtlich in gleichen Zeiten gleiche Winkel beschreiben, und man nennt ihre Geschwindigkeit hiernach die *Winkelgeschwindigkeit*. Sie ist eine constante Gröfse, wenn man die absolute Geschwindigkeit durch die Entfernung vom Mittelpuncte dividirt. Indem ferner bei dem geringen Unterschiede der Entfernungen dieser einzelnen Theile vom Centrum der Erde alle in gleichen Zeiten gleiche Räume herabfallen müfsten, demnach aber nur die ungleichen Räume JK, J′K′, J″K″ herabfallen, so geht hieraus hervor, Fig. 211.

1 S. *Schwungkraft*, *Moment der Trägheit*.

dafs sie sich in ihrer Bewegung gegenseitig bedingen. Es sind aber die Räume JK, J′K′, J″K″... den Bogen MK, M′K′, M″K″.... und also den Radien AM, AM′, AM″... direct proportional, woraus hervorgeht, dafs die Geschwindigkeiten der einzelnen Puncte des Systemes der Entfernungen vom Centrum proportional sind, statt dafs sie, jeder einzeln der Schwere frei folgend, gleiche Geschwindigkeiten haben würden. Soll also ein Körper, oder ein System von
Fig. schweren Puncten um eine durch den Punct A gehende,
212. lothrecht auf die Ebene desselben gerichtete Axe gedrehet werden, und zerlegt man denselben in eine unendliche Menge paralleler, auf die Axe lothrecht gerichteter Ebenen mon, m′o′n′, m″o″n″.... so werden die einzelnen Puncte m, m′, m″.... bei einem Umschwunge die Kreise mon, m′o′n′, m″o″n″... durchlaufen, und also in gleichen Zeiten Bogen von gleich viel Graden zurücklegen. Heifst dann die Geschwindigkeit eines in der als Einheit genommenen Entfernung eA befindlichen Punctes ω, und sind die Abstände der Puncte m, m′, m″.... vom Centro = r, r′ r″... so sind ihre Geschwindigkeiten = $r\omega$, $r'\omega$, $r''\omega$.... Bezeichnet man ferner durch v, v′, v″.... die mitgetheilten Geschwindigkeiten (ohne alle Rücksicht auf die Schwere) so werden die hierdurch erhaltenen mechanischen Momente der Bewegung mv, m′v′, m″v″.... seyn, und es wird für den Fall einer *gleichförmigen Bewegung um eine feste Axe* der Zustand des Gleichgewichts statt finden, wenn mv, m′v′, m″v″... = — $mr\omega$, $m'r'\omega$, $m''r''\omega$.... ist [1].

---

1 Dieser Satz gehört unter das allgemeine dymanische Princip des d'Alembert, wodurch er die mechanisch wirkenden Kräfte auf die statischen zurückführt, indem er das Gleichgewicht der verschiedenen Kräften oder Geschwindigkeiten, welche auf die einzelnen verbundenen, und dadurch in ihrer freien Bewegung gehinderten Puncte eines festen Körpers wirken, so construirt, dafs die entgegengesetzten einander aufheben. Nennt man also die auf die verschiedenen einzelnen Puncte eines Körpers m, m′, m″.... wirkenden Geschwindigkeiten v, v′, v″... (welche man als bekannt voraussetzt) wenn ihre Wirkungen als von einander unabhängig angenommen werden, heifsen sie dagegen u, u′, u″... wenn diese einzelnen Puncte auf eine unveränderliche Weise mit einander verbunden sind, und sucht man die Componirenden von v, v′, v″...;

Hinsichtlich auf die ersteren Kräfte fälle man durch die Angriffspuncte derselben Ebenen normal auf die Umdrehungsaxe, und zerlege sie selbst in zwei andere, die eine in den genannten Ebenen liegend, die andere parallel mit der Axe. Sind dann die Winkel, welche die Richtungen der bewegenden Kräfte $v, v', v'' \ldots$ mit diesen Ebenen machen $= \Theta, \Theta', \Theta'' \ldots\ldots$; so sind die in diesen Ebenen liegenden Componirenden $= mv.\,\mathrm{Cos.}\,\Theta, m'v'.\,\mathrm{Cos.}\,\Theta', m''v''.\,\mathrm{Cos.}\,\Theta'' \ldots\ldots$ wobei es überflüssig ist, die Kräfte $mr\omega, m'r'\omega, m''r''\omega \ldots$ auf eine gleiche Weise zu zerlegen, indem ihre Richtungen in den auf die Axe senkrechten Ebenen angenommen sind. Es sey dann A B C eine solche Ebene, welche die feste Axe C D in C trifft, und auf diese mögen die sämmtlichen Kräfte projicirt seyn, deren Richtungen durch diese Projectionen bezeichnet werden. Das Gleichgewicht findet statt, wenn die Summe der Momente der Kräfte, welche eine Umdrehung um den Punct C bewirken, den ihnen entgegenwirkenden gleich sind. Fig. 213.

Die Richtungen der Kräfte $mr\omega, m'r'\omega, m''r''\omega \ldots$ sind Tangenten derjenigen Kreise, welche mit den Radien $r, r', r'' \ldots$ um das Centrum C beschrieben werden, und deren Momente daher $mr^2\omega, m'r'^2\omega, m''r''^2\omega \ldots\ldots$ den Körper in einer entgegengesetzten Richtung umzudrehen streben,

---

so kann man die einen dieser Componirenden willkührlich annehmen. Diesemnach sey u die eine Componirende von v, die andere werde U, genannt; so sind u und U die Componirenden von v, u' und U' von v', u'' und U'' von v''..... Indem aber die mechanischen Momente der einzelnen Puncte als frei gedacht $= mv, m'v', m''v'' \ldots$ seyn würden, so sind sie hiernach $mu, m'u'\ m''u'' \ldots$ und $mU, m'U', m''U'' \ldots\ldots$ Indem man aber $mv, m'v', m''v'' \ldots$ als die Diagonalen von mu und mU, m'U' und m''U'', m''u'' und m''U''... ansehen kann, so werden mU, m'U' m''U''... verschwinden, und die mechanischen Momente auf mu, m'u', m'' u''.... zurückgeführt seyn. Weil aber unter drei Kräften allezeit Gleichgewicht statt finden wird, wenn eine derselben der Resultirenden der beiden übrigen gleich und entgegengesezt ist, so müssen mu und $mU = -mv$, und diesemnach muſs auch mU die Resultirende von $-mu$ und $+mv$ seyn, also allgemein tritt der Zustand des Gleichgewichts ein, wenn mu, m'u', m''u''.... und mv, m'v', m''v''... einander entgegengesetzt sind. S. d'Alembert Traité de Dynamique. Par. 1748. Vergl. Poisson. II. 42.

als in welcher die Umdrehung statt findet. Die Summe derselben ist $\omega (mr^2 + m'r'^2 + m''r''^2 + \ldots)$, welche durch Σ bezeichnet $= \omega . \Sigma mr^2$ ist. Von den Kräften $mv.\text{Cos.}\,\Theta$, $m'v'.\text{Cos.}\,\Theta' \ldots$ wird der gröfste Theil den Körper in derjenigen Richtung umzudrehen streben, in welcher die Umdrehung wirklich statt findet, der kleinere in der entgegengesetzten, und wenn man beide summirt, und die kleinere Summe von der gröfsern abzieht, so bleibt eine Differenz der positiven Kräfte, welche L heifsen möge. Streben alle diese Kräfte den Körper nach der nämlichen Seite umzudrehen, und heifsen $p, p', p'' \ldots$ die Perpendikel von C aus auf ihre Richtungen in der Ebene ABC; so ist

$$L = mvp.\text{Cos.}\,\Theta + m'v'p'.\text{Cos.}\,\Theta' + m''v''p''\text{Cos.}\,\Theta'' + \ldots = \Sigma mvp.\text{Cos.}\,\Theta,$$

und das Gleichgewicht wird hergestellt seyn, wenn $L = \omega . \Sigma mr^2$, wodurch also die Winkelgeschwindigkeit $= \omega$ bestimmt werden kann, wenn m, r, v, p und Θ für jeden Punct des Körpers bekannt sind, und die Bewegung um die feste Axe mufs gleichförmig seyn.

Wären die Geschwindigkeiten $v, v', v'' \ldots$ alle gleich, unter einander parallel und läge ihre Richtung in der auf die Axe parallelen Ebenen, so wäre $\Theta = 0$, also $\text{Cos.}\,\Theta = 1$. Wird dann ihr gemeinschaftlicher Werth v genannt, so würde $L = v . \Sigma mp$. Legt man ferner durch die Axe eine der Richtung der Geschwindigkeiten parallele Ebene ACD, so werden die Linien $p, p', p'' \ldots$ Perpendikel von den Puncten $m, m', m'' \ldots$ auf diese Ebene seyn. Nennt man M die Summe dieser einzelnen Massen $m, m', m'' \ldots$ h den Perpendikel von diesem Systeme auf die Ebene ACD; so ist (mit Rücksicht auf den Schwerpunct) $\Sigma mp = Mh$, also $L = Mvh$, und die Gleichung wird: $\omega . \Sigma mr^2 = Mvh$. Wäre die Geschwindigkeit nur einem Theile der Massen, deren Summe p heifsen möge, mitgetheilt, und f der Perpendikel vom Schwerpuncte derselben auf die Ebene ACD, so würde die Gleichung seyn:

$$\omega . \Sigma mr^2 = \mu vf.$$

Die einzelnen Puncte $m, m', m'' \ldots$ lassen sich als die Elemente eines Körpers ansehen. Heifst dann dm ein Differential derselben, r der Abstand von der Axe, so bezeich-

net $\int r^2 dm$ die Masse des Körpers, und $\omega = \frac{\mu v f}{\int r^2 dm}$ die Winkelgeschwindigkeit eines Körpers um eine feste Axe, wenn man einen Theile seiner Masse $= \mu$ eine Geschwindigkeit $= v$ mittheilt, deren Richtung in einer auf die Axe lothrechten Ebene liegt, und bei welcher f den Perpendikel vom Scherpuncte der Masse μ auf die genannte Ebene bezeichnet [1].

Diese allgemeinen Andeutungen genügen zur Darstellung einer Art der Bewegung, welche in der Natur häufig vorkommt, z. B. bei der Axendrehung der Erde, beim Schwungrade, bei der drehenden Bewegung der Geschützkugeln und in unzählig vielen andern Fällen [2].

Noch könnten hier auch *die Hindernisse der Bewegung* untersucht werden, deren es zwar, die Sache in gröfster Allgemeinheit genommen, sehr viele geben kann, allein in der Mechanik versteht man hierunter nur drei, nämlich die *Steifheit der Seile*, die *Reibung* und den *Widerstand der Mittel.* Hiervon gehört das erstere ganz eigentlich in die praktische Maschinenlehre, und darf daher hier nur kurz berührt werden, die zwei andern dagegen, auf ein eigentliches Naturgesetz gegründet, werden am gehörigen Orte ausführlicher untersucht werden [3]. Dafs die Steifheit der Seile, wenn diese um Rollen oder Walzen gebogen werden, die Bewegung hindern müsse, und die geometrische Schärfe der Resultate aus der Vergleichung der bewegenden Kräfte mit den erhaltenen Wirkungen modificire, fällt von selbst in die Augen. Indefs gilt in der Mechanik noch immer die genäherte, aus den Versuchen von Amoutons durch Karsten [4] und Langsdorf [5] entwickelte Formel, wonach $S = \frac{0{,}187 . \delta}{r} . Q$, oder für die Ausübung

---

1 Poisson II. 62.

2 Eine gehaltreiche und ausführliche Abhandlung über die Rotationsbewegung von P. Frisius findet man in Com. Soc. Bonon. VI. 45.

3 S. *Reibung. Widerstand der Mittel.*

4 Lehrbegriff d. Math. IV. 499.

5 Handbuch der gemeinen u. höheren Mechanik. Heidelb. 1807. p. 59.

sicherer $S = \frac{0,2 \cdot \delta}{r}$. Q. ist, wenn S die Steifheit der Seile, Q den das Seil spannenden Widerstand, δ der Durchmesser des Seiles in par. Lin. und r den Halbmesser des Kreises, um welchen das Seil gespannt ist, bezeichnet[1]. *M.*

Biegsamkeit.

Beugsamkeit; Flexibilitas; Flexibilité; *Flexibility;* ist diejenige Eigenschaft der Körper, vermöge welcher sie einer äufsern biegenden Gewalt nachgeben und ihre Form ändern, oder sich biegen, sich beugen. Da die Sache genugsam bekannt ist, so bedarf es keiner weiteren gründlichern Definition, und es genügt nur zu bemerken, dafs diese Eigenschaft genau und direct der Steifheit, dann aber auch der Sprödigkeit entgegensteht; Ersteres hinsichtlich der zur Formänderung erforderlicher Gewalt, Letzteres aber der Möglichkeit eines Gebogenwerdens überhaupt, indem die Sprödigkeit ihrem Wesen nach keine Biegung der Körper zuläfst. Sie steht ferner der Weichheit und Zähigkeit zur Seite, indem weiche Körper leicht jede Formänderung gestatten, zähe aber einer formändernden, dadurch aber zugleich zerbrechenden, Gewalt besser widerstehen.

Die Eigenschaft selbst gehört ihrer Wesenheit nach unter die *relativen,* indem sie sich mehr oder minder ausgezeichnet bei den verschiedenen Körpern und unter verschiedenen Bedingungen findet. Absolut unbiegsam ist sicher kein Körper, vorzugsweise biegsam aber sind unter den unorganischen Körpern die Metalle, unter den organischen die frischen Pflanzen und alle Bestandtheile der thierischen Körper, mit Ausnahme der Knochen. Bei der ersteren Art von Körpern wird die Biegsamkeit vorzüglich durch die Wärme bedingt, indem

---

1 Ausser der schon erwähnten Literatur können noch angeführt werden Huygens Abhandl. über die allgemeinen Gesetze der Bewegung in Journ. des Savans. 1669 und Phil. Tr. III. 925. Joh. Bernoulli Opp. III. 1. Hermanni Phoronomia. Amst. 1716. 4. Euler in Mém. de Berl. 1751. 169. und in seinen zahlreichen Abhandl. in den Petersb. Comment. Wallis in Phil. Tr. 1668. III. 864. Varignon in Mém. de l'Ac. X 153. Riccati in Comm. Bonon. V. 1. Klügel in Eberhard's Philos. Mag. 1. 4. II. 1. u. v. a. nebst den Werken über die Mechanik.

diese zwar allgemein die Biegsamkeit vermehrt, einige Metalle aber, namentlich Messing, in hoher Temperatur leicht zerbrechen; bei der letzteren Classe aber wird allgemein die Biegsamkeit durch den gemeinschaftlichen Einflufs der Feuchtigkeit und Wärme vermehrt. Man pflegt daher Bretter, Stäbe u. dgl., welche man in gewisse Formen beugen will, z. B. beim Schiffsbaue, vorher zu befeuchten und zu erwärmen. Uebrigens wird zwar diese Eigenschaft gelegentlich genugsam beachtet, absichtlich aber nur im Maschinenwesen bei der für die Steifheit der Seile nöthigen Correction mit in Rechnung genommen, desgleichen bei der Untersuchung der relativen Festigkeit der Körper[1]. Die verschiedenen andern Fälle, wobei dieselbe in Betrachtung kommt, einzeln aufzusuchen, würde ohne wesentlichen Nutzen seyn.

Rücksichtlich des Zusammenhanges dieser Eigenschaft mit den allgemeinen Naturgesetzen kann dieselbe, als relativ, der Materie nicht absolut eigen seyn, und mufs vielmehr in der eigenthümlichen Anordnung und Lage der Bestandtheile der Körper ihren Grund haben. Indem wir hierüber aber bis jetzt noch so wenig wissen, so würde es zweckwidrig seyn, bei der Erörterung dieser einzelnen Eigenschaft in tiefere Untersuchungen einzugehen[2]. *M.*

Bild.

Imago; Image; *Image;* nennt man in der Optik diejenige Vereinigung der Lichtstrahlen, wodurch das Sehen eines Gegenstandes bedingt wird. Eine solche findet auf allen Fall auf der Netzhaut statt, wenn ein Object gesehen werden soll, aufserdem aber erzeugen auch Spiegel und Linsengläser Bilder, welche dann gleichfalls durch das Auge wahrgenommen werden. Den Ausdruck, dafs wir ein Bild des Gegenstandes sehen, brauchen wir allemal da, wo Lichtstrahlen nicht in gerader Linie zu unserm Auge kommen, und wir daher den Gegenstand an einem Orte zu sehen glauben, wo er sich nicht befindet. Man mufs hier die Fälle unterscheiden, wo sich wirkliche Bilder des Gegenstandes darstellen, und die

---

1 S. *Cohäsion.*
2 S. *Materie.*

Fälle, wo wir, ohne dafs wir ein solches wirkliches Bild vor Augen haben, den Gegenstand abgebildet sehen.

Ein wirkliches Bild des Gegenstandes entsteht da, wo die von *einem* Puncte desselben ausgehenden Strahlen sich wieder in *einem* Puncte vereinigen, wenn dieses für jeden Punct des Gegenstandes gilt. Auf diese Weise bilden sich hinter den convexen Gläsern, und vor den Hohlspiegeln Bilder des Gegenstandes. Wenn nämlich das von A ausgehende Licht sich in B, das von C ausgehende Licht sich in D vereiniget, so entsteht offenbar, indem dies für alle einzelnen Puncte gilt, eine Reihe erleuchteter Puncte bei B D, die den zwischen A C liegenden Puncten entsprechen. Wäre zum Beispiel A roth und C blau, der Zwischenraum aber mit verschiedenfarbigen Puncten ausgefüllt, so würde B roth D blau erleuchtet seyn, und da ebenso jeder zwischen A und C liegende Punct einen ihm entsprechenden Punct bei B D erleuchtet, so stellt sich uns ein Bild von A C in B D dar. Diese Betrachtung läfst sich auf die Puncte im Umfange des Gegenstandes anwenden, durch welche sich der Umfang des Bildes bestimmt, u. s. w. Uebrigens ist es nicht gerade nothwendig, dafs das Bild dem Gegenstande ähnlich sey, oder der Umrifs des einen ähnlich dem Umrisse des andern, sondern hierbei können, so wie die Form des brennenden Mittels oder des Spiegels es fordert, Verschiedenheiten statt finden.

Fig. 214.

Ein solches Bild der vor dem Convexglase stehenden Gegenstände sieht man hinter dem Glase, wenn man die Strahlen an dem gehörigen Orte auf einem Papiere auffängt. Auf ähnliche Weise kann man es auch vor dem Hohlspiegel sehen, aber da läfst es sich sogar, wenn der Beobachter sich in der passenden Stellung befindet, als vor dem Spiegel in der Luft schwebend wahrnehmen. Solche Bilder sind es, welche die Camera obscura darstellt; so entsteht ein Bild auf der Netzhaut des Auges, so entsteht das Bild im Fernrohre, welches wir mit Hülfe des Augenglases betrachten u. s. w.

Der Ort dieses Bildes läfst sich geometrisch bestimmen, wie in dem Art. Hohlspiegel (sphärischer Nr. 1. 2.) und Linsengläser Nr. 5 gezeigt wird. Dagegen können wir das Bild im gewöhnlichen Spiegel nicht in dem eben erklärten Sinne

ein *wirkliches* Bild nennen, weil die Strahlen nicht wirklich in dem Puncte vereiniget werden, von welchem sie dem in den Spiegel sehenden Auge herzukommen scheinen. Gleichwohl reden wir auch hier von dem Orte des Bildes, und wir wollen nun sehen, mit welchem Rechte.

Da wo ein wirkliches Bild gesehen wird, erscheint uns dieses, mit bloſsem Auge gesehen, ebenso wie ein andrer Gegenstand an seinem wahren Orte. Wir urtheilen über diesen wahren Ort am richtigsten, wenn wir entweder mit beiden Augen sehen, oder, falls nur das eine Auge gebraucht wird, dieses ein wenig hin und her bewegen, um durch die verschiedene Richtung, in welcher die Strahlen zu dem Auge gelangen, wenn es verschiedene Stellungen einnimmt, den wahren Ort des Gegenstandes oder hier des Bildes zu beurtheilen. Wo man diese Mittel nicht anwendet, da würde das Auge nur die Richtung, woher der Strahl kömmt, empfinden und über die Entfernung ungewiſs bleiben, wenn nicht etwa die Vergleichung der neben liegenden Gegenstände oder die scheinbare Gröſse und dergleichen unser Urtheil leitet.

Auf ähnliche Weise bestimmen wir auch den wahren Ort des Bildes, selbst da, wo es nur ein scheinbares ist. Im ebnen Spiegel CH zum Beispiel sehen wir den Gegenstand A so, als ob er sich in B befände, (wenn nämlich AB senkrecht gegen die Ebene des Spiegels und CB = CA ist); unser Auge mag in F, G, oder wo sonst seyn, allemal muſs es sich nach B wenden, um das scheinbare Bild im Spiegel zu sehen, und B heiſst also wieder mit allem Rechte der Ort des Bildes. Unser Urtheil bestimmt sich noch ungefähr ebenso da, wo auch das Bild nicht so einen ganz unveränderlichen Ort einnimmt, und wir sagen daher zum Beispiel, der Boden des mit Wasser gefüllten Gefäſses scheine uns gehoben, oder höher zu liegen, wenn wir senkrecht auf die Wasserfläche sehen, weil die von demselben Puncte des Bodens zu beiden Augen gelangenden Strahlen einen höher liegenden Durchschnittspunct haben[1]. Hiernach könnte man also die Regel angeben, daſs der wahre Ort des scheinbaren Bildes

Fig. 215.

1 Vergl. *Brechung* Nr. 17.

da sey, wo sich die beiden Lichtstrahlen durchschneiden, die zu beiden Augen oder zu zwei nahe bei einander liegenden Stellungen desselben Auges gelangen.

Aber ein schwieriger Fall ist noch übrig. Wir sehen auch da Bilder im Spiegel, wo dieser Durchschnittspunct hinter uns liegt. Im Hohlspiegel vereinigen sich die Strahlen, welche von einem zwischen Mittelpunct und Brennpunct liegenden Puncte ausgehen, jenseits des Mittelpunctes, und der Beobachter, der gegen den Spiegel zu sieht, kann seine Stellung so wählen, dafs dieses eigentliche Bild hinter ihm liegt, während sein Auge die vom Spiegel zurückgeworfenen Strahlen empfängt. Hier fehlt dem Auge ganz das Mittel zur Bestimmung der Entfernung, und die Frage, wohin man das gesehene Bild versetzen solle, fällt ganz weg. Selbst das Sehen mit beiden Augen führt hier zu keiner Bestimmung. In diesem Falle bleibt also unser Urtheil über die Entfernung ganz unbestimmt, und am gewöhnlichsten mag der Beobachter sich veranlafst finden, das Bild als auf dem Spiegel selbst erscheinend anzusehen. — Nach Zachariae's[1] Bemerkung findet diese Unsicherheit in Bestimmung der Entfernung schon statt, wenn man das *wirkliche* Bild eines ruhenden Gegenstandes mit einem Auge in unbeweglich gehaltener Stellung betrachtet, und auch da ist man am geneigtesten, das Bild auf den Spiegel selbst zu verlegen, statt dafs es sogleich in seinen eigentlichen Ort rückt, sobald man mit beiden Augen sieht, oder das Auge bewegt oder auch den Gegenstand bewegt[2].

Auf einer geschickten Anwendung der wirklichen Bilder, die der Hohlspiegel und die Laterna magica hervorbringen, beruhen die optischen Künste der Geistererscheinungen u. dgl.[3]. *B.*

---

1 G. XLVI. 315. und in seiner Schrift: Systematische Darstellung der Erschein. welche der sphär. Hohlspiegel gewährt. Leipz. b. Vogel. womit Kästners Abh. in den Nov. Comm. soc. Gotting. VIII. 96. zu vergleichen ist.

2 Mehreres hierüber im Art. *Gesicht;* auch in Barrow lectiones opticae p. 36. und Smith Optik übers. v. Kästner S. 398. 401.

3 Priestley Gesch. d. Optik von Klügel. S. 37.

Universitäts- und Landesbibliothek Düsseldorf

Binoculartelescop.

Tubus binocularis; Telescope binoculaire; *Binocle or binocular Telescope.* Zwei Fernröhre oder Telescope so verbunden, dafs man ihre Axen nach einem Gegenstande richten und diesen mit beiden Augen zugleich betrachten kann. Gehler der ein solches Fernrohr gesehen hat, sagt, dafs man die Gegenstände lebhafter und anscheinend näher sehe, und dafs man sich gleichsam mehr in die Scene, die man übersah, hinein versetzt glaubte. Die Erfindung rührt von Rheita her[1], Cherubin d' Orleans hat es empfohlen[2], aber Montucla hält die mit der Stellung verbundenen Unbequemlichkeiten für zu grofs in Vergleichung gegen die Vortheile, die es gewähren soll. *B.*

Birnprobe.

Index raritatis in vacuo Boyliano, index pyriformis; pear - gage; ist ein von Smeaton[3] erfundener Apparat, um die absolute Luftverdünnung unter dem Recipienten einer Luftpumpe zu messen. In dem oberen Ende eines gehörig ausgekochten Barometers ist nämlich gar keine Luft vorhanden, oder aber es findet sich dort ein vollkommenes (Torricellisches) Vacuum, unter dem Recipienten einer Luftpumpe kann aber nur ein unvollkommenes (Guerickesches, Boylesches) Vacuum seyn[4]. Vergleicht man beide leere Räume vermittelst des Barometers, so erhält man den Unterschied derselben und hierdurch den Grad der Verdünnung der unter dem Recipienten noch vorhandenen expansibelen Flüssigkeiten. Obgleich es nun bei den allermeisten Versuchen durchaus nicht auf die Beschaffenheit, sondern blofs auf die Elasticität dieser Flüssigkeiten ankommt, so übersah doch Smeaton insbesondere bei der damals noch üblichen Methode, ein nasses Leder unter den Rand der Campanen zu legen, den Umstand nicht, dafs allezeit ein gröfserer oder geringerer Antheil Dampf der unter der Campane noch befindlichen Luft beigemischt ist, und daher ein anderes Werk-

1 Oculus Enochi atque Eliae. Antv. 1665.
2 Dioptrique oculaire. Paris. 1671.
3 Phil. Tr. XLVII. art. 69.
4 S. *Luftpumpe.*

zeug, als ein blofser Elasticitätszeiger erfordert wird, wenn man den Grad der Verdünnung der eigentlichen Luft finden will. Bei den gegenwärtig verbesserten Luftpumpen wird in der Regel die Luft unter der Campane nicht feuchter seyn, als im gewöhnlichen mittleren Zustande, und wenn daher Luft und Dampf im Verhältnifs ihrer vorhandenen Gesammtmengen durch Exantliren weggenommen werden, so kann die Birnprobe nicht mehr leisten, als jeder Elasticitätszeiger, wohl aber unrichtige Resultate geben, wenn sich Feuchtigkeit im oberen Theile der engen Röhre befindet. Indem aber noch aufserdem der Unterschied zwischen Gasarten und Dämpfen nach den neuesten Entdeckungen immer mehr verschwindet, so liegt in allem diesem Grund genug, dafs die früher so hochgeschätzte Birnprobe gegenwärtig kaum mehr beachtet wird, und unter den physikalischen Apparaten füglich entbehrt werden kann. Es wird daher genügen, sie nur kurz zu beschreiben.

Fig. 216. Die unter der Campane a befindliche cylindrische, etwa 6 Z. lange, 0,2 Lin. weite und oben verschlossene Glasröhre sr erweitert sich unten in den birnförmigen Bauch r. Sie ist nach ihrem Inhalte von unten an, den Raum in der Birn mitgerechnet, so getheilt, dafs die mit Diamant eingeschnittenen Zahlen 2000, 1000, 750, 500 ... 25 den aliquoten Theil des Ganzen von oben an gerechnet, angeben, also den 2000sten, den 1000sten u. s. w. Unter der freien Oeffnung der Birn steht ein Gefäfs g mit Quecksilber. Beim Exantliren mufs die Verdünnung in der Birnprobe genau so, als unter der Campane seyn, und drückt man daher die Oeffnung derselben vermittelst des Drahtes l in das Quecksilber, läfst dann die äufsere Luft zutreten, so wird diese den Grad der Verdünnung durch die Höhe zeigen, bis zu welcher das Quecksilber in der Röhre der Birnprobe hinaufgedrückt wird. Die im oberen Ende zusammengedrückte Luft ist indefs um so viel dünner im Verhältnifs zu der äufsern, als sie durch den Druck der Quecksilbersäule qr ausgedehnt wird. Um aber eine Correction dieser Gröfse zu ersparen, hebt man die Birnprobe vermittelst des Drahtes l wieder aus dem Quecksilber, worauf dasselbe aus dem weiteren birnförmigen Raume ausläuft, in der engen Röhre aber hängen bleibt.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Nimmt man sie dann unter der Campane weg und hält sie horizontal, so giebt die Gröfse des oberen, vom Quecksilber nicht erfüllten Theiles durch die aufgezeichnete Zahl den Grad der Verdünnung an[1]. *M.*

Blase. S. Luftblase.

Blendung.

Bedeckung der Gläser; *Annulus aperturam lentium definiens;* Anneau, qui couvre les bords des verres dioptriques. In den Artikeln Linsengläser und Abweichung, optische, ist gezeigt, dafs nur die nahe bei der Axe einfallenden Strahlen sich gut im Brennpuncte vereinigen; aus diesem Grunde ist es nöthig, die weiter gegen den Rand auffallenden Strahlen abzuhalten, und dieses geschieht durch den Ring, welcher die Blendung oder Bedeckung der Gläser heifst. Gewöhnlich ist diese, aus Pappe, Holz oder Blech gemachte Blendung schwarz. Die kreisförmige Oeffnung in der Mitte heifst die *Apertur*, oder *Oeffnung*.

Die Blendungen für die Augengläser sind Ringe, welche inwendig in den Röhren da angebracht werden, wo die Vereinigungspuncte der Strahlenkegel liegen[2]. *B.*

Blei.

Plumbum, Saturnus; Plomb; *Lead.* Dieses Metall findet sich vorzüglich als Schwefelblei, und als Bleioxyd mit verschiedenen Säuren verbunden. Letztere Verbindungen bedürfen meistens blofs des Schmelzens mit Kohle, um daraus das Blei zu erhalten. Das Schwefelblei wird entweder zuerst durch Rösten von einem Theil seines Schwefels befreit und dann mit Kohle geschmolzen; oder man verschmelzt es im ungerösteten Zustande mit Eisen oder einem Eisenerz und Kohle, wobei Schwefeleisen und metallisches Blei erhalten wird.

---

1 Auch Nairne in Phil. Tr. LXVII. art. 32. hält viel auf diesen Apparat, und Lichtenberg hat ihn sowohl ausführlich beschrieben, als auch durch eine Zeichnung erläutert in der Vorrede zu Erxlebens Naturlehre Gött. 1784. Ueber die Trüglichkeiten derselben nach verschiedenen Versuchen S. G. G. Schmidt in Gren N. J. III. 150.

2 Vergl. *Fernrohr.*

Das Blei ist sehr weich und biegsam und läfst sich leichter plätten, als zu Draht ziehen; sein spec. Gew. ist nach Brisson 11,352, nach Morveau 11,358. Beim Hämmern nimmt dasselbe nach Morveau, durch die Bildung von unganzen Stellen, eher ab als zu, aufser in dem Falle, wenn das Blei nach keiner Seite hin auszuweichen vermag, wo dann das spec. Gew. bis zu 11,388 vermehrt werden kann. Es schmilzt nach Biot bei 362°, nach Newton bei 282°, nach Morveau bei 312° und nach Dalton und Crighton bei 322° C. Im Anfange der Weifsglühhitze verdampft dasselbe. Seine Verbindungen sind folgende:

Das *Bleioxyd* (104 Blei auf 8 Sauerstoff) wird im Grofsen theils als ein gelbes Pulver, *Bleigelb*, *Massicot*, theils im unreineren Zustande als eine röthliche krystallinisch schuppige Masse, *Bleiglätte*, erhalten. Es bildet mit Wasser ein weifses Hydrat und mit Säuren die *Bleisalze*. Diese werden vorzüglich daran erkannt, dafs sie beim Schmelzen mit Kohle und kohlensaurem Natron metallisches Blei liefern, dafs sie wenn sie in Wasser löslich sind, zusammenziehend süfs schmecken, und dafs ihre wäfsrige Lösung folgende Niederschläge giebt: einen *metallischen* mit Zink; einen *weissen* mit reinen und kohlensauren Alkalien, mit Schwefelsäure, und bei einiger Concentration, mit Salzsäure; einen *braunschwarzen* mit Hydrothionsäure und einem *gelben* mit Hydriodsäure und mit chromsaurem Kali. Die wichtigeren Bleisalze sind folgende: *Salpetersaures Bleioxyd*, octaëdrisch, leicht im Wasser löslich. *Schwefelsaures Bleioxyd*, findet sich natürlich als *Bleivitriol*, nicht im Wasser löslich. *Phosphorsaures Bleioxyd*, in der Natur als *Grünbleierz* vorkommend, nicht im Wasser, leicht in Salpetersäure löslich, beim Glühen mit Kohle Phosphor entwickelnd. *Kohlensaures Bleioxyd* findet sich in der Natur als *Bleispath;* wird künstlich bereitet als *Bleiweifs;* nicht in Wasser löslich. *Molybdänsaures Bleioxyd*, das Gelbbleierz der Mineralogen. *Chromsaures Bleioxyd*, das natürliche als rother *Bleispath*, das künstliche als *Chromgelb* bekannt. *Neutrales essigsaures Bleioxyd* oder *Bleizucker* in Säulen krystallisirend, leicht im Wasser löslich. *Basisch-essigsaures Bleioxyd*,

oder Bleiessig, durch Kochen des im Wasser gelösten Bleizuckers mit Bleioxyd gebildet, welches seinen Ueberschuss von Bleioxyd schon an die Kohlensäure der Luft abtritt.

Bleihyperoxydul oder *Mennige* (104 Blei auf 12 Sauerstoff) durch buhutsames Glühen des gelben Bleioxyds an der Luft erhalten; ziegelroth, wird bei stärkerem Glühen unter Entwicklung von Sauerstoffgas zu gelbem Oxyd reducirt. *Bleihyperoxyd* oder braunes Bleioxyd (104 Blei auf 16 Sauerstoff) durch Behandeln des rothen Oxyds mit verdünnter Salpetersäure gebildet, wobei sich gelbes Oxyd löst und das braune zurückbleibt; dunkelrothbraun, entwickelt beim Glühen die Hälfte seines Sauerstoffs.

Chlorblei, Hornblei; krystallisirt aus der wässrigen Lösung in weissen Nadeln; schmilzt unter der Glühhitze zu einem Oel, welches beim Erkalten zu einem hornähnlichen Körper erstarrt; verdampft bei nicht starker Glühhitze; wenig in Wasser löslich; läfst sich mit verschiedenen Mengen Bleioxyd zusammenschmelzen, und liefert dann beim Erstarren das *Cassler Gelb.* — *Jodblei;* ein gelbes schmelzbares Pulver. — *Schwefelblei;* natürlich als *Bleiglanz* vorkommend, strengflüssiger als Blei. *G.*

Bleibaum. S. Metallbaum.

Blitz.

Wetterstrahl; *Fulmen*; Eclair, Foudre; *Lightning*. Der Blitz ist ein heftiger elektrischer Funken zwischen zweien Wolken oder zwischen einer Wolke und einem Theile der Erdfläche, wodurch das aufgehobene Gleichgewicht ihrer Elektricitäten vermittelst eines plötzlichen und gewaltsamen Ueberganges hergestellt wird. Wetterstrahl, *Wetterschlag*, *einschlagender Blitz* (foudre, carreau) heifst insbesondere derjenige Blitz, der die Erde oder Körper auf der Erde trifft; dieser tödtet oft Menschen und Thiere, schmelzt Metalle, zertrümmert Mauerwerk, Balken und Holzwerk, entzündet Gebäude, und ist mit dem Gefolge aller Erscheinungen, welche mit ihm das Gewitter ausmachen, eine der prachtvollsten, aber auch der fürchterlichsten Wirkungen der Na-

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

tur, daher der Aberglaube der Alten die Blitze unmittelbar von den Göttern schmieden und herabschleudern liefs[1].

Man hielt ehedem den Blitz für eine Entzündung brennbarer, in der Luft schwebender, Dünste[2], welche viele Naturforscher aus Salzen und Schwefel bestehen liefsen, um sich daraus, wie beim Schiefspulver, die Explosion, den Donner und die gewaltsamen Wirkungen des Wetterschlages zu erklären. Nach Musschenbroek[3], der sich hiervon nicht ganz losreifsen kann, nimmt besondere Arten des Blitzes an, welche zum Theil aus einer unter der Erde entzündeten und aus dem Boden hervorbrechenden schweflichten Materie, zum Theil aus einem vom Himmel herabfallenden brennenden Stoffe bestehen sollen. Es ist nicht zu leugnen, dafs solche Naturbegebenheiten wirklich vorkommen[4], aber sie sind von dem Blitze sehr wesentlich unterschieden.

Bei den häufigen Versuchen, welche man seit dem Anfange des verflossenen Jahrhunderts angestellt hat, ist das elektrische Licht von Mehreren mit dem Blitze verglichen worden. Dr. Wall[5] bemerkt schon, das Licht und Knistern des geriebenen Bernsteins sey dem Blitze und Donner ähnlich, ohne jedoch diese Aehnlichkeit weiter als bis auf den äufsern Schein zu treiben. Auch Gray bemerkte bei Betrachtung der Erscheinungen des Ueberganges der Elektricität von einem Conductor zum andern eine schwache Aehnlichkeit zwischen dem Knalle und Lichte des Funkens und dem Donner und Blitze. Nollet[6] geht schon viel weiter, und erklärt, wenn Jemand durch Vergleichung der Erscheinungen darthun würde, dafs der Donner in den Händen der Natur eben das sey, was die Elektricität in den unsrigen ist, und dafs die Wolke dabei die Stelle des Hauptconductors der Elektrisirmaschine vertrete, so würde ihm diese Meinung sehr gefallen. Ihm selbst bieten sich schon viele Gründe für die Richtigkeit dieser Vergleichung aus der Elektricitäts-

1 Lucret. de rer. nat. V. v. 1217.
2 Aristot. meteor. c. 3.
3 Introd. §. 2522.
4 S. *Feuerkugeln*.
5 Phil. Trans. XXVI. 1708. Nr. 314.
6 Leçons de Physique IV. 314.

lehre dar, z. B. die allgemeine Verbreitung des elektrischen Fluidums, die Schnelligkeit seiner Wirkung, seine Entzündlichkeit, seine Kraft, andere Körper in Flammen zu setzen, seine Eigenthümlichkeit, die Körper, wie uns die Leidner Flasche lehrt, äufserlich und innerlich, sogar bis auf die kleinsten Theile zu erschüttern, die Wahrscheinlichkeit, die sich daraus noch auf einen höhern Grad seiner Wirksamkeit folgern läfst u. s. w. Alle diese analogischen Thatsachen lassen ihn glauben, dafs durch die gehörige Anwendung der Elektricität auf den Donner und Blitz von diesen Erscheinungen eine genügendere und richtigere Vorstellung und Erklärung, als die damals herrschenden waren, erhalten werden können. Auch der um die Elektricitätslehre so verdiente J. H. Winkler[1] behauptete aus ähnlichen Gründen und mit noch gröfserer Bestimmtheit wie Nollet die gleiche Natur des elektrischen Fluidums und der Ursache des Blitzes und Donners. Namentlich untersuchte er in einem eigenen Kapitel die Frage, ob Schlag und Funken der verstärkten Elektricität für eine Art des Donners und Blitzes zu halten sind? Er vergleicht die Erscheinungen und Wirkungen beider, und schliefst aus denselben auf eine vollkommene und wesentliche Gleichheit, wobei der einzige Unterschied in den Grad der Stärke zu setzen sey.

Diese Behauptungen standen indessen doch nur als sehr wahrscheinliche Muthmafsungen da, und der eigentliche entscheidende Beweis fehlte noch, so lange diese Wolken-Elektricität nicht denselben Versuchen unterworfen ward, die mit der gewöhnlichen Elektricität angestellt werden, und in diesen Versuchen sich die Identität der unmittelbaren Beobachtung darstellte. Diesen grofsen Schritt verdankt die Wissenschaft dem hierdurch und durch die für die Menschheit so wohlthätige Anwendung, die er von seiner Entdeckung gemacht hat, unsterblich gewordene Dr. Benjamin Franklin, der auf eine ganz unabhängige und originelle Weise das experimentum crucis ersann. Dieser geistvolle Naturforscher machte sehr zahlreiche originelle Beobachtungen über die

---

1 Von der Stärke der elektrischen Kraft des Wassers in gläsernen Gefäfsen. Leipzig 1746. 8.

Phänomene der Elektricität, die er in einer Reihe von Briefen vom Jahre 1747 bis 1753 einem Mitgliede der Königlichen Gesellschaft in London, Peter Collinson zum Danke für die Glasröhre, die dieser der Lesegesellschaft zu Philadelphia zum Geschenke gemacht, und mit welcher Franklin seine Versuche angestellt hatte, mittheilte[1]. Er war wie Nollet und Winkler auf die grofse Aehnlichkeit des Blitzes mit den Erscheinungen des elektrischen Funkens aufmerksam geworden, und schlug bald nachher ein kühnes Mittel vor, die Meinung von der Gleichheit beider durch Versuche zu prüfen. Da er es zur Gewifsheit gebracht hatte, dafs spizzige Körper die Elektricität weit mehr und aus gröfseren Entfernungen als stumpfe anzögen[2], so verfiel er klüglich auf den Gedanken, durch spitzige metallische Stangen den Blitz vom Himmel herabzulocken. Nach einer Warnung, sich durch den grofsen Unterschied im Grade nicht irre machen zu lassen, führt er in jenen Briefen[3] viele Aehnlichkeiten des Blitzes und des elektrischen Fluidums umständlich an. Beide laufen in geschlängelten Wegen, treffen hohe und spitzig hervorragende Gegenstände am leichtesten, ergreifen die besten Leiter, Metalle, Wasser und feuchte Körper, mit Vermeidung der Nichtleiter, sengen und zünden, schmelzen Metalle, durchlöchern feste Körper, machen Menschen und Thiere blind, zerstören das thierische Leben, benehmen dem Magnete seine Kraft oder verkehren seine Pole, und machen Eisen magnetisch. Schon hierdurch hält er sich überzeugt von der Gleichheit des Blitzes und der Elektricität, und giebt eine Vorrichtung an, das Feuer der Donnerwolke herabzuziehen, und dadurch zu untersuchen, ob sie in der That elektrisch sey oder nicht. Man soll nämlich auf einem hohen Thurme oder einem andern hochgelegenen Platze ein Schilderhäuschen errichten, woraus sich ein spitzer Eisendraht, durch einen Harzkuchen isolirt erhebt. Wenn darüber Gewitterwolken hinzögen, so müfsten sie, meinte er,

---

1 New exper. and observat. on electricity in several letters to Mr. Collinson, by Benj. Franklin London 1751. 4. Franklins Briefe von der Elektricität übers. von Wilke. Leipzig. 1758. 8.

2 S. *Spitzen.*

3 S. 52. ff. S. 72. und ff. d. d. Uebers.

dem Eisendrahte einen Theil ihrer Elektricität mittheilen, welches den Sinnen durch Funken wahrnehmbar werden könnte, wenn man einen Schlüssel, einen Knöchel oder andere Leiter in die Nähe brächte. In Philadelphia liefs sich damals dieser Versuch nicht anstellen. Die wirkliche Bestätigung der Voraussetzung Franklins durch eine in jenem Sinne ausgeführte Vorrichtung erfolgte zuerst im Jahre 1752 durch zwei Franzosen Dalibart zu Marly-la ville und Delor zu Paris, zwei eifrige Anhänger der franklinischen Theorie. Der erste befestigte eine 40 Fufs hohe eiserne Stange mit seidenen Schnüren an Pfählen, und sicherte ihren Fufs gegen den Regen. Am 10. Mai 1752 erhielt der dabei gegenwärtige Tischler Coiffier bei einem entstandenen Gewitter Funken aus demselben, rief den Pfarrer des Kirchspiels nebst einer Menge Zeugen herbei, und erkannte mit ihnen die Funken für offenbar elektrische. Delor hatte eine 99 Fufs hohe Stange aufgerichtet, aus der er acht Tage nach jenem Versuche beim Vorüberziehen einer Gewitterwolke, welche nicht blitzte, ebenfalls Funken erhielt. Diese Versuche wurden nachher in Gegenwart des Königs wiederholt, und aufser den vorhin genannten Personen durch Buffon, Mazeas und le Monnier noch viel weiter getrieben. Der Letztere bemerkte schon an einem 5 — 6 Schuh hoch an Seide hängenden Sprachrohre augenscheinliche Zeichen der Elektricität, und fand eine auf Pech stehende Person, die eine 18 Fufs hohe mit Draht umwundene hölzerne Stange in der Hand hielt, beim Gewitter elektrisch.

Noch in eben dem Jahre wurden in den Monaten Julius und August in England ähnliche Versuche von Canton, Wilson und Bevis angestellt, wodurch die franklinische Behauptung der Gleichheit des Blitzes und elektrischer Funken aufser allen Zweifel gesetzt, und von Canton schon entdeckt ward, dafs unter den Wolken einige positiv, andere negativ elektrisch sind.

Zu eben der Zeit erhielt Franklin selbst, ohne noch etwas von den Versuchen in Frankreich zu wissen, eine Bestätigung seiner Theorie vermittelst eines elektrischen Drachen[1]. Mit einem solchen Werkzeuge, welches aus zwei

1 S. *Drache, elektrischer.*

kreuzweis gelegten Stäben, und einem darüber gespannten seidenen Schnupftuche bestand, mit einer eisernen Spitze versehen, und an einer hanfenen Schnur gehalten ward, gelang es ihm im Junius 1752 beim Vorüberziehen einer Gewitterwolke, aus einem an der Schnur befestigten Schlüssel Funken zu erhalten, welche noch stärker wurden, als die Schnur nafs und dadurch ein besserer Leiter geworden war[1]. Im September 1752 richtete er auch eine isolirte eiserne Stange auf, um den Blitz in sein Haus herabzuleiten, und befestigte daran zwei Glöckchen, nach Art eines *elektrischen Glockenspiels*[2], welche ihn durch ihr Läuten benachrichtigten, wann die Stange elektrisirt sey. Er fand durch diese Geräthschaft am 12. April 1753 bei einem starken Gewitter die Elektricität der Wolken negativ, beobachtete auch noch in demselben Jahre Wolken von negativer Elektricität, Uebergänge von einer Elektricität in die andere, und elektrische Erscheinungen in der Atmosphäre, auch aufser den Zeiten eines Gewitters[3]. Von dieser Zeit an wurden die Beobachtungen über die Elektricität der Gewitter vermittelst isolirter Stangen und elektrischer Drachen in mehreren Ländern häufig angestellt. Besonders hat sich Beccaria[4] zu Turin durch die Menge und Mannigfaltigkeit seiner Versuche und de Romas zu Nerac durch die starke Elektricität, welche er nicht ohne Gefahr mittelst eines elektrischen Drachen herabbrachte, ausgezeichnet. Der verdiente Richmann in Petersburg wurde ein trauriges Opfer dieser Untersuchungen. Er hatte am Dache seines Hauses eine eiserne Stange aufgerichtet, wovon isolirt metallene Drähte in das Haus geleitet, und noch am Ende durch einen gläsernen Becher isolirt waren, damit die Elektricität der Gewitterwolken sich daselbst häufen und einen am Drahte hängenden Faden abstofsen

---

1 vgl. Dr. Benj. Franklins nachgelassene Schriften und Correspondenz nebst seinem Leben. Aus dem Engl. III. Band, Franklins Leben erster Theil enthaltend. Weimar 1818. S. 281. 282, wo sich überhaupt die wichtigsten historischen Notizen, Franklins elektrische Entdeckungen betreffend, befinden, die hier benutzt sind.

2 S. *Glockenspiel, elektrisches.*

3 S. Franklins Briefe d. Uebers. S. 146. ff.

4 Lettere dell' ellettricismo. Bologna 1758. 4.

möchte, dessen Abstofsungswinkel an einem Quadranten gemessen die Stärke der Elektricität angeben sollte[1]. Man sieht bei der jetzt bekannten Theorie die grofse Gefahr einer solchen unterbrochenen Leitung leicht ein, und Richmann[2] selbst, so neu die Sache auch noch war, äufserte doch, dafs er Gefahr ahne, der er aber seines Amts halber mit Muth und Unerschrockenheit entgegengehe. Am 6. Aug. 1753, als es in der Ferne gedonnert hatte, und er nebst dem Kupferstecher der Akademie Sokolow zu seinem Elektricitätszeiger geeilt war, gegen den er sich dahin, wo das Metall aufhörte, bückte, fuhr ein Wetterstrahl aus dem Drahte durch einen Fufs Zwischenraum in Gestalt eines weifsblauen Feuerballes nach seinem Kopfe, warf ihn todt zurück und hinterliefs an seiner Stirne einen mit Blut unterlaufenen Fleck, nebst einigen nur in die Haut gebrannten Flecken am Körper, und einen bläulichen am linken Fufse, wo ohne Verletzung des Strumpfes der Schuh zerrissen war. Innerlich fand man ausgetretenes Blut in der Luftröhre und in den Lungen, auch einige vom Blut ausgedehnte Adern in dem Gekröse und den dünnen Gedärmen, und der Körper gerieth in 48 Stunden in Fäulnifs. Der gläserne Becher und der Draht waren zerschmettert, und glühende Stücke des Letzteren hatten in Sokolow's Kleider Striemen gesengt, der auch selbst betäubt zu Boden fiel. Das ganze Haus war voll Dampf und Schwefelgeruch; ein Thürgerüst, durch welches die Leitung ging, ward beschädigt, einige Bediente betäubt und der Knall des Donners dabei war sehr heftig[3]. Dieser traurige Vorfall hätte, bei mehrerer Kenntnifs der damals noch ganz neuen Sache durch eine leichte Vorsicht abgewendet werden können, und man mufs ihn daher nicht als eine Einwendung gegen dergleichen Versuche anführen. Man hatte hier alles zur Anhäufung der Elektricität und Unterbrechung ihres Fortgangs veranstaltet, ohne im geringsten auf die Ableitung derselben bedacht zu seyn, wozu noch die Sorglosigkeit kam, mit welcher sich der unglückliche Richmann der

1 Winkler de avert. fulminis artificio p. 4 ff.

2 Novi Comment. Pet. IV. 535.

3 Phil. Trans. XLIX. 61 sqq.

Geräthschaft näherte und dem durch sie zur Erde herabfahrenden Blitze entgegenstellte. Indessen ward durch diesen tief eindringenden Fall jedermann auf den Zusammenhang zwischen Blitz und Elektricität aufmerksam gemacht, und man hat seitdem den Blitz allgemein für eine elektrische Erscheinung angenommen.

Vorzügliche Verdienste um die Aufklärung der Lehre vom Blitze hat sich später vor allen der würdige Arzt in Hamburg Dr. J. A. H. Reimarus durch zwei meisterhafte Werke, wovon das eine im Jahre 1778, und das zweite im Jahre 1794 erschien, erworben. Es wird in diesen beiden Werken von Reimarus angenommen, die Luftelektricität sey in den Wetterwolken angehäuft und der Blitz bestehe in einer Entladung derselben gegen andere Wolken oder auf irdische Gegenstände, man könne also aus elektrischen Versuchen die allgemeinen Eigenschaften und Wirkungen des Blitzes (indem man auf die gröfsere Stärke Rücksicht nehme) richtig ableiten, allein im Vortrage selbst hat Reimarus alles aus Beobachtungen wirklicher Wetterschläge hergeleitet, und so allerdings die Ueberzeugung allgemeiner und eindringender gemacht, als es durch die elektrischen Versuche im Kleinen geschehen kann. Es gebührt ihm nicht blofs das Verdienst, mit grofsem Fleifse und Umsicht die in so vielen Schriften zerstreuten Beobachtungen von Wetterschlägen und den dabei vorgekommenen Erscheinungen gesammelt und mit seinen eigenen Erfahrungen vermehrt zu haben, sondern er hat auch aus diesen Erfahrungen mit gründlicher Einsicht, insbesondere durch Vergleichung der von der Natur gleichsam im Grofsen angestellten Versuche mit denjenigen, die wir durch Hülfe unserer Elektrisirmaschinen angestellt haben, unter welchen die Versuche mit grofsen Batterien und ihrer Entladung jenen am nächsten kommen, die wichtigsten Resultate für die Aufstellung der unwandelbaren Gesetze der *Bahn* des *Blitzes* zu ziehen verstanden, die zu den nützlichsten praktischen Anwendungen und den bewährtesten Regeln für die Anlegung der Blitzableiter zunächst geführt haben. Wir glauben daher im Verfolge dieses Artikels den gründlichsten und zusammenhängendsten Unterricht von der Natur und den Wirkungen des Blitzes geben zu

können, wenn wir einen kurzen Auszug desjenigen vorlegen, was Reimarus in den angeführten zwei schätzbaren Schriften darüber gesagt hat, indem wir zugleich das, was die neuesten Erfahrungen in dieser Hinsicht hinzugefügt haben, gehörig berücksichtigen werden. Wir betrachten diesem gemäfs

1. Die Gewitterwolken an sich als die Magazine des Blitzes und die Erzeugung und Anhäufung der Elektricität in denselben.
2. Den Blitz selbst als elektrisches Phänomen und die Bedingungen seines Ausbruchs.
3. Die Bahn desselben und das Ziel, nach welchem dieselbe hingerichtet ist.
4. Den sogenannten Rückschlag oder aufwärts fahrenden Blitz.
5. Wirkungen des Blitzes auf seinem Fortgange an den Körpern nach seinem Ziele. Platzungen.

a. Wirkungen des Blitzes auf Menschen und Thiere; Hülfsmittel zur Wiederbelebung vom Blitze getroffener.

b. Wirkungen auf die guten Leiter, namentlich die Metalle.

c. Wirkungen auf die schlechten Leiter und Nichtleiter.

d. Platzungen.

e. Besondere Erscheinungen.

6. Sicherung gegen den Blitz.

I. Von den Gewitterwolken als Magazine des Blitzes, und von der Erzeugung und Anhäufung der Elektricität in denselben.

Die Bildung der Gewitterwolken ist immer noch ein in grofses Dunkel gehüllter meteorischer Proceſs. Unsere elektrischen Versuche im Kleinen verbreiten nur ein sparsames Licht darüber. Dafs Reibung der Lufttheilchen an der Erzeugung ihrer Elektricität keinen wesentlichen Antheil habe, beweist der Umstand, dafs einerseits die in der gröfsten Heftigkeit mehrere Tage anhaltenden Winde kein Gewitter erregen, und andererseits bei einige Tage vorhergegangener stiller Luft diese oft am gewaltigsten ausbrechen. Die Theorie der Gewitterbildung hängt mit der Theorie des Regens aufs innigste zusammen. Man kann annehmen, dafs es in

der Regel nicht donnert und blitzt, ohne zugleich zu regnen. Der Blitz entzündet sich da, wo die Wolke am dicksten ist, und den stärksten Regenguſs ausschüttet. Die Schnelligkeit, mit welcher die Wolken sich bilden, ist stets die Bedingung einer starken Erregung von Elektricität, die in Blitz und Donner ausbricht. Dies beweisen alle Beobachtungen über Gewitterbildung besonders in den Berggegenden, die ihre häufigsten Bildungsstätten sind. Wir werden also auf die Dünste als die eigentliche Quelle dieser Elektricität, die durch die schnelle Verdichtung jener in einer grofsen Strekke frei wird, hingewiesen. Der elektrische Vorgang bei der Verdünstung des Wassers kommt dieser Ansicht vorzüglich zu Hülfe. Durch Saussure's, Volta's und anderer Physiker Versuche ist es erwiesen, dafs bei aller Verdünstung des Wassers das Gefäfs, in welchem diese vor sich geht, und das Wasser selbst negativ elektrisch zurückbleiben. Die Dünste müssen also nothwendig den Gegensatz jener Elektricität, also die positive, mit sich in die höheren Gegenden der Atmosphäre führen, und dort anhäufen. So entsteht die in der Atmosphäre stets vorhandene Elektricität [1]. Dafs diese Elektricität als eine Art von gebundener Elektricität, ähnlich der gebundenen Wärme zu betrachten sey, die erst bei Verdichtung dieser Dünste zu Wolken frei wird, beweiset der Umstand, dafs vor der Gewitterbildung die freie Elektricität oft gering ist, und nun plötzlich in den Gewitterwolken selbst ihr Maximum erreicht. Wie nun diese Dünste in der Atmosphäre selbst enthalten sind, durch welche Ursachen sie sich oft so plötzlich verdichten, und in welcher Beziehung sie etwa zur Elektricitätserzeugung stehen mögen, ist noch nicht zur völligen Klarheit gebracht. Man kann die Gewitterwolkenbildung nicht wohl durch gewöhnliche Abkühlung von solchen Dünsten, die durch das Hygrometer angezeigt werden, erklären, darüber haben de Luc's Erfahrungen, der oft die Erzeugung der Gewitterwolken in den Regionen selbst, in welchen sie sich bildeten, beobachtete, hinlänglich entschieden. So beschreibt er [2] eine Be-

1 S. *Luft — Electricität.*

2 Neue Ideen über die Meteorologie II Thl. §. 618.

obachtung, wo er ganz nahe an seinem Standpuncte in einem Theile der Berge von Neufchatel länger als eine Stunde immer neue Wolken an derselben Stelle sich bilden sah. Die sich von da erhebenden Wolkentheile zerstreuten sich, wie sie über eine gewisse Gegend des Berges hinauskamen, aber unaufhörlich bildeten sich an jener Stelle neue Wolken. Dieses Hervorsprudeln von Nebel hatte die gröfste Aehnlichkeit mit dem heftigen Dampfen einer stark aufkochenden grofsen Wassermasse; der Niederschlag ging also hier mit einer gewissen Heftigkeit vor, und nicht so ruhig, wie wir den Abendnebel in der Ebene an Sommerabenden entstehen sehen. Dies ist noch auffallender bei den Gewitter und Platzregen drohenden Wolken, welche oft so schnell anwachsen, und den ganzen Himmel verdecken, nicht weil von Ferne her Wolken herangezogen sind, sondern weil in ihnen selbst der Niederschlag von Wasser (in Form von sogenannten Dunstbläschen) mit so grofser Heftigkeit vorging. Man bemerkt oft, dafs der Wind, der vorher eine andere Richtung hatte, plötzlich von der Gewitterwolke herkommt, und dafs diese nun schnell sich bis zum Zenith hin ausbreitet, nicht durch ein gewöhnliches Aufsteigen bereits gebildeter Wolken in die Höhe, sondern durch eine mit einer grofsen Heftigkeit fortschreitende neue Wolkenbildung, wobei ein Wind, der aus dem Innern der Wolken kommt, eintritt, ein zugleich kalter Wind, zum Beweise, dafs bei diesem Processe nicht Wärme frei wird, wie bei dem gewöhnlichen Niederschlage, wo elastischer Wasserdampf sein Wasser absetzt. Gehler [1] bemerkt in Rücksicht auf diese die Gewitter constant begleitende Abkühlung der Luft in Beziehung auf die zugleich statt findende Elektricitäts-Erregung: Vielleicht hat man diese Abkühlung nicht als Folge, sondern als Ursache des Gewitters anzusehen, die sich nur später in die unteren Regionen der Atmosphäre verbreitet. De Luc [2] ward durch heftige Kälte von einem Berge herabgetrieben und im Niedersteigen von einem Gewitter mit Hagel über-

1 Wörterb. 1. 374.

2 Reise nach den Eisgebirgen von Faucigny. Leipzig 1777. 8. S. 173.

fallen; da man während der Zeit in der Tiefe eine starke Hitze vor dem Gewitter gespürt hatte. Nach Gewittern im Winter pflegt die Kälte zuzunehmen [1]. Ob vielleicht die Wärme zur Bildung der positiven Elektricität mit verwendet wird, und dadurch verschwindet, oder ob vielmehr das Herabsteigen kälterer Schichten der Atmosphäre, durch die schnelle Verdichtung so vieler Dünste veranlafst, Kälte erzeugt, wobei auch der Umstand in Betracht kommt, dafs nach Gewittern der Wind sich gewöhnlich dreht, und, nachdem er vorher aus wärmeren Gegenden, namentlich Süden und Südwest wehete, mit welchen gewöhnlich bei uns Gewitter entstehen, nun nach Norden und Nordwest umspringt, kann hier wenigstens fragweise hingestellt werden. Was noch eine besondere Schwierigkeit in Erklärung der Gewitterbildung und eben damit der Elektricitätserzeugung macht, die zum Blitze Veranlassung giebt, ist die wiederholte Beobachtung DE Lücs, dafs Gewitter in Luftregionen entstehen, in welchen das Hygrometer relative Trokkenheit anzeigt, und also wenigstens die gewöhnlichen Wasserdünste noch weit von dem Maximum von Dichtigkeit entfernt sind, welches ihrer Verdichtung zu Wolken und zum Niederschlage jedesmal vorangehen mufs. De Luc [2] führt namentlich einen merkwürdigen Fall an, wo auf dem Buet bei einer Temperatur von + 6 R. und bei einem Stande des Hygrometers von 66,5 von der äufsersten Feuchtigkeit dicke Wolken, die sich um ihn bildeten, ihn an seine Rückkehr denken machten, bald darauf war der ganze Gipfel darin eingehüllt, sie dehnten sich aus und bedeckten den ganzen Horizont und er stand hier durch die Heftigkeit des Sturmwindes, Regens, Hagels und Donners eines der stärksten Gewitter aus, das er je erfahren hatte. Es dauerte einen grofsen Theil der Nacht, herrschte auf allen benachbarten Bergen und in der Ebene, und da es aufgehört hatte, dauerte der Regen nur mit einigen Unterbrechungen bis zum folgenden Mittage fort. De Luc fand, da er das Hygrometer in einem freien Zwischenraume untersuchte, das-

1 Reimarus vom Blitze 1778. S. 255 Anm. 206.

2 Ideen über Meteorologie 8 u. 28.

selbe auf der alten Trockenheit. Inzwischen wälzten sich die Wolken um ihn her, und der Regen begleitete ihn auf dem Wege zum Fufse des Berges. Er beobachtete das Hygrometer von Neuem, und ohngeachtet die Wärme jetzt nur 14° R. (also nur 10 Grade niedriger als zwei Tage vorher) und der Boden ganz mit Wasser getränkt war, stand das Hygrometer doch nur 1°,7 näher zur Feuchtigkeit als zwei Tage zuvor nach einer Reihe von schönen Tagen und bei 24° R. Wo war das Wasser, wo waren alle Bestandtheile des Gewitters, da das Hygrometer soviel Trockenheit sogar in den Schichten anzeigte, wo es entstanden war?

Wir bekennen aufrichtig, dafs keine Theorie des Gewitters diese Schwierigkeiten bisher vollständig gelöset hat, verweisen aber die nähere Erörterung in den Artikel: *Gewitter*, wo dieser Gegenstand in seinem ganzen Zusammenhange mit der Meteorologie näher abgehandelt werden wird, und schränken uns hier nur darauf ein, den elektrischen Charakter der Gewitterwolken, soferne von da aus unsere weitere Erklärung ihren Fortgang nehmen mufs, näher zu bestimmen. Um das elektrische Verhältnifs derselben, besonders in Beziehung auf das Einschlagen des Blitzes richtiger würdigen und übersehen zu können, kann man sie am füglichsten mit einem mit positiver Elektricität bis zu einem hohen Grade von Spannung geladenen Conductor vergleichen. Dafs die positive Elektricität wenigstens immer die ursprünglich thätige in dem ganzen Vorgange sey, beweisen sowohl die unmittelbaren Beobachtungen über das Verhalten der Gewitterwolken gegen Elektrometer [1] als es auch aus dem folgt, was oben über die Anhäufung der Elektricität in den höheren Gegenden der Atmosphäre in Folge der Ausdünstung bemerkt wurde. Dafs auch Wolken mit negativer Elektricität vorkommen, ist kein Beweis dagegen. Man kann nach dem Gesetze der Vertheilung ihre negative Elektricität als eine abgeleitete aus der positiven sehr gut begreifen, wie bei der Betrachtung des Rückschlages näher gezeigt werden soll. Inzwischen begründet die etwaige Verschiedenheit der Elektricität der Wolken, ob sie nämlich positive oder

1 S. *Luftelektricität.*

negative ist, keine wesentliche Verschiedenheit in den Erscheinungen und Wirkungen des Blitzes. Die elektrischen Funken und Schläge äufsern dieselben Wirkungen und folgen denselben Gesetzen, sie mögen aus positiv oder negativ-elektrisirten Leitern kommen. Wenn man zwei ebene und glatte kreisrunde Bretter mit Zinnfolie belegt, und in horizontaler und paralleler Lage mit ihren belegten Seiten gegen einander kehrt (wozu man das untere auf einen mit der Erde verbundenen Fufs stellen, das obere an seidenen Schnüren so aufhängen kann, dafs es isolirt aufwärts und abwärts beweglich ist, z. B. am Ende eines Hebelarmes hängend), so wird man folgenden für die Lehre vom Blitze sehr wichtigen Versuch anstellen können. Wird das obere Brett mit einer in Thätigkeit gesetzten Elektrisirmaschine verbunden, und dem untern Brettchen genähert, so wird dieses nach dem Gesetze der elektrischen Atmosphärenwirkung die entgegengesetzte Elektricität von jenem erhalten, und wenn man unter diesen Umständen beide zugleich berührt, so werden sich ihre entgegengesetzten Elektricitäten durch den berührenden Körper oder die Hand mit einem Erschütterungsschlage entladen. Bringt man beide Bretter einander sehr nahe, z. B. auf einen halben Zoll, und elektrisirt das obere sehr stark, so erfolgt mehrentheils von selbst eine freiwillige Entladung mit einem starken, die Luft durchbrechenden Funken. Vor diesem Schlage ziehen sich die Bretter einander stark an, beim Schlage selbst werden sie aber von einander durch eine Art von Platzung geworfen (welches man am besten beobachten kann, wenn die Bretter nicht horizontal gestellt, sondern vertikal aufgehangen sind). Ist in der Mitte des einen oder andern Brettes ein kleiner hervorragender Körper befestigt, so erfolgt der Durchbruch des Schlages allezeit an dieser Stelle. Steht aber anstatt des hervorragenden Körpers auf dem einen Brette eine scharfe Spitze, so kann weder eine Ladung noch ein Schlag hervorgebracht werden. Steht das obere Brett dem unteren statt mit seiner Fläche mit seinem Rande gegenüber, so erfolgt der Durchbruch des Funkens aus einer bedeutend gröfseren Entfernung. Dieser von Wilke[1] und Aepinus herrührende

1 Dissertatio de electricitatibus contrariis, Rostock 1757. 4. exp. 58.

Versuch zeigt im Kleinen sehr deutlich, was beim Gewitter im Grofsen vorgeht. Eine elektrisirte Wolke befindet sich an der Stelle des obern, ein Theil der Oberfläche der Erde oder eine andere Wolke an der Stelle des untern Brettes. Die Erdfläche (oder eine andere, nicht schon elektrisch geladene Wolke) wird im Wirkungskreise einer positiven Wolke stets die negative Elektricität annehmen. Die zwischen befindliche Luft als ein nicht leitender Körper, macht es möglich, dafs die Elektricität in der Wolke sich bis zu einem gewissen Grade anhäufen, und diesem gemäfs einen gewissen Grad freier Spannung annehmen kann, in deren Verhältnifs ihre vertheilende Wirkung steht, durch welche sie ihren Gegensatz auf die Erdfläche hervorruft, und ihre anziehende Wirkung, welcher sie als der bewegliche Körper gegen die Erdfläche folgt. Ist in Folge dieser Anziehung die Wolke nahe genug und ihre Elektricität stark genug, oder entsteht gar eine leitende Verbindung zwischen der Wolke und der Erdfläche, so wird eine Entladung, ein Blitz erfolgen, welcher insgemein sehr in die Höhe hervorragende Körper, wie z. B. die Giebel und die höchsten Ecken der Häuser, Bäume, die Masten der Schiffe u. s. w. zuerst trifft, weil sie entweder der Wolke am nächsten sind, oder von ihnen aus die weitere Leitung zur Erde die vollkommenste ist. Auch zwei Wolken können aufeinander auf eine ähnliche Art wirken, wenn die eine davon entweder mit der Erde z. B. am Abhange von Bergen in Berührung steht, oder Wolken in einer Reihe hinter einander sich befinden, die wechselseitig auf einander durch Vertheilung wirken können. In diesem Falle entstehen verschiedene Elektricitäten an den entgegengesetzten Seiten mehrerer Wolken, und bei der Entladung schlägt der Blitz zugleich aus der ersten in die zweite, aus der zweiten in die dritte u. s. f. [1], die zwischen der Wolke und der Oberfläche der Erde oder überhaupt der Körper, in welche sich jene entladet, befindliche Luftschicht, kann man in gewisser Hinsicht auch als geladen betrachten und die Wolke und die Erdfläche als die weit ausgedehnten Belebungen dieser Schicht. Der Senator Kirchhoff in Ham-

1 S. *Rückschlag.*

burg hat durch eine schwebende, nach Art einer Wolke gestaltete, glatte, mit Stanniol überzogene Scheibe von Pappe, welche eine Gewitterwolke im Kleinen vorstellt, jenes Verhältnifs noch anschaulicher zu machen gesucht. Diese künstliche Wolke an einem horizontalen Waagebalken schwebend wird erst ins Gleichgewicht mit einem Gegengewichte und mit dem Leiter der Elektrisirmaschine, oder noch besser, mit der inneren, positiv zu ladenden Belegung einer starken Batterie in Verbindung gebracht. So wie die Ladung der Batterie, und damit die freie elektrische Spannung zunimmt, senkt sich die Wolke auf unter ihr befindliche hervorragende Gegenstände, die Masten eines kleinen Schiffs, das auf dem Wasser schwimmend von der Wolke zugleich herbeigezogen wird, auf ein Donnerhaus, und entladet sich endlich bei hinlänglicher Nähe mit einem starken Funken [1]. Man hat dieses Verhältnifs die drückende oder drängende Elektricität, bei einer Gewitterwolke den Drang ihrer Elektricität genannt. Passender ist der Ausdruck: die freie Spannung der Elektricität, nach deren Gröfse sich im Allgemeinen die Schlagweite der Wolke richtet.

Die freie Elektricität der Gewitterwolken kündigt sich schon, ehe es zum Blitze selbst kommt, durch mehrere auffallende Wirkungen an. Namentlich gehört hierher die oft bei Gewittern statt findende Umkehrung des Windes; im freien Felde und auf den Gassen sieht man bei Annäherung der Gewitterwolke den Staub und andere leichte Körper mit kreiselnder Bewegung sich in die Luft erheben, es entstehen heftige Wirbelwinde, die Luft wird durch die elektrische Repulsion von der Wolke abgetrieben, und es bläst also von ihr aus ein starker, oft sehr kalter Wind, auf dem Meere entstehen durch die elektrische Anziehung die Wasserhosen, die sich mit den Wolken selbst fortbewegen.

Diese Ansicht der Gewitterwolken und ihre Vergleichung mit Leitern von einer sehr grofsen Ausdehnung, die zu einem sehr hohen Grade von Spannung elektrisirt sind, wird von DE LUC [2] bestritten, weil sie mit ausgemachten Er-

1 Göttinger Magazin. 1780. 2tes Stück S. 322.

2 Nicholsons Dec. 1810.

scheinungen, die bei Gewittern vorkommen, nicht in Uebereinstimmung zu bringen sey. Dahin rechnet er vorzüglich die Bildung von Gewittern in Alpenthälern und in Thälern niedriger Gebirge, wo die Gewitterwolken hie und da auf dem feuchten Boden aufgelegen hätten, und sich daher keine Möglichkeit einsehen liefse, wie sich die elektrische Flüssigkeit in diesen Wolken habe erhalten können, aus denen man gleichwohl häufige Blitze mit begleitendem Donner habe ausbrechen gesehen. Auch würde schon die feuchte Luft, von welcher die Nebelmassen oder Wolken umgeben seyen, die Elektricität derselben zerstreuen und es zu keiner solchen Anhäufung kommen lassen. Da nun aus solchen Wolken doch oft schnell nach einander heftige Blitze ausfahren, so müsse die ungeheure Masse elektrischer Materie gleichsam erst augenblicklich durch irgend eine chemische Operation entstehen, deren Ursache uns noch unbekannt sey, und in der die elektrische Elüssigkeit entweder aus irgend einer Verbindung, in der sie sich befinde, entbunden, oder auf irgend eine Art durch Zusammensetzung erzeugt werde. So in Freiheit gesetzt, stürze sie sich wie ein Strom in die Wolke, und aus dieser in den Erdboden. Die Spuren eines solchen gleichsam elektrogenischen chemischen Processes findet DE LUC auch in den aufeinanderfolgenden Detonationen, welche das ausmachen, was wir das Rollen des Donners nennen[1]. Wir pflichten DE LUC vollkommen darin bei, dafs in vielen Fällen die Erzeugung der Elektricität in den Gewitterwolken und der Ausbruch des Blitzes gleichsam in einen Augenblick zusammenfallen. Wir sehen mit ihm das Gewitter selbst als einen fortschreitenden grofsen chemischen Procefs an, durch welchen gleichzeitig wässeriger und elektrischer Niederschlag sich bilden, und mit dem häufigern Regen auch schneller auf einander die Blitze herabstürzen. Man kann dieses Phänomen in dieser Hinsicht am besten mit heftigen vulcanischen Ausbrüchen vergleichen, wo gleichfalls die Blitze die vulcanischen Rauch- und Aschewolken durchzucken. Darum sind doch die anderweitigen Erscheinungen eben so entschieden vorhanden, welche auf Anhäufung freier

1 S. *Donner.*

Elektricität in Gewitterwolken hindeuten. Nicht selten sieht man einzelne solche Wolken unverändert sich auf in die Höhe stehende Gegenstände herabsenken, durch einen Blitz sich auf sie entladen und dann wieder in die Höhe steigen. Hier ist doch die Uebereinstimmung mit einem elektrisirten Conductor unverkennbar. Die feuchte Luft ist ein vorzüglich ableitendes Mittel der Elektricität, und es kann daher bei anhaltender nebeliger Witterung keine, durch atmosphärische Elektricität bewirkte Erscheinung zu Stande kommen. Wenn man aber berücksichtigt, wie schlecht auf der einen Seite nach Beobachtungen an Blitzableitern die nicht sehr feuchte Oberfläche der Erde oft leitet, und in welcher Menge die Elektricität zuweilen in den Gewitterwolken wieder erzeugt wird, so kann man recht gut begreifen, dafs sich dieselbe zu einer sehr hohen Spannung in den Gewitterwolken anhäufen kann, ohne durch die oben angegebenen, allerdings ableitenden, Ursachen gänzlich zerstreut zu werden. Es wird hierbei alles auf das Verhältnifs des Processes, durch welchen die Elektricität zugleich mit der Wolke erzeugt wird, und die Schnelligkeit dieser Erzeugung zur Gröfse der Ableitung durch die feuchte Luft ankommen. Da Wolken ferner kein Continuum sind, so können sie sehr wohl an einzelnen Stellen mit der feuchten Erde in Berührung stehen, ohne darum in ihrer ganzen Ausbreitung ihre Elektricität zu verlieren. Wenn auch Gewitter während ihres Verlaufs in einem gewissen Sinne fortdauernd Wolken, Regen und Elektricität produciren, so dürfen wir doch die Producte selbst nicht übersehen, und zu diesen gehören die bereits gebildeten Wolken, die durch so manche Erscheinungen (schon durch ihre Wirkung auf elektrische Drachen bei ihrem Vorüberziehen), die oben angeführt wurden, ihre freie Elektricität verkündigen. In der Hauptsache ändert aber selbst die unbedingte Annahme der Ansicht DE LUC's, dafs sich der Blitz jedesmal erst erzeuge, wenn er ausbricht, und nicht eine Entladung einer schon vorher angehäuften Elektricität sey, nichts in der nachfolgenden Darstellung, da auch im ersteren Falle dieselben Gesetze für seine weitere Bewegung und Leitung gelten, wie wenn er aus einer elektrischen Wolke hervorgebrochen wäre.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

II. Der Blitz selbst nach seiner nähern Beschaffenheit und den Bedingungen seines Ausbruchs.

Der Blitz selbst, der eigentlich ein Ausbruch einer leuchtenden Materie ist, und stillstehend einen Feuerball vorstellen würde (wie denn auch, in dem unglücklichen Falle mit RICHMANN, SOKOLOW, der ganz nahe dabei stand, den Blitz wirklich auf dem so kurzen Wege als einen Feuerball übergehen sah, und auch REIMARUS in seiner ersten Abhandlung S. 120 einen Fall anführt, wo nahe Personen einen Wetterstrahl, der mehrere Personen getödtet, in Gestalt einer feurigen Kugel herabfahren sahen und Schübler[1] von einem Gewitter bemerkt, dafs zwei Blitze sich mit einem armsdicken Feuerstrome endigten, der abwärts gegen die Erde fuhr, und an dessen Ende man eine Feuerkugel bemerkte, die feuriger als der Strom selbst glänzte), erscheint seiner schnellen Bewegung halber selten anders, als in der Gestalt eines Strahls. Man sieht ihn, wie den elektrischen Funken bisweilen gerade auf den getroffenen Gegenstand zu gehen, am häufigsten sich schlängeln oder ein Zickzack bilden. Man hat dieses Zickzack, was eigentlich auf einem wiederholten Abspringen desselben auf seinem Fortgange beruht, auf verschiedene Weise zu erklären gesucht. HELVIG[2] erklärt dasselbe aus der starken Zusammendrückung der Luft, die der Blitz vor sich her treibt; er hat dieses Zickzack durch Beobachtung mit Hülfe einer Camera clara näher zu bestimmen gesucht, und glaubt, es geschehe unter einem Winkel von etwa 40°. Er gründet diese Bestimmung darauf, dafs er bei seiner Beobachtung des Blitzes auf dem aus Quadraten gebildeten Netze der Camera clara diesen Winkel nie kleiner sah. BRANDES[3] bemerkt dagegen richtig, dafs diese Folgerung nicht zugegeben werden könne, da ein beliebiger Winkel z. B. von 80° dem Beobachter beim Gebrauche jener Vorrichtung gröfser oder kleiner erscheinen könne, je nachdem die Lage des Auges es mit sich bringe. PARROT[4] geht in

1 Schweig. J. N. R. XI. 86.
2 G. LI. 139.
3 Beiträge zur Witterungskunde. S. 353.
4 Theoretische Physik III. 462. §. 325.

seiner Erklärung des Zickzacks von dem Satze aus, dafs die elektrischen Explosionen, welche den Blitz bilden, in der Atmosphäre selbst geschehen, und dafs nur die heftigsten derselben die Erdfläche erreichen; der Leiter, auf welchen sich der Blitz stürzt, müsse also in der Atmosphäre selbst seyn; und da wir wissen, dafs sie nie ganz frei von Niederschlag ist, der successiv und zugleich schnell entsteht und verschwindet, so müssen wir uns die Atmosphäre als aus abwechselnden, mehr und minder feuchten, kleinern und gröfsern Massen bestehend denken, von denen der Blitz die feuchten, als bessere Leiter, auf seinem Wege aufsuche. Eine richtige Erklärung des Zickzacks mufs aber gleichfalls auf den gewöhnlichen elektrischen Funken passen, der bei einer gröfsern Entfernung der Leiter von einander eine ähnliche Form zeigt, wo doch in einer ruhigen Zimmerluft keine solche abwechselnd mehr feuchte und trockene Schichten angenommen werden können. Uns scheint daher Helvig's Erklärung mit allen Erscheinungen besser zu harmoniren. So viel ist ausgemacht, dafs diese Zickzackform dem Blitze nicht wesentlich ist, und dafs da, wo der Durchbruch durch keinen zu grofsen Luftzwischenraum erfolgt, oder die Elektricität eine sehr hohe Spannung hat, der Blitzstrahl einen ganz geraden Weg nimmt, wie auch von genauen Beobachtern, namentlich von Brandes ausdrücklich angemerkt wird. Oefters sieht man auch einen Blitzstrahl sich in mehrere Strahlen zertheilen, und, was unter die sehr seltenen Erscheinungen gehört, Muncke[1] sah einen anscheinend lothrecht herabgehenden über 200 F. langen Blitzstrahl sich in lauter kleine Kügelchen auflösen. Nach Gehler soll auch eine innere wirbelnde Bewegung im Blitze vorgehen, wie man denn oft bemerke, dafs er sich um cylindrische Körper, die er der Länge nach trifft, in Schraubengängen herumwindet. Gehler hat nicht angegeben, woraus er diese Beobachtung geschöpft hat. Eine analoge Erscheinung hat v. Yelin[2] mitgetheilt, wo nämlich die um die einzelnen Drähte eines

1 Sacra natal. Divi Caroli Friderici cet. die XXII. Nov. 1819. renunciat. G. W. Muncke p. 6.

2 Ueber den am 30. April 1822. erfolgten merkwürdigen Blitzschlag u. s. w. 2te Auflage. München 1824. 8. S. 15.

Blitzableiters, der aus einem aus Messingdrähten gewundenen Seile bestand, und der von einem Blitzstrahle getroffen und zerrissen worden war, ringsumher gehenden Brüche eine schraubenförmige Folge zeigten, auch die Auffangespitze an ihrem äufsersten Ende geschmolzen und in ihrem übrigen Fortgange schraubenförmig gekrümmt war. Auch in einem andern Falle[1] wurde eine solche schraubenförmige Bruchfläche bemerkt. Diese Thatsachen sind höchst merkwürdig, wenn man sie mit der Erklärung der Erscheinungen des Elektromagnetismus aus einer Bewegung der Elektricität in Schraubenlinien zusammenhält.

Ueber die Geschwindigkeit des Blitzes läfst sich nach den bisherigen Erfahrungen nichts mit Sicherheit bestimmen. Helvig[2] glaubt demselben nach seinen Beobachtungen mit der camera clara eine Geschwindigkeit von 40000 bis 50000 Fufs in der Sekunde beilegen zu können; die Data zu dieser Bestimmung scheinen uns aber noch unsicher.

Da der Schlag den nächsten Theil des Gegenstandes trifft, von welchem die Elektricität am stärksten angezogen wird, und die isolirende Luftschicht durchbricht, wo sie am dünnsten ist, so können die Blitze nach verschiedenen Richtungen aufwärts, niederwärts, schräg oder horizontal gehen, je nachdem sie hier oder da einen nähern Gegenstand, der sie aufnehmen kann, antreffen. Wir betrachten hier insbesondere den zur Erde herabfahrenden Blitz, dessen eigentliches Ziel diese selbst entweder an ihrer Oberfläche oder unter gewissen Umständen auch wohl in ihrer Tiefe ist. Der Ausbruch oder Anfall des Blitzes auf einen Gegenstand wird bestimmt und befördert 1. *durch den Drang der Wetterwolke*; 2. *durch ihre Annäherung*; 3. *durch eine Zwischen-Wolke*, wenn gleich die Hauptwolke noch aufser der Schlagweite ist; 4. *durch die Materie des Gegenstandes*; 5. *durch die Gestalt desselben*.

Was den ersten Punct betrifft, so läfst sich im Allgemeinen nur sagen, dafs je gröfser die elektrische Spannung, um so gröfser auch die Schlagweite ist. Die Zunahme der Span-

---

1 S. 19.
2 G. LI. 136.

nung hängt vorzüglich von der Raschheit ab, womit der Niederschlag erfolgt, daher auch der Blitz sich da entzündet, wo eben die Wolke am dicksten ist, und die stärksten Regengüsse ausschüttet. Hierin treffen wir also mit DE LUC zusammen, der alles auf die Raschheit des chemischen Processes zurückführt, durch welchen die elektrische Materie augenblicklich sich erzeugt. — Die Annäherung hängt vorzüglich von dem Zuge der Gewitterwolken ab, durch welchen sie in die Nähe hervorragender Gegenstände (Bäume, Thürme) geführt werden, doch bestimmt die Stärke der elektrischen Spannung selbst mit diese Annäherung; dadurch wird, wenn eine Wolke sich über Gegenständen befindet, die sonst durch ihre Gestalt oder Materie die Entladung in den Erdboden erleichtern, das Herabsinken derselben befördert. Man sieht oft deutlich, wie schon oben bemerkt ist, einzelne Gewitterwolken herabsteigen, sich entladen, und dann eben so schnell wieder in die Höhe gehen. Wenn Gewitter, wie das der Fall seyn kann, sich in niedrigen Gegenden gebildet haben, so ist die Gefahr des Einschlagens des Blitzes um so gröfser. Eine Zwischenwolke, die zwischen einer stark elektrisirten Wolke (oder im DE LUC'SCHEN Sinne zwischen einer Gegend der Atmosphäre, wo die Erzeugung der Gewitter-Elektricität eben jetzt sehr rasch vor sich geht) und einem eine Leitung zur Erde gewährenden Gegenstande sich befindet, kann auch durch die blofs vermöge der Vertheilung erzeugte Elektricität das Einschlagen des Blitzes veranlassen. Ist sie nämlich dem Gegenstande nahe genug, so kann die durch den Drang der über ihr befindlichen Gewitterwolke zurückgetriebene und nach unten in ihr sich anhäufende Elektricität zu einer elektrischen Explosion Veranlassung geben, ohngeachtet ihre eigene Elektricität nicht stark genug gewesen wäre, einen Blitzstrahl zu geben. Eine solche Zwischenwolke kann aber auch als blofser Leiter dienen. Auch wenn keine Zwischenwolke vorhanden ist, kann die mehr feuchte Beschaffenheit der zwischen befindlichen Luft die Explosion befördern.

Was die Materie der Körper betrifft, so wird im Allgemeinen die Entladung durch das bessere elektrische Leitungsvermögen der Körper bestimmt, wobei jedoch nur die Summe

der ganzen Leitung bis zum Ziele des Erdbodens den Ausschlag giebt.

Sehr viel kommt endlich in Ansehung der Anlockung auf die Gestalt der Gegenstände an. Schmale hervorragende Theile, z. B. Knöpfe, Schornsteine auf Gebäuden, hoch in die Luft ragende Bäume, Menschen, Thiere, Korngarben, Heuhaufen auf freiem Felde werden leichter und in gröfserer Ferne getroffen. So giebt es Fälle, wo der Blitz aus einer ziemlichen Entfernung schräg gegen den Schornstein eines Hauses gefahren ist, ohne die näher liegenden platten Theile des Dachs zu berühren. Reimarus führt auch einen merkwürdigen Fall an, wo ein niedriges Haus, welches an ein gröfseres, mit einem Blitzableiter versehenes, angebauet war, doch an einer Ecke getroffen wurde, ohne Zweifel weil von der Wolke aus bis ganz in die feuchte Erde auf diesem Wege die vollkommenste Leitung statt fand. Findet der Blitz mehrere gleich geschickte Gegenstände in seiner Schlagweite, so theilt er sich bisweilen in mehrere Strahlen, doch hängt diese Theilung vorzüglich von den Bedingungen seiner weiteren Fortleitung ab. Dafs, wie Helvig will, der Weg des Blitzes häufig mehr durch die verschiedenen Absprünge bestimmt werde, die er in der Luft erleidet, und dafs er besonders darum öfters an hohen Gebäuden vorübergehe (?) und auf die nicht fern davon befindliche niedrige Hütte treffe, weil etwa an dem Dache des hohen Gebäudes die vor dem Blitze hergetriebene Luft auf einen solchen Grad zusammengedrückt war, dafs sie den Blitz nach jener Hütte hin reflectiren konnte, ist nicht wahrscheinlich, da die Voraussetzung selbst mit der Erfahrung nicht übereinstimmt, und sich das Einschlagen in niedrigere Gebäude auf die angegebene Weise richtiger erklären läfst. Die Beförderung des Anfalls des Blitzes ist indefs in der Regel für keine eigentliche Anlockung der Wolken selbst zu halten. Der Zug der Wetterwolken wird durch ganz andere Ursachen bestimmt. Gebirge können ihn aufhalten, daher man einige derselben Wetterscheiden nennt; auch scheint der Lauf der Ströme nebst Ebbe und Fluth einigen Einfluſs darauf zu haben. Hier in Kiel steigen die Gewitter gewöhnlich in Südwesten auf, und ziehen sich nach Osten vielleicht durch die Anlockung der grofsen

Wassermasse der Ostsee, die sich in der letzteren Richtung befindet. Im Ganzen wird zwar die Wetterwolke von der in einen entgegengesetzten elektrischen Zustand versetzten Erdfläche angezogen, aber die besondere Anziehung eines einzelnen Körpers ist gewifs nicht vermögend, eine ganze Wolke heranzuziehen. Wenn man beobachtet hat, dafs die Gewitter wiederholt in dasselbe Gebäude, denselben Thurm eingeschlagen habe, so rührt dies nicht von einer eigentlichen Anlockung, sondern von dem in derselben Gegend sich im Ganzen gleichbleibenden Zuge der Gewitterwolken her, wo dann in ihrem Fortgange der Blitz da einschlägt, wo er am leichtesten seinen weiteren Fortgang nach dem Ziele, nach welchem er strebt, findet. Wo keine hervorragende Leiter sind, da wird der Ausbruch nur zurückgehalten, die Ladung häuft sich um so mehr an, da der Procefs der Wolkenbildung und der Elektricitätserzeugung im Gewitter selbst ein fortschreitender ist, und bricht nachher desto gewaltsamer aus. Daher die heftigen Schläge, mit welchen sich das Gewitter auf dem Meere, auf einem freien Felde entladet. Der Drang, oder die elektrische Ladung einer Wetterwolke erneuert sich oft nach gewissen Zwischenräumen, indem durch neuen Niederschlag ein neuer Vorrath von Elektricität frei geworden ist. So schlug in Halle nach Klügel's[1] Erzählung der Blitz innerhalb 2 bis 3 Minuten an 4 Orten, die in einem Striche 420, 670 und 1170 Schritte von einander entfernt lagen, ein. De Luc würde dies wiederholte neue Gewitter-Detonationen nennen, durch welche jedesmal erst die sich im Blitze ergiefsende elektrische Materie im Augenblicke selbst erzeugt wird. Oft können auch wiederholte Blitze aus mehreren auf einander folgenden oder an einem andern Orte zusammenkommenden Wolken entstehen.

Man findet bisweilen auf den Wiesen sogenannte *Zauberkreise* (Fairy - Circles) von 3 bis 4 Schuh Durchmesser, in welchen das Gras vom Blitze versengt ist, nach dem Abmähen aber viel frischer und grüner als an den übrigen Stellen

---

1 Beschreibung der Wirkungen eines heftigen Gewitters, welches am 12. July 1779 die Stadt Halle betroffen. Halle 8.

wieder wächst[1]. Vielleicht fällt in diesem Falle, wo keine besonderen Hervorragungen statt finden, der Blitz auf einmal in gröfserem Umfange herab.

III. Verhalten des Blitzes nach dem Einschlagen auf seinem weiteren Fortgange zur Erde. Bahn des Blitzes.

Die Gesetze des Verhaltens des Strahls auf seinem weiteren Fortgange zur Erde werden durch die leitende oder nicht leitende Beschaffenheit der Körper bestimmt, und am sichersten aus Erfahrungen über Wetterschläge selbst erforscht, die indefs in der Hauptsache dieselben Resultate geben, welche wir durch unsere Versuche im Kleinen erhalten. Das deutlichste Zeichen einer geringeren Anlockung auf dieser Bahn ist, wenn man den Blitz unter einerlei Umständen einen Körper verlassen sieht, um einem andern zuzuspringen. So wird der Blitz durch alle feste Körper mehr als durch die Luft gelockt, er fährt z. B. nie durch offene Thüren und Fenster, folgt also auch nicht der Zugluft, sondern streicht an Sparren, Mauern, Pfosten u. s. w. herab. Darum kann man sich auch nicht darauf verlassen, dafs der Blitz gewisse Körper niemals treffe, von denen man dieses gesagt hat, z. B. Buchen, Tannen, Birken, Lorbeerbäume und Theezweige[2]. Es kommt immer darauf an, ob er aufser ihnen einen bessern Leiter findet. Die besten Leiter des Blitzes sind unstreitig die Metalle, diese trifft er vorzüglich, geht an ihnen fort, so weit sie reichen, verläfst auch andere Körper, die ihn vorher leiteten, um Metalle zu ergreifen. Daher trifft der Wetterstrahl so leicht metallene Knöpfe und Dächer auf Thürmen und Gebäuden, doch meistens nur in solchen Fällen, wo ihn dann auch auf dem übrigen Theile seines Weges das meiste Metall zur Erde leiten kann. Wie sich der Blitz an den Drähten der Schellenzüge, der Gypsdecken, der zum Anwurfe berohrter Balken der Zimmer durch alle Biegungen derselben, eben so längs der vergoldeten Leisten der Gesimse hinziehe, ist bekannt, und schon von

1 Phil. Trans. X. 394 und XXXIII. 366.
2 Plin. histor. nat. XVII. 30.

Franklin bemerkt worden. Wenn hiervon in einzelnen Fällen dem Scheine nach Ausnahmen sich zeigen, so mufs man ja nie das Hauptgesetz aus dem Auge verlieren, welches alles wieder unter die Regel bringt, dafs der Bitz im Ganzen genommen der Bahn folgt, auf welcher er den wenigsten Widerstand findet, er nimmt nicht eben den nächsten, aber den leichtesten Weg, auf welchem die Summe der Leitung im Ganzen die gröfste ist, und seine Bahn wird daher nicht durch einzelne Stellen, sondern durch die Beschaffenheit des ganzen Zwischenraumes bestimmt, den er bis zur entgegengesetzten Elektricität, als seinem Ziele, zu durchlaufen hat. So bewirkt ein einzelnes Stück Metall auf einem Gebäude noch nicht, dafs diese Stelle vorzüglich getroffen wird, dagegen der Blitz, wenn er auch auswärts kein Metall findet, doch mit Zertrümmerung der dazwischen liegenden Nichtleiter dahin schlägt, wo sich ihm inwendig die beste Leitung zum Ziele darbietet.

Eine zusammenhängende Strecke Metall verläfst der Blitz nur da, wo er einen leichteren Weg zur Erde findet, d. i. 1. wenn das übrige Ende der Strecke ihn nicht zur Erde, sondern in die freie Luft führen würde, also z. B. Regenröhren, die in einiger Entfernung von der Erde endigen; 2. wenn die Umwege zu weit sind, und er in der Nähe zu einem kürzern oder bessern Leiter gelangen kann; 3. wenn der Umfang des Leiters zu gering, und ein reichlicherer in der Nähe ist; in diesem Falle theilt er sich öfters zwischen beide. Eben dasselbe bestätigen auch die elektrischen Versuche an der grofsen Maschine zu Harlem [1], in welcher bei Anwendung eines sehr dünnen Drahts zur Leitung des Entladungsfunkens von der innern Seite der Batterie zur äufsern der Funken auf einen daneben gespannten Draht, selbst durch einen doppelten Zwischenraum Luft von 0″,75 übersprang, was gleichmäfsig der Fall war, als eine nicht stark gespannte Kette, deren Glieder übrigens aus ziemlich dickem Drahte verfertigt waren, angewandt wurde. 4. Wenn eine Metallstrecke einen Strahl am Ende auf widerstehende Körper

---

1 van Marum première continuation des experiences faites par le moyen de la machine Teylerienne à Harlem 1787. 4. Chap. VII. p. 160.

führen würde, und eine andere, wenn gleich unvollkommene Leitung ihn beträchtlich tiefer bringen kann, so verläfst er jenes Metall da, wo er den leichtesten Uebersprung oder Durchbruch zu diesem anderen Wege machen kann. Durch diesen Fall mufs man sich nicht irre machen lassen. Wenn gleich der Strahl eine Strecke verläfst, auf der er weiter hätte gehen können, so kommt es doch hier nicht auf die Länge des Zwischenraumes an, sondern auf die Leichtigkeit des Gelangens zum Ziele. So wird der Blitz z. B. weder von a bis c noch von b bis g fortlaufen, und über m n, h k nur quer hinstreichen, um zu seinem Ziele x zu gelangen, wenn er gleich dabei kleine Zwischenräume Luft, wie bei b und f, durchbrechen mufs. Im Kleinen kann man dasselbe mit in jener Form ausgeschnittenem Gold - oder Silberpapier anschaulich machen, wo der Entladungsfunken seine Spur durch die Oxydation des Metalles zurückläfst. So weicht der Strahl von einem kupfernen Thurmdache, dessen Rand unten nur auf die Mauer führen würde, mitten ab, um auf eine weiter herunter reichende Stange, Draht u. s. w. zu springen. Doch kann es auch Fälle geben, wo vielleicht grofse Massen von Elektricität auf solchen Leitern sich gleichsam einen Augenblick anhäufen und eine gewisse Spannung, bis zum Ausströmen, erlangen, wenn der eigentliche Ableiter, dem sie folgen, nicht hinreicht, um die ganze Quantität schnell genug abzuleiten. So erzählt der Rec. von Gürle's Schrift über Blitzableiter[1] einen Fall, wo der Blitz den Ableiter eines Kirchthurms traf, welcher auf das kupferne Dach geleitet war, und von dort der Erde zulief. Man bemerkte nirgend eine Spur von der Wirkung des Blizzes, aber an den Kanten des Dachs sprühte überall sichtbar das Feuer umher[2].

Fig. 217.

Nächst den Metallen scheinen Menschen und Thiere die vorzüglichsten Leiter, und in diesem Sinne die am meisten anlockenden Gegenstände des Blitzes auf seiner weiteren Bahn zur Erde zu seyn. Auf Menschen und Thiere trifft der Blitz vorzüglich leicht, wenn sie im freien Felde die einzi-

---

1 No. 17 des Jahrgangs 1806 der A. L. Z.

2 Vgl. *Blitzableiter.*

gen hervorragenden Gegenstände sind oder sonst seiner Bahn im Wege stehen, z. B. sich zwischen zweien Metallen oder einem Metall und der Erde befinden, wo der Blitz einen Uebergang sucht. In diesem Falle verläfst er Holz und Steine, um den menschlichen oder thierischen Körper zu ergreifen. So wurden in einzelnen Fällen Menschen erschlagen, welche unter einem Baume oder Heuhaufen Schutz gesucht, oder sich nahe an eine Wand, in die Ecke des Zimmers, unter ein Thürgerüste, in einen Thorweg u. s. w. gestellt hatten. Reimarus hat viele merkwürdige Fälle dieser Art aufgezeichnet, namentlich einen in seiner ersten Schrift S. 120, wo von 20 Menschen, die sich unter eine lebendige Hecke gegen Platzregen in Schutz begeben, 4 von einem Wetterschlage, den die Leute in der Nähe in der Form einer feurigen Kugel hatten herabschiefsen gesehen, getödtet, und acht andere verwundet wurden, und in seiner zweiten Abhandlung S. 156 einen Fall, wo ein Blitz, der in einen Baum geschlagen, wo mehrere Personen ganz nahe sich befanden, sich in mehrere Nebenstrahlen getheilt, eine Person erschlagen, die übrigen, auf welche nur von der Seite Strahlen zugesprungen, an der Haut verletzt und durch die Erschütterung betäubt hatte. Doch macht der Blitz, um Menschen seitwärts zu treffen, nie einen weiten Absprung von anderen Körpern durch die Luft. Kleine abgesonderte Stücke Metall, am Leibe getragen, können den Blitz nicht füglich anlocken, gröfsere Massen aber, als Gewehre oder als Lasten getragene Stangen allerdings. Ununterbrochenes, in einer Strecke fortgesetztes Metall schützt aber auch den Menschen, denn der Blitz verläfst es nie, springt auch, wo es aufhört, eher durch die Luft auf anderes nahes Metall als auf den Menschen. Goldene Tressen können daher auch bisweilen dienen, den Strahl leichter an der Oberfläche der Kleider hinzuleiten. Von Holz und Steinen springt der Blitz sehr leicht auf den menschlichen Körper; auch trockene Kleider von Seide, Wolle, Haaren (Pelzwerk), Leder werden durchlöchert, und der Strahl zieht ihnen den Weg an dem menschlichen Körper vor, der in diesem Falle leicht beschädigt wird[1]. Eben so anlockend wie der mensch-

1 S. *Platzungen.*

liche Körper ist der Körper der Thiere, namentlich der Pferde, ja dieser scheint sogar eine bessere Leitung zu gewähren, als jener, wie schon Plinius bemerkt, wahrscheinlich in mehreren Fällen mehr angelockt durch die Dunstwolke, die sich über Pferden, die angestrengt werden, befindet, die öfters erschlagen worden sind, wenn der Fuhrmann selbst auf dem Bocke unbeschädigt blieb[1].

Nächst den Menschen und Thieren folgt der Blitz vorzüglich dem Wasser und der Feuchtigkeit, wobei man jedoch nie vergessen darf, dafs ersteres doch immer nur ein sehr unvollkommener Leiter in Vergleich mit den Metallen ist, deren Leitungsvermögen bei gleicher Oberfläche wohl einige hunderttausendmal gröfser ist[2]. So nimmt der Blitz beim Einschlagen in lebendige Bäume seinen Weg durch den mit dem Safte angefüllten Zwischenraum zwischen Holz und Rinde und schält letztern ab, oder durchreifst sie mit Furchen. Eben so fährt der Strahl an der feuchten Bemörtelung der Mauern herab. Ein auffallendes Beispiel der Anlockung durch Wasser erzählt v. Yelin[3], wo ein Blitz, der in dem Wetterableiter auf dem Thurme des Schlosses zu Seefeld in Baiern einschlug, aber wegen der Unvollkommenheit desselben nicht gehörig abgeleitet wurde, sich in drei Strahlen theilte, wovon der eine sich den Weg durch das Innere des Thurms bahnte, und ein Gewölbe durchbohrte, um zu einem, in einer Küche befindlichen, in einem marmornen Bassin ein- und auslaufenden Wasser zu gelangen. Auch aufsteigende Dämpfe und Rauch sind Leiter des Blitzes, der daher bisweilen durch den Schornstein zum Feuerheerde geführt wird, wobei jedoch der innere Ueberzug der Schornsteine durch Rufs wohl am meisten zur weitern Fortleitung dient. Solche Ueberzüge von leitenden kohligen Substanzen gewähren dem Blitze überhaupt leicht einen Fortgang an ihrer Oberfläche, so z. B. ein Ueberzug von Kienrufs und Theer. Henley[4] führt an, dafs 1776 der Blitz einen Schiffsmast an allen mit

1 Reimarus vom Blitze. Erste Abhandlung. S. 107.

2 S. *Leiter, elektrische.*

3 in der oben angeführten Schrift 2. Aufl. S. 38.

4 Phil. Trans. Vol. LXVII. p. 85.

Kienrufs und Oel bestrichenen oder getheerten Stellen unbeschädigt gelassen, an den übrigen mit Fett bestrichenen aber zersplittert habe. Cavallo[1] fand, dafs jede stark aufgetragene Oelfarbe die Fläche vor den Beschädigungen der darüber gehenden elektrischen Schläge schützte. Durch den Regen lösen sich zwar die Gewitterwolken auf, allein er setzt, ehe dies geschieht, durch die überall verbreitete Leitung Orte in Gefahr, die in trockener Luft vielleicht sicher geblieben wären. Dafs mit den heftigen Regengüssen, wie schon oben bemerkt, oft die stärksten Schläge fallen, hat seinen Grund darin, dafs mit der schnellen Verdichtung der Dünste zu Regen gleichzeitig die vorher gebundene Elektricität frei wird und in einem bestimmten Raume zu einer hohen Spannung gelangen kann.

Eine *Theilung des Blitzes* in mehrere Strahlen bei seinem Fortgange zum Ziele kann erfolgen, 1. wenn keine vollständige Bahn durch gute Leiter, sondern mehrere abgebrochene, gleich bequeme, Metallstrecken vorhanden sind, 2. wenn der metallische Leiter zwar vollständig, aber in Beziehung auf die Stärke des Wetterstrahls nicht zureichend ist, und andere Metallstrecken in der Nähe erreicht werden können, wozu der von v. Yelin[2] beschriebene, am 30. April 1822 erfolgte Blitzschlag auf dem Kirchthurme zu Rofsstall im Königreiche Baiern einen interessanten Beleg giebt, wo ein heftiger Blitzstrahl an dem aus zu dünnen und zu wenigen Messingdrähten geflochtenen Ableitungsseile keine hinlängliche Fortleitung fand, und daher am Zifferblatte, wo durch das viele Eisen des innern Uhrwerks eine starke Anlockung nach Innen statt fand, sich theilte, und ein Strahl den Ableiter verliefs, die Hälfte des Zifferblattes zersplitterte und in das Innere des Thurms eindrang, während zwei andere Strahlen den Ableitungsdrähten des Thurms und der Kirche folgten; 3. wenn an dem Metalle, das der Blitz ergriffen hat, mehrere andere zusammenhängende und ziemlich weit herunterführende Metallstrecken angetroffen werden. 4. vorzüglich aber, wo der Blitz seinen Weg durch schlechte

---

1 Vollständ. Abh. von der El. I. 386.

2 a. a. O. S. 14. 15.

Leiter nehmen mufs, daher die ausgebreitete Beschädigung an Häusern, wo sich keine Strecken von Metall befinden, die Entzündung der Strohdächer von einem Ende zum andern u. s. w.

Das *endliche Ziel*, auf welches der Wetterstrahl fortgeht, ist stets die feuchte Erde, oder das Wasser. Dies beweisen alle Spuren, die er an den Körpern, an denen er fortgeleitet worden ist, hinterlassen hat. Solche Spuren zeigen sich vom höchsten Puncte, auf welchem der Anfang sichtlich statt gefunden hat, bis zu jenem Ziele; sobald er dieses erreicht hat, hören alle seine Wirkungen auf, und er vertheilt sich unbemerkt durch die leitende Feuchtigkeit der Erde. Wenn er auch noch kurz vor seinem Ziele eine grofse Gewalt ausgeübt hat, so ist auf der Oberfläche der Erde, auf welche er übergegangen ist, doch keine weitere Spur zu entdecken, wie unter andern ein von Reimarus [1] mitgetheilter Fall beweist, wo ein getheilter Strahl auf seinem Wege Metall geschmolzen, Löcher in die Mauer geschlagen, und noch am Ende des untern eisernen Thürgehänges das Holz abgesplittert, endlich aber sich zu beiden Seiten auf der Oberfläche des nassen Steinpflasters vertheilt hat, ohne die geringste Spur zurückzulassen. Ob aber die *Oberfläche* der Erde als solche, oder vielmehr das Innere derselben das wahre Ziel des Blitzes sey, darüber ist man nicht vollkommen einverstanden, und die von einander abweichenden Ansichten haben, wie wir in der Folge sehen werden, vorzüglich auf die Einrichtung der Blitzableiter ihren Einfluss geäufsert. Reimarus erklärt sich ganz bestimmt dafür, dafs die *eigentliche Oberfläche der Erde diese Ziel sey*, und beruft sich auf Erfahrungen, wo der Blitz an Blitzableitern, die in die Erde versenkt waren, zwar seinen Weg bis ans Ende derselben verfolgt, von da aus aber Erde und Steinpflaster aufgewühlt hat, um nach der Oberfläche zu gelangen [2]. Auch spricht dafür die ganz allgemeine Erfahrung, dafs wenn der Blitzstrahl auf seiner Bahn an der Ober-

1 2. Abh. S. 26. 27.

2 Mehrere solche Erfahrungen sind in der ersten Abhandlung. 139. 153 flg. und in der zweiten S. 116 flg. mitgetheilt.

fläche angelangt ist, keine weitere Spuren von Zerstörung zu entdecken sind, die sich doch an dem unter der Erde befindlichen Mauerwerk, in Kellern, am Steinpflaster, dem Boden überhaupt häufig finden müfsten. Nur wenn die Oberfläche der Erde eine sehr unvollkommene Leitung gewährt z. B. in Sandheiden, deren Quarzkörner als Nichtleiter zu betrachten sind, dringt der Blitz wohl auch in die Tiefe ein, um dort das quellige, besser leitende Erdreich aufzusuchen, wie seine Spuren in den *Blitzröhren* beweisen[1], die Reimarus bei Abfassung seiner beiden Abhandlungen noch unbekannt waren. Ob dieser Fortgang des Blitzstrahles in einer wirklichen Bewegung einer Materie von einem Ende zum andern bestehe, läfst sich unmittelbar aus Erfahrungen nicht darthun, und mufs aus der Theorie der elektrischen Erscheinungen selbst entschieden werden.

Es ist hier wohl der schicklichste Ort, wenigstens mit einem Worte der aufwärts gehenden Blitze zu erwähnen. Maffei[2] wagte die sonderbare Behauptung, dafs alle Blitze aus der Erde aufsteigen. Er selbst, so wie Chappe d'Auteroche u. a. wollen deutlich einige Blitze aus der Erde kommen gesehen haben[3]. Der Pater Cotte erzählt[4], er habe den Strahl zugleich von der Erde auf und aus den Wolken herabfahren gesehen. Man hat sogar besondere Zurüstungen gegen diese aufwärts fahrenden Blitze in Vorschlag gebracht, wie z. B. Bertholon de St. Lazaze[5]. Wenn man unsere obige Theorie des Wetterstrahls und unsere Vergleichung der Gewitterwolke und der Oberfläche der Erde mit den beiden Belegungen einer Batterie, von denen die positive, von welcher die Ladung ausgegangen ist, mit der ersteren übereinkommt, zum Grunde legt, so gilt hier alles, was für die Bewegung der Elektricität bei der Entladung einer Batterie aus unsern Versuchen sich ergiebt. Nimmt man

---

1 S. *Blitzröhren*.

2 Della Formazione dei fulmini. Verona 1747.

3 Lichtenberg Mag. II. 2. S. 35.

4 Mém. de Paris 1767.

5 Mémoire sur un nouveau moyen de se préserver de la foudre, in den Mémoires de la société royale des sciences de Montpellier, und in seinem Buche de l'électricité des Météores. Tome I. p. 228 flgd.

Universitäts- und Landesbibliothek Düsseldorf

eine eigene negative Elektricität an, so wird diese der positiven Elektricität der Wolken allerdings entgegen kommen, und in diesem Sinne könnte man auch mit Gehler behaupten, dafs sich Licht und Erschütterung von beiden Seiten der Wolke und der Erde her begegnen. Wir finden aber doch auch in der Entladung der Batterie, dafs die Spuren der Thätigkeit und Bewegung sich von der positiven Seite aus nach der negativen verfolgen lassen, und dafs überhaupt die Wirkung von da ausgeht, wo freie, ungebundene Elektricität ist. Die negative Elektricität der Erde ist auf jeden Fall als durch die positive der Wolken vollkommen gebunden zu betrachten, und bei allem Zuge, welchen erstere gegen letztere hat, wird doch immer die mit freier Spannung begabte positive Elektricität der Gewitterwolke eher durchbrechen, und bei der Schnelligkeit, welche der Elektricität in ihrer Bewegung zukommt, den Weg zurückgelegt haben, auf welchem sie zur Ausgleichung mit ihrem Gegensatze auf der Oberfläche der Erde hineilt. Nach der Franklinschen Ansicht des Wesens der beiden Elektricitäten kann ohnedies von keinem aufwärtsfahrenden Blitze von der negativen Seite her die Rede seyn.

IV. Der sogenannte Rückschlag.

Ganz anders verhält es sich mit dem freilich sehr seltenen Falle, wo in Folge eines sogenannten Rückschlags (choc en retour; *returning strike*), über dessen Wesen uns zuerst Lord Mahon[1] das rechte Licht aufgesteckt hat, eine dem gewöhnlichen Wetterstrahle gleiche Explosion von der Erde selbst aufwärts nach der Atmosphäre, insbesondere nach einer Wolke hinschlägt, und in ihrer Bahn aufwärts ganz dieselben Gesetze befolgt, wie die positive Elektricität in ihrer Bewegung abwärts von der Gewitterwolke aus. Um sich einen solchen Rückschlag gehörig zu erklären, mufs man auf die Elektricitätserregung durch Mittheilung Rücksicht nehmen. Eine stark geladene Gewitterwolke kann durch ihre Atmosphärenwirkung eine andere Wolke in einen negativ elektrischen Zustand versetzen, indem die positive Elektricität, welche von jener zurückgetrieben worden, sich

1 Principles of electricity. Elmsly 1780. 4.

vielleicht in eine andere in einem gewissen Zeitpuncte jener zweiten nahe gekommene Wolke entladen hat. Entladet sich nun die Gewitterwolke selbst an ihrem einen Ende durch einen Blitzstrahl, so verliert sich ihre Atmosphärenwirkung in demselben Augenblicke auch an ihrem andern Ende, die vorher gebunden gewesene negative Elektricität der zweiten Wolke wird nun gleichsam frei, und kann, unter gewissen Umständen, namentlich bei einer hinlänglichen Nähe einen Rückschlag von positiver Elektricität aus der Erdfläche nach sich hin veranlassen, um sich damit auszugleichen, so dafs auf diese Weise zwei in ihrer Richtung entgegengesetzte Wetterschläge statt finden. Reimarus[1] erzählt einen merkwürdigen Fall, der ohne Zweifel hierher gehört.

Unter die Kategorie des Rückschlags gehören wohl auch die elektrischen Lichtfunken, die man in einem Hause bemerkt, durch dessen Ableiter der Blitzstrahl fährt. Sie hängen ohne Zweifel von dem schnellen Zuströmen der positiven Elektricität ab, um sich mit der negativen aller Gegenstände im Hause auszugleichen, sobald der Drang der Gewitterwolke, welche jene positive zurückgestofsen hatte, durch ihre Entladung aufhört. So führt Trechsel an[2], dafs als im Jahre 1815 der Blitz durch den Ableiter auf dem Museum schlug, in einem benachbarten Hause, wo eben eine Tischgesellschaft versammelt war, an den Spitzen der Messer und Gabeln Lichtfunken bemerkt wurden. Eine ähnliche Lichtströmung wurde im Jahre 1814 im Berner grofsen Spitale bemerkt, als der Blitz durch den Ableiter ging. Dafs jene Funken nicht directe Ausströmungen des herabfahrenden Blitzes selbst gewesen seyn konnten, folgt schon aus der Entfernung jenes Gebäudes vom Blitzableiter. Dafs diese Art von schneller Ausgleichung oder Zurückströmung der positiven Elektricität höchstens nur schwache Funken hervorbringen kann, wie auch die Erfahrung lehrt, kann nicht auffallen, wenn man bedenkt, aus welcher Entfernung die Gewitterwolke ihre Atmosphärenwirkung ausgeübt hat, und wie wenig die Gegenstände in einem Hause bei ihrer unvoll-

1 Zweite Abhandlung. S. 13 — 19.
2 G. LXIV. 260 in der Anm.

kommenen Leitung geeignet sind, diese vertheilende Wirkung zuzulassen.

V. Wirkungen des Blitzes auf seinem Fortgange an den Körpern und durch dieselben nach seinem Ziele. Platzungen.

Der Blitz bezeichnet seine ganze Bahn an den Körpern nach dem Erdboden hin durch mancherlei zum Theil höchst merkwürdige Wirkungen, die neben der besonderen Natur der Körper, an denen er hinfährt, vorzüglich dadurch bestimmt werden, ob sie dem Blitze eine mehr oder weniger vollkommene Leitung gewähren.

a. Wirkungen des Blitzes auf Menschen und Thiere. Hülfsmittel zur Wiederbelebung vom Blitze getroffener Menschen.

Immer ist der Wetterstrahl für die Menschen, die von ihm getroffen werden, höchst gefährlich, und die Beispiele der durch den Blitz Erschlagenen sind nicht selten. Doch sind auch merkwürdige Fälle, wo Menschen, die vom Blitze getroffen wurden, mit sehr leichten Beschädigungen glücklich entkamen. Die stärksten Verletzungen veranlafst der Blitz beim Zu- und Abspringen, auch hängen sie von dem Widerstande der Kleider ab. Alle Erfahrungen setzen es nämlich aufser allen Zweifel, dafs der Blitz hauptsächlich an der Oberfläche des Körpers hingeht, und weniger in das Innere eindringt, daher auch keine solche Zerreifsungen und Zerstörungen, wie man ihm sont andichtete, verursacht. Nur durch Erschütterung, besonders wenn er beim Zuspringen den Schädel unmittelbar trifft, und davon abhängige gänzliche Vernichtung der Nervenkraft, in einzelnen Fällen wohl auch durch Erstickung tödtet der Blitz, nur in äufserst seltenen Fällen aber durch auffallende Zerstörung innerer Organe. Ehemals glaubte man, der Blitz durchdringe den Körper und zerschmettere die Knochen, nachmals liefs man ihn vorzüglich durch die Flüssigkeiten des Körpers geleitet werden; endlich kam die Lehrmeinung auf, dafs er durch die Nerven gehe; weil diese vorzüglich gute Leiter sind, und ihre Wirkung überhaupt eine besondere Gemeinschaft mit

der Elektricität haben soll. Die von Reimarus [1] sorgfältig gesammelten Erfahrungen über Wetterschläge auf Menschen, haben alles hierin in ein deutliches Licht gestellt, und liefern überzeugende Gründe für unsere vorangestellte Behauptung von der Fortleitung des Blitzes über die Oberfläche des menschlichen Körpers und von der Einwirkung auf das Nervensystem durch die der Elektricität eigenthümliche Erschütterung.

1. Allenthalben zeigten sich bei Erschlagenen fleckweise und strichweise Versengungen (schwarze Streifen) an der Oberfläche der Haut und der inneren Seite der Bekleidung.
2. Die Bahn, welche dadurch bezeichnet ward, war weder nach der Lage der Knochen, noch nach dem Laufe der Adern oder Nerven, sondern einige unregelmäfsige Zertheilung und Ausbreitung abgerechnet, im Ganzen auf dem kürzesten Wege von der Stelle des Zusprungs zum Absprunge zur Erde oder zu einem Metalle hingerichtet.
3. Aufser den Stellen des Zu - und Absprungs waren die Verletzungen da am stärksten, wo die freie Ausbreitung unter der Kleidung am meisten gehindert worden war. Die Kleidungsstücke wurden an der Stelle des Ab - und Zusprunges verletzt, durchbohrt, überdies auch durch die Platzung abwärts gerissen, zuweilen über den ganzen Körper, ohne sonderliche Verletzung desselben.
4. Der Grad der Verletzung nahm von aufsen nach innen ab, nicht umgekehrt. Es wurden Haare versengt — bisweilen ohne alle sonstige üble Folgen, bisweilen auch nur mit Betäubung, ungeachtet selbst die Haarnadeln geschmolzen waren [2] — dann die Oberhaut, weiter die Haut, bisweilen auch einige darunter liegende Theile, aber immer litten die äufsern Theile mehr als die innern. Die durch den Blitz gleichsam ganz getödteten Hautstellen starben als harte Borken ab, und die davon entstehenden Geschwüre widerstanden hartnäckiger als andere einfache Geschwüre der Heilung. Merkwürdig sind die mit den Lichtenbergischen Figuren auf dem Electrophore ganz

---

1 In seiner ältern Abhandlung vom Blitze §. 62 — 66 und in seinen neuern Erfahrungen §. 58 — 67.

2 G. LXIV. 269.

übereinstimmenden Zeichnungen, welche der Blitz bisweilen auf der Haut zurückläfst. Brandis[1] erzählt einen solchen Fall, wo sich auf der Brust eines vom Blitze erschlagenen Frauenzimmers Flecken von der Gröfse eines Guldens, mitten weifs und rund umher in strahlichte Ramificationen sich verlaufend zeigten. Dieser Fall bestätigte auch sonst auf eine merkwürdige Weise das allgemeine Gesetz der Fortleitung des Blitzes an der Oberfläche des Körpers. Das Frauenzimmer war an der rechten Schläfe vom Blitze getroffen, hier war an den äufsern Hautbedeckungen ein sugillirter Fleck, etwa einen halben Zoll im Durchmesser, und in der Mitte eine kleine Oeffnung, der Knochen darunter war aber nicht verletzt, ein grofser Theil der Haare, vorzüglich an der entgegengesetzten linken Seite des Kopfes, war verbrannt, und an den der Länge nach aufgerissenen Kleidern bemerkte man deutliche Spuren von Brand und Kohle, und den hölzernen Absatz am Schuhe, wo der Strahl seinen Ausgang genommen, fand man gänzlich zerschmettert.

5. Die öftere Wiederherstellung der vom Blitze getroffenen Menschen liefse sich nicht erklären, wenn der Strahl durch die inneren Theile gefahren wäre, und diese *wesentlich* verletzt hätte.

6. Wenn auch zuweilen Verletzungen der mit Haut bedeckten Theile und Blutergiefsungen entstanden, oder Knochen gebrochen wurden, so blieben doch dabei die zarten inneren Theile unverletzt, zum Beweise, dafs diese Wirkungen mehr durch äufsern Stofs und Platzung, als durch innere Zerstörung verursacht worden sind. Bei einem Falle, wo das Trommelfell im Ohre zerrissen und Spaltungen im Hirnschädel entstanden waren, fand sich doch weder die Haut noch die harte Hirnhaut durchbohrt, Gehirn und Eingeweide unverletzt, und die übrigen Spuren zeigten offenbar ein Herabstreichen an der Haut. Wo auch Wunden in der Haut verursacht waren, hatte doch der Strahl seinen Weg nicht durch die Blutgefäfse fortgesetzt, sondern seine Bahn wie sonst aufserhalb verfolgt.

---

1 Versuch über die Lebenskraft. Hannover. 1795. S. 108.

Nie findet man bei den vom Blitze Erschlagenen die Adern zerrissen oder vom Blute leer. Auch bei den durch elektrische Schläge getödteten Thieren fand LANDRIANI [1] die Pulsadern immer voll von Blut, selbst viele Stunden nach dem Tode des Thieres. Es wird nämlich die Reizbarkeit, die sonst vermöge der von ihr abhängigen Zusammenziehung der Pulsadern das Blut heraustreibt, durch den Schlag gänzlich zerstört, und das Thier stirbt gleichsam auf einmal in allen seinen Theilen, ohne dafs irgend ein Hauptgefäfs zerrissen wurde. Hiermit stimmen auch die Versuche überein, welche VAN MARUM [2] mit der grofsen Teylerschen Maschine zu Harlem angestellt hat, und welche die *Zerstörung der Reizbarkeit* im thierischen Körper als die constante Wirkung der elektrischen Schläge von hinlänglicher Stärke zeigten. Diese entschiedene Einwirkung auf die Reizbarkeit, die Abhängigkeit letzterer von den Nerven, und die merkwürdige Rolle, welche diese in den Phänomenen der elektrischen Fische spielen, könnte vielleicht auf den Gedanken leiten, dafs der Blitz den Nerven folge und in seinem Durchgange durch sie auf irgend eine Weise, etwa durch Zerstörung ihrer feineren Organisation ihre Kraft vernichte. Diese Fortleitung des Blitzes durch die Nerven wollte auch wirklich HEMMER [3] durch einen elektrischen Versuch beweisen, welchem zufolge eine Leidner Flasche durch die Nerven einer frisch getödteten Katze eben so leicht als durch Metalldraht entladen wurde. Allein hier ist die Frage, ob der Blitz auch bei unentblöfsten Nerven den Weg durch sie aufsuche und vor andern wähle, und diese läfst sich nicht durch elektrische Versuche, sondern nur durch wirkliche Erfahrungen von Wetterschlägen entscheiden. Bei diesen findet man keine Spur davon, dafs der Blitz durch die Nerven vorzugsweise gehe. In einem Falle, den HEMMER selbst erzählt, traf ein Schlag einen Soldaten am Nacken, dicht am Rückenmarke, ohne doch

1 Dei Conduttori elettrici.

2 Grens J. VI. 37.

3 Comment. acad. Theod. Palat. Vol. V. p. 156.

durchzudringen, die Spuren zeigten eine ganz andere Bahn, die Verletzungen waren nur oberflächlich, und der Getroffene in eilf Tagen wieder hergestellt. Was müfste auch der Blitz für Zerstörungen in so zarten Theilen anrichten, da er einen weit stärkeren Metalldraht schmelzt und in Dampf verwandelt? Unsere Behauptung, dafs der Blitz an der Oberfläche des Körpers hingehe, wird auch noch durch Versuche des Dr. Raschig in Dresden bestätigt, welche dieser Physiker zur Aufklärung der Wirkungsart des Blitzes in verschiedenen Fällen angestellt hat. Er fand nämlich [1], dafs die Schläge bis zum Ausströmen geladener Flaschen von einem Quadratfufs Belegung, erst einer und dann zweier mit einander verbundener, sichtlich an der Oberfläche des Körpers einer Eidechse, die den Verbindungskreis zwischen den beiden Belegungen bildete, hinfuhren, und in diesem Falle nur eine vorübergehende Betäubung bewirkten, während eine *mäfsig starke geladene Flasche*, die nur einen kurzen rothen Funken gab, das Thier tödtete. Er erklärt sich diesen Unterschied daher, dafs im letzteren Falle die Elektricität, die nicht stark genug gewesen sey, um längs des ganzen Körpers der Eidechse als Funken hinzufahren, in das Innere desselben eingedrungen, und dadurch dem Leben nachtheilig geworden sey, und findet darin zugleich eine leichte Erklärung davon, wie es zugehe, dafs Metalle an Menschen geschmolzen werden können, ohne dafs der Blitz die Person selbst tödtet, und wie oft die heftigsten Blitze, von den fürchterlichsten Donnerschlägen begleitet, Häuser, welche sie treffen, doch nicht in Brand stecken, indefs oft nur mäfsig starke Blitze von nicht sehr heftigem Donner begleitet, Menschen tödteten und Gebäude in Flammen setzen können. Wenn wir nun auch darin Raschig beistimmen, dafs in den Fällen, wo die Elektricität keine hinlängliche Spannung hat, um als Funke an der Oberfläche einer gröfsern Strecke hindurch überzuschlagen, ein Eindringen derselben und eine Fortleitung durch die Säfte des thierischen Körpers und

1 G. XXXI. 204.

durch die Nerven statt finden kann, wie denn dies namentlich auch bei der Entladung einer voltaischen Säule durch den Körper der Fall ist, so möchte doch bei einem wirklichen Wetterstrahle stets eine hinreichende Stärke statt finden, um auf die erstere Weise fortgeleitet zu werden. Hinsichtlich auf die Tödtung durch den Blitz bleibt immer der Einfluss auf die Nerven die Hauptsache. Wir kennen kein anderes Agens, das ohne zugleich äufserlich wahrnehmbare Verletzungen zu bewirken, durch eine so allgemeine, und das Nervensystem gleichsam in seinem Innersten ergreifende Erschütterung, die polare Lebensspannung desselben so gänzlich auslöschte, und dadurch die Maschine gleichsam im Nu zum Stillstande brächte. Dafs dies bei *allen durch den Blitz Erschlagenen* der Fall war, beweiset die allgemein gemachte Erfahrung, dafs solche Personen unverändert in der Lage gefunden wurden, die sie unmittelbar vor ihrem Erschlagenwerden durch den Blitz hatten. Reimarus führt mehrere solche Fälle an, einen z. B. wo zwei vom Blitze Erschlagene, die an eine Hecke, unter der sie Schutz gesucht, angelehnt waren, in ihrer früher unverändert gebliebenen Lage selbst mit offenen Augen angetroffen wurden, der eine mit einem Stück Brod, das er einem Hunde, der auf seinem Schoofse geruht, und der mit erschlagen worden war, reichen wollte [1], eben so eine Frau, die an einem Heuhaufen sitzend vom Blitze erschlagen worden, und die so wenig verändert war, dafs sie noch wie lebend aussah [2], ein Mensch, der hinten auf einem Bote safs und der vom Blitze getroffen in seiner Stellung sitzend blieb, und für blofs schlafend gehalten wurde. Auch erwähnt Brandis von jenem Fräulein, dessen Brust Lichtenbergische Figuren zeigte, dafs der Tod so augenblicklich erfolgte, dafs nebenstehende Augenzeugen nicht die mindeste Verzuckung an ihr gesehen hatten, noch von solchen Spuren an dem Leichname zu bemerken waren. Dafs die Körper der vom

---

1 Erste Abhandlung S. 120.

2 Ebendas. S. 124.

Blitze Erschlagenen sehr schnell in Fäulnifs übergehen [1], dafs das Blut in ihren Gefäfsen nicht gerinnt, sondern flüssig bleibt, davon liegt eben der Grund in der gänzlichen Vernichtung der Nervenkraft.

Eine interessante Bestätigung unserer Darstellung gewährt auch ein neuerlich von Tilesius [2] bekannt gemachter und durch Abbildungen erläuterter Fall, wo ein furchtbarer Wetterstrahl zugleich in zwei hintereinander fahrende Wagen geschlagen, das Pferd vor dem vordern, und in dem 10 Schritte hinterwärts einen jungen Menschen, der einen Regenschirm trug, getödtet, und in dem vordern Wagen zwei Menschen betäubt, und seine Spuren an den höchst merkwürdigen Hautwunden, die er zurückgelassen, bezeichnet hatte. Auch in diesem Falle waren die Verletzungen nur oberflächlich, die eigenthümliche Beschaffenheit derselben machte aber die Wirkungsart des Blitzes bei solchen Beschädigungen gleichsam anschaulich. Diese Wunden waren nämlich keinesweges blasig oder schorfig oder brandig, wie die von der Hitze oder vom glühenden Eisen verursachten, sondern die Haut schien mit der gröfsten Schnelligkeit wie im Fluge abgeschrammt oder zurückgeschoben. Sie lag an den Wundrändern in dichten Fältchen zusammengeschoben. Die einen, zwei und drei Zoll breiten Hautwunden liefen in einem Zuge, je nachdem der Blitzstrahl hier oder dort von Gegenständen angezogen zu seyn schien, in gewundenen Gängen am ganzen Körper fort. Tilesius findet in diesen Wunden das Gepräge einer Gewalt, die durch Reiben, und zwar mit einer ganz aufserordentlichen Geschwindigkeit bewirkt sey, und am meisten übereinstimmend mit den Contusions-Streifwunden von Streifschüssen, wo die schnelle Rotation der Kugel, indem sie die Haut nur berührt, dieselbe schnell aufrollt, und in Fältchen über einander schiebt oder gänzlich abschrammt. Da nun beim Blitze keine Kugel und überhaupt kein harter Körper mit im Spiele ist, so müsse man

1 In dem von Brandis beschriebenen Falle war der Geruch der Leiche des vom Blitze erschlagenen Fräuleins nach nicht vollen 24 Stunden unerträglich. a. a. O. S. 114.

2 Schweig. Journ. n. IX. 130.

annehmen, dafs der Druck der im schnellen Laufe des Blitzes mit fortgerissenen Luft auf dieselbe Art wirke, wie die mit den Rotationen einer Kugel fortgerissene, über die Haut schnell fortlaufende atmosphärische Luft. Weil zu beiden Seiten der Wunden die Haut in dichten Falten zusammengeschoben war, so findet Schweigger darin die Wirkungen der entgegengesetzten rotirenden Bewegungen beider Elektricitäten ausgedrückt. Uns scheint auch hier alles ganz offenbar von der Gewalt der nicht blofs in fortschreitender Bewegung befindlichen, sondern durch die Repulsivkraft ihrer Theilchen nach allen Seiten wirkenden Elektricität abgehangen zu haben. Wäre hier die Luft durch ihre schnelle Bewegung im Spiele, so sieht man durchaus nicht ein, warum die Gewalt an denjenigen Stellen so viel heftiger war, wo die Elektricität mehr angelockt wurde und übersprang. So waren bei einem der Getroffenen da, wo er in der Westentasche verschiedene metallische Sachen bei sich trug, die Ribbenmuskeln fast eine Hand breit von der Haut entblöfst, und eben so war in der Inguinalgegend, wo derselbe einen Feuerstahl hatte, die Haut tief verletzt. Von entgegengesetzten rotirenden Bewegungen können wir vollends auch nicht eine Spur in der Beschaffenheit dieser Verletzungen finden.

Erzählungen von Beschädigungen der Menschen durch Blitze hat man eine solche Menge, dafs es unmöglich und zweckwidrig seyn würde, sie alle mitzutheilen, und wir begnügen uns, aufser den schon erzählten nur noch einige wenige ausgezeichnete Fälle zu erwähnen. Dahin gehört die seltsame Erscheinung, dafs in der Kirche zu Alfwa in Gothland durch einen Wetterstrahl mehrere Personen ungleich stark, einige bis zur Betäubung getroffen wurden, die meisten sogleich und nachher heftige Schmerzen an den Füfsen empfanden, dem Prediger aber seine eigenen Haare und die seiner Perücke verbrannten, auch die Haut an verschiedenen Stellen Streifen erhielt, er selbst aber blofs auf einige Stunden betäubt wurde [1]. Diesem ähnlich ist der Fall des Blitzschlages, welcher die Kirche zu Sprachendorf

1 Schwed. Abh. Deut. Ueb. XV. 80.

in der Herrschaft Jägerndorf trat, aufser vielen Verwüstungen an der Lampe und an den Kirchenstühlen gegen tausend Menschen mehr oder minder betäubte und lähmte, einigen die Kleider verbrannte, ohne die Haut zu verletzen, bei anderen umgekehrt, die Goldhauben der Weiber wegrifs, an verschiedenen Stellen zündete, im Ganzen aber nur fünf Personen scheintodt zur Erde warf, von denen nur ein Mädchen nicht wieder hergestellt werden konnte, dessen silberne Halskette geschmolzen war [1]. Merkwürdig ist auch der Fall, bei welchem die Kopfhaut eines vom Blitze getroffenen Mannes zerrissen, ein Theil seines Hemdes zerfetzt, Streifen in der Haut gezeichnet, ein eiserner Kamm auf dem Kopfe aber nicht beschädigt und er selbst nur etwa auf eine halbe Stunde bewufstlos niedergeworfen wurde, ohne weitere nachtheilige Folgen [2]. Einen Fall von bedeutender Verletzung und Verbrennung der Kleider ohne Tödtung, blofs mit temporärer Lähmung der Sprachorgane, erzählt auch Gronau [3]. Die leichtesten Beschädigungen sind diejenigen, wenn die Getroffenen blofs einen mehr oder minder starken, sie gleichsam niederbeugenden Druck fühlen, worüber viele interessante Beispiele vorhanden sind [4]. Allezeit aber bleibt bei den auch nur leicht getroffenen Personen für ihr ganzes Leben oder mindestens eine geraume Zeit eine grofse Reizbarkeit der Nerven, vorzügliche Empfindlichkeit gegen Elektricität und herannahende Gewitter zurück, wie rücksichtlich der Elektricität auch bei solchen Personen der Fall zu seyn pflegt, welche zufällig stärkere Flaschen durch ihren Körper entladen haben.

Auch diese Fälle beweisen unwidersprechlich, dafs der Blitzstrahl im Allgemeinen auf der Oberfläche des menschlichen Körpers fortgeleitet wird, auf keine Weise inneren Theilen als besseren Leitern folgt, durch die der Elektricität eigenthümliche Kraft auf das Nervensystem, und so auch auf den Lebensprocefs zerstörend wirkt, wobei sich auch das als merkwürdig zeigt, dafs bei starken äufseren

1 Nationalzeitung 1803. S. 836.
2 Voigt Mag. IV. 416.
3 Schriften d. Ges. Nat. Fr. Berl. 1817.
4 Unter andern in Dresdner Miscellen 1807. St. 76.

Verletzungen zuweilen das Leben nicht gefährdet wird, und oft ohne alle äufsere Verletzung der Tod ohne Möglichkeit der Wiederbelebung erfolgt. Wir dürfen indefs gewissenhaft auch ein Paar interessanter Fälle nicht verschweigen, wobei starke innere Verletzungen und ein eigentliches Eindringen des Blitzes in den inneren Körper beobachtet wurde. Hierhin gehört der furchtbare Blitzstrahl, welcher am 13ten Mai 1803 den Gutsschäfer zu Fehrbellin in der Mittelmark nebst seinem Hunde und 40 Schafen tödtete [1]. Die Schafe waren ganz unbeschädigt, den Lämmern aber die Wolle abgestreift und verschwunden, dem Schäfer waren die Kleider abgerissen, das eine Ohr einige Schritte weit fortgeschleudert, die Hirnschale an der linken Seite losgesprengt, die Haut an vielen Theilen des Körpers abgeschunden und die Knochen unleugbar zerschmettert.

Auch hierbei läfst sich alles ohne die Annahme eines Eindringens des Blitzes in den inneren Körper erklären. Dieses ist aber unmöglich bei einem allerdings seltsamen Falle, in welchem ein nahe ausgewachsener Fötus vom Blitze erschlagen wurde. Die Mutter blieb unversehrt, aufser einiger Verbrennung durch ihre entzündeten Kleider, welche man nicht schnell genug wegschaffen konnte; das Kind aber, welches einige Tage nachher völlig ausgetragen geboren wurde, hatte ein apoplectisches Ansehen, der Hirnschädel war in kleine Brocken zerschmettert, die Haut auf dem Kopfe aber ganz. Vorn am Leibe und an den Beinen war die Haut, kenntlich vom Blitze abgestreift, hinten aber unverletzt [2].

Zur Rettung der vom Blitz Getroffenen scheint das dienlichste Mittel zu seyn, dafs man die gehemmte Lebenskraft durch angemessene Reize wieder aufzuregen und ihre Thätigkeit herzustellen sucht. Im ersten Augenblicke ist zur Wiederbelebung des vom Blitze getroffenen Scheintodten die frische Luft und besonders das Besprengen mit kaltem Wasser das wirksamste Hülfsmittel. Auch kalte Umschläge auf den Kopf können von Nutzen seyn. Reiben mit flüch-

1 Berl. Zeitung. 1803. N. 66.

2 Neue Nord. Beiträge IV. 399. Lichtenb. Mag. II. 4. 160.

tigen Mitteln, insbesondere mit ätzendem Salmiakgeist, Klystiere von kaltem Wasser, Essig, oder einem Aufguſs von reizenden Kräutern, Einblasen der Luft und der Gebrauch der Elektricität selbst als des kräftigsten Reizmittels für die Nerven, sind nicht zu verabsäumen. Die elektrische Erschütterung ist in der Gegend des Herzens anzubringen. Dr. Fothergill [1] erzählt Fälle, wo dieses Mittel mit glücklichem Erfolge angewendet wurde, und Partington stellte einen jungen Hund, dem ein elektrischer Schlag auf den Kopf Sinne und Bewegung geraubt hatte, durch kleine Erschütterungen in der Brust wieder her. Ist der Körper schon kalt und erstarrt, so muſs man freilich gleich anfangs suchen, die Wärme wieder herzustellen. Hierzu ist, nebst dem Reiben, ein vorzügliches Mittel das Auflegen einer Blase mit sehr heiſsem Wasser auf die Gegend der Herzgrube, welches selbst die Erwärmung durch ein ganzes Bad an geschwinder Wirkung übertrifft, wie Dr. Currie [2] aus wiederholten Erfahrungen versichert. Hat der Verletzte sich soweit erholt, daſs er schlucken kann, so werden ihm auch innerlich, wie es die Wiederherstellung der Kräfte erfordert, nervenstärkende Mittel: Wein, Schwefeläthergeist oder flüchtige Salze gegeben. Die Hautverbrennungen sind gröſstentheils nur oberflächlich und mit kühlenden Mitteln zu behandeln; nur auf den eingebrannten Stellen sind Eiterungsmittel anzuwenden.

b. Wirkung auf die guten Leiter, namentlich die Metalle.

Die Metalle werden vom Blitze bei seiner Fortleitung an denselben und durch dieselben nur dann beschädigt, wenn es allzu dünne Drähte sind, welche von dem Blitze glühend gemacht, zerrissen, geschmolzen, oder nach Maſsgabe der Stärke des Strahls und der Dünnheit derselben auch in kleine Kügelchen und Dampf verwandelt werden. So verschrt der Blitz auch die Vergoldungen. Gröſsere Metallstücke werden bloſs beim Zu- und Abspringen des Blitzes an ihren Flächen an-

1 Reports of the human Society For 1785 — 1786. p. 167 u. flgd.

2 Phil. Trans. LXXXII. 206. 210.

geschmolzen oder durchlöchert. Selbst an hinlänglich breiten und dicken Metallstreifen, welche keine Veränderung erleiden, sieht man oft den Blitz als einen Funken oder Feuerball hinfahren [1]. Spitzen, welche der erste Anfall des Blitzes trifft, werden unvermeidlich angeschmolzen, und auch unten, wo sie dicker werden, oft noch krumm gebogen. Abgesonderte Metallstücke, welche im Wege des Blitzes liegen, werden vergleichungsweise stärker beschädigt, zumal wenn sie in feste Körper eingeschlossen sind, welche dem Durchgange des Blitzes und seiner Ausbreitung widerstehen. Dem Eisen theilt der Blitz durch seine Erschütterung bisweilen magnetische Kraft mit. Ich besitze selbst die Unruhe, aus der Taschenuhr eines zu Kiel in seinem Kirchenstuhle vom Blitze erschlagenen Predigers [2], welche magnetische Polarität durch diesen Schlag erhalten hatte [3]; den mit dem Magnete bestrichenen Nadeln benimmt er ihre Kraft, oder verkehrt ihre Pole. Noch giebt es zwei merkwürdige Beispiele dieser Art [4], wo der Blitz in beiden Fällen ein Schiff getroffen, bedeutende Zerstörungen angerichtet und zugleich die Pole des Compasses ganz umgekehrt hatte, so dafs die Schiffer, welche die Veränderung erst nicht erkannten, dadurch verleitet wurden, rückwärts zu steuern, indem sie glaubten, dafs der Wind sich gedreht hätte [5].

c. Wirkungen auf schlechte Leiter und auf Nicht-Leiter.

Trifft der Blitz auf seiner Bahn auf nicht leitende oder schlecht leitende Körper, so durchbricht er dieselben mit Gewalt und Zersprengen, er geht von ihnen oder durch sie auf dem möglichst kürzesten Wege zu besseren Leitern über. Kann dieser Uebergang ohne Durchbruch geschehen, so folgt er der Oberfläche solcher schlechten Lei-

---

1 S. *Blitzableiter.*

2 S. die Geschichte dieses merkwürdigen Falles in Reimarus erster Abhandlung vom Blitze 50te Erfahrung S. 112 flgd.

3 Vgl. G. LXXII. 112.

4 Philos. Trans. X. 647 und für das Jahr 1750.

5 Vgl. Scoresby's Tagebuch einer Reise auf den Wallfischfang. Hamburg 1825. S. 74.

ter oft in einer bedeutenden Länge und Ausdehnung. Solche dem Blitze widerstehende Körper sind leinene, wollene, lederne, seidene Kleider, trockene hanfene Stricke, seidene Schnüre, trockenes Holz, Stroh, Strohdächer, Steine, Ziegel, Glas, und überhaupt alle ursprünglich elektrischen Körper. Die brennbaren Körper werden hierbei häufig entzündet, — insbesondere die Strohdächer in ihrer ganzen Ausdehnung, oft aber das Holz nur oberflächlich verkohlt, ja nicht selten auch blofs zersplittert. Ich selbst habe schon früher [1] einen solchen Wetterschlag beschrieben, wo der Giebelsparren, der zuerst getroffen worden war, zersplittert, und die Stücke desselben weit fortgeschleudert worden waren, ohne eine Spur von Anbrennen zu zeigen. Zwei ähnliche Wetterschläge haben sich späterhin ereignet. Man nennt solche nicht zündende Wetterschläge gewöhnlich kalte Schläge, kalte Streiche. Ob hierbei ein ähnliches Verhältnifs zum Grunde liegt, wie beim Schiefspulver, das nicht entzündet, sondern nur zerstäubt wird, wenn der Schlag einer grofsen Flasche mit einer gleichsam momentanen Explosion hindurchgeht, oder bei der Entladung derselben Flasche durch einen nassen Bindfaden, der die Elektricität gleichsam langsamer hindurchleitet, kann hier fragweise hingestellt werden. Bisweilen wird die entstandene Entzündung durch einen zweiten Schlag wieder ausgelöscht, so wie die Flamme, welche beim Durchgange eines schwächern elektrischen Schlages aus dem Rauche eines glimmenden Dochtes angefacht war, durch einen stärkeren Schlag wieder ausgelöscht wird. Die durch den Blitz erregte Flamme ist übrigens mit der gewöhnlichen Flamme einerlei, und eben so zu löschen. Wenn vom Blitze entzündete Gebäude schwer zu löschen sind, so kommt dies nicht von der Natur der Flamme, sondern von den Umständen z. B. der Zündung am Dache, dem Sturme, der Bestürzung u. s. w. her. Wenn der Blitz in Bäume schlägt, so findet man oft die Borke derselben ihrer ganzen Länge nach abgeschält. Dies ist vorzüglich der Fall bei Tannenbäumen, die wegen ihrer harzigen Säfte den Blitz nur unvollkommen leiten, so dafs er in seinem Fortgange noch

1 Ueber die heifsen Sommer. Kiel 1812, 8. p. 4.

Gewalt durch Platzung ausübt. Merkwürdig ist es, dafs der Blitz, wenn er in Bäume einschlägt, niemals die äufserste Spitze derselben beschädigt; vielleicht wird sie durch den Luftdruck (da der Blitz in seinem Durchgange durch die Luft dieselbe jederzeit vor sich hertreibt und zusammendrückt) auf die Seite geschoben.

d. Platzungen.

So wie der elektrische Schlag bei jeder in der Verbindung seines Ueberganges befindlichen Lücke einen explodirenden Funken veranlafst, so bewirkt auch der Blitz bei jeder unzureichenden Stelle seiner Leitung eine Explosion (Platzung) und ein Auseinanderwerfen nach allen Seiten. Dies geschieht, so oft er entweder durch einen widerstehenden Körper fahren, oder sich durch einen zu kleinen Umfang eines Leiters drängen mufs. Der erste Widerstand, welchen der Strahl zu überwinden hat, ist allemal der Zwischenraum der Luft beim Ausbruch aus der Wolke; daher die Gewalt, mit welcher er herabstürzt, und nach allen Seiten umher wirkt, von dem Eindringen des Strahles selbst zu unterscheiden ist. Ferner zeigt sich die Platzung bei jedem, auch dem geringsten Sprunge oder Uebergange von einem Körper zum andern, ja von einem Stücke desselben Metalls zum andern wie bei Ketten, bei Stangen, die in einander geschraubt sind, an den Schraubenstellen, bei Metallstreifen, auch wenn sie in einander gefalzt und stark an einander getrieben sind, an den Verbindungsstellen. Aber auch bei unzureichenden, wenn gleich zusammenhängenden, Leitern wird sie beobachtet, so dafs nicht allein die Umkleidungen abgesprengt, und nahe anliegende Körper abgestofsen oder gedrückt werden, sondern auch das Metall selbst, durch welches der Strahl dringt, wenn es ein dünner Draht ist, zerstäubt wird. Jede Platzung concentrirt gleichsam den Strahl, hält auch die Geschwindigkeit seines Fortganges ein wenig auf. Bei diesen Platzungen entsteht jedesmal Entzündung, wenn leicht entzündliche Körper vorhanden sind, Zersprengen fester widerstehender Körper, wie z. B. der Steine des Mauerwerks, die oft in grofsen Strecken auf beträchtliche Weiten fortgeschleudert werden, desgleichen An-

schmelzung von leicht schmelzbaren, besonders metallischen, Körpern. Die Richtung aller Platzungen ist von der Bahn des Strahles selbst wohl zu unterscheiden. Denn da dieser nur auf dem leichtesten Wege zu seinem Ziele d. i. zur Gegen-Elektricität fortfährt und an der Luft grofsen Widerstand findet, so äufsert sich die Platzung nicht nach der Anlockung eines leitenden Körpers, sondern nach allen Seiten hin, oder wenn die Umstände nicht gleich sind, nach der Seite, wo der wenigste Widerstand fester Körper ist. So werden die Enden von Metallstreifen, wenn der Strahl von ihnen zu unterhalb liegenden Körpern abspringt, auswärts hingebogen, die Haare, die Haut, wenn der Blitz auf den Kopf fällt, auswärts gesprengt u. s. w. Das Wasser ist ein sehr unvollkommener Leiter, und mufs schon von beträchtlichem Umfange seyn, wenn es nur den Schlag von Batterien ohne Platzung durchleiten soll.

Die Erde an sich ist ein noch schlechterer Leiter. Es ist also klar, dafs, wenn der Blitz wirklich in die Erde hineinfährt, er eine Aufsprengung des Bodens und ein Loch veranlassen müsse. Zum Glück aber pflegt er sein Ziel, wie schon oben bemerkt, an der Oberfläche der Erde zu finden, wenn er nicht durch besondere Veranlassungen hineingelockt wird. Wenn er nun soweit durch eine Strecke Metall herabgeleitet worden, so entsteht zwar nothwendig auch dort noch bei dem letzten Absprunge vom Leiter zur Erde eine Platzung, welche aber unschädlich ist, wenn der Blitz nur freien Raum zur Ausbreitung findet.

Beispiele von solcherlei Wirkungen des Blitzes, namentlich auch von einer unglaublichen mechanischen Gewalt desselben, giebt es in Menge. Als sonderbare Erscheinungen können erwähnt werden, dafs der Blitz 1816 in Prag das Gold von einem vergoldeten Uhrzeiger auf das weiter unten befindliche Blei des Daches herabführte, und dieses vergoldete[1], desgleichen dafs er in einem Hause in Paris alle Glokkenzüge schmolz, ohne anderweitige Beschädigung, aber auf einer Mauer von dem geschmolzenen Metalle eine Zeichnung bildete, welche vollkommen einen brennenden Vulcan vor-

1 G. LVIII. 102.

stellte, und der Seltsamkeit wegen durch einen Kupferstich dargestellt ist[1]. Zwei, wohl noch schönere Zeichnungen hat der Blitz in Schweinsberg in Hessen entworfen, indem er auf einem v. Schenk'schen Gute in ein Gartenhaus einschlug, den Spiegel zertrümmerte, und das Amalgama desselben auf zwei Bogen des Papiers herabführte, wovon eine Lage auf einem in der Nähe des Spiegels stehenden Tische lag[2]. Die stärkste bekannte mechanische Wirkung aber zeigte der Wetterstrahl in einem Hause unweit Manchester, indem er am 6. Aug. 1809 eine Mauer zwischen einem Keller und einer Cisterne, 3 engl. F. dick, 12 F. hoch, so verschob, dafs der weggeschobene Theil an einer Seite 4 F. an der andern 9 F. abstand, wobei die hölzernen Verbindungsstücke zerbrochen waren. Der bewegte Theil enthielt 7000 Backsteine und wog 52000 Pfd.[3].

e. Einige besondere Erscheinungen beim Blitze.

Unter allen angeführten Erscheinungen und Wirkungen des Blitzes ist keine einzige, welche nicht mit den Phänomenen der Elektricität, wie sie sich in unsern Versuchen darstellt, übereinstimmte. Nur der Grad der Stärke macht den einzigen Unterschied aus, und wie weit wir uns auch darin in unsern künstlichen Versuchen dem Blitze genähert haben, ist schon unter dem Artikel: *elektrische Batterie* angedeutet worden. Und dadurch, dafs die aus den Wolken herabgeleitete und durch Isolirung angehäufte Materie des Blitzes wiederum alle Erscheinungen der Elektricität zeigt[4], wird die Ueberzeugung von der Gleichheit beider ganz vollendet. Nur eine Erscheinung kommt beim Blitze vor, die wir wenigstens bis jetzt in unsern gewöhnlichen Versuchen nicht bemerken konnten, nämlich der Schiefspulver- oder Schwefelgeruch,

---

1 J. de P. LXIX. 453.

2 Aus Mittheilung von Muncke, welcher diese Zeichnungen selbst sah. Sie füllten die eine Seite der Bogen fast gänzlich aus, und glichen vollkommen den Figuren, welche man vermittelst starker Flaschenschläge aus dünnen Metallblättchen auf Papiere zu erzeugen pflegt.

3 Mem. of the Phil. Soc. of Manchester II. 2.

4 S. *Drache, elektrischer, Elektricitätszeiger.*

den man fast constant nach Wetterschlägen spürt. Es ist nicht wohl anzunehmen, dafs dieser Geruch aus den getroffenen Körpern selbst entwickelt werde, da er sich auch bei grofser Verschiedenheit dieser letztern zeigt, und in der Luft selbst, soviel wir bis jetzt die Mischung derselben kennen, nichts eigentlich schwefelartiges enthalten ist.

Zur vollständigen und gründlichen Beurtheilung der Sache wäre indefs vor allen Dingen erforderlich, die Thatsache vollständig und genau auszumitteln, in diesem Falle also bestimmt auszumachen, von welcher eigenthümlichen Beschaffenheit dann der Geruch wirklich sey. In Rücksicht hierauf läfst sich nicht leugnen, dafs er *ganz allgemein* als schwefelartig angegeben werde. Allein bei weitem die meisten Beobachter dieser Erscheinung sind ungebildete Personen, bei welchen das alte Vorurtheil herrscht, dafs alle solche ungewöhnliche meteorologische Erscheinungen von schwefelichen Dünsten erzeugt werden, und welche daher in irgend einem ungewöhnlichen Geruche nichts anders als Schwefeldampf wiederfinden, indem es ihnen oft noch obendrein an der Kenntnifs des erforderlichen Wortes fehlt, um den brenzlichen, oder den der Elektricität eigenthümlichen Geruch zu bezeichnen, worin so viele etwas Phosphorartiges finden wollen. Beobachtungen hierüber von eigentlichen Physikern gehören unter die grofsen Seltenheiten. Raschig, welcher einen Blitz in seiner Nähe einschlagen sah, erwähnt nichts hierüber[1]; dagegen sagt Jungnitz[2], welcher einen Blitz in das Collegiengebäude einschlagen und sich weit verbreiten sah: *„es verbreitete sich ein dampfartiger Qualm und ein brandartiger Geruch wie von Holzbränden, wenn z. B. Holz auf Holz gerieben verkohlt wird. Derselbe Geruch war durch das ganze Collegiumsgebäude merklich; von einem Schwefelgeruch war aber keine Spur wahrnehmbar.“* Ein solcher brenzlicher Geruch, welchen Spielcharten und Holz, durch den Batteriefunken zerschlagen, allezeit annehmen, wäre nur zu leicht erklärlich, und ist wahrscheinlicher anzunehmen, als der

1 G. XXXI. 204.

2 Verhandl. d. Ges. zur Beförd. d. Naturk. u. Industrie Schlesiens 1806. Bd. 1 Hft. 1.

bekannte, welchen die Elektricität zu erzeugen pflegt, und welchen man, wenn er auch dem Blitze angehörte, auch bei starken Gewittern wahrnehmen müfste. Den eigenthümlich brenzlichen, durch elektrische Zerreifsung des Holzes u. s. w. erzeugten, könnte man der Stärke der Zerstörung solcher Substanzen proportional setzen, und hieraus liefse sich erklären, dafs er oft sehr auffallend wahrgenommen wird, wo diese Wirkungen ausgezeichnet sind, dagegen in einem merkwürdigen Falle nur unbedeutend war, als ein starker Blitz in Gestalt einer Feuerkugel mitten zwischen eine Tischgesellschaft von acht Personen herabfuhr, mit einem hellen Knalle zerplatzte, alle gleichsam niederdrückte, und nur einen *unmerklichen Schwefelgeruch* (?) zurückliefs[1]. Merkwürdig ist in diesem angegebenen Falle noch, dafs die gebildetern der Tischgesellschaft nur diesen *unmerklichen* Schwefelgeruch, das Gesinde des Gutes aber einen *starken Schwefelgeruch* wahrgenommen haben wollen. Vor dem Versuche einer genügenden Erklärung mufs also zuerst die eigentliche Beschaffenheit dieses Geruches völlig aufgefunden seyn, und es ist deswegen wichtig, dieses seltsame Phänomen in vorkommenden Fällen vorzugsweise zu beachten.

VI. Sicherung gegen den Blitz.

Durch die aus der hier vorgetragenen Theorie des Blitzes hergeleiteten Mittel, Gebäude, Schiffe u. s. w. vor dem Blitze zu schützen, hat sich Franklin ein grofses Verdienst um die Menschheit, und einen unsterblichen Ruhm erworben. Vorläufig können indefs hier nur einige Vorschläge zur Sicherstellung einzelner Personen gegen den Blitz eine schickliche Stelle finden.

In einem Gebäude, das mit keinem Blitzableiter versehen ist, hat man im Allgemeinen in den Zimmern, wenn man sich in 3 bis 6 F. Entfernung von den Fenstern und Schornsteinen hält, nichts zu befürchten. Will man mehr thun, so vermeide man die Plätze, wo sich abgesondertes, d. i. mit Holz, Stein, Glas umringtes Metall befindet, daher die Wände, Winkel, Pfosten, Schornsteine, Oefen, Feuer-

1 Dresdner Miscellen 1807. St. 76.

heerde, vergoldete Rahmen, eiserne Gitter, Spiegel u. s. w. und begebe sich in die Mitte geräumiger und hoher Zimmer auf den besten Nichtleiter, der zur Hand ist, z. B. auf einen alten recht trockenen Stuhl, den man nach Franklin auf zwei doppelt über einander gelegte Matrazen oder Betten stellen kann. Am besten thut man, wenn man zwei solche Stühle oder ein Kanape in die Mitte des Zimmers stellt, und sich in horizontaler Stellung darauf legt[1]. Auf den blofsen Fufsboden sich zu legen ist darum zu widerrathen, weil es da Stellen geben könnte, wohin der Blitz durch eiserne Stangen, Klammern und d. g. gelockt würde. Vorzüglich aber vermeide man den Platz unter Kronleuchtern, welche an metallenen Stangen oder Ketten aufgehangen sind. Das wenige Metall, was man bei sich hat, wird die Gefahr nicht vergröfsern. Im untern Theile des Gebäudes ist man sicherer als im obern. In die Keller dringt der Blitz selten, aber der Aufenthalt in demselben wäre bei einem entstehenden Brande wegen der Erstickung gefährlich. Eine Gypsdecke verschafft für die Menschen in der Mitte des Zimmers mehr Sicherheit, weil der Eisendraht in derselben den Blitz zu den Wänden hinleitet. Zugluft, namentlich trockne, bringt durchaus keine Gefahr, und es ist daher eine übertriebene, oft höchst unangenehme Aengstlichkeit, bei herannahenden Gewittern die heifsen, mit Menschen erfüllten Zimmer fest verschlossen zu halten; auch hat man kein Beispiel, dafs ein Mensch im Bette erschlagen sey, obgleich das Aufstehen bei heftigen Gewittern aus Rücksichten auf etwanige Feuersgefahr räthlich seyn kann. Auf der Gasse suche man nicht Schutz unter Thüren und Thorwegen oder nahe an Wänden und Gebäuden, sondern gehe entweder in ein Haus, oder bleibe in einer mäfsig breiten Gasse mitten zwischen den Häusern. Gefährlich ist es ferner, neben einer Stelle zu stehen, wo eine vom Dache hervorragende Rinne das Wasser ausgiefst.

Auf dem Felde bleibe man nicht ganz im Freien, wo keine andere hervorragende Gegenstände befindlich sind, stelle sich aber auch nicht unter einen Baum, Heuhaufen,

---

1 Vergl. Raschig bei G. XXXI. 205.

Hecke, Korngarben u. dgl. Die beste Stellung würde seyn, in einige Entfernung von einem oder mehreren Bäumen so zu treten, dafs man 15 — 20 Fufs sowohl von den Stämmen als von den entferntesten Zweigen derselben entfernt bliebe. Ist kein Baum in der Nähe, so mufs man sich doch von Teichen und anderem Wasser entfernen, wozu der Strahl einen Uebergang durch den menschlichen Körper suchen möchte, und sich wo möglich, lieber niederlegen, als stehen oder sitzen. Zu Pferde und auf einem offenen Fuhrwerk befindet man sich wegen des höhern Hervorragens allerdings in einiger Gefahr, obgleich in der Regel nur die Pferde getroffen werden. In einer Kutsche scheint die Sicherheit gröfser zu seyn, zumal wenn man sich so viel möglich in der Mitte hält, und nicht viel Metall in der Kutsche ist.

Auf den Schiffen, die keinen Blitzableiter haben, wäre der gefährlichste Aufenthalt bei den Masten, und zwischen diesen und dem am Bord befindlichen Metalle; der sicherste hingegen unter der Wasserfläche, weil der Blitz sich stets auf dieser verbreitet und nicht in das Innere eindringt. Das Läuten der Glocken wird jetzt allgemein für ein fruchtloses Mittel zur Vertreibung der Gewitter erkannt; man kann aber eben so wenig behaupten, dafs es den Blitz herbeilocke. Inzwischen vermehrt es die Furcht bei abergläubischen oder nervenschwachen Personen, und ist den Läutenden gefährlich, da die Glocke mit dem hanfenen Stricke, wenn Menschen Letztere mit der Erde verbinden, eine gute Leitung abgiebt, und den Blitz, der sonst vielleicht an der Mauer herabgefahren wäre, auf die Glocke hinlocken kann[1]. Vom Abfeuern des Geschützes will man aus militairischen Erfahrungen versichern, dafs es die Gewitterwolken zertheile. Die nicht geringe Ortsbewegung einer grofsen Luftmasse durch die Ausbreitung der Gasarten, die sich beim Entzünden des Schiefspulvers in Menge entwickeln, könnte besonders beim Abfeuern ganzer Batterien allerdings auf die Zertheilung der Wolken Einflufs haben. Grofse auf Bergen ange-

1 C. G. von Zengen über das Läuten beim Gewitter, besonders in Hinsicht der deshalb zu treffenden Polizeiverfügungen. Giefsen 1791. 8.

zündete Feuer sind nach den schönen Erfahrungen Volta's[1] eines der kräftigsten Mittel, Donner und Hagel abzuhalten. Vielleicht waren die im Alterthume gewöhnlichen Opfer auf den Höhen zu dieser Absicht veranstaltet[2]. *P.*

Blitzableiter.

Wetterableiter, Wetterstange; *Pertica Fulmini avertendo;* Paratonnerre; *Conductor.* Eine Vorrichtung, durch welche der ausbrechende Blitz aufgefangen, und auf einem bestimmten Wege ohne Schaden der Gebäude, Schiffe, Menschen u. s. w. zur Erde geleitet wird. Diese für das Wohl der Menschen höchst wichtige Erfindung gehört unstreitig dem Dr. Franklin zu, der seine Entdeckung der Gleichheit des Blitzes und der Elektricität sogleich auf Beschützung der Gebäude gegen die Donnerwetter anwendete, dabei aber vorzüglich von der wunderbaren Kraft der Spitzen, die elektrische Materie unmerklich abzuleiten, ausging, und darauf seine Vorschläge gründete. Schon in einem im Jahre 1749 geschriebenen Briefe[3], wo er von dieser Kraft der Spitzen, den elektrisirten Körpern ihre Elektricität allmählig und ohne Funken zu entziehen, handelt, setzt

---

1 Meteorologische Briefe aus dem Ital. übersetzt. Leipzig 1793. 8. 5ter Brief. Vergl. *Gewitter.*

2 Mehrere mit diesem Artikel in Verbindung stehende Umstände findet man bei den Worten: Blitzableiter, Blitzröhren, Donner, Elektricität, Gewitter, Spitzen, Wetterleuchten, Wetterlicht. Zur Literatur dient unter andern: Priestley Geschichte der Elektricität durch Krünitz, Berlin und Stettin 1772. 4° S. 110 flgd. S. 206 u. flgd. Alb. Heinr. Reimarus vom Blitze u. s. w. Hamburg 1778. 8°. Dessen neuere Bemerkungen vom Blitze, dessen Bahn, Wirkung, sichere und bequeme Ableitung. Hamburg 1794. 8° Geden von der Sicherheit wider die Donnerstrahlen. Göttingen und Gotha 1774. 8. Tetens über die beste Sicherung seiner Person bei einem Gewitter. Bützow und Wismar 1774. 8° Verhaltungsregeln bei nahen Donnerwettern (von L. Ch. Lichtenberg) dritte Auflage 1778. 8°. J. K. Gütle allgemeine Sicherheitsregeln für Jedermann bei Gewittern. Nürnb. 1805. J. Jac. Hemmer der Rathgeber, wie man sich vor Gewittern in unbewaffneten Gebäuden verwahren soll. Mannheim 1809. 8°. G. J. Singer Elemente der Elektricität und Elektrochemie. Aus dem Engl. übersetzt von C. H. Müller. Breslau 1819. 8° IIIter Theil. Naturwirkungen der Elektricität.

3 S. seine Briefe über die Elektricität, übers. von Winkler S. 87 flgd.

er hinzu, man werde davon einen sehr nützlichen Gebrauch zur Beschützung der Gebäude machen können. In einem andern im September 1753 geschriebenen Briefe erklärt sich Franklin[1] hierüber noch ausführlicher. Er behauptet mit Recht, der Blitz nehme seinen Weg jederzeit durch alle leitende Körper, die er finden könne. Er explodire nur dann, wenn die leitenden Körper die Materie geschwinder empfangen, als sie sie wieder abgeben können, d. i. wenn sie getheilt, getrennt, zu klein oder zu schlechte Leiter sind. Daher würden ununterbrochene Metallstangen von zureichender Dicke entweder die Explosion ganz verhüten, oder wenn sie zwischen der Spitze selbst und den Wolken entstanden wäre, wenigstens, so weit die Stange reichte, fortleiten. Er glaubt, dafs Stangen von einem Viertelzoll Durchmesser dazu hinreichend seyn würden. Er bemerkt ferner, dafs Flocken Baumwolle, an den Hauptleiter einer Elektrisirmaschine gehangen, durchs Elektrisiren anschwellen, und sich ausbreiten, auch vom Tische angezogen, durch Annäherung einer spitzigen Nadel aber gegen einander selbst und gegen den Hauptleiter zurückgetrieben werden. Dr. Franklin's Landsleute säumten nicht lange, seine Anweisungen wirklich auszuführen, wozu sie um desto mehr Veranlassung hatten, da in verschiedenen Theilen von Nordamerika die Gewitter weit häufiger und schrecklicher als bei uns sind. In Deutschland hat Winkler[2] die ersten Vorschläge dieser Art gethan. Er rieth, auf dem Gipfel des Gebäudes eine isolirte Stange zu setzen, und an diese eine lange Kette oder einen drei Linien dicken Draht zu hängen, welcher weit vom Gebäude hinweg durch die freie Luft gezogen und endlich an einen Pflock in der Erde befestigt würde. Die erste in Deutschland ausgeführte Ableitungsmaschine ist wohl die des Procopius Divisch in Mähren[3], welcher bereits im Jahre 1754 eine Blitzableitung errichtete und zu Prendiz bei Znaym am 9. und 10. Juli desselben Jahrs Wetterwolken, die darüber hinzogen, sich zertheilen sah. Die

1 S. seine Briefe über die Elektricität übers. von Winkler. S. 163 u. f.

2 Progr. de avertendi Fulminis artificio Lips. 1755. 4.

3 Musschenbroek Introd. To. II. §. 2543.

Einrichtung der Vorrichtung ist nicht genau bekannt, es wird aber von weifsen Strahlen geredet, welche sich von der Wolke nach ihr erstreckt hätten; sie scheint daher zugespitzte Stangen gehabt zu haben, auch tragbar gewesen zu seyn. Vorurtheil und Furcht aber haben bei uns den Gebrauch und Fortgang dieser Erfindung weit länger als bei den Ausländern verhindert. In England ist der erste Ableiter im Jahre 1762 zu Paynehill von Dr. Watson und in Hamburg 1769 einer am Jakobithurme errichtet worden. In Baiern war der Geheime Rath und Akademiker von Osterwald der erste, welcher im Sommer des Jahres 1776 sein Landhaus zuerst mit einem Ableiter bewaffnete[1]. In Italien trug besonders ein merkwürdiger Vorfall zu Siena im Toskanischen zur Verherrlichung dieser Erfindung und ihrer Einführung in diesem Lande bei. Die hohe Cathedralkirche daselbst war von den häufig auf einander folgenden Gewittern mehrmals durch Wetterschläge beschädigt worden. Müde der ewigen Reparaturen beschlofs man also, dieselbe mit einem Blitzableiter zu versehen. Das Volk murrte wohl, und nannte denselben eine Ketzerstange, er kam aber doch zu Stande. Am 10. April 1777 kam ein sehr schweres Donnerwetter. Der Blitz schlug ein, und zwar mit folgendem merkwürdigen Umstande. Zwischen dem Thurme und der Metallleitung, an welcher der Blitz herunterlaufen mufste, hatte eine Kreuzspinne ihr Gewebe, nicht einmal dieses ward verletzt, worauf man dann die Ketzerstange zu respectiren anfing[2].

Die Franklinische Theorie der Blitzableitung gründet sich auf zwei Sätze, wovon der erste sowohl durch die elektrischen Versuche als durch die Erfahrungen von Wetterschlägen aufser allen Zweifel gesetzt, der zweite dagegen nicht auf ein gleich sicheres Fundament gebaut ist, und sich daher auch nicht so behaupten konnte, wie Franklin voraus-

---

1 Dr. Franz Xaver Epp, Abhandlung von dem Magnetismus der natürlichen Elektricität. München bei Fritz 1777. 8. in der Vorrede S. 3 und 4 vgl. von Yelin über den am 30. April 1822 erfolgten merkwürdigen Blitzschlag. 2te Aufl. Vorr. S. VIII. und IX.

2 Journal des Savans 1778. Fevrier und Götting. Taschenbuch Jahrgang 1779. p. 37.

gesetzt hatte. Der *erste dieser Sätze* ist: Eine ununterbrochene metallische Leitung von genugsamer Dicke führt den Blitz oder die elektrische Materie ohne Beschädigung anderer Körper bis an ihr Ende herab. Das Herabfahren des Blitzes an Drähten und anderm Eisenwerk war längst vor Franklin bemerkt worden. Reimarus führt aus den Breslauer Sammlungen[1] eine Beobachtung des Dr. Reimann zu Epperies in Ungarn vom 17. Juli 1717 an, wobei bemerkt wird, dafs der Blitz an verschiedenen Drähten herab dem Eisen nach gefahren sey, und nur beim Uebergange aus einem Drahte in den andern die dazwischen liegenden Steine zerschmettert habe. Der Urheber dieser Beobachtung vermuthet hieraus eine sonderbare Sympathie des Blitzes mit dem Eisen, weil im Jahre 1673 der Blitz ebendaselbst an dem eisernen Drahte, welcher damals länger gewesen, ohne dafs ihm der Stein entgegengestanden, bis zu unterst herabgefahren sey[2]. Bei diesem Herabfahren des Blitzes bleibt selbst das Metall, wenn es von genugsamen Umfange ist, unbeschädigt; nur da wirkt der Wetterstrahl gewaltsam, wo er entweder den ersten Anfall äufsert, oder wo er einen allzu dünnen Draht glühend macht, zerreifst, und dadurch benachbarte Körper entzündet, oder endlich, wo er von einem Metalle zum andern durch Nichtleiter oder schlechte Leiter, als Luft, Steine, trockenes Holz u. dgl. mit Widerstand überspringen, oder durchbrechen mufs. Auch verläfst der Blitz eine Strecke Metall (selbst in dem Falle, wenn er es zerstört) nicht, wenn sie ihn gleich durch Umwege führt, er müfste denn eine andere weiter hinunterführende Strecke von Metall antreffen, und zu derselben durch wenige dazwischen liegende Körper durchdringen können. Das Ziel, das er zu erreichen sucht, ist jederzeit die feuchte Erde, oder das Wasser, auf welchem er sich frei ausbreiten kann[3]. Demnach wird ein Wetterstrahl ein Gebäude nicht beschädigen, wenn er an demselben eine ununterbrochene und hinlängliche metallische Leitung von dem Orte seines Anfalls an bis in die feuchte Erde oder in ein fliefsendes Wasser antrifft.

1 I. Vers. p. 64.

2 Vgl. *Donnerhaus.*

3 S. *Blitz.*

Diesen Grundsätzen gemäfs würde ein Gebäude geschützt seyn, wenn eine metallische Verbindung 1. dem ersten Anfalle des Blitzes ausgesetzt d. i. über alle Theile des Gebäudes hervorragend; 2. ununterbrochen d. i. mit möglichst genauer Berührung aller ihrer Theile fortgeführt und 3. in ein frei abfliefsendes Wasser geendet oder in feuchtes Erdreich versenkt wäre. Hierdurch und ohne Anwendung mehrerer Grundsätze würde der Wetterschlag zwar nicht vermieden, aber doch, was die Hauptabsicht ist, die Beschädigung verhütet seyn. Man könnte einen Blitz-Ableiter dieser Art einen *defensiven* nennen, weil er den Schlag erwartet, um ihn auf einem vorgezeichneten unschädlichen Wege zu leiten. Franklins Vorschläge gingen aber noch weiter, und erstreckten sich sogar bis auf Entkräftung der Wetterwolke und Abwendung des Schlags selbst. Hierzu wendete er *den zweiten Satz* an: dafs metallische Spitzen das Vermögen besitzen, die Elektricität allmälig ohne Funken und Schlag abzuleiten; ein Satz, der zunächst nur durch elektrische Versuche im Kleinen bewiesen war. Er gründete darauf seinen Rath, den obern Theil der metallischen Verbindung aus einer zugespitzten Stange bestehen zu lassen. Eine solche sollte die Wolke gleichsam selbst angreifen, den nächsten Theilen derselben ihre Elektricität gleichsam in der Stille entziehen, und in den meisten Fällen es gar nicht zum Schlage kommen lassen. Ein solcher Blitzableiter könnte ein *offensiver* genannt werden. Wenn aber, diese seine Kraft auch nicht zugestanden, ein Wetterschlag auf ihn fiele, so würde er immer noch alle Dienste des defensiven leisten.

Die *offensiven* oder *zugespitzten* Blitzableiter haben an Wilson[1] einen heftigen Gegner gefunden. Er setzt ihnen entgegen, dafs sie den Blitz herbeilockten, und nimmt zum Grundsatze an, man müsse ein so gefährliches Element, als die elektrische Materie ist, nicht einladen, sondern vielmehr durch geschickte Leiter abführen, welche die herbeikommende Quantität desselben so wenig als möglich vermehrten. Er thut daher den Vorschlag, über die Gebäude

1 Phil. Trans. LIV. p. 249 flgd. Vergl. Observ. upon lightning. Lond. 1775. 4.

nicht das geringste Metall hervorragen zu lassen, sondern inwendig, einen oder zwei Fuſs vom Giebel eine stumpfgeendete, oder mit einer Kugel versehene, Stange von Metall längs der Mauer bis in den feuchten Erdboden hinabzuführen. Schon Beccaria erklärte sich sehr lebhaft gegen diese Meinung, führte an, kein Metall ziehe mehr elektrische Materie an, als es zu leiten vermöge, und rieth, man solle bei einem groſsen Gebäude sogar mehrere zugespitzte Ableiter an verschiedenen Ecken anbringen. Dieser schon fast vergessene Streit wurde im Jahre 1777 aufs neue rege, als der Blitz am 15. Mai in das mit einer spitzigen Ableitung versehene Artilleriehaus bei den Pulvermagazinen in Purfleet schlug. Dieses Haus liegt auf einer Anhöhe, die den Gipfeln der Magazine beinahe gleich stehet; sein spitziges Dach ist an den Ecken mit Blei bedeckt, bis an die Rinnen, von welchen bleierne Röhren bis in das Wasser der 40 Fuſs tiefen Brunnen herabreichen. Auf der bleiernen Bedeckung des Dachrückens hatte man eine 10 Fuſs 2 Zoll lange und 1,5 Zoll dicke eiserne Stange errichtet. Der Wetterstrahl fiel auf eine eiserne Klammer der Ringmauer 46 Fuſs weit von der Stange, nahe an der nordöstlichen Ecke des Hauses, da der Zug der Wolke von Südwest gen Nordost gegangen seyn soll; von dieser Klammer drang er durch die Steine 7 Zoll weit in eine mit der Ableitung verbundene Bleiplatte, und ward so zur Erde fortgeführt, ohne auſser der Zerschmetterung einiger Steine und Anschmelzung des Bleies einigen Schaden zu thun[1]. Dieser Vorfall, der nichts weiter beweiset, als daſs der Blitz bei seinem Ausbruche das nähere Metall eher, als die entferntere Auffangungsstange ergreife, daſs also ein groſses Gebäude mehrere solcher Stangen bedürfe, ward dazu benutzt, die spitzigen Ableiter einer Anlockung des Blitzes auf die benachbarten Stellen verdächtig zu machen. Wilson stellte hierüber Versuche im Pantheon an, welche unter die kostbarsten und prächtigsten gehören, die man je mit dem elektrischen Apparate gemacht hat. Er hatte gleichsam das ganze Gebäude mit einem metallenen Donnerwetter angefüllt, das in ein kleines Modell des Hau-

1 Phil. Trans. LXVII. 252.

ses zu Purfleet schlagen mufste. Wenn dieses Modell, mit einer spitzigen Ableitung versehen, dem geladenen Apparat plötzlich genähert ward, so erhielt die Spitze in der Entfernung von 5 Zoll einen Schlag, wodurch der Apparat fast gänzlich entladen ward; setzte man aber eine Kugel auf die Spitze, so erhielt das Modell keinen Schlag. Er suchte nun durch fernere Versuche zu erweisen, dafs der Schlag zu Purfleet zuerst in die Spitze der Ableitung gegangen sey, und die Klammer durch eine Seitenexplosion getroffen habe, dafs bei zwei stillstehenden Wolken, welche gegen einander schlagen, die Phänomene eben dieselben seyen, wie bei einer einzigen bewegten Wolke, dafs die Spitzen in solchen Fällen in weit gröfseren Entfernungen vom Schlage getroffen werden, als die Kugeln, dafs also die Spitzen eine einzige und stillstehende Wolke stillschweigend entladen, aber bei bewegten oder gegen einander schlagenden Wolken dem Schlage mehr als stumpfgeendete Ableiter ausgesetzt sind [1]. Diese Versuche bewogen den König, welcher dabei gegenwärtig war, die spitzigen Ableiter auf dem Pallaste im Park zu St. James mit Kugeln zu versehen und bis unter die Schornsteine erniedrigen zu lassen.

Edward Nairne [2] hat dagegen eine andere Reihe von Versuchen aufgestellt, die, soviel Genauigkeit und Umsicht des ächt philosophischen Naturforschers sie auch gewähren, doch nicht geeignet waren, den Streit zur definitiven Entscheidung zu bringen, da der Schlufs von Versuchen nach einem so kleinen Mafsstabe mit Conductoren von einigen Quadratschuhen Oberfläche, welche Wolken vertreten sollten, auf das Verhalten der Gewitterwolken selbst auf keine Weise bündig ist. Durch diese Versuche fand er, dafs seine Scheinwolken unbewegt auf zugespitzte Stangen gar nicht, auf stumpfe in desto gröfserer Weite schlagen, je stumpfer das Ende der Stangen ist, dafs spitzige Stangen hierbei desto mehr schützen, je weiter sie hervorragen, auch die Elektricität auf eine viel gröfsere Weite stillschweigend

1 Phil. Trans. LXVII. 239. flgd.

2 Phil. Trans. LXVIII. 303 flgd. übers. in Leipz. Samml. zur Physik und Naturgsch. II. St. 4. p. 458. flgd.

ausziehen, als stumpfe. Ein abgestumpftes Metall, oder eine Kugel von 1 Zoll Durchmesser erhielt Funken bis auf zwei Zoll Distanz. In Distanzen von 2 — 10 Zoll brach kein Funken aus. In Distanzen von 10 — 16 Zoll entstanden wieder Funken. Dieses Aufsenbleiben der Funken und ihr Wiederkommen in einer gröfsern Distanz hat schon Gross bemerkt[1]. Sollte die Anwendung hiervon auf das Verhalten der Gewitterwolken selbst gelten, so würden daraus folgen, dafs Kugeln und kegelförmige Dächer aus sehr grofsen Entfernungen können getroffen werden. Bewegliche (Schein-) Wolken wurden in jenen Versuchen von zugespitzten Stangen gar nicht angezogen, Kugeln hingegen zogen dieselben gegen sich, entluden sie durch einen Schlag, und machten sie dadurch fähig, von der Hauptwolke auf's neue angezogen zu werden, neue Funken zu erhalten und der Kugel wieder zu geben. Stillstehende Wolken aber gaben Schläge, die sie von andern erhielten, auch den Spitzen wieder. Die Spitzen erhielten auch Schläge, wenn sie schnell bewegt wurden, oder was eben soviel ist, als wenn die Wolke sich schnell bewegt hätte, aber gleich schnell bewegte Kugeln erhielten diese Schläge in einem noch gröfseren Abstande, je gröfser ihr Durchmesser, d. i. je stumpfer sie waren.

Nairne bewies übrigens deutlich, dafs bei dem Vorgange zu Purfleet der Blitz nicht durch die Spitze des Ableiters, sondern durch die Klammer an der Ecke des Hauses eingedrungen sey, und sich daraus nichts weiter schliefsen lasse, als dafs der Ableiter unter den damaligen Umständen seinen Schutz gegen den Wetterschlag nicht völlig 46 Fufs weit verbreitet habe. Dr. Ingenhouss[2] behauptet, dafs eine Wetterstange mit der Kugel, besonders wenn sie weit hervorragt, das Gebäude einem Schlage mehr aussetze, als wenn sich gar keine Wetterstange darauf befände, eine zugespitzte hingegen den Blitz oft ganz abwende, der das Gebäude ohne Wetterstange unvermeidlich würde getroffen haben. Er führt hierüber das Beispiel des Kirchthurms auf

---

1 S. *Pausen*, *elektrische*.

2 Vermischte Schriften. Zweite Aufl. Wien 1784 I. 124.

dem Lusciariberge in Kärnthen an, der mehreremale von Wetterschlägen zernichtet, und alle Jahre 5 bis 6 mal getroffen ward, aber seit 1780 mit einem spitzigen Ableiter versehen, in drei Jahren nur zweimal ohne alle Beschädigung getroffen worden ist. Nur bei einem Hause auf einem erhabenen, sehr trockenen Grunde, um welches keine Quelle oder kein feuchter Grund in der Nähe anzutreffen, das also an sich den Wetterschlägen wenig ausgesetzt sey, könne durch eine spitzige Wetterstange dem Blitze ein vorher verschlossener Weg eröffnet werden; inzwischen da man von der natürlichen Sicherheit der Lage nie völlig überzeugt sey, gewinne man durch den Ableiter immer die Gewifsheit der Bewahrung vor Unglück. Uebrigens hat an dem in England hierüber geführten Streite die Partheisucht viel Antheil gehabt, die Commissarien der Societät in London entschieden ganz zum Vortheile der zugespitzten Ableiter, riethen für das Gebäude in Purfleet blofs eine bessere Verbindung hin und wieder befindlichen Metalls und der Ableitung an, und überzeugten die Societät so vollkommen von der Wahrheit ihrer Entscheidung, dafs sie es abgelehnt hat, Wilsons Schriften wider dieselben weiter anzunehmen [1].

Wie sehr auch alle Physiker in Ansehung der Hauptbedingungen, auf welchen die Sicherstellung von Gebäuden durch einen Wetterableiter beruht, und in der Ableitung dieser Bedingungen aus den Grundsätzen der Elektricitätslehre mit einander nunmehr übereinstimmen, so finden doch über die zweckmäfsigste Realisirung dieser Bedingungen und die den Blitzableitern zu gebende besondere Einrichtung noch erhebliche Abweichungen von einander statt, besonders was die tauglichste Form für das die unschädliche Leitung gewährende Metall betrifft, und zwar lassen sich die verschiedenen Einrichtungen unter drei Classen bringen, nämlich 1. *die Blitzableiter aus Metallstreifen*, 2. *die Ableiter aus geflochtenem Metalldrahte* und 3. *die Ableiter aus eisernen Stangen*. Indem wir diese verschiedenen Vorrichtungen genau beschreiben, werden wir zugleich Gelegenheit haben, mit Rücksicht auf die grofse Masse von

1 Journal des Savans, Avril 1782 p. 575.

neuen Erfahrungen über Wetterschläge das Für und Wider unpartheiisch aufzustellen, und das Urtheil des Lesers über die bestmögliche Einrichtung zu fixiren.

I. Wetterableiter aus Streifen von Metall.

Reimarus hat die erste jener drei Arten vorzugsweise empfohlen, und sich in der speciellen Anweisung zu ihrer Einrichtung besonders an das gehalten, was die Erfahrung über Wetterschläge unmittelbar gelehrt hat. Nach den drei Haupttheilen, die an jedem Ableiter zu unterscheiden sind, der *obersten* Stelle, wo der Ableiter dem unmittelbaren Anfalle des Blitzes ausgesetzt ist, dem *mittleren* Theile und dem *Ende* desselben, wollen wir die von ihm vorgeschlagene und nach seinen Vorschlägen häufig ausgeführte Einrichtung näher prüfen.

a. Auffangung des Blitzes. Stumpfe und zugespitzte Auffangstangen. Entbehrlichkeit derselben in den meisten Fällen. Gefahr von zugespitzten Auffangstangen.

Die Erfahrung hat gelehrt, dafs der Blitzstrahl, wenn er in Gebäude einschlägt, stets die hervorragenden Kanten, Ecken und Spitzen, die an den höchsten Stellen desselben liegen, trifft; hier concentrirt sich die Entgegenwirkung der Erde durch ihre negative Elektricität, also die Anziehung zur positiven wie in einem Puncte, und mufs deshalb auch den Ausbruch des Blitzes auf eine solche Stelle bestimmen. Reimarus schreibt daher vor, über die ganze First des Daches von einem Ende des Dachrückens zum andern, auch über die Schornsteine, und wenn Ecken, Frontispize, oder hervorstehende Altane daran befindlich sind, auch über deren Gipfel und Rand eine zusammenhängende Metallstrecke zu führen. Da es nämlich ungewifs ist, woher der erste Anfall aus der Gewitterwolke kommen werde, so erfordert es die Vorsicht, dafs wir alle wahrscheinlich in Gefahr stehende obern Ecken des Gebäudes durch metallische Bewaffnung und Verbindung mit der Hauptableitung schützen. Mehr ist aber nicht erforderlich, denn wenn auch der Blitz beim Mangel jener metallischen Bedeckung vielleicht einmal

statt in eine der hervorstehenden Ecken in die Fläche des Daches selbst eingeschlagen haben sollte, wie TRECHSLER [1] einen solchen Fall anführt, wo ein Blitz sich in die Fläche des Dachs eine grofse Oeffnung schlug, so wird dies auf keinen Fall zu befürchten seyn, wenn die hervorstehenden Ecken durch ihre metallische Bewaffnung und ihre Verbindung mit der übrigen metallischen Ableitung in zweifachem Grade anlockend geworden sind. Zu dieser metallischen Bewaffnung dienen Bleistreifen am schicklichsten. Sie lassen sich bequem an die Forstziegel anfügen und auf den Schornsteinrand annageln. Vielfältige Erfahrungen haben gelehrt, dafs sie den Blitz hinlänglich leiten, wenn sie eine gehörige Breite und Dicke haben [2]. Würden sie zu dünn seyn, so könnten sie allerdings durch den Blitz geschmolzen werden. Bei dieser Bedeckung aller in der Höhe hervorragenden Stellen bedarf es in der Regel nicht weiter einer besondern *Auffangstange*. Dies beweisen so manche Wetterschläge, welche auf blofs bleierne Bedeckungen an Giebeln oder stumpfen Dachenden, die auf diese Weise eingerichtet waren, gefallen sind. Ohne eine solche Bedeckung schützen die Auffangstangen selbst von einer ansehnlichen Länge doch nur, selbst nach dem Geständnifs derjenigen, die sie jetzt noch für unentbehrlich halten, auf eine Weite von 40 bis 50 Fufs, und in gröfseren Entfernungen sind der Stangen ohngeachtet, dennoch Schläge auf viel weniger erhabene Ecken der Gebäude gefallen. Beispiele hiervon lieferten das Magazin zu Purfleet, wo die getroffene eiserne Klammer an einer obern Ecke nur 46 Schuhe von der Auffangstange entfernt war, Hatsendens Haus in England [3], wo der Blitz einen von der Auffangstange 50 Schuh weit entfernten Schornstein zuerst traf, und von da aus durch verschiedene metallische Theile mit Zerschmetterung der dazwischen liegenden metallischen Körper in die Erde ging, das Werkhaus zu Heckingham bei Norwich, das ohngeachtet seiner 8 zugespitzten Auffangstangen am 17. Juni 1782 vom Blitze an eine von der nächsten Auffangstange 42,5

1 G. LXIV. 234.

2 S. das Technische am Ende.

3 Philos. Trans. LXV. 336.

Schuh entfernten und 8 Fufs niedrigern Ecke des Fachs getroffen wurde, wo er auch zündete [1], das Schlofs zu Dresden, wo der Blitz am 24sten August 1783 einen von der Ableitungsstange 94 dresdner Ellen weit abstehenden Altan traf. Ja in neuern Zeiten hat sich sogar ein Fall ereignet, der den Kreis, über welchen eine Auffangstange ihren Schutz erstreckt, als noch viel beschränkter darstellt. In diesem von Trechsler bekannt gemachten Falle, schlug der Blitz in ein mit zwei zugespitzten Auffangstangen versehenes Haus, das dadurch entzündet wurde und gänzlich abbrannte. Beide Auffangstangen waren auf der Dachforst auf die gewöhnliche Art an hölzernen, 15 Fufs hohen, Stangen befestigt (das Eisen ging noch 15 F. höher hinauf) und standen in leitender Verbindung mit einander, zwar nicht unmittelbar auf dem Dache, aber an dem in einiger Entfernung vom Hause stehenden Pfahle, an welchen sie beide geführt waren, und von wo aus die Ableitung 3 — 4 Fufs tief in feuchte Erde versenkt war. Die Auffangstangen waren so angebracht, dafs die eine auf der Hofseite 16 Fufs von der hintern, die andere 12 Fufs von der vordern Ecke der First abstand. Die First des Daches selbst war nach dem Risse 66 Fufs lang, der Abstand beider Ableiter von einander betrug also 38, der halbe Abstand 19 Fufs. Ueber den Gang des Wetterstrahles selbst war zwar nichts mit vollkommener Gewifsheit auszumitteln, indessen schien es nach allen Umständen, besonders nach der Stelle zu urtheilen, wo die Flamme zuerst ausbrach (in den Ställen am hintern Theile) wahrscheinlich, dafs der Wetterschlag den hintern Giebel getroffen hatte. Hier erstreckte also die Auffangstange ihren Schutz nicht einmal auf 16 Fufs. Man sieht aus allem diessn deutlich, dafs ohne jene Verwahrung aller hervorragenden Theile am obersten Theile des Gebäudes durch Metall und Verbindung desselben mit der Hauptableitung blofse Auffangstangen, von denen eine einseitige Leitung zur Erde führt, nur einen sehr precären Schutz geben.

Indem man die Auffangstangen wegläfst, wird die Zurüstung weit einfacher und wohlfeiler, die ganze Anstalt hat

---

1 Reimarus 2te Abhandlung. S. 28. — 34.

nichts Auffallendes mehr, und niemand kann es einem Eigenthümer wehren, den First seines Daches mit Blei belegen, und mit einer heruntergehenden Metallstrecke verbinden zu lassen. Indessen legte man, wie schon oben bemerkt worden, von dem ersten Zeitpunct der Errichtung der Gewitterableiter an, noch einen ganz andern Werth den Auffangstangen bei, sofern sie nämlich als zugespitzte Stangen die Elektricität der Gewitterwolken unmerklich ableiten, oder, um die Sache nach der dualistischen Theorie zu bestimmen, durch fortdauernde Zuführung und Ausströmung von negativer Elektricität die positive den Wolken allmählig ausgleichen, und die Entladung durch einen eigentlichen, doch immer einen grofsen Schrecken veranlassenden Wetterschlag gänzlich abwehren sollten. In den ersten Jahren hielt man streng an dieser Idee, doch bemerkt schon Gehler [1]: die grofse Meinung, die man sonst von dem Abzuge hegte, den zugespitzte Stangen auf die Wetterwolke äufserten, hat sich in den letzten Jahren sehr vermindert. Der Blitz hat in Spitzen geschlagen [2], man hat die Gewitter dadurch nicht geschwächt gefunden, auch keine Wetterlichter daran gesehen [3], und in der That ist es widersprechend, dafs die Spizzen den Ausbruch erleichtern und doch nie dem Schlage ausgesetzt seyn sollten. Lord Mahon [4], welcher behaupten will, die Spitzen leiteten jede Menge von Elektricität stillschweigend ab, mufs nach seinen Grundsätzen doch zugeben, dafs der Rückschlag sie treffe. Auch elektrische Versuche im Kleinen zeigen, dafs bei starker Ladung und schneller Annäherung der Schlag in Spitzen geht, selbst in weiterer Entfernung als auf stumpfe Körper [5]. Hemmer [6] führt an, dafs wenn ein flaches, einer Spitze vorgehaltenes Metall

---

1 Im Vten Bande seines Wörterbuchs im Jahre 1799.

2 In der Kirche della Madonna della Guardia bei Genua. Samml. zur Physik und Naturgeschichte II. 588. und in einem Hause zu Oppenweiler nach Hemmer in Comment. Acad. Theod. Palat. VI. 523.

3 Landriani, dell' utilità dei Conduttori p. 25 not.

4 Principles of electricity §. 226—228.

5 S. Barbier de Tinan in der Samml. zur Physik und Naturg. II. 355. flgd.

6 Anleitung Wetterableiter anzulegen § 32. S. 16.

noch nicht von einem Schlage erreicht wird, und man es plötzlich wegzieht, die Spitze sodann einen lebhaften Schlag erhält. Gehler fügt dann aber hinzu: Schädlich sind inzwischen die Spitzen keinesweges. Die Wolke locken sie nicht herbei, kommt sie aber in ihren Wirkungskreis, so locken sie den Ausbruch dahin, wohin man ihn haben will, und wo er ohne Schaden zur Erde geführt wird. Biot [1] führt als einen Beweis, dafs Spitzen doch wohl durch unmerkliche Entladung nützlich werden könnten, eine merkwürdige Erfahrung an, die Charles ihm erzählt hatte, dafs dieser nämlich aus Gewitterwolken, die sich unter Blitz und Donner näherten, zuweilen auf seinen elektrischen Drachen eine, lange Zeit fortwährende, Reihe von Funken, gleich einem Feuerstrome sich ergiefsen sah, und dann die Wolken ohne weitere Blitze und also ganz entladen fortzogen. Auch noch neuerlich hat Trechsler die Spitzen in Schutz genommen. „Man müsse sich, sagt er [2], von der „Kraft einzelner Ableiter mit Auffangstangen, Gewitter allmählig abzuleiten und zu schwächen, freilich nicht übertriebene Vorstellungen machen. Bedenke man aber dann „die auffallende Wirksamkeit, welche metallene Spitzen „zur Schwächung und Entkräftung auf die stärkste Elektrisirmaschine äufsern, und habe man die zum Theil furchtbare Thätigkeitsbeweise beobachtet, die ein zur Unterbrechung und zum Funkenschlagen eingerichteter Ableiter zur „Zeit eines nahen Gewitters zeige, so dürfe man diese einsaugende, sogenannte offensive Wirkung nicht für ganz „unbedeutend halten. Führe doch der Ableiter, wenn der „Strahl wirklich durch ihn gehe, einen solchen mächtigen „Elektricitätsstrom in einem Augenblick zur Erde, warum „sollte er nicht in längerer Zeit den Stoff zu manchem Strahl „abführen können? Könne man auch nicht leicht mit Stecknadelspitzen einem Menschen das Blut abzapfen, so komme „auch die Feinheit und Beweglichkeit des Bluts mit derjenigen der elektrischen Flüssigkeit in keinen Vergleich, und „wohl möchten die Millionen Tannen auf den Bergen eine

1 Traité. II. 448.
2 a. a. Orte.

„schöne Portion Gewitterstoff zur Erde führen; warum wä-
„ren sonst die Gewitter in Ebenen heftiger, besonders an-
„haltender als auf Bergen? Und warum schlüge hier der
„Blitz so äufserst selten in die Alpenhütten, obgleich leitende
„Rauchsäulen aus ihnen in die Höhe steigen. Am wahrschein-
„lichsten sey es ihm, die Gewitterwolke sey ein Laboratorium
„zur Bildung der Elektricität, und nicht ein Magazin zur
„Aufbewahrung bereits gebildeter, er glaube aber, dafs sie
„in ununterbrochener und nicht blofs in augenblicklicher
„Thätigkeit sey, wie De Luc meinte, d. h. die Wolke lade
„sich nach und nach, von Zeit zu Zeit entlade sie sich durch
„Blitze, lade sich dann wieder, und so abwechselnd, bis die
„Ursache ihrer Ladung allmälig zu wirken aufhöre. Für
„die allmälige Bildung des Gewitterstoffs in den Wolken,
„und für die Möglichkeit einer Schwächung durch zugespitzte
„Ableiter scheine eben jene unablässige Thätigkeit zu spre-
„chen, welche sich an einem ununterbrochenen Ableiter zur
„Zeit eines Gewitters beobachten lasse".

Die Commissarien der Akademie der Wissenschaften zu Paris haben in einer Anweisung zur Errichtung von Wetterableitern, die neuerlich von ihnen bekannt gemacht ist[1], und auf die wir weiter unten zurückkommen werden, die zugespitzten Auffangstangen gleichfalls noch in Schutz genommen, nehmen an, dafs ein solcher Blitzableiter um sich her einen kreisförmigen Raum, dessen Radius gleich dem doppelten der Höhe der Auffangstange sey, noch kräftig gegen den Angriff des Blitzes zu schützen vermöge[2], und haben auf diese Regel auch ihre Vorschläge zur Sicherung der Gebäude von verschiedener Länge und Breite gegründet, indem sie z. B. für ein Gebäude von 20 Metern (60 Fufs) im Quadrat zur vollkommenen Sicherung eine einzige Auffangstange auf der Mitte seines Daches errichtet, von der Höhe von 5 — 6 Metern (15 — 18 Fufs) für vollkommen hinreichend halten, und so im Verhältnisse. Sie stützen sich dabei auf die Meinung des bekannten Physikers Charles, der sich viel mit diesem Gegenstande beschäftigt habe. Der von Trechsler be-

1 G. LXXVII. 403.
2 a. a. O. S. 416.

kannt gemachte Fall kann aber nicht anders als Mifstrauen in diese Regel einflöfsen, und die einzige vollkommene Sicherung eines Gebäudes kann nur durch die metallische Bewaffnung aller in der Höhe desselben hervorstehenden Ecken erreicht werden.

Dafs von der unmerklichen Ableitung der Elektricität auch der stärksten Elektrisirmaschine durch Spitzen kein Schlufs auf die Entkräftung einer Gewitterwolke gelte, ist einleuchtend, wenn man die ungeheure Quantität von Elektricität, die sich in einem Blitze entladet, mit dem selbst stärksten Funken einer Harlemer Maschine vergleicht; auch müssen die Spitzen dem Leiter der Maschine schon sehr nahe gerückt werden, um diese völlige Entziehung zu bewirken. Wenn wir auch die Seltenheit des Einschlagens des Blitzes in Alpenhütten mit Trechsler der unmerklichen Ableitung der elektrischen Materie durch die Nadeln der Tannen zuschreiben wollten, was ist dann die einzelne Spitze der Auffangstange verglichen mit den Millionen Spitzen eines Tannenwaldes. Keine Erfahrung im Grofsen existirt, dafs es weniger häufig in Blitzableiter mit zugespitzten Auffangstangen eingeschlagen habe, als in solche, die nicht damit versehen waren. Die Fälle von Wetterschlägen auf Spitzen sind vielmehr gar nicht so selten, wie man nach den wenigen oben aus der früheren Ausgabe dieses Wörterbuchs angeführten Beispielen glauben könnte. In v. Yelin's Schrift sind drei Fälle dieser Art erzählt, auch Reimarus erwähnt mehrere. Jenes weit ausgedehnte furchtbare Gewitter vom 11ten Januar 1815 traf sowohl den Gewitterableiter des Lambertithurms zu Düsseldorf als des Reinoldithurms zu Dortmund, die beide in Spitzen ausgingen[1] u. s. w. Brandis erinnert auch sehr richtig, dafs wenn wirklich die Spitzen in gewöhnlichen Fällen den Dienst einer unmerklichen Ableitung der Elektricität der Wetterwolken leisteten, man bei Nacht viel öfter die Spitzen der Gewitterableiter während eines Gewitters leuchtend sehen müfste, was doch bekanntlich nur sehr selten wahrgenommen wird[2]. Jene von Biot

1 G. L. 541.

2 Allgemeine Encyklopädie XI. Bd. S. 52.

mitgetheilte Beobachtung von Charles läfst einerseits den Zweifel zu, ob nicht jene Gewitterwolken, die unter Blitz und Donner heranzogen, schon in diesen selbst sich entladen haben, ohne dafs das sogenannte Feuersprühen der elektrischen Drachen wesentlichen Antheil daran gehabt, andererseits befinden sich elektrische Drachen in einer viel grösseren Nähe bei den Gewitterwolken als die zugespitzten Auffangstangen auf gewöhnlichen Gebäuden. Wenn man nun einer einzelnen und selbst mehreren Spitzen (da ja der Blitz auch in das mit 8 zugespitzten Auffangstangen versehne Werkhaus zu Heckingham eingeschlagen hatte) das Vermögen nicht zuschreiben kann, die elektrische Materie der Wolken unmerklich abzuleiten, so kommt ihnen ebenso wenig der Vorzug zu, seltener als abgestumpfte oder mit einer Kugel versehene Wetterstangen getroffen zu werden, da in manchen Fällen der Uebergang der Elektricität in Funken durch Spitzen vielmehr erleichtert wird, nach den Pausenversuchen von Gross auf nur wenig abgestumpfte Kegel, die sich den gewöhnlichen Spitzen der Wetterstangen sehr nähern, die Funken in viel gröfseren Distanzen überschlagen, als auf Kugeln, diese überhaupt dem Uebergange um so mehr Widerstand leisten, jemehr sie sich von der Spitze entfernen, d. h. je gröfser ihr Halbmesser ist, je mehr sich ihre gekrümmte Fläche einer Ebene nähert. De Luc findet vollends in seiner Theorie der Gewitter und der Entstehung des Blitzes entscheidende Gründe gegen zugespitzte Blitzableiter. Nach seiner Vorstellungsart[1] geht die elektrische Flüssigkeit, sobald sie durch jenen, freilich noch problematischen Procefs, der die Gewitter bildet, erzeugt ist, in Strömen aus, und nimmt ihre Richtung gegen denjenigen Punct, gegen welchen sie die Umstände ihrer Erzeugung bestimmen, aber die Luft widersteht ihr, und nöthigt sie von Zeit, zu Zeit ihren Weg zu verändern; diese wiederholten Reflectionen durch comprimirte Luft bilden das Zickzack und die schlangenförmigen Windungen des Blitzes. Alle diese Operationen haben nun so mächtige Ursachen, dafs das Bemühen, ihnen durch kleine Ableiter zuvorzukommen, dagegen eben

1 S. *Blitz*.

so vergeblich scheint, als das Läuten der Glocken. Wenn jene Umstände den Blitz hervorbringen, und gegen ein Gebäude zu gehen bestimmen, so wird kein Mittel, das in unserer Macht steht, ihn dahin zu gelangen hindern können. De Luc glaubt, ein zugespitzter Ableiter schade eher, als er nütze, weil nach Volta die Wirkung der Spitzen darin bestehe, dafs sie das elektrische Fluidum der Luft in sich nehmen. Wenn sich also dem zugespitzten Ableiter eine Wolke nähert, in der neues elektrisches Fluidum hervorgebracht wird, so ist seine Wirkung diese, dafs er die davon abgestofsene Elektricität der Luft in sich nimmt und die Luft um sich her negativ macht; dadurch wird der Blitz bestimmt auf diese Seite zu fahren, ohne eben den Ableiter selbst zu treffen, weil sein wirklicher Gang von andern Umständen abhängt, deren Anordnung nicht in unserer Gewalt stehet. Die einzige Hülfe, die wir anwenden können, besteht also darin, dafs wir alle hervorragenden Ecken, Spitzen, am oberen Theile des Gebäudes, die auf gleiche Weise bedroht sind, mit Metall bewaffnen, und mit einer guten metallischen Ableitung in Verbindung setzen, worin er also ganz mit Reimarus zusammentrifft. Uebrigens ist dieses Raisonnement auch vollkommen anwendbar, wenn wir, wie oben geschehen, annehmen, dafs sich die elektrische Materie in den Gewitterwolken anhäufen kann, und diese gleichsam als grofse geladene Conductoren anzusehen sind. Doch mag in vielen Fällen die Erzeugung der Elektricität so rasch geschehen, dafs der Ausbruch oder die Explosion fast gleichzeitig damit ist.

Was aber den Spitzen vorzüglich entgegensteht, ist ihre Unfähigkeit wegen ihrer zu kleinen Oberfläche und Masse einen starken Wetterschlag unschädlich abzuleiten. Trifft sie ein solcher, so werden sie, wie die Erfahrung gelehrt hat, nicht selten geschmolzen, und das herabfliefsende glühende Metall kann dann zu Entzündungen Veranlassung geben, wenn auch die elektrische Materie selbst in ihrem weitern Fortgange unschädlich abgeleitet wäre. Man hat diesem so wie dem Rosten, wodurch das Leitungsvermögen sehr geschwächt, und eine gewaltsame Wirkung des Blitzes begünstigt wird, dadurch abzuhelfen gesucht, dafs man die Spitzen von einem besser leitenden Metalle, nämlich Kupfer oder

Messing verfertigte, und die feinste Spitze wohl auch noch vergoldete. Herr Pixis, Neffe und Nachfolger des Mechanicus Dumotiez in Paris, verfertigt solche Auffangsspitzen für Gewitterableiter aus gefirnifstem Kupfer mit Platin sich endigend, und aufgeschraubt auf einem eisernen Stabe, der an das obere Ende der Auffangstange angelöthet wird, das Stück zu 30 Franken; indessen werden dadurch offenbar die Kosten um sehr viel vermehrt, ohne dafs etwas im Wesentlichen gewonnen wird. Denn dafs auch solche vergoldete Messing- oder Kupferspitzen geschmolzen werden, hat die Erfahrung gleichfalls gelehrt, wie namentlich bei dem Wetterschlage zu Rofsstall die äufserste feine Spitze weggeschmolzen worden war [1], bei jenem auf dem Lambertithurm zu Düsseldorf, wo die gleichsam eine Spitze vertretende dünne vergoldete Schwanzfeder des Hahns an einer Stelle abgeschmolzen war, und nicht selten werden sie da, wo sie aufgeschraubt sind, abgeschlagen, wie z. B. in einem von v. Yelin [2] angeführten Falle, wo der Blitz die kupferne kegelförmige Spitze auf der Auffangstange bei der Schraube abschlug, und ganze 200 Schritte weit hinwegschleuderte. Dafs eine dünne Goldhaut oder ein feines Platin Ende die Leitungsfähigkeit der Spitzen nicht merklich vermehren werde, leuchtet ein, und wenn unsere Voltaischen Apparate selbst dikken Platindraht in glühende Kugeln zertheilen, ist dies nicht noch weit eher von einem mächtigen Wetterstrahle zu befürchten?

Zu der Zeit als man den zugespitzten Auffangsstangen so grossen Werth beilegte, hat man auch mannigfaltig an ihnen gekünstelt. Man hat mehrere Spitzen an eine Stange angebracht, diese, um den Wolken zu begegnen, nach verschiedenen Weltgegenden gerichtet, seitwärts an den Wänden bei jedem Stockwerk zugespitzte, ja selbst niederwärts gerichtete, mit Spitzen versehene Stangen gegen die aufwärts schlagenden Blitze vorgeschlagen [3]. Gütle [4] verwirft die

1 v. Yelin a. a. O. p. 14.

2 a. a. O. p. 38.

3 Mémoires sur les verges ou barres metalliques destinées à garantir les édifices des effêts de la foudre in den Mém. de l'Acad. des Sciences 1770 p. 63 und Bertholon de St. Lazare de l'électricité des météores. Tome I. p. 228.

4 G. LXIV, 266.

konisch oder pyramidalisch zugespitzten Auffangstangen und empfiehlt lanzenförmige Auffangspitzen, von denen, wie er behauptet, noch nie eine vom Donner beschädigt worden sey. Diesen Vorzug würden sie offenbar nur der gröfsern Oberfläche, die sie dem Blitze darbieten, verdanken, aber auch bei ihnen möchte die Gefahr der Schmelzung der äufsersten feinen Zuspitzung nicht wegfallen. Dafs solche zugespitzte Auffangstangen auch durch die gröfste Länge, die wir ihnen geben können, und man hat sie wohl bis auf einige 20 Fufs verlängert, in ihrer Wirksamkeit durch gröfsere Annäherung an die Gewitterwolken nichts gewinnen können, bedarf keiner weitern Ausführung. Nach allem diesen mufs man also Reimarus in der Verwerfung der zugespitzten Auffangstangen beistimmen. Sollen Stangen einigen Nutzen schaffen, so müssen sie an den, dem Anfalle am meisten ausgesetzten, Stellen, d. i. an den Schornsteinen oder bei freistehenden Gebäuden an den Ecken angebracht werden, sie dürfen alsdann nur etwa 4 Fufs hervorragen, und sie müssen stumpf und gehöriger Dicke, etwa 0,75 Zoll im Querschnitt seyn. In allen den Fällen, wo man den unmittelbaren Anfall des Blitzes auf das Dach zu fürchten hat, könnten sie von Nutzen seyn, besonders für Strohdächer, für welche sie Reimarus ausschliefslich empfiehlt. Hier kann man an jedem Ende des Hauses eine aufrichten, und entweder einer jeden ihre eigene Ableitung geben, oder mit der übrigen Ableitung verbinden. Dabei bleibt aber immer noch die Nothwendigkeit der Sicherung aller übrigen Ecken und Hervorragungen am Dache durch Bleistreifen, die mit dem Hauptstreifen, der über den First des Daches geht, in Verbindung zu bringen sind. Sind Dachknöpfe, Kreuze, Windfahnen ohnedem auf den Dächern, so können diese den Dienst der Auffangstange vertreten, müssen aber gleichfalls durch Metallstreifen in gute leitende Verbindung mit der Hauptableitung gebracht werden.

Wilson's Vorschlag, die Stangen mit Kugeln zu versehen und unter das Dach zu erniedrigen, ist auf alle Weise zweckwidrig. Der Blitz findet seinen Weg zu dem Metalle auch innerhalb des Dachs, und er wäre dadurch nur veranlafst, das Dach zu durchbrechen. Auch das Isoliren der

Stangen ist unnöthig, weil der Blitz eine metallische Leitung, wenn sie sonst gut ist, ohnehin nicht verläfst, und ist sie schlecht, zu einer bessern, auch durch nicht leitende Körper sich Bahn macht..

b. Mittlerer Theil des Ableiters oder Herabführung der Ableitung am Gebäude selbst.

Von dem über den First des Daches gehenden Bleistreifen führt man die weitere metallische Ableitung auf dem, wo möglich kürzestem Wege längst dem Dache und derjenigen Seite des Hauses, an welcher der Ableiter entweder am leichtesten sich verstecken oder sonst am bequemsten anbringen läfst, oder von wo die etwa nöthig erachtete Fortführung bis zu einem in der Nähe befindlichen Wasser am leichtesten geschehen kann, abwärts. Am dienlichsten sind dazu nach Reimarus Vorschlage Kupfer - oder Bleistreifen, die sich auf Holz mit den Rändern über einander nageln lassen. Hier kann der Uebersprung des Blitzes höchstens ein Paar Nagel aus einander reifsen, und wenn der obere Streifen mit seinem Ende über dem unteren liegt, nicht einmal den Streifen auseinander werfen. Kupfer ist nach den elektrischen Versuchen, besonders van Marum's der beste Leiter. Blei freilich ein schlechterer, der auch leichter schmilzt; allein die Erfahrung, behauptet Reimarus, habe gezeigt, dafs 3 Zoll breite Bleistreifen auf Holz genagelt selbst bei unvollkommener Leitung den Wetterschlag ohne Beschädigung der darunter liegenden Theile herabführen. Zu aller Sicherheit möchte man 6″ breite Streifen nehmen, wo eine Anlockung nach dem Innern des Gebäudes etwa durch grofse Metallmassen gröfser ist. Der einzige Umstand, der hierbei in Betracht kommt, ist die Verwitterung des Bleies, und das Faul- und Mürbewerden des Holzes, auf welches das Blei genagelt ist, durch Luft und Feuchtigkeit. Durch die erstere verliert das Blei von seiner Leitungsfähigkeit, und dies kann Platzungen an den Stellen der Zusammenfügung der Bleiplatten, wo die Leitung ohnedem etwas unvollkommen ist, Durchbohrung des Bleies und Zündung des oft fast wie Zunder brennbar gewordenen mürben Holzes veranlassen.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Einen Fall von der Art stellt unter andern das Einschlagen des Blitzes in dem Reinoldithurm zu Dortmund am 11. Jan. 1815 auf, wo ein Theil eines heftigen Wetterstrahls in einer grofsen Strecke an den bleiernen Rinnen, die mit dem Hauptableiter in Verbindung gesetzt waren, hingelaufen war, (an dem aus eisernen Stangen bestehenden Hauptableiter hatte man einen Funken von der Gröfse einer Faust herabfahren gesehen, und unten auf der Erde am Ende des Ableiters war alles mit Feuer übergossen) an einer dieser Rinnen, die 1,5 Fufs breit und 45 Fufs lang war siebenmal durchs Blei, und zwar gewöhnlich da, wo die Bleiplatten übereinander geniethet, geschlagen und an einer Stelle gezündet hatte. In dieser Rinne war viel altes verwittertes Blei, es hatte durchgeregnet und das Holz war faul und mürbe, auch waren die Rinnen mit Eis und Schnee angefüllt gewesen[1]. In Ansehung des ganzen Weges dieses Wetterstrahles, der auch noch in andere Rinnen, doch ohne zu zünden, durchgeschlagen, den Bleistreifen auf der First eines Queerflügels 10 bis 12 mal aufgebogen, auch die Nägel in einer grofsen Strecke umgeschlagen hatte, war noch bemerkenswerth, dafs er 100 Fufs horizontal fortgegangen, dann bergauf, bergab und wieder bergauf, um endlich durch einen zweiten Hauptableiter des Chors der Kirche zur Erde zu gelangen. Dafs die Anfüllung der Rinne mit Schnee und Eis, welche Nichtleiter sind, und die seitliche Ausbreitung hinderten, die gewaltsame Wirkung abwärts und die Durchbohrung des Bleies mit beförderte, ist wohl keinem Zweifel unterworfen. Bei blofsen Bleistreifen wäre diese Ursache weggefallen. Um die Oxydation und das Verwittern des Bleies zu verhindern, mufs dasselbe mit einer guten Oelfarbe angestrichen werden.

In Ansehung der Richtung des Ableitungsstreifens hat man sich eben nicht ängstlich an den kürzesten senkrechten Weg zu binden. Es schadet nichts, wenn die Ableitung nach Mafsgabe des Gebäudes mitunter seitwärts abweichend geführt werden mufs, und selbst eine horizontale Fortleitung wird nicht hinderlich seyn, da es durch alle Erfahrungen entschieden ist, dafs der Blitz den Metallen, wenn sie nur

---

1 G. L. 541.

sonst durch Oberfläche und Masse eine hinlängliche Ableitung gewähren, in allen Richtungen folgt, und diesen Weg dem Durchbruche durch schlechte Leiter vorzieht. Nur darf nicht aufser Acht gelassen werden, dafs durch die Ausdehnung der Ableitung in die Länge die Leitung selbst abnimmt, das Moment der Isolirung, das auch noch bei den besten Leitern vorhanden ist, wächst. Nicht die senkrechte Richtung als solche, sondern als die kürzeste, und dadurch unter sonst gleichen Umständen die verhältnifsmäfsig beste Leitung gewährende, verdient also den Vorzug. Es ist überflüssig und übelstehend, die Ableitung durch eiserne oder hölzerne Stützen und Klammern vom Gebäude abzuhalten, wie z. B. Hemmer bei Anlegung seiner Wetterableiter gewöhnlich gethan hat. Reimarus führt viel bequemer die Ableitung am Gebäude unmittelbar herunter, der Strahl wird gewifs das Metall nicht verlassen, um in Mauern und Pfosten einzudringen, da ihn schon eine Vergoldung ohne Schaden des Holzes leitet. Ueber die Firstziegel schicken sich Bleistreifen besser, am Dache herunter ist ein doppelter Kupferstreifen dauerhafter, an der Mauer oder den Pfosten kann man das Eine oder Andere wählen. Ist der Streifen von hinlänglicher Breite und Dicke, so ist in den meisten Fällen, bei gewöhnlichen Wohnhäusern, Wirthschaftsgebäuden u. dgl. ein einfacher Ableitungsstreifen hinlänglich. Nur da, wo dieser nicht auf geradem Wege, sondern auf einem sehr langen Umwege zur Erde geführt werden müfste, wo das Gebäude eine sehr grofse Ausdehnung hätte, z. B. bei einer Kirche mit mehreren Thürmen, wo vielleicht in der Nähe der Stelle, wo der Blitz getroffen hat, der Wetterstrahl mit einem kleinen Absprunge oder Durchbruche von der Ableitung aus eine andere Strecke von Metall erreichen könnte, die ihm eine Nebenleitung zum Erdboden darböte, und zumal wenn er reichlicheres Metall oder sonstige Vorzüge vor dem einfachen Ableitungsstreifen fände, zu welchem zu gelangen er einen langen Weg zu nehmen hätte, kann es nöthig werden, mehr als einen Ableitungsstreifen zu gebrauchen, und diese so gerade als möglich herunterzuführen. Bei einem mit Metall bedeckten Dache, auf welchem sich der Strahl jedesmal ausbreitet, sind solche unvermuthete

Durchbrüche von verschiedenen Enden zu befürchten. Daher räth Reimarus, zu den Ableitungsstreifen in solchen Fällen eine sehr reichliche Breite von Metall zu nehmen, und von mehreren Enden aus Ableitungsstreifen herabgehen zu lassen.

Auch die besten Leiter setzen dem freien Fortgange eines Blitzstrahles einigen Widerstand entgegen, welcher Seitenexplosionen gegen angrenzende Körper veranlassen kann. Man mufs also den Ableiter nicht in die Mauer oder andere innere Theile des Gebäudes einschliefsen, sondern von aufsen anlegen. Zwar kann man die Regenröhren, in welchen freier Raum genug ist, zur Ableitung gebrauchen, wenn sie gleich auswärts eingeschlossen sind, wiewohl man immer besser thut, da wo sie durch eine hölzerne oder steinerne Rinne durchgehen, noch eine äufsere Leitung anzulegen. Alles Metall, was sich von Aufsen am Gebäude befindet, mit der Ableitung zu verbinden, ist nicht nöthig; es kommt hierbei nur auf die hervorragenden und hoch gelegenen Metalle, Stangen oder Haken an, welche entweder unmittelbar aus der Wolke getroffen werden möchten, oder so liegen, dafs der Strahl ohne grofsen Widerstand auf sie durchbrechen, und hernach eine Leitung nach unten finden könnte. Flach an der Mauer und entfernt vom Giebel oder den Ecken des Dachs liegende abgesonderte Stücke Metall werden nicht unmittelbar getroffen; selbst wenn ein Metall nur wenige Fufs unter dem Giebel liegt, pflegt doch noch oberhalb ein Schornstein oder der Dachrücken beschädigt zu werden, ehe der Blitz es erreicht, wie vielmehr werden ihn die mit Metall belegten und mit einem guten Ableiter in Verbindung gesetzten Ecken anlocken. Auch auf dem ferneren Wege zur Erde macht der Blitz keine Seitensprünge von einer zusammenhängenden Leitung auf abgesonderte Stücke Metall. Befindet sich aber nahe am Giebel oder einer obern Ecke hervorstehendes Metall, wovon noch eine Strecke nach unten fortgeht z. B. eine Rauchröhre, die aus Oefen der untern Stockwerke hervortritt, so ist es gut, wenn es irgend angeht, von da aus eine eigene Ableitung zur Erde gehen zu lassen. Innere grofse Metallmassen oder sonstige gute Ableitungen können den Blitz anlocken, obgleich auf dem weitern Wege ihn nicht ge-

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

rade eine zusammenhängende Strecke guter Leiter weiter bringt, wenn nur kein zu grofser Widerstand von Nichtleitern bis zur Erde statt findet, und es kann dadurch eine Theilung des Blitzes veranlafst werden, wenn die äufsere metallische Ableitung von zu geringer Oberfläche und Masse ist. Einen Beleg hierzu geben zwei von v. Yelin[1] bekannt gemachte Fälle, der eine zu Rofsstall, wo der Blitz zwar dem aus einem Geflecht von Messingdraht bestehenden, aufsen angebrachten Leiter folgte, aber nicht hinlänglich, wegen zu geringer Dicke der einzelnen Drähte dadurch abgeleitet, bei der Thurmuhr, vor dessen Zifferblatte dieses Drahtseil vorbeiging, sich theilte, indem ein Strahl in den Thurm selbst hineindrang, die Hälfte des Zifferblattes zersplitterte, neben demselben einige Steine ausbrach, und seinen Weg der Mauer entlang in das Innere der Kirche selbst genommen haben mufste, wie nämlich aus dem in der Kirche entstandenen erstickenden phosphorig schweflichten Geruche zu urtheilen war, und im zweiten Fall, wo der Ableiter gleichfalls aus einem Drahtseile von nicht hinreichender Dicke der Drähte bestand, und der Blitz, der auf den Thurm geschlagen, sich mit einem Theile nach Innen Bahn machte, und ein Gewölbe durchbohrte, um zu einem fliefsenden Brunnen zu gelangen. Befinden sich daher vollends an einem Gebäude mehrere herabführende Metallstrecken z. B. Regenröhren, Metallgräten an dem Schieferdache einer Thurmspitze u. dgl., so mufs von dem untern Ende einer jeden eine Verbindung durch einen Metallstreifen gemacht, und sodann, was unstreitig die Hauptsache ist, eine fernere reichliche Ableitung zur Erde angebracht werden. Sind solche Strecken im Innern der Gebäude, wo dieses nicht angeht, z. B. Glocken, Uhrpendeln u. dgl., so bleibt nichts übrig, als die äufsere Ableitung davon möglichst zu entfernen, und desto *reichlicher* zu machen. In beiderlei Hinsicht war also jener oben angeführte Ableiter am Thurme zu Rofsstall fehlerhaft angelegt. Dagegen rieth Reimarus jener Vorschrift gemäfs beim Anschariusthurme in Bremen die Ableitung nicht nahe an dem Zifferblatte anzubringen, weil der Blitz sonst immer seinen

[1] a. a. O. p. 14.

Weg durch die Zeigerstangen genommen hatte; die Erfahrung hatte auch gelehrt, dafs ein nachmaliger Wetterstrahl der äufsern Ableitung gefolgt war. Kann man sich auch durch Entfernung des Ableiters nicht helfen, wie bei Hängewerken, deren Stangen der Leitung auf dem Firste des Daches nahe sind, so mufs man der äufseren Ableitung einen desto reichlichern Umfang geben, oder an verschiedenen Stellen Ableitungen herunter führen. Trechsler empfiehlt zu den Ableitungsstreifen statt des Bleies und Kupfers, wegen der gröfseren Wohlfeilheit, *verzinntes Eisenblech*. Es sollen Dachfirste, Halmstangen, Thurmknöpfe oft auf 100 Jahre (?) sich dauerhaft damit bekleiden lassen, und es lohnte sich vielleicht der Mühe und Kosten, eigene 3 — 4 Zoll und 1 bis 2 Linien dicke Eisenbänder zu Ableitern walzen und verzinnen zu lassen[1]. Schwerlich möchten sie sich aber bei Bedeckung der Dachfirste so gut antreiben lassen, wie die Bleistreifen, und die kleinste Verletzung der Verzinnung würde zu einer unaufhaltsamen Oxydation Veranlassung geben. Die geringere Dauerhaftigkeit des gewöhnlichen Eisenblechs ist aber durch die Erfahrungen an Dachrinnen genugsam erwiesen.

c. Unteres Ende der Ableitung. Versenkung in den feuchten Erdboden oder in fliefsendes Wasser.

Was nun den dritten Haupttheil jeder Ableitung, das untere Ende selbst betrifft, so stellte man sich fast im Innersten der Erde gleichsam einen allgemeinen Elektricitätsbehälter vor, oder einen eigenen Sammelplatz, zu welchem man dem Blitze den Zugang erleichtern, und ihn daher tief in die Erde führen müsse. Die Erfahrung ergiebt aber, dafs der Blitz sich *in der Regel auf der Oberfläche der Erde ausbreite*[2].

Dafs in einem von Lempe[3] beschriebenen Falle ein Wetterschlag, der am 16. Juni 1787 auf Bescheert-Glück Fund-

---

1 G. LXIV. 242 und 243 Anm.

2 S. *Blitz*.

3 Magazin für die Bergbaukunde Th. V. 150 flgd.

grube im Freiberger Revier an dem Klingeldrahte des Huthhauses herab bis zur dritten Gezeugstrecke in die im Treibschachts-Tiefsten stehenden Wasser 135 Lachter oder über 800 Fufs tief herabgeführt wurde, beweiset nichts für einen solchen tiefern Behälter, nach welchem die Elektricität strebt, da dieses kein eigentliches Eindringen in das Innere genannt werden kann, indem die Wandungen des Schachtes und die Oberfläche des Wassers in gewissem Sinne noch zur äufseren Fläche der Erde gerechnet werden können. Zwar hat bei den meisten künstlichen Wetterableitern, die in die Erde gingen, der Blitz keine Aufsprengung des Bodens veranlafst, aber es ist daraus nichts weiter zu schliefsen, als dafs er schon an der Oberfläche sein natürliches Ziel erreicht, und die Ableitung verlassen habe, wie bei West's Ableiter[1] und an einem Wirthshause in Stockholm[2] aus dem Feuerscheine auf dem Pflaster der Strafse offenbar zu ersehen war. Dasselbe zeigte sich auch beim Einschlagen des Blitzes in den Ableiter des Reinoldithurms zu Dortmund. Man findet indefs bei eingesenkten Ableitungen immer noch mehr Beispiele der Aufsprengung des Bodens, als bei andern Wetterschlägen. Aus diesem Grunde giebt Reimarus die Anweisung, den Blitzableiter nicht weiter als bis an die Oberfläche der Erde zu führen, und mit einem etwa einen Fufs vom Gebäude abstehenden Winkel endigen zu lassen, und erklärt sich durchaus gegen alle Versenkung desselben in die Erde. Wir stimmen zwar in der Hauptsache diesem gründlichen Naturforscher hierin bei, glauben aber doch noch auf einen Hauptpunct aufmerksam machen zu müssen, den jener nicht genug hervorgehoben hat. Da es nämlich doch dabei wesentlich auf die leitende Beschaffenheit der Oberfläche, auf welcher sich der Blitz verbreiten soll, ankommt, die obere Lage des Bodens aber nach langer Dürre leicht trocken und nichtleitend wird, so erreicht man seinen Zweck am vollkommensten, wenn man den Ableiter in ein offenes, am besten, wo es angeht, *in fliefsendes Wasser* endigen läfst, weil sich an der Oberfläche desselben der Blitz leicht und mit der gröfsten

1 Phil. Trans. LIII. 94.
2 Schwed. Abhandl. XXXII. 11.

Freiheit vertheilen kann. Eine Versenkung in einen Brunnen würde dagegen diesem Zwecke nicht entsprechen, weil hier die Oberfläche zur Verbreitung viel zu beschränkt ist, und die Einfassung eines solchen Brunnens als Widerstand wirken könnte. Da auch selbst die feuchte Oberfläche der Erde ein viel schlechterer Leiter als Metall ist, und nur in dem Verhältnisse wenigen Widerstand leistet, in welchem ihre Berührungspuncte mit dem Metalle vielfacher sind, so scheint allerdings dem Ende des Ableiters eine gröfsere Ausbreitung durch Spaltung in mehrere Aeste und Zweige gegeben werden zu müssen. Die Nothwendigkeit dieser letzten Einrichtung hat Gütle[1] durch eine Reihe im Kleinen mit Donnerhäusern angestellter Versuche nachzuweisen gesucht, welche deutlich zeigten, dafs wenn das Ende des Ableiters nur einige Berührung mit dem Erdboden hatte, eine Anlokkung nach jenen durch einen Uebersprung und Theilung des Entladungsschlages in seiner Bahn statt fand, die sogleich wegfiel, wenn durch Vergröfserung dieses Endes, namentlich durch Endigung in mehrere Aeste die Berührungspuncte vervielfältigt wurden. Auch möchten wir eine Versenkung jener Zweige auf einen oder ein Paar Schuhe in die Erde rathsam finden, wenn daselbst mehr Feuchtigkeit als an der Oberfläche zu finden ist. Gerade der Umstand, dafs am Ende wegen zu weniger Berührungspuncte mit der Erde ein zu grofser Widerstand für die Ausbreitung statt findet, könnte unter sonst begünstigenden Umständen zu einer Theilung des Blitzes in mehrere Strahlen Veranlassung geben, um am Ende in mehreren Stellen einen freien Abflufs nach der Oberfläche finden zu können. Bedeckte Canäle unter der Erde oder Abtritte, wie Bertholon de St. Lazare[2] verschlägt, schicken sich am wenigsten zu Endigungen der Ableiter, weil der Funken beim Abspringen die brennbare Luft oder Knallluft darin entzünden kann.

---

1 Beiträge zur Erweiterung und Vervollkommnung der Elektricitätslehre. Salzburg 1813. XIII. Hauptstück. Das Abspringen des Blitzes von der Wetterstange Ursache und Gegenmittel. S. 210 flgd.

2 De l'Electricité des Météores Tome I. p. 261.

d. Das Technische.

Nach diesen Grundsätzen wird nun die Anlegung eines Wetterableiters so einfach als möglich, und kann von jedem Arbeiter in Blei, von jedem Kupferschmiede nach folgender von Reimarus angegebener Anweisung leicht ins Werk gesetzt werden. Die Auffangungsstange kann zwar in den meisten Fällen gänzlich wegfallen, will man aber eine aufsetzen, so nehme man sie von Eisen überall 0,75 Zoll dick und stumpf, und lasse sie 3 — 5 Fufs über den Schornstein oder höchsten Ort hervorragen. Auf dem Dache wird zu diesem Behufe ein Ziegel durchbohrt, und mit einer Bleiplatte belegt, welche durchstochen und so ausgetrieben ist, dafs sie die Stange wie mit einem Halsbande umfasset. Um dieses wird ein eiserner Ring gelegt, der es fest an die Stange antreibt. Um die galvanische Wirkung der Feuchtigkeit hier, wo zwei heterogene Metalle in einer so innigen Berührung mit einander sind, abzuhalten, ist ein reichlicher Ueberzug von Oelfarbe besonders nothwendig. An die Stange aa selbst sind unterwärts zwei Federn angeschweifst, durch welche sie vermittelst Schrauben bb befestigt ist, oder sie wird vermittelst der Kröpfung bei c auf den Rand des Schornsteines gestützt, und mit Nägeln bei bb befestigt. Auf dem Firste des Daches wird ein Bleistreifen 3 — 6 Zoll breit angebracht, den man an die Giebelpfosten und Schornsteine mit grofsen Nägeln befestiget, an den Firstziegeln aber an alle ihre Fügungen antreibt, und mit kleinern, am besten bleiernen Nägeln in dem Kalk der Fugen befestiget. Die Stücke der Bleistreifen werden mit einem Falze an ihren Enden in einander gelegt. Solche Streifen werden auch über den Rand oder die Kappe der Schornsteine hingelegt und an der Seite herunter mit dem Hauptstreifen verbunden. Mit dem Bleimantel der Auffangstange geschieht die Verbindung des Bleistreifens der First gleichfalls durch einen Falz, und ist die Auffangstange über dem Schornsteine errichtet, so wird der Bleistreifen bis unterhalb dieselbe hinaufgeführt, und ersterer durch Nägel an dieselbe und den Schornstein befestigt. Die Strecke der Ableitung am Gebäude herunter wird ebenfalls von 3 — 6 Zoll breiten Blei- oder Kupferstreifen auswendig herabgeführt: die Stücke derselben werden beim

Fig. 218.

Fig. 219.

Blei mit einem einfachen Falze zusammengetrieben, beim Fig. Kupfer aber entweder durch einen einfachen Falz vernietet, 220. oder mit einem doppelten Falze, wie die Zeichnung darstellt, in einander gelegt, und wohl zusammengetrieben, auch, wo es die darunter liegenden Theile zulassen, mit Nägeln angeheftet. Der Falz mufs aber bei heruntergehenden Streifen so gelegt werden, dafs der Rand des oberen Stückes einwärts, des untern auswärts geschlagen sey. Wo die Ableitung frei über das Dach an einer Stelle, wo kein Winkel ist, oder wo sie nicht an dem Giebel anliegt, herunter geführt werden mufs, würden Bleistreifen oder einfache Kupferstreifen zu schwach seyn. Man nimmt also dort einen Streifen aus doppelt gelegtem Kupferblech. Wo nun die Stücke desselben zusammengefalzt und vernietet sind, da wird ein dünner messingener Draht eingehaket, welchen man unter einem Dachziegel durchsteckt, und inwendig, zur Befestigung, um Nägel, welche in die Latten eingeschlagen werden, umwickelt. Diesen Draht kann man, wenn etwas am Dache auszubessern ist, leicht lösen, den Streifen abheben, und hernach alles wieder in Stand setzen. Endlich wird die Ableitung, wo möglich, bis in ein offenes Wasser, wenn es auch nur eine Gossenrinne, nicht aber in einen Canal oder tief in die Erde oder gar in einen tiefen Brunnen geführt. Ist aber dergleichen nicht in der Nähe, so läfst man die Leitung an der Oberfläche, doch so, dafs sie die blofse Erde berührt, mit einem etwa einen Fufs weit abstehenden Winkel, und indem man sie zugleich in mehrere Streifen vergröfsert, aufhören, und umgiebt das Ende, damit Menschen oder Thiere nicht in unmittelbare Berührung damit kommen können, mit einem niedrigen Gitterwerke von Holz.

Diese allgemeinen Vorschriften sind von Reimarus noch mit besondern für Zeughäuser, oder andere, viel Metall enthaltende Gebäude, Kirchen, Pulvermagazine, Gebäude mit Strohdächern, Windmühlen, Krahne, Schilderhäuser, Schäferkarren, Kutschen und Reisewagen begleitet, welche von jenen nur in zufälligen Nebenumständen abweichen, und sich übrigens aus den aufgestellten Grundsätzen jedem Nachdenkenden von selbst leicht ergeben. Das Hauptaugenmerk

mufs immer auf die innigste und genaueste Verbindung aller Theile der Ableitung gerichtet seyn, wobei also besonders auf gute Vernietung und Zusammentreiben der Falzen zu sehen ist. Endlich läfst sich noch die Vorsichtsregel hinzufügen, dafs man bei der Anlegung eines Blitzableiters, wegen der möglichen Gefahr eines während der Arbeit eintreffenden Gewitters, allezeit von unten, und nie von oben an anfangen mufs.

In Ansehung der Verwahrung der landwirthschaftlichen Gebäude, die besonders allgemein im nördlichen Deutschland mit Stroh oder Schilf gedeckt sind, ist vorzüglich die Gefahr des unmittelbaren Anfalls des Blitzes auf dieselben zu berücksichtigen. Dies geschieht am besten durch eine Auffangungsstange. Zu diesem Zwecke wird an beiden Enden des Daches, wenn es keine Giebelpfosten hat, sondern abgestützt und allenthalben mit Stroh bedeckt ist, eine Unterlage von Brettern angebracht, und darauf eine 4 Fufs lange oben stumpfe eiserne Stange befestigt. Von dem hölzernen Rande an, welcher die Stange nach allen Seiten ein Paar Fufs weit umgiebt, wird ein breites Brett über das Stroh befestigt, dessen Ende noch über den Rand des vorragenden Strohs wenigstens einen Fufs weit hervorstehen mufs, und von welchem ein anderes schräges Brett zur Wand hinabgeht. Auf diesem Brette wird sodann der bleierne oder kupferne Ableitungsstreifen, der mit der Stange wohl verbunden werden mufs, angenagelt und weiter zur Erde herabgeführt. Eine gleiche Ableitung wird an dem andern Ende von der Stange aus zur Erde geführt. Dies reicht vollkommen hin, wo keine weitere Hervorragungen sich befinden, die eine Anlockung des Blitzes veranlassen könnten. Will man auch den First mit Metall versehen, so kann dieses, wo ein Paar Reihen Ziegel am Dachrücken liegen, auf gewöhnliche Weise geschehen, bei einem blofsen Strohdache, ohne Ziegelrücken mufs über die ganze Länge des Firstes ein Sattel von ein Paar Brettern wohl befestigt gelegt werden, auf deren Zusammenfügung sodann oben der Ableitungsstreifen angenagelt wird. Zur Befestigung der Bretter am Strohdache bedient Fig.
man sich am besten dünner eiserner, an den Enden mit Lö- 221.
chern versehener Schienen, die durch das Strohdach durch-

gesteckt, mit dem einen Ende an dem untern Ende des Sattels des Firstes, zu beiden Seiten eins ums andere in einem Zwischenraume von 4 Fufs, mit dem andern aber inwendig angenagelt werden. Durch ähnliche Schienen werden die herabgehenden Bretter befestigt. Von einer solchen Metallbekleidung, die von einem Ende des Firstes zum andern reicht, darf dann nur irgendwo über die Seite des Strohdaches mittelst eines untergelegten Brettes ein Ableiter heruntergeführt werden, ohne dafs es nöthig wäre, an beiden Giebelwänden eine Ableitung anzubringen, und wenn Dachziegel auf dem First liegen, so wäre auch, wenn das Gebäude nicht zu lang ist, *eine* Stange hinreichend. An einem Bauernhause, an welchem sich auf dem First ein Schornstein befindet, mufs jedoch allemal auch dessen oberer Rand mit Blei bedeckt, und davon ein Streifen auf untergelegten Brettern bis zur nächsten, am Ende des Daches stehenden Stange, oder bis zum Ableitungsstreifen geführt werden. In den Herzogthümern Schleswig und Holstein haben sich die auf sehr vielen Wirthschaftsgebäuden, grofsen Kuhställen, Scheunen u. s. w. nach dieser, aus der Zeichnung leicht kenntlichen Vorschrift angelegten Wetterableiter in einer langen Reihe von Jahren vollkommen bewährt. Auch bei Pulvermagazinen findet Reimarus mit Recht keine andere Einrichtung nöthig, und dringt besonders nur auf eine Ableitung von recht grofser Capacität, auf gute metallische Bedeckung aller hervorragenden Stellen, und genaue Verbindung mit dem Hauptableiter. Wenn sich indessen in einem solchen Pulvermagazine unten oder sogar in den Kellern ein solcher Vorrath von Metall befände, dafs man ihm nicht sogleich eine andere Stelle anweisen könnte, so wäre der einzige Rath, die Ableitung gleich vom Dache an abwärts vom Gebäude zu führen und sie nicht so nahe bei demselben, dafs der Strahl nach dem unten liegenden Metalle hingelockt werden möchte, noch in einem nahen engen Brunnen, sondern, wo möglich, in einem offenen Wasser endigen zu lassen. Man könnte also etwa in der Entfernung von 10 oder mehr Fufs einen Pfahl einschlagen, von welchem ein Brett bis zu dem Dache des Magazins hinreichte. Wenn das Magazin mit Pallisaden umgeben ist, könnte eine derselben zu diesem

Fig. 222.

Zwecke dienen. Auf dem Brette würde dann vom Dache an ein 6 Zoll breiter Ableitungsstreifen befestigt, und weiter an dem Pfahle herab fortgesetzt. Liefse sich sodann in einiger Entfernung ein Wasser erreichen, so könnte das Ende des Ableiters in einer hölzernen Röhre unter der Erde dahin geleitet werden. Wo nicht, so könnte man der Vorsicht wegen einen eigenen Graben aufwerfen, und darin die Ableitung aufhören lassen. Weniger passend ist blofs nahe an dem Pulvermagazine an einem Pfahle eine Ableitungsstange aufzurichten, da die Weite, bis zu welcher eine solche schützt, noch sehr problematisch ist. Einen Vorrath von Bomben und Granaten, wird man immer am besten in abgesandten niedrigen Gebäuden aufbewahren, welche auf die angegebene Weise gegen den Wetterstrahl zu sichern sind. Bei Schiffen mufs, weil die obern Stangen durch den Mastkorb herabzulassen sind, die Ableitung von der Spitze des Mastbaums bei den Seilen seitwärts herunter geführt werden, und die Bequemlichkeit erfordert eine biegsame Zurüstung, die man abnehmen und zusammenpacken kann; dieses erhält man durch Ketten von dünnen messingenen, oder noch besser kupfernen Stangen, ohngefähr so dick als eine Schreibfeder, deren Glieder etwa eine Elle lang sind. Die Gelenke müssen aber nicht mit blofs umgebogenen Enden zusammengehaket seyen, sondern wohl in einander schliefsende Gewinden haben, deren eines vorwärts das andere seitwärts zu biegen wäre, weil bei geringerem Zusammenhange Funken und Anschmelzungen entstehen, welche den nahen Schiffseilen gefährlich seyn könnten. Dann mufs an dem Ende der obersten Maststange eine kleine Rolle befindlich seyn, mittelst welcher, wenn ein Gewitter heran kommt, das erste oben nicht scharf zugespitzte Glied der Kette so hoch aufzuziehen ist, dafs es etwa einen Fufs über die Mastspitze hervorragt. Alsdann wird der Ableiter längs dem Seile, welches die grofse Maststange hält, herunter geführt, und daran hie und da mit Bindstöcken befestiget, das unterste Ende der Kette aber läfst man über Bord ins Wasser hängen.

Reimarus giebt, um die Kosten eines Blitzableiters berechnen zu können, als Preise, die hierbei zum Grunde gelegt werden müfsten, folgendes an:

Eine eiserne Stange 3,5 Fufs lang mit den Federn, die zu ihrer Befestigung dienen und einer dreieckigen messingenen Spitze 6 Mark 8 Schillinge (etwa 2 Thaler 10 gute Groschen sächsisch). Sie anzuschlagen und das Dach wieder in Stand zu setzen 2 M. (19 Ggr.) Ein Streifen Blei 3″ breit und etwa 2‴ dick der Fufs 6 Sch. ($3\frac{1}{2}$ Ggr.) Ein Streifen Kupfer 3″ breit am Gebäude herunter der Fufs 7 Sch. Diesen zu befestigen mit dazu gehörigen Nägeln der Fufs 3 Sch. Diese Preise sind in unsern Tagen noch dieselben, und der Fufs eines solchen Bleistreifens zu 6 Sch. wiegt ein Pfund zu 16 Unzen M. G. gerechnet.

II. Ableitung von Messingdraht.

Schon Saussure empfahl statt der eisernen Stangen, unter welcher Form die ersten Ableiter alle aufgetreten waren, messingene Drähte von der Dicke einer Schreibfeder, deren drei gleichsam zu einem Stricke zusammengeflochten werden sollten. Sind sie nicht lang genug, so sollen mehrere aneinander gelöthet werden. Oben auf setzte er eine Auffangstange von 10 — 12 Fufs. Diese Messingdrahtableiter sind aber besonders in Baiern in neuern Zeiten eingeführt worden, nachdem schon Epp in seiner im Jahre 1777 erschienenen Schrift die erste Idee und Vorschrift zu solchen Ableitern aus geflochtenem Messingdrahte gegeben hatte. Neuerdings hat v. Yelin die Blitzableiter aus geflochtenem Messingdrahte vorzüglich in Schutz genommen. Zwar haben sich gerade in Baiern selbst mehrere Fälle ereignet, wo solche Messingdrahtseile durch den Blitzstrahl in Glühezustand versetzt und in Stücke gerissen wurden, der Blitz aber sich in mehrere Strahlen theilte, und Nebenwege einschlug, ohne dafs jedoch eine Entzündung veranlafst wurde. Indessen lag in allen diesen Fällen die Hauptschuld aufser einigen andern Versehen bei der Anlegung der Ableitung darin, dafs nicht ein hinlängliches Quantum Draht zum Ableiten gebraucht worden war. Die Drahtseile in allen diesen Fällen bestanden aus Messingdraht, wovon das baiersche Pfund zu 13 Fufs Länge ausgezogen war. Ob nun diese Seile aus 3 stärkeren, 7 schwächern oder 10 ganz schwachen Drähten, wie die Ableiter zu Rofsstall zusammengesetzt waren, so war doch die

Oberfläche für eine hinlängliche Ableitung zu geringe. Diesen Erfahrungen zufolge dürfte nach v. Yelin für ein Messingdrahtseil etwa eine Länge von 10 baiersche Fufs aufs baiersche Pfund als das Minimum von Stärke angenommen werden, um zu Blitzableitungsdrähten mit Sicherheit dienen zu können. Den aus mehreren dünnen Drähten von jenem Gewichte gewundenen Seilen giebt v. Yelin darum den Vorzug vor einfachen Drähten, die man von solcher Dicke nehmen könnte, und auf 10 Fufs gleichfalls ein Pfund zu wiegen, weil man bei diesen dicken Drähten den vielfachen Erfahrungen der geschicktesten und berühmtesten Münchner Mechaniker und Künstler zufolge, niemals mit Gewifsheit sicher seyn kann, ob sie an allen Stellen durchaus ganz sind, auch wenn sie äufserlich keinen Fehler zeigen, dafs man aber dessen bei dünnen Drähten mehr gewifs ist und bei mehreren Drähten einer den Fehler des andern an jeder Stelle des Drahtseils aufhebt. Die besonderen Vorzüge dieser Messingdrahtseile, doch zunächst nur in Vergleich mit den Ableitern aus Eisenstangen, findet v. Yelin in der gröfseren Leichtigkeit, während die Eisenstangen oder Schienen immer eine plumpe, Dächer und Mauern auf eine ganz unnöthige Weise beschwerende Vorrichtung sind, in der Eigenschaft des geschmeidigen Messings, leicht jede Biegung anzunehmen, welche die Vorsprünge und Ecken an einem Gebäude irgend erfordern, während die Eisenstangen nur entweder im Feuer, oder mit solcher Gewalt kalt gebogen werden müssen, dafs nicht selten Risse entstehen, welche, wie unscheinbar sie auch anfangs seyn mögen, dennoch bald Zerfressungen vom Roste zur Folge haben müssen; dafs die Messingseile von beliebiger Länge ohne alle Unterbrechung gemacht werden können, dafs sie von einem geschickten Schlosser in jedem nicht allzu weitläufigen Gebäude ohne alle besondere Zurüstung, leicht in einem Tage angemacht, leicht, und ohne besonderen Kostenaufwand nachgesehen und in gehörigem Stande erhalten werden können, von welchem allen das Gegentheil für die Ableiter aus Eisenstangen gilt; endlich dafs die Kosten der Einrichtung und Unterhaltung auch viel geringer sind. Ein messingener Ableiter aus Drahtstricken von genugsamer Dicke, nämlich von 10 Schuh Länge auf das

baiersche Pfund ausgesponnen, kostet ohne die auf Wohngebäuden unnöthige Auffangstange, und mit Einrechnung der eisernen Klammern (auf 10 Schuh im Durchschnitte eine gerechnet) bei den gegenwärtigen Messing- und Eisenpreisen 1 fl. 8 kr. bis 10 kr. für dis baiersche Ruthe von 10 Schuhen. Nach dieser Grundlage würde ein vollständiger Messingdrahtableiter für Thurm und Kirche in Rofsstall zusammengenommen nur 73 fl. 39 kr., für den Thurm allein aber, in der Linie, wie der neue Ableiter aus Eisenstangen geführt ist, keine 30 fl. gekostet haben, während letzterer 128 fl. Auslage machte. Zuletzt bemerkt v. Yelin noch, dafs unzählbare (?) Beispiele von Blitzschlägen die Unfehlbarkeit der gehörig angelegten Ableiter aus Messingseilen dargethan haben.

Alles dieses beweiset allerdings, dafs diese Art von Ableitern entschiedene Vorzüge vor denjenigen aus Eisenstangen haben, ob aber auch vor denjenigen aus Metallstreifen, bleibt fraglich. Unstreitig lassen sich diese an allen, dem unmittelbaren Anfalle des Blitzes ausgesetzten Stellen eben so gut anbringen, als jene, sie lassen sich mit den etwa nöthigen Auffangstangen nach der oben angegebenen Vorschrift in genaue und innige Verbindung setzen und durch einen Ueberzug von Oelfarbe gegen das Rosten schützen, welches durch blofse Ueberfirnissung des Messingdrahtes nicht ersetzt wird. Man müfste daher auch diese mit Oelfarbe anstreichen, und dann liefse sich der einzige Vorzug nur darein setzen, dafs die Messingdrähte auch des Zusammenfalzens nicht bedürfen, sondern in ganz ununterbrochener Leitung herabgehen, so dafs auch die Zusammenfalzungen wegfallen, welche durch Platzungen beim Blitzstrahle, wenn gleich in seltenen Fällen, beschädigt werden können. Ein Hauptgrund der Entscheidung über die gröfsere Brauchbarkeit der einen oder der andern Art beruhet indefs auf der Beantwortung der Frage, ob die Elektricität durch die Metalle nach ihrer Fläche oder Masse geleitet wird, welches erst später[1] zur Untersuchung kommen kann. Uebrigens läfst sich das Technische ihrer Verfertigung leicht aus den für Metallstreifen mitgetheilten Regeln abstrahiren.

1 S. *Elektricität.*

Universitäts- und Landesbibliothek Düsseldorf

III. Ableiter aus Eisenstangen.

Wenn wir gleich, wie schon aus dem Bisherigen zu ersehen ist, die Blitzableiter aus Eisenstangen auf keine Weise als die vorzüglichern betrachten, insbesondere wegen der grofsen Unbequemlichkeit ihrer Anlegung, der Beschwerlichkeit der Zusammenfügung der Stangen, der Unmöglichkeit, auch bei guter Ueberziehung mit Oelfarbe das Rosten zu verhindern, der dadurch entstehenden Nothwendigkeit des öftern Nachsehens und Reparirens, der viel gröfsern Kosten, u. s. w., so dürfen wir dieselben hier doch nicht ganz übergehen, da sie an sehr vielen Orten, namentlich in Würtemberg, in den österreichischen Staaten doch in gutem Credite stehen, und wir halten es daher für passend, auch zur Anlegung solcher Ableiter hier eine kurze Anweisung zu ertheilen. Unterberger hat eine solche Anweisung im gröfsten Detail gegeben, aus welcher wir das Wesentliche ausheben, und am Ende noch ein Wort über einige passende Abänderungen hinzufügen. Die Haupttheile seines Ableiters sind 1. eine *Spitzstange* 10 — 12 Fufs lang, unten dicker, nach oben verloren zulaufend und zwar unterhalb 15 — 19 Linien am obern Ende 8 — 9 Linien dick, gleichviel ob vierkantig oder rund. Oben soll sie sich in eine 3 Lin. dicke und 9 — 10 Lin. lange Schraube endigen, auf welche eine runde kupferne, sehr scharfe, 7 Zoll lange, oben in einer Länge von 3 Zoll im Feuer vergoldete, an ihrem untern Ende 6 oder 8 eckig gefeilte und daher mittelst eines Schlüssels um so fester anzuziehende Spitze aufgeschraubt wird, mit Dazwischenlegung eines bleiernen Blättchens von der Dicke eines Chartenblatts zur genauern Verbindung. Um diese Spitzstange auf den Rücken eines Dachs gehörig befestigen zu können, werden unten am Ende zwei Zurken von etwa 3 Fufs langen, 1,5 Zoll breiten und 4 Linien dicken Eisenstangen oder Radreifen dergestalt daran geschmiedet, dafs sie die Form einer Gabel erhalten, an welcher die Zurken, oben etwa 4 oder 5 Zoll, unten aber 6 Zoll von einander abstehen. Die Spitzstange wird nun auf ein Stück Eichenholz, oben von 4,5 oder 5,5 Zoll, unten 5,5 oder 6,5 Zoll im Durchmesser, auf 4 Schuhe rund, der übrige, etwa 6 Schuhe lange Theil viereckig bearbeitet, und

zwar in den obern runden Theil mit ihrer Gabel so tief eingelassen, dafs die Eisendicke der Zurken nur etwa eine Linie über das Holz vorsteht, übrigens aber gut hineinpafst. Der untere Theil des Holzes wird mit heifsem Peche gut überzogen, um der Witterung besser zu widerstehen, mit dem viereckigen Theile aber da, wo die Spitzstange auf das Dach zu stehen kommen soll, von innen an das Dachgesperre und die nächsten Queerbalken gut befestigt. Die Spitzstange selbst wird mittelst dreier etwa einen Zoll breiten und drei Linien dicken eisernen Reifen, die durch Hammerschläge fest angetrieben werden, an die hölzerne Stütze befestigt, welches Vorzüge vor der Befestigung mit Schrauben hat, da die Erfahrung gelehrt, dafs diese von einem ungefähren Blitzstrahl aufgerissen, und das Holz, worin sie fest staken, zerschmettert worden ist. Die Zeichnung stellt dies untere Ende einer Auffangstange dar, wie sie in ihr mit ihren Zurken c c befestigt ist. Um die Auffangstangen, wenn wegen der Länge des Gebäudes mehrere auf demselben errichtet sind, mit einander in leitende Verbindung zu setzen, dienen eiserne Stangen 12 — 13 Linien breit und 3 Lin. dick. Weil man diese gewöhnlich 8 Schuh lang bei den Eisenhändlern antrifft, so läfst man je zwei und zwei derselben mit ihren Enden gut zusammen schweifsen. An ihren andern beiden Enden läfst man an jedem 3 Löcher 3 — 4 Lin. weit und 3 Zoll von einander abstehend durchschlagen, legt beide Enden zweier Stangen nach zwischengelegten dünnen bleiernen Blättchen übereinander, und schraubt sie vermittelst dreier Schrauben mit vierkantigen Schraubenmuttern fest zusammen. Auf diese Art werden soviel, als solcher Verbindungsstangen nöthig sind, an einander gefügt. Auf gleiche Weise wird das Ende einer solcher Verbindungsstange an die Gabelzurken der Spitzstange vermittelst der drei Schrauben a a a angeschraubt. Um an einander befestigt werden zu können, sind die Enden beiderseits etwas gebogen. Da diese Verbindungsstangen an einer Spitze zur andern auf dem First des Daches fortgeführt werden sollen, auf welchem sie sich wegen der halbrunden über Dachziegel nicht halten könnten, so legt man über den First des Daches etwa auf 15 oder 18 Schuh von einander kleine eiser-

Fig. 223.

Fig. 223.

ne Sättel, die oben auf ihrem Rande zwei vorstehende Lappen erhalten, zwischen welchen man die Verbindungsstangen einlegt, und oben einen Nagel oder Draht durchsteckt, und etwas umbiegt, damit sie nicht ausweichen können. Bei Dächern, die mit Kupfer oder verzinnten Eisenblech gedeckt sind, hat man diese Verbindungsstangen nicht nöthig, nur mufs man von der Gabelzurke der Spitzstange ein Stück von einer Verbindungsstange bis an die Oberfläche des Daches führen und mit derselben auf die obenangegebene Weise durch drei Schrauben fest verbinden. Bei Schindeldächern, auf welchen mehrere Spitzstangen sich befinden, sollen 12 bis 16 Schuh weit von einander hölzerne Stützen von 3 Zoll dicke einen Schuh hoch hervorstehen, die Verbindungsstangen darauf hingeführt, und zu beiden Seiten neben denselben ein eiserner Nagel, der noch 1,5 Zoll hervorsteht, eingeschlagen werden, damit die Verbindungsstangen nicht abweichen können. Die Ableitungsstangen, welche von den Spitzstangen abwärts geführt werden, sind von derselben Beschaffenheit wie jene Verbindungsstangen, werden an die Zurken eben so befestigt, gerade über das Dach bis auf 1 Schuh über das Ende desselben herabgeführt, über das Gesimse gebogen und an die Mauer mit eigenen Mauerhaken leicht befestigt, auf einem Ziegeldache ohne alle weitere Befestigung, auf einem Schindeldache auf hölzernen Stützen ruhend, die einen Schuh hervorstehen. Bei Dächern, die mit Metall gedeckt sind, fängt man mit der Ableitung erst am untern Rande desselben an und befestigt die Stangen auf die oben angegebene Weise an das Metall des Daches. Von dem untern Ende der Eisenstange soll man nun eine Ableitung von einer Bleistange bis zum nächsten Brunnen führen, in einen zwei Fufs tiefen Canal versenkt, weil hier das Eisen wegen des Rostens nicht anwendbar ist, und das Ende des Ableiters noch tief in den Brunnen hineingehen lassen, oder wenn kein Brunnen nahe genug ist, mit einem Erdbohrer ein Loch bohren, bis man Wasser erreicht, was in einer Tiefe von 9 Fufs gewöhnlich geschieht, und die Ableitung bis dahin führen. Hierin, so wie in der Aufrichtung so hoher Spitzstangen huldigt Unterberger noch den alten Ansichten, besonders ist aber noch gegen

Fig. 224.

seine Anweisung zu erinnern, dafs er auf einem Gebäude, dessen Länge nicht über 60 Schuh beträgt, eine einzige Auffangstange mit einer einfachen Ableitung für hinreichend hält, ohne den First des Daches, die obern Ecken und die Schornsteine durch Metallleitung damit in Verbindung zu sezzen, dafs er ferner bei Gebäuden, die mit Stroh gedeckt sind, die Spitzstangen und Ableitungen auf Pfählen (Mastbäumen, wie er sie nennt) neben dem Gebäude angebracht haben will u. s. w.

Die Einrichtung der Wetterableiter aus Eisenstangen, wie sie jetzt allgemein in Stuttgart gebräuchlich ist, weicht von der bisher beschriebenen in mehreren Stücken ab. Ich theile hier das Wesentliche von der mir von den Aufsehern über die Blitzableiter in Stuttgart mitgetheilten Beschreibung mit. Die Auffangstange 14 — 16 Fufs hoch wird bei einem Gebäude von 40 bis 50 Fufs Länge auf der Mitte des Dachs aufgesetzt, am untern Ende zwei Duodecimalzolle stark, vierkantig verjüngt geschmiedet, durch zwei 4 Schuh lange Schenkel von Radschienen-Eisen, die an diese Stange angeschraubt werden, mit den Dachsparren, deren Neigung zugleich den Winkel der Schenkel bestimmt, verbunden. An dem obern Ende wird die Auffangstange auf einer Seite 2″ lang scharf zugefeilt, und die ebenfalls 2″ lang schräg und scharf zugespitzte Kupferspitze, welche vierkantig, einen Fufs lang und am obern ganz scharf zugespitzten Ende auf zwei Zoll lang im Feuer vergoldet ist, mittelst zweier Niethen von liniendickem Draht, welcher durch die in der Stange und in der Kupferspitze befindlichen Löcher durchgeschoben wird, daran befestigt. In einer Entfernung von anderthalb Schuh von der Schraube, welche beide Schenkel mit der Auffangstange verbindet und sie festhält, bekommt die Auffangstange ein einen Viertelzoll starkes Loch, wodurch vermittelst Schraube und Schraubenmutter die beiden Ableitungsstangen a und b an die Auffangstange befestigt werden.

Fig. 225.

Ehe die Auffangstange an die Dachsparren angeschraubt wird, wird ein Blechstiefel der anderthalb Fufs lang und nach der Dicke der Auffangstange gefertigt ist, über dieselbe hergeschoben. Diese hat unten zwei 4 Zoll breite und eben so lange halb rund gebogene Lappen, welche über die beiden Hohlziegel hingelegt und mit Oelkitt befestigt wer-

den. Die Ableitungsstangen, die über den First des Daches hinlaufen, unterscheiden sich in ihrer Beschaffenheit und der Art der Verbindung unter einander in nichts von der oben beschriebenen Einrichtung. Die beiden am First des Hauses auslaufenden Enden werden rechtwinklig 4 Fuſs hoch aufgekröpft, und oben entweder scharf zugeschmiedet, oder mit Kupferspitzen, wie die Auffangstangen versehen. Die Befestigung auf dem Grath des Daches und am Hause herab erhalten die Ableitungsstangen durch 15 Zoll lange am untern Ende scharf zugeschmiedete, am obern Ende doppelt gelappte Tragstifte, die in den First drei Zoll tief senkrecht und in gleicher Höhe eingeschlagen, die Ableitungsstangen hinangelegt und beide Lappen oben darüber hergeklopft werden.

Die eigentliche Ableitungsstange wird von dem Orte der Versenkung X,X in gerader Richtung auf das Dach hinaufgeführt, und an den auf den First des Daches befindlichen Ableitungsstangen vermittelst eines an die Tragstifte gelappten Endes befestigt. Ueber das Dach hinunter wird sie mittelst ähnlicher Tragstifte geleitet, welche durch in die Ziegel angebrachte Löcher in die Dachsparren eingeschlagen werden. Die am Hause herablaufenden Ableitungsstangen bekommen nur 8″ lange Tragstifte, welche ebenfalls 3 Zoll tief eingeschlagen werden. Zum Schutze des untern Endes dient eine hölzerne Röhre a a. Die Versenkung selbst besteht aus einem noch 3 Fuſs in einem Graben versenkten Ende, um welches ein 4 Zoll breiter und 6 Fuſs langer, an einem Ende mit 3 eben so breiten 2 Fuſs langen Ausläufern versehener Streifen von Tafelblei gewickelt, im Graben horizontal ausgebreitet, und dieser sodann wieder ausgefüllt wird. Der Kostenanschlag für einen solchen Ableiter für ein Haus von 60′ Höhe und 40′ Länge ist folgender nach den höchsten Preisen des Eisens berechnet. Auffangstange mit 2 Schenkeln Radschienen-Eisen 60 Pfd. pr. Pfd. 18 Xr, = 18 fl. Acht Holzschrauben, um die Schenkel an den Dachsparren zu befestigen, das Stück 24 Xr, = 3 fl. 12 Xr. Eine Schraube, um die Ableitungsstangen zusammen zu schrauben, das Stück 8 Xr, = 2 fl. 56 Xr. 149 Fuſs Ableitungsstangen mit den Drahtstiften zu 112 Pfd. à 18 Xr. per Pfd., = 33 fl. 36 Xr. Fig. 226.

Für eine im Feuer vergoldete Kupferspitze 1 fl. 12 Xr. Ein Blechstiefel 1 fl. — 16 Pfd. Tafelblei zur Versenkung 4 fl. 12 Xr. Summa 64 fl. 32 Xr.

Auch die Commissarien der Akademie der Wissenschaften zu Paris haben in ihrer Anweisung die aus Eisenstangen verfertigten Blitzableiter vor allen andern empfohlen. Sie stimmen in ihren besondern Vorschriften im Wesentlichen mit denjenigen, die wir bereits mitgetheilt haben, vollkommen überein, namentlich was die Auffangstange, die Endigung derselben in eine am äufsersten Ende vergoldete kupferne oder messingene Spitze, die Art der Herabführung des Ableiters am Gebäude selbst, die Versenkung u. s. w. betrifft. Zur Auffangstange schreiben sie eine quadratische Eisenstange vor, welche vom Fufs nach der Spitze zu in Form einer Pyramide verdünnt ist. Für eine Länge von 25 bis 27 Fufs, welche im Mittel die für gröfsere Gebäude passende ist, soll man derselben an der Basis eine dicke von 24 — 26 Linien, für eine Länge von 30 Fufs gar eine dicke von 28 Linien geben. Bei ihrer grofsen Länge müsse sie zur bequemern Handhabung aus zwei Stücken zusammengesetzt seyn, die zusammengeschraubt werden. Für die Eisenstangen, aus welchen der Ableiter selbst besteht, verlangen sie keine gröfsere Dicke als 7 Linien im Quadrat. In der Art der Verbindung desselben mit dem untern Theile der Auffangstange, weicht ihre Vorschrift etwas von der obigen ab, wie die Zeichnungen, die eine im Aufrisse, die andere im Grundrisse zeigen. Es ist nämlich hier die Auffangstange mit einem quadratischen Bügel eng umschlossen, der in einen Zapfen N ausgeht, welchen die Gabel M, womit die Ableitungsstange endigt, umschliefst, und darauf mit einem Bolzen befestigt ist. Unterhalb dieser Verbindung befindet sich drei Zolle vom Dache eine an die Masse der Auffangstange angeschweifste Schiene, welche bestimmt ist das längs der Stange herabfliefsende Regenwasser abzuleiten. Um diese Schiene zu verfertigen, schweifst man einen eisernen Ring an die Stange und streckt ihn darauf auf dem Ambos kreisförmig aus, wobei man seine Ränder so neigt, dafs sie einen stark abgestumpften Kegel bilden. Die Einrichtung, wie sie bei den Auffangstangen in Stuttgart ange-

Fig. 227. Fig. 228. Fig. 227.

bracht ist, scheint uns den Vorzug zu verdienen, da das Regenwasser sich leicht um den Rand jener Schiene herumziehen und so doch längs der Stange in das Innere einsickern kann. Auf die hinlänglich tiefe Versenkung in den Erdboden dringen die Commissarien ganz besonders. Zu diesem Behuf soll man den Ableiter am Gebäude selbst in unveränderter Richtung erst 18 — 20 Zoll unter den Boden hinabführen, dann rechtwinklich gebogen von der Mauer abwärts 12 — 15 Fufs weit fortführen, und dann endlich in einen Brunnen oder in ein zu diesem Behuf 12 — 15 Fufs tief in der Erde gegrabenes Loch, wenn man nämlich kein Wasser findet, sonst aber zu einer etwas geringern Tiefe versenken. Um ihn in den Brunnen hinabzulassen, soll man ihn sogar durch ein Loch in der Mauer desselben leiten, und ihn so tief hinunter gehen lassen, dafs er bei niedrigem Wasserstande wenigstens zwei Fufs unter Wasser getaucht bleibt. Das Ende desselben soll man in zwei oder drei Spitzen auslaufen lassen, um den Abfluss der elektrischen Materie in den Boden zu begünstigen. Wenn der Brunnen im Innern des Gebäudes ist, soll man die Mauern des Letztern unterhalb des Bodens durchbohren, und durch diese Oeffnung den Leiter zu dem Brunnen führen. Wie zweckwidrig diese Rathschläge sind, brauchen wis nach dem, was oben unter der Rubrik „Versenkung" gesagt ist, nicht weiter auszuführen. Aber zu verwundern ist es, dafs Commissarien einer Pariser Akademie so gänzlich die Erfahrungen eines Reimarus ignoriren konnten. Nur ein eigenthümlicher nützlicher Rathschlag findet sich in dieser Anweisung für diejenigen, die nun einmal von einer solchen Versenkung der Wetterableiter nicht abgehen wollen. Da nämlich das in den Boden versenkte Eisen vom Roste sehr bald zerstört werden würde, so empfehlen sie als ein Mittel dagegen die Eisenstangen in einem mit Kohlen gefüllten Raume fortzuführen. Nachdem man nämlich in den Boden einen Canal von 20 — 22 Zoll Tiefe und hinlänglicher Breite gegraben hat, legt man eine Reihe Ziegel auf den Grund, und stellt auf den Rand derselben andere aufrecht hin, nun giebt man auf die Bodenziegel eine Schicht wohl ausgebrannter Büchenkohlen von 1 — 1,5 Zoll Dicke, legt die Eisenstange oben darauf,

füllt das Ganze mit Kohlen und verschliefst es oben mit einer Reihe von Ziegeln. Man soll Beispiele haben, dafs ein so in Kohlen eingehülltes Eisen während 30 Jahren keine Veränderung erlitten hat. Auch das senkrechte Loch, in welches man das Ende der Eisenstangen versenkt, soll mit Kohlen vollgestampft werden. Aber wie wird bei dem Versenken des Eisens in den Brunnen das Abrosten dieses Endes verhindert?? Für Pulvermagazine rathen die Commissarien die Auffangstangen auf Mastbäumen, welche 6 bis 8 Fufs von denselben abstehen, aufzuführen. Es reiche dann hin, den Auffangstangen eine Höhe von 6 Fufs zu geben, aber die Mastbäume müssen eine solche Höhe haben, dafs sie mit ihren Spitzen über das Magazin mindestens um 12 — 15 Fufs hervorragen. Sey jedoch das Pulvermagazin sehr erhöht, z. B. ein Thurm, so werde die Errichtung solcher Mastbäume mit Schwierigkeit und grofsen Kosten verknüpft seyn, um ihnen hinlängliche Festigkeit zu geben. Man könne sich in diesem Falle begnügen, das Gebäude ohne Auffangstange mit einem doppelten Ableiter zu versehen, welchen man alsdann von Kupfer machen könne. Ein solcher Ableiter, dessen Wirkung sich nicht über das Gebäude hinaus erstreckt, könne den Blitz nicht aus der Ferne anziehen, habe aber doch den Vortheil, das Gebäude, wenn er getroffen wird, gegen dessen Angriff zu sichern! Was wollen wir dann aber mehr mit unsern Wetterableitern erreichen? Es wird doch Niemand einfallen, den Blitz auf das Gebäude anlocken zu wollen, wie die Verf. diese Kraft den Spitzen zuschreiben, von welchen sie ausdrücklich behaupten, dafs der Blitz leichter zwischen der Wolke und diesen und auf gröfsern Abstand ausbreche, als wenn die Wetterstange in ihren Enden abgerundet ist, eine Behauptung die indessen nach dem oben angeführten nur unter gewissen Einschränkungen wahr ist. Die Commissarien der Akademie schlagen auch Drahtseile statt der Eisenstangen des Ableiters vor, und zwar soll man 15 Eisendräthe zu einem Leiter verbinden, und aus 4 dergleichen Litzen ein Seil machen, welches alsdann einen Durchmesser von 7 — 8 Linien besitzt. Um den Draht gegen das Rosten zu schützen, soll jede Litze besonders, und dann noch das ganze Seil fleifsig

mit Theer bestrichen werden. Dieses Seil befestigt man in der Auffangstange, eben so wie den Ableiter, d. h. man zwängt es mit einem Bolzen sehr fest zwischen die beiden Ohren eines Halsbandes, welches unten an der Auffangstange angebracht ist, und eine Abänderung von der oben angegebenen Art der Verbindung der Ableitungsstange mit der Auffangstange ist. Sechs Fufs oberhalb des Erdbodens soll das Seil mit einer Eisenstange verbunden werden, und die weitere Versenkung wie oben geschehen. Doch geben die Commissarien den Eisenstangen, weil sie viel weniger zerstörbar sind, den Vorzug. Dafs dieses nur vom Eisendrahte gelte, ergiebt sich von selbst [1].

Fig. 229.

IV. Neuere Einwendungen gegen die Grundsätze, nach denen die unter I—III beschriebenen Blitzableiter eingerichtet sind.

Gegen die unter I—III angegebene Anlegung und Einrichtung der Gewitterableiter, und die Grundsätze, auf welche sie sich stützt, hat Bodde [2] in Münster mehrere Zweifel erhoben, und behauptet, dafs die neuern Blitzableiter insgesammt höchst fehlerhaft wären. Seine Grundsätze entwickelte er noch weiter in einem Gutachten über einen in Vorschlag gebrachten Blitzableiter an dem Domthurme in Paderborn [3]. Er beginnt dieses Gutachten mit folgender Bemerkung: „dafs sich der Blitz bei Gewittern „nicht so, wie manche Physiker es lange geglaubt haben „und noch glauben, in willkührliche Fesseln bringen lasse, „davon hat er uns schon viele, meistens unbeachtete, auch „wohl übel verstandene Beweise gegeben, und einen solchen „noch neuerlich am 11ten Januar 1815 in unserer Nähe (in „Düsseldorf und Dortmund) verständlich genug wiederholt". Aber gerade diese beiden Beispiele sind von Bodde sehr

---

1 Noch einige andere nicht zweckmäfsige Vorschläge, z. B. von Lampadius bei G. XXIX. 60. welcher eiserne, in einander geschrobene Röhren zu Blitzableitern zu nehmen räth, oder sonstige, nicht wohl ausführbare Sicherungsmafsregeln, wie z. B. in Höpfner's Mag. für die Naturkunde Helvetiens II. 15. u. a. übergehen wir mit Stillschweigen.

2 Grundzüge zur Theorie der Blitzableiter. Münster 1809. 8.

3 G. LI. 80.

unglücklich zur Begründung seiner Einwürfe gewählt, da der Fall in Dortmund auf das Einleuchtendste bewiesen hat, wie sehr es in unserer Gewalt steht, die Bahn des Blitzes willkührlich in horizontaler Richtung, aufwärts, abwärts u. s. w. durch eine gute metallische Leitung zu bestimmen, und bei dem Einschlagen in den Lambertsthurm zu Düsseldorf zündete der Blitz gerade da, wo er auch nach den von Bodde aufgestellten Grundsätzen am geradesten zu seinem Ziele geführt wurde. Nach der vorangeschickten allgemeinen Bemerkung, dafs das Wesen des Wetterschlages in einem Entgegenstreben der beiden entgegengesetzten Elektricitäten, des + der Wolken und des — der Erde zur wechselseitigen Ausgleichung bestehe, und dafs zwei entgegengesetzte Kräfte die Richtung des Entgegenstrebens eben so gewifs als zwei Puncte eine gerade Linie bestimmen, dafs die elektrische Spannung in zwei entgegengesetzten Flächen oder besser Sphären befangen sey, dafs erst bei eingetretener Schlagweite der Durchbruch an dem wenigst abstehenden und bestleitenden Puncte erfolge, und die Mitbefangenheit (sic) sich zur Ausgleichung nach diesem Puncte ergiefse, dafs endlich die elektrische Entzweiung, worin Atmosphäre und Erde befangen sind, sich nach dem Mafse der Leitungsfähigkeit und der Capacität mittheile, und dafs bei der Entladung die Ausgleichung nicht blofs zwischen Atmosphäre und Erde erfolge, sondern dafs auch die Gegenstände über der Erde nach der Gröfse ihrer Mitbefangenheit daran Theil nehmen, stellt er als die zwei Aufgaben, die bei allen Blitzableitern zu lösen sind, auf: a. *dafs die Ausgleichung oder Entladung zwischen Atmosphäre und Erde durch gute Leiter bewirkt*, noch mehr aber b. *dafs vorgebeugt werde dem elektrischen Mitbefangenseyn der zu schüzzenden Gegenstände über die Erde.*

Was den ersten Punct betrifft, so leitet er aus einer ganz willkührlichen Construction, deren Unanwendbarkeit näher nachzuweisen wir hier überhoben seyn können, da eine Menge von Erfahrungen über Wetterschläge sie de facto widerlegen, folgende Regeln ab: 1. Man gebe dem Blitzableiter eine Lage, die mit der Richtung der elektrischen Entgegenstrebung zusammenfällt, zwischen Wolke und

Erde, d. i. eine lothrechte, und wo dieses nicht ausführbar ist, gebe man 2. dem schiefen Ableiter schiefe Zuleiter unter den nämlichen Winkeln (welchen, frägt Gilbert in seiner Kritik mit Recht) und in der nämlichen Ebene. Man begreift, wie verwerflich Bodde es dieser Regel zufolge finden mufs, zweien und mehreren von einander entfernten Auffangspuncten nur eine einzige Ableitung zu geben, und die Auffangspuncte in allen Arten von Richtungen mit einander und den Ableitern zu verbinden. Ueberflüssig und täuschend seyen alle wagrechte Leiter in dieser Lage, so lange das Entgegenstreben senkrecht ist. Die Spuren der Zerstörung nach einer Entladung hätten uns dies von jeher lehren können. Untersuchen wir diese (fährt Bodde fort) etwas genauer, so finden wir immer, dafs der Blitz, so lange die elektrischen Entzweiung zwischen Wolke und Erde bestand, nie guten Leitern in wagrechter Lage gefolgt ist, wohl aber, dafs er solche gewählt hat, die eine, wenn auch nur etwas abwärts geneigte Lage hatten (der Fall des Blitzstrahls, der auf die Dortmunder Kirche fiel, ist schon allem dem Obigen zufolge ein hinlänglicher Beweis gegen diese Behauptung, und um so mehr, da es hier nicht einmal an einem gerade herabführenden Wetterableiter gefehlt hatte). Bodde beruft sich sogar auf die ähnlichen Gesetze bei der Entladung einer elektrischen Verstärkungsflasche oder Batterie. Aber gerade diese liefern durchaus entgegengesetzte Resultate, da man die Entladung von der innern Belegung nach der äufsern auf jedem beliebigen Umwege führen kann, wenn derselbe nur aus sonst recht guten Leitern besteht.

Was die zweite Aufgabe, die bei den Blitzableitern zu lösen ist, betrifft, so meint Bodde, dafs die nach dem obigen Grundsätzen angelegten Blitzableiter nicht im Stande seyen, die Gebäude, die mitbefangen sind, vor der Theilnahme an der Entladung zu schützen. Sie dienen höchstens nur zur Ausgleichung der elektrischen Spannung, in so weit diese noch zwischen Wolke und Erde für sich besteht, wobei aber offenbar das Gebäude nach der Gröfse des Mitbefangenseyns einer Theilnahme an der Entladung blofsgestellt bleibt. Hierzu kommt, dafs ein, in elektrischer Entzweiung mitbefangenes Gebäude in seinen Theilen meistens eine

ungleiche Leitungsfähigkeit hat. Die dadurch nothwendig gewordene ungleiche Vertheilung der Elektricität verursache somit auch in dem Gebäude selbst bei einer Entladung theilweise Ausgleichungen, die sowohl dem Gebäude selbst als dessen Bewohnern gefährlich werden können. Um also durch Blitzableiter Schutz zu erhalten, müssen wir dieselben so anlegen, dafs der ganze, der Erde zugekehrte Pol der elektrischen Spannung durch Zuleiter von unten her heraufgerückt werde, so dafs der Indifferenzpunct des Entgegenstrebens über dem Gebäude zwischen dem äufsersten Pole des Zuleiters und der elektrischen Wolke hervortrete. In der Wirklichkeit werde es immer schwer seyn, das Gebäude in seinen einzelnen Theilen von der Mitbefangenheit zu befreien, wir müssen uns begnügen, durch gute Leiter von unten her der elektrischen Spannung in Gebäuden so weit vorzubeugen, dafs bei einer Entladung keine gefährlichen Durchbrüche in demselben entstehen können. Ueber die Anzahl und Capacität der zu jenem Zwecke nöthigen Zuleiter von unten her müsse die Erfahrung entscheiden. Es dürfe aber als wahr angenommen werden, dafs mit der Anzahl zweckmäfsig angelegter Zuleiter die Sicherheit wachse. Bei einem mittelmäfsigen Gebäude möchte es hinreichen, die Zuleiter zu den mit Metall bewaffneten, am meisten erhöhten und hervorragenden Ecken und zu den Stellen zu führen, wo der Blitz etwa schon früher eingeschlagen habe. Bei gröfseren Gebäuden werde man leicht veranlafst werden, mehrere Zuleiter anzubringen. Damit die Entladung von einem Puncte aus geschehe, sollen alle Zuleiter oben in leitende Verbindung mit einander gebracht werden. Die Antwort auf diese Einwendungen gegen die von uns in Schutz genommene Einrichtung der Blitzableiter liegt im Wesentlichen schon in den durch eine so grofse Masse von Erfahrungen fest begründeten Gesetzen der Leitung und Bahn des Blitzes, wie sie in dem vorigen und in diesem Artikel aufgestellt sind. Auch hat Gilbert[1] in seinen Gegenbemerkungen die Unhaltbarkeit der Bedenklichkeiten Bodde's treffend nachgewiesen. Der Grundbegriff einer Entgegenstrebung der Elektricitäten der Wolke und Erde im

1 Annalen LI. 93 flgd.

Allgemeinen, von welchem Bodde ausgeht, erschöpfe, bemerkt Gilbert richtig, die Sache nicht, vielmehr entrücke er der Betrachtung den Punct, auf welchen es hauptsächlich ankomme. In unsern Versuchen mit elektrischen Entladungen geschieht die Ausgleichung nicht auf dem kürzesten Wege, sondern immer auf dem Wege des mindesten Widerstandes, und auf diesen Widerstand habe ohne Vergleich mehr Einfluss das Leitungsvermögen des Zwischenraumes als die Kürze des Weges. Das Eigenthümliche, was in Beziehung auf die Ausgleichung der entzweiten und sich einander entgegenstrebenden Elektricitäten vor allem in Betracht kommt, ist, dass die Körper der Verbreitung der Elektricität einerseits längs ihrer Oberfläche, andererseits durch sich hindurch mit ausnehmend verschiedener Kraft widerstehen. Ueberall äufsern sich bei einer elektrischen Ladung an den beiden entgegengesetzt geladenen Flächen Bestreben zur Ausgleichung, und nach allen Richtungen hin streben die beiden Elektricitäten zu entweichen. (Dies gilt doch nur von der nicht ganz gebundenen Elektricität auf derjenigen Seite, von welcher die Ladung ausging, und insofern allerdings von der Elektricität der Wetterwolke.) Der Durchbruch geschehe endlich auf der Stelle und dem Wege des mindesten Widerstandes, oder an mehreren Stellen und auf mehreren solchen Wegen zugleich, wenn diese im Widerstande von einander nicht sehr verschieden sind; dabei folgt aber der Entladungsstrom den Metallen, (den besten Leitern, mit denen wir etwas zu thun zu haben pflegen) willig nach allen Richtungen, horizontal und selbst aufwärts, um dann wieder abwärts zu gehen, ist nur auf dem ganzen Wege der Widerstand zusammengenommen merklich kleiner, als auf jedem andern Wege. Fast bei jedem Blitzstrahle, der ein Gebäude trifft, finden wir, dass der Blitzstrahl horizontalen Drähten längs Decken bis auf bedeutende Weiten gefolgt ist, (wobei wir an einen der merkwürdigsten Fälle dieser Art, den Reimarus in seiner ersten Abhandlung S. 134 anführt, erinnern, wo der Blitz in 7 Zimmern, welche voll von Menschen waren, an allen vergoldeten Leisten der Tapeten und an einem mit Gyps bekleideten, mit Stanniol überzogenen und überfirnifsten Kreis an der Decke seinen weit ausgedehnten Weg genommen hatte,

ohne irgend Jemand zu beschädigen, einer Menge ähnlicher Fälle zu geschweigen). Je kürzer unter übrigens gleichen Umständen der Leiter sey, desto besser sey die Leitung, und nur defshalb, scheine es, sey die senkrechte Lage des Blitzableiters jeder andern vorzuziehen. Was das zweite Erfordernifs, welches Bodde an einen guten Blitzableiter macht, nämlich die Mitbefangenheit des Gebäudes in die Entzweiung durch hinlängliche Zuleiter zu beseitigen, betrifft, so meint Gilbert, dafs die ganze Vorstellung, worauf dasselbe beruht, dem nicht entspreche, was wir von dem elektrischen Entladungsschlage durch Versuche wissen. Sey die Leitung von hinlänglicher Capacität, so geschehe die Ausgleichung, so weit sich jene erstreckt, unsichtbar und gefahrlos für alle benachbarte Körper, nur da, wo Nichtleiter zu durchbrechen sind, finden die zerstörenden Wirkungen der Entladung statt, und sey dieses in der ganzen Ausdehnung des Entladungsstromes der Fall, und nicht blos in dem sogenannten Indifferenzpuncte. Ein zu dünner Draht, durch den man die Entladung hindurchführe, schmelze nicht blofs in diesem, sondern in seiner ganzen Länge, und zerstiebe bei einer gewissen Stärke der Ladung ganz und gar in geschmolzene Kügelchen. Der Stadtrichter Hindersen[1] bemerkt gegen Bodde, dafs der sogenannte Indifferenzpunct zwischen den entgegengesetzten Spannungen sich nicht in der Mitte zwischen der Fläche des Erdbodens und der Spitze des Blitzableiters befinde. Diese Spannung sey allen auf der Erde befindlichen Gegenständen gemeinschaftlich, und sie werde in demjenigen Puncte, welcher der Gewitterwolke am nächsten ist, concentrirt. Man habe also diesen Indifferenzpunct zwischen der Spitze der Auffangstange und der Gewitterwolke zu suchen. Uebrigens komme es bei der gefahrlosen Ableitung nach dem Entladen nur auf eine ununterbrochene Strecke von hinlänglich guten Leitern an. Unstreitig ist erstere Bemerkung ganz richtig, da in der Spitze des Ableiters, wo das — E am meisten angehäuft ist, das 0 nicht liegen kann. Die Zuleiter von unten her, auf welche Bodde dringt, hält Hindersen unter gewissen Umständen sogar für nach-

1 G. LI. 438.

theilig. Man habe nämlich schon Fälle beobachtet, in welchen der Erdboden positiv und die Gewitterwolke negativ elektrisch gewesen sind. In einem solchen Falle werde aber eine Explosion durch einen untern Zuleiter erleichtert und befördert werden, weil dadurch ein gröfserer Andrang der positiven Elektricität nach dem der Wolke am nächsten stehenden, folglich gefährlichsten Puncte bewirkt werde. Dieser Einwand scheint uns indessen ganz grundlos, denn wenn auch die positive Ladung der Erde als eine abgeleitete von der Wolke, die allein freie Spannung hat, während jene volkommen latent ist, zu betrachten wäre, so wird auch hier die erste Entladung von der Wolke ausgehen. Ueberhaupt kann man als Grundsatz aufstellen, dafs jede Ableitung, die gegen die Zerstörungen des Blitzes in der Richtung abwärts schützt, auch gleichmäfsig in der Richtung aufwärts schützen müsse, da die Metalle ihr Leitungsvermögen in allen Richtungen gleichmäfsig zeigen. Unsers Dafürhaltens bleibt der Hauptirrthum Bodde's immer der, dafs er dem Streben nach Ausgleichung die lothrechte Richtung anweist, was gegen alle Erfahrung bei künstlichen elektrischen Versuchen und bei Gewittern streitet.

Was die Mitbefangenheit eines Gebäudes und der Gegenstände in demselben in die elektrische Entzweiung und die Nothwendigkeit eines besondern Schutzes gegen dieselbe betrifft, so wird jene immer nur einen höchst unbedeutenden Theil der ganzen, durch die Atmosphärenwirkung der Gewitterwolke bewirkten Ladung ausmachen, welche letztere sich vorzüglich auf die Oberfläche der Erde bezieht, welche durch einen einfachen Zuleiter von hinreichender Capacität stets ihre vollkommene Ausgleichung, wie die Erfahrung lehrt, findet. So wenig jemals ein Haus, die Gegenstände in demselben, seine Bewohner, Schaden gelitten haben, wenn in das zunächst angränzende der Blitz eingeschlagen hat, ungeachtet jenes Haus doch gewifs in eben so grofser Mitbefangenheit durch die über beide als gleichmäfsig schwebend anzusehende Wolke sich befunden haben müfste, als das Haus, welches vom Blitzstrahle unmittelbar getroffen wurde, so wenig kann man die Beschädigungen, die sich in dem Letzteren ereignen, von der Mitbefangenheit desselben herleiten,

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

vielmehr mufs alles dem Blitzstrahle selbst und seiner unvollkommenen Leitung zugeschrieben werden. Höchstens hat man in solchen Fällen kleine überspringende Fünkchen gesehen, auf die wir in der Rubrik des Rückschlags im vorigen Artikel hingewiesen haben.

V. La Postolle's Strohseilableiter.

Ein Windbeutel und Ignorant zugleich, der Apotheker des Königs von Frankreich, La Postolle[1] erdreistete sich, alle Physiker der Unwissenheit zu beschuldigen, dafs sie die Metalle als vorzügliche Leiter der Elektricität bisher angesehen hatten, und greift zugleich die bisherige Blitzableitungskunst, die auf diesem Grundsatze beruht, an, wogegen er die Welt mit der Entdeckung eines ganz neuen, höchst einfachen und wohlfeilen Blitzableiters, nämlich der Strohseile, die ihm zufolge die allertrefflichsten Leiter der Elektricität seyn sollen, beschenkt. La Postolle läfst es nicht an Versuchen fehlen, um seine vermeintliche Entdeckung zu begründen. So erzählt er[2] A. dafs ein dem elektrisirten ersten Leiter einer Elektrisirmaschine genäherter Finger einen Funken erhalte; B. dafs, als er sich eines Stückes Metall oder eines Schlüssels bediente, die er in der Hand hatte, die Elektricität gleichfalls in Form eines Funkens übergegangen sey. Da nun ein vollkommener Leiter nur derjenige sey, der die elektrische Flüssigkeit aufnimmt, und zu einem andern, der gleichfalls ein Leiter ist, fortleitet, ohne dafs sich hierbei irgend eine Lichterscheinung oder ein Geräusch zeige, so folge hieraus, dafs der Schlüssel kein guter Leiter sey. Einen fernern Beweis von dem unvollkommenen Leitungsvermögen der Metalle findet La Postolle in den Lichterscheinungen, die man an den Spitzen der gewöhnlichen Blitzableiter sieht, wenn Gewitter über sie wegziehen. Eine grofse Anzahl von Versuchen haben ihm bewiesen, dafs Seile von Lindenbast, aus Hanf, vorzüglich aber aus Stroh, wenn sie vollkommen trocken sind, dem Blitze zur leichtesten und sichersten Ableitung dienten. An einem mit einer Spitze

---

1 Ueber Blitz- und Hagelableiter aus Strohseilen. Von La Postolle. A. d. Fr. Mit einer Abbildung. Weimar 1821. 8.

2 a. a. O. S. 27 u. 28.

versehenen 15 Fufs langen Strohseile zeigte sich nach La Postolle's Angabe kein Lichthof an der Spitze und kein Funken an seinem den Erdboden berührenden Ende, nur die Divergenz der Goldblättchen eines an ihn gehaltenen Elektrometers zeigte die durchgehende Elektricität an; sie wurde aber in grofsen Funken sichtbar, als man eine an das Ende angebrachte Metallkugel durch einen Auslader mit der Erde verband und so entlud. Mit einem 7 bis 8 Zoll langen Strohseile von beliebiger Dicke soll sich jeder Conductor und jede stark geladene elektrische Batterie auf einmal vollständig ohne Lichterscheinung und Erschütterung für den Auslader entladen lassen, und durch ihn soll sich die Elektricität sogleich mit dem Erdboden ins Gleichgewicht setzen, ohne sich den andern Personen, die mit ihm einen Kreis bilden, mitzutheilen. Die Strohseile sollen diese merkwürdige Eigenschaft in solchem Grade besitzen, dafs der Mensch, welcher als ein schlechter (?) Leiter leicht (!) vom Blitze getroffen werden könne, vor jeder Gefahr geschützt sey, wenn er ein acht Zoll langes Stück eines Strohseils in der Hand halte (!!). Da nun auch Risse, Brüche, durch Fäulnifs entstandene schadhafte Stellen das vollkommene Leitungsvermögen eines solchen Strohseils nicht im mindesten schwächen sollen, so verdienen solche Strohseilableiter den metallischen bei weitem vorgezogen zu werden. Ein solches Strohseil müsse 15 Linien im Durchmesser haben, und aus vier Strängen bestehen, wovon jeder aus 4 Streifen zusammengesetzt ist; das Ganze wohl zusammengedreht gäbe ein hinlänglich festes Seil. Diese Strohseile werden nun an 20 Fufs hohe hölzerne Stangen von weichem Holze, die oben mit einer Spitze von hartem zähen Holze endigen, angebracht, und an einigen Stellen durch Bänder von Kupferdraht befestigt, und das untere Ende dieser Stangen hinlänglich verdünnt, um an den Giebel des Hauses durch drei hinlänglich lange Nägel ordentlich befestigt zu werden, für eine weitere Ableitung an der Wand des Hauses aber keine Sorge getragen, weil das Stroh die merkwürdige Kraft hat, der elektrischen Materie und so auch dem Blitze selbst die Eigenschaft zu ertheilen, ohne Nachtheil, ohne Erschütterung, ohne Lichtentwickelung die Materie, woraus das Gebäude besteht, bis zur Erde zu durch-

laufen. Am Ende äufsert La Postolle noch, dafs solche Strohableiter in einer Höhe von 18 — 20 Fufs in Menge in solchen Gegenden, wo Hagelwetter ziehen, aufgerichtet, und als Elektricitätseinsauger und Vernichter den Hagelschlag abwenden würden, und es ist sogar auf der angehängten Kupfertafel eine Konterfey eines solchen mit vielen Spiefsen versehenen Ackerfeldes zu schauen.

Solcher Unsinn, wie er jedem auch nur mit den ersten Elementen der Elektricitätslehre bekannten Laien sogleich in die Augen springt, schien kaum einer ernstlichen Prüfung und Widerlegung werth[1]. Indessen da die Sache einen Gegenstand von so hohem und allgemeinem Interesse betrifft, da die Laien durch so dreiste Behauptungen leicht irre geführt werden, da man der Schrift La Postolle's durch eine deutsche Uebersetzung, die freilich besser unterblieben wäre, gleichsam eine Art von Sanction ertheilt hat, so war es eine nicht unverdienstliche Bemühung, dafs Müller und Hofmann in Breslau die sogenannten Versuche La Postolle's wiederholten und den etwa hierbei statt findenden Quellen des Irrthums nachspürten. Sie fanden dann[2]: Erstens, dafs Strohseile aus Halmen, die ihrer Länge nach über einander gebunden sind, die Elektricität in gröfserer Entfernung als metallische Spitzen einsaugen (ob dies auch bei Anwendung von Metallspitzen von gleicher Feinheit und in gleicher Anzahl sich so verhalten würde, ist uns sehr zweifelhaft,) auch wenn ihr Zusammenhang in der Länge Zollweit durch einen leitenden Körper unterbrochen ist, dafs sie aber nur auf einem kleinen Umkreise des Punctes des Cylinders und des Conductors der Maschine, gegen den sie gerichtet werden, die Elektricität entziehen, und zwar nur langsam und unvollständig. Zweitens dafs an den Halmspitzen sich auch Lichthöfe wie an Metallspitzen zeigen, und sich die Elektricität auch mit einem knisternden Geräufch, also mit Widerstand in ihnen fortpflanzt. Drittens dafs Strohseile nur durch langsames Annähern und oftmaliges beharrliches Berühren

1 Die Erfindung wurde sogleich als durchaus nichtig verworfen durch das französische Institut. S. Ann. de Ch. et P. 1821.

2 Schlesische Provinzialblätter vom Jahr 1821 IIItes St. S. 239 und daraus in G. LXVIII. 218. 219.

mehrerer Stellen geladene Flaschen und noch unvollständiger geladene Batterien, wiewohl ohne Mittheilung eines Schlags entladen und beide sich auch dann laden lassen, wenn die äufsere und innere Belegung mit Strohseilen verbunden sind, woraus sich dann klar ergiebt, dafs Strohseile, weit entfernt gute Leiter zu seyn, vielmehr unter die Kategorie der Halbleiter, und zwar den eigentlichen Isolatoren näher als den Leitern stehend, gehören. Dies bestätigt sich auch noch dadurch, dafs der Mechanicus Klingert sogar den Funken des Conductors über ein, demselben entgegengehaltenes, Strohseil, das eine metallene Handhabe hatte, von einem Ende zum andern wegspringen sah. Nach allem diesen sind also Strohseile zu Blitzableitern für ganz untauglich zu erklären, was freilich auch schon zum voraus aus den nicht seltenen unglücklichen Fällen von Entzündung von Strohdächern durch den Wetterstrahl entnommen werden konnte.

VI. Beseitigung einiger Einwürfe gegen Blitzableiter und allgemeine Bemerkungen über den Schutz, welchen sie gewähren können und über die nöthige Aufsicht darüber.

In dem Zeitpuncte, als Gewitterableiter noch eine ganz neue Sache waren, hat man diese so nützliche Erfindung mannigfaltig bestritten, wie denn jede Neuerung in der Anhänglichkeit an das Alte immer ihre Widersacher findet, und Neid und Mifsgunst dem Erfinder so lange wie möglich durch die Herabsetzung der Erfindung selbst sein Verdienst streitig machen. Aufser dem sehr unphilosophischen Einwurfe, dafs es unerlaubt sey, uns den gerechten Schickungen einer höhern Macht zu entziehen, welchen Lichtenberg in Gotha[1] zureichend beantwortet hat, ist gegen die Blitzableiter noch folgendes eingewandt worden: die Anstalt sey zu gering und unvermögend, um so grofsen Wirkungen zu begegnen; die hohen Stangen möchten mehr Wetterwolken herbeilocken und mehr Schläge erregen, oder benachbarte Gebäude in Gefahr setzen; die Weite, auf die sich der Schutz erstrecke, sey

1 Verhaltungsregeln bei nahen Donnerwettern; in der Einleitung.

gering, und sichere kaum ein mäfsiges Haus völlig; der Blitz könne im Boden wieder ausbrechen; man werde ihn besser durch Nichtleiter und Vermeidung alles Metalls abhalten; es werde doch die Möglichkeit eines Schlags und der Schrekken darüber nicht vermieden u. s. w. Alle diese Einwürfe, die theils ganz falsche oder übertriebene Begriffe von dem Zwecke der Ableiter verrathen, theils den Erfahrungen entgegen sind, theils nur besondere Einrichtungen der Wetterableiter treffen, beantworten sich schon von selbst aus der bisherigen Darstellung der Sache und sind schon früher von Reimarus[1] gründlich widerlegt worden. Nollet's[2] Ausspruch: Je persiste à dire que le projet d'épuiser une nuée orageuse n'est pas celui d'un Physicien. Laissons donc tonner et fulminer, comme nous laissons pleuvoir, ist dieses sonst verdienstvollen Physikers ganz unwürdig. Sein Ansehen hat dennoch den Fortgang der guten Sache in Frankreich und andern Ländern in etwas aufgehalten, bis die neueren Erweiterungen unserer Kenntnisse in der Elektricitätslehre, die Menge der Schriften zu Gunsten der neuen Erfindung und das Beispiel der Grofsen das ehemalige Vorurtheil überwunden, und diese wohlthätige Anstalt vervielfältigt haben. In der Kurpfalz hat sich Hemmer[3] durch Einrichtung vieler Ableiter ein vorzügliches Verdienst erworben, und Landriani in einer schon 1785 herausgegebenen Schrift über die Blitzableiter stellt ein zahlreiches Verzeichnifs von errichteten Ableitungen aus mehreren Ländern auf, welches deutlich zeigt, wie sehr man sich schon damals aller Orten von der Nothwendigkeit und dem Nutzen solcher Anstalten überzeugt fühlte. Seit dieser Zeit haben sich dieselben noch ungemein vervielfältigt, durch Reimarus Bemühungen in Hamburg und den zunächst angränzenden Ländern, den Herzogthümern Holstein, Schleswig, Mecklenburg, dem Königreich Hannover, und besonders sind Kirchthürme und ähnliche öffentliche Gebäude in Deutschland fast allenthalben damit versehen.

---

1 Erste Abhandlung vom Blitze Cap. 13.

2 Mém. de Paris 1764 p. 440.

3 Histor. et Comment. Acad. Theod. Palat. Vol. IV. Phys. p. 1—85.

Universitäts- und Landesbibliothek Düsseldorf

Um den Werth derselben gehörig zu schätzen, mufs man den wahren Zweck ihrer Anlegung nicht aus den Augen verlieren. Man ist jetzt allerdings ganz von der Idee zurückgekommen, durch ihre Hülfe die Gewitterwolken selbst zu entkräften und den Blitz zu verhüten; um so gewisser kann man aber durch sie, wenn sie nur zweckmäfsig angelegt sind, den Anfall desselben auf Gebäude u. s. w. unschädlich machen. Wenn in einzelnen wenigen Fällen Gebäude gegen das Einschlagen des Blitzes mit Zerstörung, Entzündung u. s. w. durch Blitzableiter nicht gesichert waren, so können wir mit der gröfsten Wahrscheinlichkeit voraussetzen, dafs in der Ableitung selbst noch irgend eine Unvollkommenheit war. Bei einigen der früheren Fälle, wie z. B. den von Heckingham, Purfleet, lag offenbar der Fehler darin, dafs man den Auffangstangen eine zu grofse Wirksamkeit zutraute. Bei dem Einschlagen des Blitzes in den Thurm zu Düsseldorf und der dadurch veranlafsten Entzündung war es allerdings nicht mit Sicherheit auszumitteln, wo eigentlich die Schuld gelegen hatte. Benzenberg sieht es als einen möglichen Fall an, dafs der Blitz dem angefaulten Holze der Königsstange, auf welcher die eiserne Helmstange, die zugleich zur Ableitungsstange diente, von Aufsen aufgesetzt war, nachlief, und als er am gesunden nicht weiter konnte, nun auf den vielleicht einen Fufs von ihm entfernten Ableiter absprang. Da die Helmstange in einer Länge von 15 Fufs mit einem bleiernen Mantel umgeben war, der mit den Ableitungsstreifen an den 8 Kanten der Thurmspitze in Verbindung stand, so müfste man annehmen, dafs diese Verbindung nicht innig genug gewesen sey, und doch mochte auch in diesem Falle die Anlockung auf diesen Weg grofs genug gewesen seyn, um nicht einem so schlechten Leiter, wie das Holz war, zu folgen. Der Blitz traf hier zuerst auf die Schwanzfedern des kupfernen Hahnes und schmolz hier eine Scharte von etwa einem halben Zoll aus. An dieser Scharte fand man sogar noch ein geschmolzenes Kügelchen. Konnte die Entzündung der hölzernen Stange nicht von dem herabgeflossenen glühenden Metall hergerührt haben? Liefert also dieser Fall nicht einen neuen Beleg zu der Gefahr von zu dünnen und zugespitzten Ableitern? Diese Schwanzfeder war nämlich von Kupfer nur

etwa 0‴,7 dick, übrigens vergoldet. In dem zweiten Falle von Dortmund ward eine Unvollkommenheit der Ableitung deutlich nachgewiesen. Die Bleirinnen bestanden nämlich aus verwittertem Blei, und hier hatte der Blitz Platzungen hervorgebracht. In dem dritten Falle, den wir schon oben nach der Mittheilung Trechsels erwogen haben, konnte die Schuld allerdings an dem Ableiter gelegen haben. Die hintere Ecke des Gebäudes, welche der Blitz allen Umständen nach zu schliefsen, getroffen hatte, war nämlich nicht gehörig mit Metallstreifen, die mit dem Ableiter selbst in Verbindung gesetzt gewesen wären, verwahrt worden. Man kann also daraus nur den Schluſs machen, dafs eine auch ziemlich hohe Auffangstange doch nicht auf 16 Fufs in allen Fällen sichert. Von einem mit Zerstörung und Entzündung verbunden gewesenen Einschlagen des Blitzes in Häuser, deren Blitzableiter ganz nach der unter I angegebenen Vorschrift eingerichtet waren, ist mir kein Beispiel bekannt geworden. Selbst aber auch in denjenigen Fällen, wo der Blitzableiter keine ganz vollkommene Ableitung gewährte, indem er durch den durchfahrenden Blitz selbst theilweise zertrümmert wurde, ward meistens das Gebäude gegen sonstige Beschädigungen geschützt, indem auch alsdann die Hauptmasse der Elektricität ihren Weg aufsen längs dem Ableiter genommen hatte. Zu wünschen wäre es freilich, dafs diese wichtige Sache unter die Aufsicht des Staats gestellt würde, wie es an einigen Orten z. B. in Stuttgart der Fall ist, wo eine eigene Commission jährlich die Blitzableiter nachsieht, auch auf keinem Hause Blitzableiter anders, als unter ihrer Aufsicht errichtet werden dürfen, wäre es auch nur, um zu verhüten, dafs nicht Unglücksfälle, die von einer schlecht eingerichteten oder schlecht unterhaltenen Ableitung abhängen, zum Nachtheile dieser so wohlthätigen Erfindung fälschlich gedeutet werden können[1]. *P.*

---

1 Aufser den schon im Artikel selbst angeführten Schriften verdienen noch folgende verglichen zu werden: Betrachtungen über die Gewitterableiter von Barbier de Tinan in den Leipziger Sammlungen zur Physik und Naturgeschichte II. Bd. 2te St. S. 210 flgd. Die Kunst, Thürme und andere Gebäude vor den schädlichen Wirkungen des

Blitzröhren.

Fulgurit, Blitzsinter, Kieselsinter[1]; Fulgurit, Astrapyalith; *Cerauniansinter*, *Vitreous Tubes;* sind röhrenförmige Gebilde, durch den Blitz aus Sande in Folge einer Schmelzung oder Verglasung entstanden. Die erste Aufmerksamkeit auf diese merkwürdigen Erzeugnisse des mächtigen Elementes erregte Henzen[2], welcher sie in den Sandhügeln der Senner Heide in Westphalen auffand, und nebst Blumenbach[3] sogleich für Producte eines Blitzschlages erklärte. Nachher sind dieselben an verschiedenen Orten aufgefunden und in ihrem ganzen Verhalten untersucht durch Fiedler, welchem wir in der nachfolgenden

---

Blitzes durch Ableitungen zu bewahren von J. J. von Felbiger. Breslau 1774. 8. Landriani dell' utilità dei conduttori electrici. Milano 1785. 4 Abhandlung über den Nutzen der Wetterableiter aus dem Italienischen mit Zusätzen und Kupfern. Wien 1785. gr. 8. Hemmer Anleitung, Wetterableiter an allen Gattungen von Gebäuden auf die sicherste Art anzulegen. Offenbach am Main 1786. 8. Busse Beruhigung über die neuen Blitzableiter. Leipzig 1791. 8. J. Alb. H. Reimarus ausführliche Vorschrift zu Blitzableitung an allerlei Gebäuden (aus dessen neuern Bemerkungen vom Blitze besonders abgedruckt). J. L. Böckmann über die Blitzableiter, eine Abhandlung auf höchsten Befehl des Fürsten ausgearbeitet. Karlsruhe 1791. 8. J. F. Lutz Unterricht vom Blitze und Wetterableitern 1783. gr. 8. Dessen Lehrbuch der theor. und prakt. Blitzableitungslehre, neu bearbeitet von J. K. Gütle 1804. 2 Th. gr. 8. J. F. Gross, Grundsätze der Blitzableitungskunst nach dem Tode des Verf. herausgegeben von J. F. Wiedemann. Leipz. 1796. Fr. K. Achards kurze Anleitung ländliche Gebäude vor Gewitterschäden sicher zu stellen. Berlin 1798. D. Gilly's und J. Alb. Eytelwein's kurze Anleitung, auf welche Art Blitzableiter an den Gebäuden anzulegen sind. Berlin 1802. gr. 8. Leopold von Unterberger nützliche Begriffe von den Wirkungen der Elektricität und der Gewittermaterie, nebst einer practischen Belehrung u. s. w. Wien 1811. 8 mit einer Kupfertafel. v. Imhof Anweisung zur Anlegung zweckmäfsiger Blitzableiter. München 1816. 8. Ueber die Sicherheit der Blitzableiter von J. A. H. Reimarus bei G. XXXVI. 113.

1 Diesen Namen hat ihnen Emmerling in v. Moll's Annalen III. 297. gegeben, ehe man genauere Kenntnifs von ihnen hatte. Er ist daher auf allen Fall verwerflich, weil er einen andern Ursprung derselben andeutet, als sie möglicher Weise haben können.

2 Voigt Mag. X. 491.

3 Ebend. XI. 363.

Universitäts- und Landesbibliothek Düsseldorf

Beschreibung hauptsächlich folgen[1]. Die in der Senner Heide gefundenen, denen alle übrigen mit unbedeutenden Fig. Abweichungen völlig gleichen, bestehen aus ungleich langen, 230. und ungleich weiten, nach unten stark verengerten und endlich ganz spitz zulaufenden, wiederholt verschiedentlich gekrümmten, mit mehr oder weniger Nebenästen versehenen Röhren, welche inwendig völlig verglaset, mehr nach Aufsen blofs zusammengesintert, zuletzt mit angeklebten, eine sehr rauhe Oberfläche bildenden Sandkörnern überzogen sind, und eine schwärzlich- und perl-graue, zuweilen auch eine röthliche, in den verglaseten Theilen auch eine grünliche Farbe haben, je nach der Beschaffenheit des Sandes, woraus sie gebildet wurden. Ihr Durchmesser beträgt von 0,75 bis 20 par. Linien, die Dicke der Wände von 0,25 bis 11 Linien, die Länge aber mag muthmafslich 20 bis 30 F. und darüber betragen, mit Seitenästen von 1 Zoll bis 1 Fufs Länge. Eine der längsten, aus den einzelnen zerbrochenen Stücken in natürlicher Richtung bis zu einer Länge von 14,5 Fufs wieder zusammengesetzte befindet sich als sehenswerthes Stück im Dresdener Cabinette[2]. Ihr spec. Gew. wechselt von 1,536 bis 1,924, eine Folge der mehr oder minder häufigen Bläschen, welche sich im Innern derselben befinden, da sie aus reinem Quarzsande mit etwas Eisen bestehen. Sie gehen meistens senkrecht in die Erde hinab, seltener schräg, und theilen sich oft in zwei ziemlich gleiche Arme, welche in gröfserer Tiefe zuweilen in noch mehrere Aeste auslaufen.

Sobald die Kenntnifs dieser interessanten Fossilien allgemeiner verbreitet wurde, fand man, dafs sie schon früher gekannt, aber nicht für dasjenige gehalten waren, was sie wirklich sind. Obschon die Alten sie gekannt haben, und dieses Erzeugnifs dasjenige war, was sie mit einer Umzeunung an den vom Blitze getroffenen Orten umgaben, wie Böttiger[3] meint, bleibt allerdings fraglich; gewifs aber ist, dafs sie schon im Anfange des achtzehnten Jahrhunderts in Schlesien gefunden, und als naturhistorische Merkwürdigkeit

1 G. LV. 121. Vergl. LXXI. 301.
2 G. LXXII. 111.
3 Dresdner Abendzeitung 1822. Octbr. Daraus bei G. LXXII. 517.

aufbewahrt und beschrieben sind[1]. Ein Exemplar, in jener Zeit dort gefunden, und *fossile arborescens* von Hermann genannt, wurde im Dresdener Cabinette unter dem Namen *osteocolla maslensis vitrificata* aufbewahrt[2].

Aufser auf der Senner Heide hat man sie später noch in vielen sandigen Gegenden gefunden, namentlich in *Pillau* bei Königsberg[3] auf der *Nietleber* Heide unweit Halle[4], am Regenstein bei *Blankenburg*[5], in der Nähe von *Dresden*[6], am Rheine in der *Bantelge* im ehemaligen Bisthum Münster[7], bei *Zankendorf* unweit Malaczka in Ungarn[8], zu *Drigg* in Cumberland, woselbst unter mehreren andern eine lothrecht herabgehende Blitzröhre bis 29 engl. Fufs Tiefe verfolgt wurde. Hier stiefs sie auf einen Kiesel von Hornsteinporphyr, mit welchem sie zusammengeschmolzen war, dann unter einer Neigung von 45° gegen den Horizont längs demselben hinlief, wieder lothrecht herabging, sehr rissig war und an Weite immer mehr, zuletzt bis 0,5 Z. abnahm, aber nicht bis ans Ende verfolgt werden konnte[9]. Auch in *Brasilien* hat man sie gefunden, darin jedoch abweichend, dafs sie nicht hohle Röhren, sondern unregelmäfsig und tief gefurchte kantige Stücke darstellen, und die Sandkörner viel stärker verglaset und zusammengeschmolzen sind, so dafs der Bruch zusammenhängend und glasartig erscheint. Sie kommen dem Hyalith an Farbe und Durchscheinigkeit nahe, die vorstehenden Ecken der Körnchen sehen wie abgeschmolzen aus, und die Stücke haben, wenn man sie fallen läfst, einen glasartigen Klang. Ihr Erzeugungsort ist in den Sand-

---

1 Maslographia oder Beschreibung der schlesischen Massel im Fürstenthum Oels mit seinen Schauwürdigkeiten u. s. w. von D. Hermann. Brieg 1711. Aus G. LXI. 253.

2 Rivinus Diss. sitsens tentamina circa terras medicales. Lips. 1723. Aus G. LXXI. 339.

3 G. LV. 138.

4 Ebend. 140.

5 G. LXI. 245.

6 G. LXVIII. 209. LXXI. 301.

7 G. LXI. 257.

8 G. LXXIV. 214.

9 Irton Greenough und Buckland in Transact. of the Geological Society. II. 528. daraus in G. LXXIV. 218.

ebenen von *Bahia*, und es ist möglich, dafs ihre abweichende Beschaffenheit als Folge der stärkeren Blitzschläge jener Gegenden angesehen werden kann[1]. Dafs sie sich auch sonst noch an vielen Orten finden müssen, ist der Natur der Sache nach nicht zu bezweifeln.

Obgleich man gleich anfangs diese merkwürdigen Producte für Erzeugnisse des Blitzes zu halten geneigt war, so gab es doch auch andere, welche diesem furchtbaren Elemente eine solche Kraft beizumessen Bedenken trugen, und sie lieber für zusammengekittete Gehäuse von Würmern halten wollten[2]. Brückmann meinte, dafs eine Beimischung von Kalk die Schmelzbarkeit des Sandes erleichtere, und die röhrenförmige Gestalt vielleicht durch Pflanzenwurzeln entstehe, um welche der Sand gelagert sey[3]. Fiedler, dessen anhaltenden Bemühungen dieser Gegenstand bei weitem die meiste Aufklärung verdankt, prüfte die verschiedenen Hypothesen, und entschied unbedingt für die angegebene Art ihrer Bildung, indem man nicht anstehen darf, dem Blitze diese Kraft beizumessen, die er auch durch Schmelzungen ähnlicher Art beurkundet[4]. In Uebereinstimmung mit Gilbert[5] ist er der Meinung, dafs der trockne Sand, als Nichtleiter der Elektricität, vom Blitze geschmolzen werde, welcher durch die Schnelligkeit seiner Bewegung die Quarzkörner auseinander treibt, und hierdurch die röhrenförmige Beschaffenheit bedingt, beim tieferen Eindringen in den besser leitenden feuchten Sand aber allmälig schwächer wird, weswegen die Röhren zunehmend enger werden, bis der Blitz seine Kraft gänzlich in dem tiefer liegenden sehr feuchten Boden verliert. Mit Grunde glaubte Fiedler daher auch den Ursprung der Blitzröhren nicht in die vorgeschichtliche Periode verweisen zu dürfen, obwohl einige in früheren Zeiten erzeugt seyn mögen. Im Allgemeinen aber können sie jederzeit durch einen hinlänglich starken Blitzstrahl gebildet wer-

---

1 G. LXI. 259.
2 v. Hoff bei Voigt Mag. XI. 368.
3 Voigt Mag. XI. 66.
4 G. LV. 152.
5 Ebend. 161.

den[1]. Clarke nahm gegen diese Hypothese ein Argument aus dem Verhalten der zu Drigg gefundenen Röhren im Knallgasgebläse her, indem sie in demselben auf gleiche Weise als Hyalith und Perlsinter zu einem Kügelchen reinen Glases mit kleinen Bläschen schmelzen, und also einen gleichen Ursprung als diese Mineralien haben müfsten. Hiergegen bemerkt indefs Gilbert mit Recht, dafs die anhaltende ungeheure Hitze des Gasgebläses etwas ganz anderes sey, als die plötzlich vorübergehende Erglühung durch den Blitz, dafs die Umgebung des vielen Sandes einen bedeutenden Unterschied mache, und an der innerer Fläche der Röhren sich vollkommene Schmelzung und selbst auch eine nicht geringe Menge ganz kleiner Bläschen finde[2].

Immerhin fehlte aber noch der eigentlich *historische* Beweis für diesen ihren Ursprung, und man weifs, was dieses bei jeder physikalischen Behauptung bedeutet. Indefs kann man gegenwärtig auch diesen als vollständig gegeben betrachten. Schon dasjenige, was Whitering[3] von einem Wetterstrahle erzählt, welcher zu Packington in einen Eichbaum schlug, und einen darunter stehenden Mann tödtete, spricht sehr dafür. Der Blitz war nämlich an dem Stocke des Erschlagenen herabgefahren, und hatte in der Erde ein 2,5 Z. breites und 5 Z. tiefes Loch gemacht. Als man später nachgrub, fand man 12 Z. unter der Oberfläche drei Stücke geschmolzenen reinen Quarzsandes bis 18 Z. unter die Oberfläche herabgehend, wovon zwei röhrenförmig und inwendig völlig verglaset, ja sogar bis zum Herabfliefsen eines theils der Masse geschmolzen waren, also kleinere oder weniger vollkommene Blitzröhren. Minder verbürgt sind die Nachrichten, dafs ein Apotheker in der Osnabrückschen Colonie Friedrichsdorf an einem Orte, wo zwei Menschen erschlagen waren, röhrenförmige Zusammenschmelzungen des Sandes, und ein Schäfer in einer Sandgegend nach Holland hin an der Stelle, auf welche er einen Blitz herabfahren sah, eine eigentliche Blitzröhre gefunden haben will[4]. Völlig bewei-

1 G. LXI. 246.
2 G. LXI. 260.
3 Phil. Trans. LXXX. P. II. p. 293.
4 Fiedler bei G. LV. 156.

send dagegen ist eine kleine, 3 Lin. im Durchmesser haltende Blitzröhre, welche C. H. Pfaff von der Schleswigschen Insel Amrum erhielt. Einige Matrosen sahen hier den Blitz in den Sand einschlagen, gruben sogleich nach, und fanden wirklich dieses Erzeugnifs desselben[1]. Eben so grub auch Hagen bei dem Dorfe Rauschen an der Samländischen Ostseeküste den beiden noch offenen Löchern nach, in welche der Blitz einige Tage vorher neben einer Birke herab eingeschlagen, und zugleich einen Wacholderstrauch in Flammen gesetzt hatte. In dem einen derselben fand sich wirklich einen Fufs tief unter der Oberfläche die zwar dünne, aber sehr kenntliche Blitzröhre, welche aber nur die Länge eines Fufses herabging, und dann auf Lehmboden stiefs, auf welchem noch einige Quarzkörner festgeschmolzen waren[2].

Man hat noch einige ähnliche Gebilde, welche der Blitz durch Verglasung erdiger Mineralien erzeugt hat, allein man kann diese nicht zu den eigentlichen Blitzröhren rechnen. Solche unzweifelhafte Verglasungen durch den Blitz haben unter andern v. Saussure am Hornblendschiefer auf dem Montblanc, Ramond am Glimmerschiefer des Pic du Midi, am Stinkkalke des Mont-Perdü und am Klingsteinporphyr des Roche Sanadoire im Departement des Püy de Dome, v. Humboldt endlich von vorzüglicher Schönheit am röthlichen Trachyt-Porphyr des Nevado de Toluca in einer Höhe von 14226 F. über der Meeresfläche gefunden[3]. *M.*

Blut.

Sanguis, sang; *blood;* ist die in den Thieren aus der Nahrung erzeugte, durch ihren ganzen Körper verbreitete und zur Unterhaltung der Verrichtungen der einzelnen Organe, so wie zur Ersetzung ihres Verlustes und ihrer Vergröfserung dienende Flüssigkeit. Sie ist bei den vier höheren Thierklassen roth, bei den niederen weifs. Hier nur einiges vom Blut der Säugethiere, dem das der Vögel, Amphibien und Fische der Hauptsache nach sehr ähnlich ist. Das im lebenden Säugethiere enthaltene Blut besteht aus einer

1 G. LXXII. 111.
2 G. LXXIV. 325.
3 G. LXXI. 340. LXI. 261 u. 315.

Flüssigkeit und aus darin schwimmenden Kügelchen, deren Durchmesser beim Menschen $\frac{1}{200}$ bis $\frac{1}{240}$ Millimètre beträgt. Diese Kügelchen bestehen nach neueren Untersuchungen aus einem farblosen durchsichtigen Kern und einer rothen Hülle. Tritt das Blut aus dem Thiere oder stirbt dieses, so folgen diese Kügelchen (wahrscheinlich weil ihre Lebenskraft aufhört) den Anziehungsgesetzen der todten Natur; vermöge der Cohäsion tritt der den Kern der einzelnen Kügelchen bildenten Faserstoff in eine gemeinschaftliche Verbindung und bildet, wenn das Blut nicht geschüttelt wird, eine geronnene, netzartige Masse, in deren Zwischenräumen sowohl die rothen Hüllen als auch die Flüssigkeit enthalten sind. Dieses ist die Gerinnung des Blutes, welche bei jeder Temperatur und auch bei abgehaltener Luft erfolgt, und mit keiner Wärmeentwickelung verbunden ist. Aus der geronnenen Masse sondert sich allmählig ein Theil der eingeschlossen gewesenen Flüssigkeit als *Blutwasser* oder *Serum* ab, während die übrige Masse, aus allem Faserstoff und rothem Stoff und einem Theile des Blutwassers bestehend, den *Blutkuchen* oder die *Placenta* darstellt. Durch längeres Auswaschen mit kaltem Wasser kann man dem Blutkuchen letztere zwei Stoffe entziehen, welche sich darin lösen, und der Faserstoff bleibt rein zurück. Wird das Blut während des Gerinnens geschlagen, so löst sich die rothe Hülle vollständiger vom Faserstoff. Dieser begiebt sich ohne soviel Farbstoff und Serum einzuschliefsen, zu rothweissen Fasern zusammen, welche sich durch Auswaschen leichter reinigen lassen. Dem zufolge besteht das Blut 1. aus *Faserstoff*, einer dem geronnenen Eiweifsstoffe sehr ähnlichen Materie, welche den innern Theil der Blutkügelchen bildet, 2. aus dem *färbenden Princip, Blutroth, Cruor*, welcher die Hülle der Blutkügelchen bildet und sehr reich an Eisen ist und 3. aus *Blutwasser* oder *Serum*, einer Auflösung von Eiweifsstoff, Osmazom, speichelstoffartiger Materie, und verschiedenen Salzen in Wasser, welchen oft etwas Fett beigemischt ist. Das Serum gesteht beim Erhitzen vermöge seines Eiweifsstoffes zu einer dem geronnenen Eiweifs ähnlichen Masse, aus der ein wenig wässrige Flüssigkeit, die *serositas*, ausschwitzt. *G.*

Boron.

Boracium; Boron, Bore; *Boron.* Dieser unzerlegte Stoff findet sich blofs in Verbindung mit Sauerstoff als Boraxsäure und wird aus dieser, nachdem sie durch Glühen entwässert ist, durch Erhitzen mit Kalium und nachheriges Auswaschen des sich dabei bildenden boraxsauren Kalis erhalten. Es stellt ein braunes, geruch- und geschmackloses, in der Weifsglühhitze weder schmelzendes, noch verdampfendes Pulver dar, welches specifisch schwerer ist, als Vitriolöl, und die Elektricität nicht leitet. Folgendes sind seine wichtigsten Verbindungen: *Boraxsäure* oder *Sedativsalz* (22 Boron auf 48 Sauerstoff). Das Boron verbrennt noch unter der Glühhitze in der Luft mit lebhafter Feuerentwickelung zu Boraxsäure; auch entzieht es vielen Sauerstoffverbindungen, besonders beim Erhitzen, ihren Sauerstoff, um damit Boraxsäure zu bilden. Die Boraxsäure kommt in einigen Seen, theils im freien Zustande, theils mit Natron verbunden, als *Tinkal* vor. Aus letzterem scheidet man sie durch Schwefelsäure. Im wasserfreien Zustande stellt sie ein hartes, farbloses, in der Glühhitze in zähen Flufs gerathendes, nicht verdampfbares Glas dar; aus ihrer wäfsrigen Lösung krystallisirt sie in Verbindung mit Wasser in perlmutterglänzenden, biegsamen Schuppen. Sie schmeckt sehr schwach säuerlich und bitterlich und röthet sehr schwach Lakmus. Die krystallisirte Säure löst sich in 34 Theilen kaltem Wasser. Sie bildet mit den Salzbasen die *boraxsauren Salze*, welche meistens feuerbeständig, und wenig im Wasser löslich sind, und vorzüglich daran erkannt werden, dafs sie, mit Weingeist und etwas Schwefelsäure gemengt, der Weingeistflamme eine grüne Farbe ertheilen, so wie auch Weingeist, welcher reine Boraxsäure aufgelöst enthält, mit grüner Flamme verbrennt.

Das *Fluorboron* (22 Boron auf 112 Fluor) entwickelt sich beim Glühen der wasserfreien Boraxsäure mit Flufsspath als ein farbloses Gas von 2,371 spec. Gew. (das der Luft = 1,0 gesetzt), vom stechenden, erstickenden Geruch, Lackmustinktur stark röthend, Holz und andere organische Stoffe verkohlend. Es wird sehr reichlich von Wasser absorbirt und zerfällt hierbei, indem das Fluor Wasserstoff und das

Boron Sauerstoff aufnimmt, wenigstens zum Theil und in Boraxsäure. An der Luft erzeugt dies Gas äufserst dicke Nebel, indem es sich mit dem Wasserdampf der Luft zu einer ähnlichen sauren Flüssigkeit verdichtet. Das Fluorboron verbindet sich mit den Fluormetallen zu *Fluor-Boronmetallen*, die sich zum Theil in Wasser lösen. Hierbei läfst sich annehmen, dafs das Fluor durch Aufnahme von Wasserstoff aus dem Wasser in Flufssäure, und das Boron und das Metall, durch Aufnahme von Sauerstoff aus dem Wasser in Boraxsäure und Metalloxyd verwandelt wird, und man kann daher diese Verbindungen der Fluor-Boronmetalle mit Wasser ansehen als Verbindungen von flufssaurer Boraxsäure mit flufssaurem Metalloxyd.

Chlorboron (22 Boron auf 216 Chlor). Das erhitzte Boron verbrennt in Chlorgas zu Chlorborongas, welches farblos ist, stechendsauer riecht, an der Luft so dicken Nebel erzeugt, wie das Fluorborongas und vom Wasser reichlich absorbirt wird, dessen Wasserstoff des Chlor in Salzsäure verwandelt, während der Sauerstoff desselben mit dem Boron Boraxsäure erzeugt.

Das *Schwefelboron* wird durch Erhitzen von Boron in Schwefeldampf erzeugt, wobei sich das Boron entzündet und zu weifsem undurchsichtigem Schwefelboron verbrennt. Dieses zersetzt sich in Wasser mit grofser Heftigkeit in Hydrothionsaures Gas und in Boraxsäure. *G.*

Boussole; s. Compafs.

Brandracketen.

Congrevesche Racketen; fusées à la Congreve; *Congreve-Rockets.* So nennt man die furchtbaren Wurfwaffen, welche in der neuesten Kriegsgeschichte viel Aufsehen erregt, und die zerstörenden Wirkungen, worauf sie berechnet sind, nicht selten wirklich angerichtet haben. Da diejenigen Staaten, welche die Art ihrer Verfertigung kennen oder zu kennen vorgeben, ein Geheimnifs daraus machen, so kann hier nur dasjenige mitgetheilt werden, was darüber bekannt geworden ist, ohne dafs die Richtigkeit der Angaben durch etwas anderes, als die zugleich angegebenen Autoritäten verbürgt

wird. Im Allgemeinen sind dieselben ganz eigentliche Raketen, nur in gröfserem Mafsstabe, und nicht sowohl den äufsern Bau derselben und die Art ihres Gebrauches, als vielmehr die eigenthümliche Mischung ihrer Bestandtheile wird als Geheimnifs behandelt. Die Beschaffenheit der gemeinen Racketen darf als bekannt vorausgesetzt werden, auch das Princip, wodurch das Aufsteigen derselben hervorgebracht wird. Die aus dem brennenden Satze derselben erzeugten elastischen Flüssigkeiten üben nämlich nach allen Seiten einen gleich starken Druck aus, und indem dieser nach dem offenen Ende hin frei ist, so mufs er nach der diesem entgegenstehenden Seite mit seiner ganzen Kraft wirken, mithin wie der Rückstofs eines Geschützes die Rackete bewegen [1], und wenn dann die bewegte Rackete durch die Lage ihres Schwerpunctes vermittelst der angebrachten langen und leichten Ruthe stets in der nämlichen Richtung erhalten wird, so mufs sie in dieser so lange sich fortbewegen, als die Entwickelung der expansibelen Flüssigkeiten dauert. Die kleineren Racketen, einige Zolle lang und nicht viel über einen halben Zoll dick, wie man sie zu gewöhnlichen Feuerwerken gebraucht, sind nur als eine Spielerei anzusehen und erreichen meistens nur eine Höhe von 60 bis höchstens 150 Fufs. Zu Signalen verfertigt man indefs gröfsere, von etwa einem Zoll Durchmesser, welche einige hundert Fufs steigen. Robins liefs indefs durch den geübten Feuerwerken da Costa solche Racketen von vorzüglicher Gröfse und sorgfältig bereitet verfertigen, welche die gewöhnlich gebrauchten an Steigkraft bei weitem übertrafen. Sie hatten 1,5 bis 3,5 Zoll Durchmesser, und erreichten nach genauen Messungen die unglaubliche Höhe von 1977 bis 3762 engl. Fufs, indem die Höhe mit ihrer Gröfse zunahm. Indefs gab es auch hierbei ein Maximum, welches durch vermehrte Gröfse nicht überschritten werden konnte, denn die von 3 Z. Durchmesser erreichten die gröfste Höhe [2], und man sieht hieraus, dafs auch hierbei sich das dem Gebrauche der Brandracketen im Wege stehende

1 S. *Hydraulik; Pneumatik.*

2 Böhm's Magazin für Ingenieure und Artilleristen. IV. 290. Robins Tracts. II. 307. Phil. Trans. XLVI. 578.

Hindernifs zeigte, indem die Höhe, und somit auch die Entfernung, bis zu welcher diese verheerenden Maschinen getrieben werden können, sich nicht willkührlich vermehren läfst[1].

Die Brandracketen sind eine Indische Erfindung, und werden jetzt nur nach ihrem bekannten Verbesserer Congreve benannt. Die Indier nämlich gebrauchten sie gegen die Engländer, namentlich Tippo-Saib mit bedeutendem Erfolge bei der Belagerung von *Seringapatam*. Sie bestanden aus einer eisernen Kapsel mit einem langen Bambusrohre, und wogen nie über 2 Pfd. und nie unter 1 Pfd.[2]. Hiervon lernte sie ohne Zweifel William Congreve kennen, und arbeitete eifrig an ihrer Verbesserung. Im September 1805 zeigte er die von ihm verbesserten vor einer Menge von Zuschauern; sie fanden Beifall, Sidney Smith sollte sie sogleich gegen Boulogne gebrauchen, allein die Jahreszeit war zu weit vorgerückt, und es geschah dieses zuerst nach einem abermaligen Versuch durch den Commodore Owen am 14ten Oct. 1806 in Hafen von Boulogne ohne sonderlichen Effect[3]. Ob vielleicht das Vorurtheil derjenigen, welche sie warfen oder werfen liefsen, zu diesem Mifslingen Veranlassung gab, läfst sich nicht wohl bestimmen; höchst wahrscheinlich aber würden sie bald in Vergessenheit gekommen seyn, wenn sie nicht im folgenden Jahre bei dem Bombardement von Kopenhagen ihre furchtbare Wirkung mehr als zu sehr bestätigt hätten[4]. Von dieser Zeit an wurden sie während des ganzen Befreiungskrieges unablässig und mit grofsem Erfolge gebraucht. Verschiedene Nationen versuchten sie nachzumachen, und liefsen durch ihre Artillerieschulen, namentlich in Frankreich, ungeheure

---

1 Nach Hutton Dict. II. 337. nimmt man zu den Racketen von verschiedener Gröfse 4 Pfd. Salpeter, 1 Pfd. Schwefel, 1 Pfd. Kohle, zu den grofsen 4 Pfd. Salpeter, 1 Pfd. Schwefel 1 Pfd. Mehlpulver; zu den mittleren 3 Pfd. Salpeter 2 Pfd. Schwefel 1 Pfd. Mehlpulver 1 Pfd. Kohle.

2 Ch. Dupin Voyages dans la Grande Bretagne cet. depuis 1816 — 1820. 1re Part. sur la force militaire. Vergl. Bibl. univ. XIII. 286.

3 Busch Almanach d. Fortschritte in Wiss. u. s. w. XII. 288.

4 Vergl. Nicholson J. XXVIII. 381.

Summen auf Versuche verwenden, um dieselben so zu verfertigen, dafs sie auf gleich weite Entfernungen, als die englischen getrieben würden, allein es soll nach unvollkommen verbürgten Gerüchten blofs zwei Officieren, Schumacher in Kopenhagen und Augustin in Wien gelungen seyn, diese grofse Wurfweite herauszubringen. An beiden Orten wird, eben wie in England, ein Geheimnifs aus ihrer Bereitung gemacht[1].

Im Allgemeinen giebt es haupsächlich zweierlei Arten Brandracketen, welche blofs an Gröfse verschieden sind, übrigens aber rücksichtlich des Baues und der Bestandtheile muthmafslich vollkommen dieselben. Die *grofsen* werden zu Belagerungen und als schweres Feldgeschütz, die *kleineren* blofs als leichteres Feldgeschütz gebraucht, die anderweitigen Abweichungen, welche die verschiedenen Bestimmungen derselben der Natur der Sache nach erfordern, sind mir nicht hinlänglich bekannt. Es wird daher hier genügen, nur eine Art derselben näher zu beschreiben.

Die sogenannten 32 pfündigen Brandracketen bestehen aus einer blechenen Cartouche, 4,5 F. lang, mit einem ei-
Fig. sernen Kopfe B A C, an der Basis 6,5 Zoll haltend, oben bei A
2 3 1. (zuweilen oder stets?) mit einem starken eisernen Stachel versehen, welcher zur Brandstiftung durch die Dachbedeckungen dringt, und sich in das Holzwerk einsenkt, um die in dem Kopfstücke enthaltenen Brandmittel umherzusprühen. Haben sie nämlich die erforderliche Höhe und Entfernung erreicht, so soll den Erzählungen nach der Kopf durch die Hitze des brennenden Satzes sich von der Cartouche ablösen und herabfallen, und dieses ist es dann eigentlich, was die Zerstörung anrichtet. Die Cartouche verjüngt sich nach unten, und hat bei D nur noch 4,5 Z. Durchmesser. An dieser ist die Ruthe, ein Stück leichten Holzes, lm, angebracht, 18 F. lang, wobei es sehr wichtig ist, dafs diese genau parallel mit der Axe der Cartouche gerichtet, und hinlänglich fest sey. Zu diesem Ende ist sie durch die Ringe i, k gesteckt, und in l festgeschroben.

---

1 Man sagt, sie würden blofs von Personen verfertigt, welche auf die Bewahrung des Geheimnisses beeidigt sind. Diejenigen, welche sie werfen, kennen die Bereitung selbst nicht. Ehe man sie in feindliche Hände kommen läfst, werden sie lieber zerstört.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Beim Gebrauche legt man sie auf eine, nach dem erforderlichen Inclinationswinkel geneigte, Ebene einer Mauer, Bastion oder eines Erdwalles mit Einschnitten, sie aufzunehmen, worauf sie einzeln oder durch Verbindung mit einander gemeinschaftlich in gröfserer, durch die Länge der Lagerstätte bestimmter Zahl vermittelst eines Lanzenstabes an der unteren Oeffnung D angezündet werden, und dann nach Art der Racketen durch den Druck der entwickelten expansibelen Flüssigkeiten fortfliegen. Für den weitesten Wurf ist 55° der geeignetste Elevationswinkel. Hat man keine Mauer oder keinen Wall zum Auflegen, so bedient man sich eines transportabelen hölzernen Pultes, welchem an einer Seite durch Erheben oder Niederdrücken eine verschiedene Neigung mit dem Horizonte gegeben wird. Ein Artilleriewagen fährt 2 Gestelle und 100 Racketen von 32 Pfd., das Gestell kann in weniger als 5 Min. hergestellt seyn, erfordert 4 Mann Bedienung, und fafst zugleich 2 Racketen, welche in 2,5 Min. aufgelegt und abgefeuert werden können. Die Lagerstätte mufs nach jedem Schusse wegen etwa zurückgebliebener brennender Theile mit einem nassen Schwamme abgewischt werden, ehe eine neue aufgelegt wird, und das Abfeuern geschieht aus einiger Ferne, des starken Rauches wegen.

Im Felde werden die schweren von Laffeten geschossen. Die 32 pfünd. Haubitz - Racketen tragen eine *Sharpnell-Bombe* von 9 Pfd. bis auf 3000^{m}. Die Laffete ist eine leichte Feldlaffete auf Rädern, und hält 54 Racketen in ihrem Kasten. Die kleineren sind eine Art Kartätschen, tragen bis 2000^{m} und werden von einem kleinen Gestelle geschossen, oder selbst aus der Hand. Das Gestell kann ein Mensch leicht tragen, und eben so trägt ein Mann 3 bis 4 Racketen. Man kann diese endlich mit einer kleinen Unterlage unter den Kopf auf die flache Erde legen, worauf sie mit bedeutendem Effecte ricochettiren.

Ein schwacher Wind afficirt die grofsen Racketen nicht, bei einem starken, welcher nahe genau normal auf ihre Richtung trifft, müssen sie etwas seitwärts gerichtet werden. Fliegen sie mit dem Winde, so macht man den Elevationswinkel 60°, gegen den Wind aber 50°. Bei genauer Lage und

Richtung treffen sie sehr gut. Bei einem Elavationswinkel von 60° bis 45° tragen die 42 pf. Carcassen ein Gewicht von 12 bis 18 Pfd. auf 3500 Yards, die 32 pf. ein Gewicht von 18 pfd. auf 2000, von 8 Pfd. auf 3000 Yards, die 42 pfd. Haubitz-Racketen 12 pfd. Haubitzkugeln auf 3500, die 32 pfd. Haubitz-Racketen 9 pfd. Haubitzkugeln auf 3000 Yards; die 32 pfd. Kartätschracketen 200 Kugeln auf 2500 Yards, die kleineren 100 Kugeln auf 3000 Yards, die 12 pfd. Brandracketen tragen 5 bis 12 Pfd. Pulver zum Explodiren bis 2500 und 3000 Yards; die kleinen 12 pfd. Kartätschracketen tragen 72 Flintenkugeln auf 2000, und 48 Flintenkugeln auf 2500 Yards. Ein grofser Vortheil beim Gebrauche der Brandracketen besteht überdem noch darin, dafs selbst die schwersten ohne Reaction gegen ihre Unterlage geschossen werden, weswegen sie selbst auf den kleinsten Schiffen brauchbar sind. Auch zu Lande erfordern sie weit geringere Transportmittel, können selbst dahin und auf Wegen gebracht werden, worauf keine Artillerie transportabel ist, und haben sich daher auch namentlich in der Völkerschlacht bei Leipzig sehr wirksam bewiesen. Man kann daher nicht behaupten, dafs es von ihrem enthusiastischen Vertheidiger, Congreve, allzu übertrieben war, wenn er dem Kaiser von Rufsland bei dessen Anwesenheit in England ganz ernstlich prophezeihete, dafs im nächsten Kriege gar keine Artillerie mehr, sondern blofs Brandracketen gebraucht werden würden. Endlich empfehlen sie sich auch selbst rücksichtlich der Kosten. Nach den Berechnungen kostet eine Brandrackete von 32 Pfd. nur 1 Lstl. 11 Stl. 0,5 pences[1], statt dafs eine gleich grofse Bombe, wenn sie bis 3000^{m} Weite geworfen werden soll, als bis wohin die Rackete reicht, 1 Lstl. 2 Stl. 7 p. kostet, ohne den Mörser und dessen Bespannung zu rechnen.

Aufser den hier beschriebenen eigentlichen Brandracketen hat Congreve auch Leuchtkugeln erfunden, welche im höchsten Puncte, den die Rackete erreicht hat, sich loslösen, und leuchtend an einem sich bildenden Fallschirm hängen

---

1 1 Lstl. = 20 Stl. = 240 pençes, und beträgt nach 24 Fl. Fufs etwa 12 Fl.

bleiben. Das verbreitete helle Licht dauert mindestens 5 Minuten, und ist hinreichend, um die Bewegungen des Feindes zu beobachten, oder Signale in die Ferne zu ertheilen. Von diesen Leuchtkugeln giebt es noch eine leichtere Art Brandkugeln, welche nach dem Ablösen an ihrem Fallschirme durch einen günstigen Wind bis zur doppelten und dreifachen Weite getragen werden können, als wohin die gewöhnlichen Brandracketen reichen, und sind für Pulvermagazine und Flotten ein furchtbar zerstörendes Mittel, wenn sie hineinfallen. Ihre Gröfse ist wie die der 32 pfd. Carcassen, und sie kosten nur 5 Shlstl. mehr als diese.

Indefs hat Congreve noch stets an ihrer Verbesserung und der Vervielfältigung ihrer Anwendung gearbeitet. Nach einem neueren Berichte[1] wurden am 12. Juni 1821 Versuche in Woolwich angestellt. Zuerst brannten die Leuchtracketen an ihrem Fallschirme 5 Min. mit indischem Weifsfeuer, und leuchteten ausnehmend. Ferner wurde unter einem Winkel von 45° auf 1600 Yards ein Anker von einem Schiffe ans Ufer geworfen, welcher so stark fafste, dafs man das Schiff damit heranwinden konnte. Durch eine weitere Verbesserung der Auflage und des Holzes war man vermögend, sie fast horizontal auf 1200 Yards zu schiefsen, die gröfsten aber trugen unter einem Elevationswinkel von 45° bis 3000 Yards. Man zeigte endlich auch, wie ein einzelner Soldat einer ganzen Cavallerie-Colonne widerstehen könne, indem man mehrere Reihen kleinerer Brandracketen in mäfsigen Zwischenräumen hinter einander, jede Reihe aus mehreren nahe liegenden gebildet, und durch einen gemeinschaftlichen Zünder verbunden, auf der Erde niederlegte. Nachdem die erste Reihe angezündet war, folgte die zweite, und so die folgenden, deren Wirkung für die Cavallerie für unwiderstehlich gehalten wurde.

Neuerdings hat man sie sogar zum Wallfischfang mit dem besten Erfolg angewandt, indem die gröfsten Thiere dieser Gattung nicht blofs sicher damit angegriffen werden können, sondern auch mit gröfster Gewifsheit getroffen und sowohl durch die Gröfse der Wunde, welche das zuweilen ganz

1 Bibl. univ. XVIII. 70.

durchbohrende Geschofs verursacht, als auch durch das fortbrennende Feuer in der Regel augenblicklich getödtet werden[1].

Bei dieser auffallenden und ausnehmend grofsen Bedeutsamkeit der Brandracketen war es natürlich, dafs mehrere Versuche angestellt wurden, sie nachzumachen, und da ihre Wirkung hauptsächlich von der Beschaffenheit des Satzes abhängt, diesen theils durch Versuche zu finden[2], theils alle diejenigen chemisch zerlegen zu lassen, welche zufällig in feindliche Hände geriethen. Man hat auch wirklich mehrere chemisch analysirt, und nahe übereinstimmende Resultate erhalten, jedoch läfst sich nicht verbürgen, ob die hierzu verwandten Exemplare wirklich ächt waren, und in wie weit die Zerlegung für absolut genau anzusehen ist. Unter den mehreren, nahe übereinstimmenden Analysen giebt die von d'Arcet[3] angestellte für den *Satz* folgende Bestandtheile

Unreiner Salpeter	53,4
Kohle	20,2
Schwefel	12,4
Feuchtigkeit	14,0
Zusammen	100,0

Für die *Zündmasse*

Salpeter	53,5
Harz, Talg, Schwefel und Spiefsglanz	46,5
Zusammen	100,0

Die letzteren Bestandtheile sind genauer durch Kirchhof[4] angegeben, nämlich

Harzige Substanzen	20
Salpeter	54
Spiefsglanz	5
Schwefel	18
Verlust	3
Zusammen	100

1 The Currier. 1821. Ann. de Chim. et de Ph. XIX. 89. Ann. of Phil. N. S. II. 467. III. 138.

2 Ein sächsischer Artillerie-Officier sagte mir, dafs nach zahlreichen, in Dresden angestellten, Versuchen die mit dem sogenannten faulen Satze gefüllten Racketen am weitesten, keine aber bis zur erforderlichen Weite getrieben seyen.

3 Ann. des Arts. LV. 52.

4 Mém. de l'Acad. Imp. de Petersbourg. V. 24. Vergl. VI. 57.

Die harzigen Substanzen aber sollen aus etwa 12 Th. Harz und 8 Th. Wachs bestehen. *M.*

Brandung.

Brecher; brisans; *breakers*. So nennt man das Brechen der Meereswellen an Klippen, die entweder ganz oder zum Theil unter Wasser sich befinden, wohl auch im Allgemeinen die Klippen selbst. Auch versteht man darunter jene bedeutende Wallung des Meeres am Ufer, die im franz. durch Ressac, im engl. durch *Surf* bezeichnet wird, und wofür die deutschen Schiffer das Wort *Widersee* brauchen. Sie ist besonders stark an solchen Ufern, welche dem directen Andrang des Meeres offen stehen; geringer da, wo grofse Einbuchten und Krümmungen der Küste die gerade Bewegung des Wassers unterbrechen. Obwohl beim Sturme die Brandung überhaupt stärker ist, als gewöhnlich, so findet dennoch die Brandung der letztern Art gröfstentheils auch ohne diese Erregung statt, und sie bildet besonders zwischen den Wendekreisen ein beständiges Phänomen. Im freien Ocean ist das Meer, selbst wenn kein Lüftchen seine Oberfläche kräuselt, dennoch von den Rückwirkungen vorhergegangener oder benachbarter Stürme angeregt, zwischen den Wendekreisen aber in Folge des ununterbrochenen Wehens der Passatwinde in beständigem Auf- und Niedersteigen, dergestallt, dafs, wenn auch seine Oberfläche spiegelglatt erscheint, doch ein darauf schwimmender Körper, z. B. ein Boot, einem ziemlich erhöht stehenden Beobachter plötzlich hinter einem, sonst nicht bemerkbaren, langen flachen Wasserberg zu versinken scheint. Diese, obwohl langsame, doch nicht unbedeutende Wellenbewegung, die nach allen Seiten sich ausbreitet, wirkt dann auf die dünnern Wasserschichten, die über den Untiefen der sanft ansteigenden Sandküsten und der Klippen liegen, nach dem Verhältnifs der Massen, und ertheilt diesen eine Beschleunigung, die mit der scheinbaren Ruhe des umliegenden Gewässers einen unerwarteten Constrast bildet. Zuweilen ist es eine einzige lange Welle, die sich rasch dem Ufer zuwälzt, zuweilen sind es drei bis vier Reihen hinter einander, die schon in einer bedeutenden Entfernung in der See sich erheben. Ihre

Beschleunigung wächst, je dünner die Wassermasse auf der ansteigenden Sandfläche wird; die Reibung am Boden wirkt ihrem untern Theile entgegen, und so thürmt sich das Ganze zu einer vorwärts überhängenden Woge von unbegreiflicher Höhe auf, die an einigen Orten bis auf 15 und 20 Fuſs gehen soll, und stürzt dann wie ein breiter Wasserfall mit ungeheurem Getöse herab. Da diese Wellenbewegung nicht die Wirkung eines auf die Küste treibenden Windes ist, so prallt die Welle auch meistens mit grofser Gewalt wieder vom Ufer zurück und dieses ist es, was das deutsche Wort *Widersee* ausdrückt. Diese heftige Bewegung des Wassers macht im freien Oceane selbst an flachen, sandigen Ufern das Landen häufig unmöglich, indem die rasch heranrollenden Wellen das Boot, so wie es dem Gestade sich näherte, abwechselnd aufheben, und auf den Boden niederschmettern würden. In dieser Hinsicht ist die Brandung auch ein nicht unwichtiges Hindernifs der nähern Untersuchung neuer Inseln und Küsten, und mancher daselbst anzustellenden nützlichen Forschung, und sie erschwert besonders auch die Beobachtung der Ebbe und Fluth, indem z. B. um den Aequator die Fluthöhe von der zufälligen Schwellung des Wassers übertroffen wird. Auch auf mehreren, von den Europäern bewohnten Plätzen, z. B. in Ostindien, ist diese Schwellung bedeutend, und erfordert eigene starke Boote, die beim Anlanden von den schnell herausspringenden Matrosen sogleich ans höhere Ufer hinaufgezogen werden, ehe die rückkehrende Welle das Fahrzeug ergreift. An Klippen zerschlägt sich das Wasser mit solcher Wuth, dafs es eine, von Weitem, selbst bei Nacht, sichtbare schäumende Masse bildet, die schon manchem Schiff, noch eben zu rechter Zeit, die drohende Gefahr verrieth. Die Brandung verursacht ein eigenes lautes Gebrülle, das von dem gewöhnlichen Rauschen des Wassers und von dem Brausen der Wogen im Sturme durch einen vollern Ton sich unterscheidet, und dem aufmerksamen Schiffer selbst im Nebel und bei Nacht die Nähe verderblicher Klippen verkündet. Hinter den Klippen, mit welchen so viele Inseln der Südsee wie umzäunt sind, ist das Wasser vollkommen ruhig, so dafs schon oft Schiffe, die der Sturm unwiderstehlich auf ein Felsenriff hintrieb, durch

muthvolles Uebersetzen desselben an einer etwas offenern Stelle ihre Rettung fanden.

Im Englischen nennt man auch *Breakwater*, Wasserbrecher, franz. Battre d'eau irgend einen Damm am Eingange eines Hafens, um die Wuth der Wellen zu brechen, und den dahinter liegenden Schiffen Schutz zu gewähren, er mag nun aus Stein oder Holz oder versenkten Schiffen bestehen. Die gröfsten Werke dieser Art sind der Hafenbau zu Cherbourg an der Westküste von Frankreich, und der neue Wehrdamm zu Plymouth an der Südwestspitze Englands[1]. *H.*

Brechbarkeit.

Refrangibilitas; Réfrangibilité; *Refrangibility*. Die Brechbarkeit der Lichtstrahlen ist die Eigenschaft, vermöge welcher sie fähig sind, die Aenderung der Richtung, welche wir Brechung nennen, beim Eintritt in einen andern Körper zu leiden. Hierüber würde aufser dem, was der Art. *Brechung* enthält, nichts weiter zu sagen seyn, wenn nicht die *ungleiche Brechbarkeit* der verschieden farbigen Strahlen eine genaue Betrachtung verdiente.

Beweise für die ungleiche Brechbarkeit der farbigen Strahlen.

1. Dafs wir das Licht, welches in unserm Auge die Empfindung des *Roth* hervorbringt, rothes Licht nennen, also von rothen Lichtstrahlen sprechen dürfen, brauche ich wohl nicht weitläuftig zu erklären. Da wir nämlich bemerken, dafs Körper, die wir in das Roth des prismatischen Farbenbildes bringen, roth erscheinen, so ist es am natürlichsten, sie als von rothem Lichte erleuchtet, zu bezeichnen; eben so sagen wir, von einem grünen Baume gehen grüne Lichtstrahlen aus, weil eine im Dunkeln liegende weifse Wand, wenn sie kein anderes Licht empfängt, als das von einem hell

---

1 Ueber beide Arbeiten findet sich ein sehr ausführlicher Bericht von Barrow in den Supplementen zu der Encyclopedia Britannica Art. *Breakwater*, so wie auch eine interessante Nachricht von Krusenstern über den Bau in Plymouth, in G. LX. 113.

erleuchteten grünen Baume, uns grün erscheint u. s. w. Diese verschiedenen Farbenstrahlen nun würden wir ungleich brechbar nennen müssen, wenn für den einen die Ablenkung von der ursprünglichen Richtung unter sonst ganz gleichen Umständen stärker wäre, als für den andern, oder wenn parallel auf eine Ebene auffallende Strahlen von verschiedener Farbe nach der Brechung nicht mehr parallel wären.

Das Prisma, welches sich überhaupt so bequem zeigt, um die Gröfse der Brechung zu bestimmen, ist zu Endscheidung der Frage über die ungleiche Brechbarkeit ganz vorzüglich brauchbar. Es erhellet nämlich erstlich, dafs ein rother Körper durch das Prisma gesehen, uns weniger von seinem wahren Orte entfernt scheinen mufs, als ein unmittelbar neben ihm liegender blauer Körper, wenn der rothe Lichtstrahl minder brechbar als der blaue ist; es erhellet ferner, dafs wenn man den Weg des einfallenden und gebrochenen Lichtstrahls verfolgt, sich die ungleiche Brechung[1] mufs bestimmen lassen, und wir haben also Mittel genug, die Frage, ob die verschiedenen Farbenstrahlen ungleich brechbar sind, zu prüfen.

2. Newton stellte, um zu zeigen, dafs die von rothen und blauen Körpern ausgehenden Strahlen ungleich brechbar sind, vorzüglich folgende zwei Versuche an. *Erster Versuch.* Man nimmt[2] ein rechtwinklig viereckiges schwarzes Papier, zieht darauf eine, das Ganze halbirende gerade Linie mit dem einen Seitenhaare parallel, und färbt die eine Hälfte mit möglichst reinem *Roth*, die andere mit möglichst reinem *Indigo* blau. Man hält dann das Prisma so, dafs seine Kanten der getheilten Seite des Parallelogramms parallel sind, und betrachtet durch das Prisma jene verschiedenfarbig übermalte Figur, die man auf schwarzen Grund legt. Man sieht dann, wenn der brechende Winkel nach unten gekehrt ist, den blauen Theil der Figur viel weiter hinabgerückt, als den rothen; jenes

1 Vergl. *Brechung*. No. 9.

2 Newtoni optice sive de reflexionibus, refractionibus et coloribus lucis, libri III. Lib. I. Propos. I. Exp. 1.

gefärbte Papier erscheint nämlich nicht mehr als ein einziges Parallelogramm HDIE, sondern so getheilt, wie dgfe es zeigt. Diese Erscheinung kann nach mathematischen Regeln nicht anders als durch eine stärkere Brechung der blauen Strahlen erklärt werden. Denn wenn von zwei neben einander liegenden Puncten ein blauer und ein rother Lichtstrahl auf das Prisma fallen, die ich, als hinter einander liegend beide durch AB andeute, und es kommt der eine auf dem Wege ABFG, der andere auf dem Wege ABHI ins Auge, so erhellet, dafs der letztere stärker als der erstere gebrochen ist, und das Auge wird dann das Rothe und Blaue nicht mehr *neben einander*, sondern das Blau in einer *tiefern* Stellung zu sehen glauben, so wie die Figur es zeigt. Fig. 233.

Dieser Versuch würde gar nichts zu wünschen übrig lassen, wenn unter unsern Färbestoffen sich einer befände, der ein vollkommen reines Blau darstellte, oder der uns ein blaues Parallelogramm lieferte, welches durchs Prisma gesehen von allen Farbenrändern ganz frei wäre; da aber der Versuch desto vollkommener ausfällt, je reineres Blau man nimmt, und da man einen ganz ähnlichen Farbenrand, der bei minder reinem Roth entsteht, fast ganz wegschaffen kann, wenn man recht reines Roth nimmt, so erhellet wohl, dafs wir Recht haben, wenn wir diese Unvollkommenheit dem Mangel eines vollkommen reinen Blau zuschreiben. Dafs wir hierin Recht haben, läfst sich durch folgenden Versuch noch deutlicher machen. Man lege auf jenes blaue Parallelogramm[1] am obern Rande in a ein kleines Stückchen rothes Siegellack (einige abgeschabte Stäubchen), so sieht man diesen rothen Fleck in α auf der verlängerten dh; man lege eben dahin in a ein dunkelgrünes Blättchen, so sieht man es nicht in α, sondern in β u. s. w.; man ist also wohl berechtigt zu sagen, dafs auch die für unser Auge nicht so merklichen rothen Pünctchen, die im Blau eingemischt vorhanden sind, uns in α als rother Rand, die grünen Pünct- Fig. 232.

1 Man kann sich hier und im Vorigen sehr gut der Figur bedienen, die in v. Göthes Farbenlehre Taf. III. auf schwarzem Grunde gezeichnet ist.

chen uns in β als grüner Rand erscheinen müssen; und es scheint mir nicht, dafs wir uns hier vor dem Verdachte, als ob dieses nur eine fingirte Hülfshypothese sey, die wir um die Hypothese von der ungleichen Brechbarkeit zu retten, zu Hülfe nähmen, zu fürchten brauchen.

Ich will noch zwei andere Abänderungen dieses Versuches anführen, die mir sehr überzeugend scheinen. Den ersten habe ich mit den brennend rothen Blumenblättern der lychnis chalcedonica und den ziemlich rein blauen Blättern der convolvulus tricolor angestellt, aus welchen ich Streif-
Fig. chen schnitt und sie (möglichst geebnet) auf schwarzem Grunde
234. so auf einander legte, dafs der blaue Rand a b d c oben vorragte, während bei e f nichts blaues zu sehen war; besieht man diese Streifen durch das Prisma mit nach unten gekehrtem brechenden Winkel, so sieht man, wenn a c nicht über $\frac{1}{3}$ Linie breit ist, oben gar nichts blaues mehr, sondern g h i k ist roth, und hat unten (wenn auch c e nicht über $\frac{1}{2}$ L. ist,) einen blauen Rand. Da nun das Blatt der lychnis so reines Roth ist, dafs man, wenn es allein auf Schwarz liegt, schwerlich eine Spur von blauem Rande entdecken wird, so kann der Rand k i m l nur von dem stärker gebrochenen Blau herrühren. Wäre der rothe Streif breiter, so sähe man das Blau auf dem Roth, wo es dann eine gemischte Farbe dar-
Fig. stellte. Die zweite Abänderung des Versuchs ist folgende:
235. man lege auf das rothe Parallelogramm ein blaues kleines Blättchen so, dafs es rundum von Roth umgeben ist; man betrachte nun die Figur durch das Prisma, so erscheint die Stelle, wo das blaue Blättchen liegt, völlig schwarz, dagegen sieht man weit unterhalb (wenn das rothe Parallelogramm grofs genug und der brechende Winkel nach unten gekehrt ist,) das blaue Blättchen auf dem Roth. Hier nämlich kommen, durchs Prisma gesehen, die rothen Strahlen von a, b, so ins Auge, dafs man sie als aus α, β kommend sieht; aber da das blaue Viereck zwischen a b keine (oder unmerklich wenige) rothe Lichtstrahlen darbietet, so hat der Raum zwischen α β gar keine Farbe, sondern ist schwarz, (es kommt in dieser Richtung gar kein Licht ins Auge), das Blau erscheint dagegen bei γ δ auf dem Roth. — Der Versuch würde noch überzeugender seyn, wenn er mit Roth auf Blau ebenso voll-

kommen glückte, was aber bei der mindern Reinheit des Blau nicht möglich ist. Am besten gelingt er noch, wenn man ein rothes Blättchen c d so auf blauen Grund legt, dafs d in der untern Seitenlinie liegt, dann sieht man durchs Prisma das Roth etwa in $\gamma\delta$, dagegen ist bei $\varepsilon\zeta$ ein fast ganz schwarzer Einschnitt. — Fig. 236.

3. Newtons zweiter Versuch beruht zwar auf der Bestimmung des Ortes, wo bei verschiedener Brechung das Bild eines Gegenstandes entsteht[1], er gehört aber dennoch ganz hieher. Hat man nämlich ein convexes Glas, dessen Querschnitt A B vorstellt, so erhält man von jedem Puncte C ein Bild an der andern Seite des Glases und kann leicht eine Stellung des Glases finden, wobei das Bild völlig deutlich ist. Bricht ein Glas die Lichtstrahlen mehr als ein andres, so liegt bei jenem das Bild D näher, bei diesem das Bild E entfernter, und eben das müfste nun in Beziehung auf ungleichartige Lichtstrahlen erfolgen, wenn dasselbe Glas einige Lichtstrahlen stärker, andere schwächer bräche. Newton stellte daher in C jenes roth und blau gefärbte Papier auf, über welches er hie und da sehr feine schwarze Seidenfäden gezogen hatte, und suchte zuerst den Punct E, wo sich der rothe Theil deutlich, also so, dafs man die schwarzen Fäden genau begrenzt sah, im Bilde darstellte; in dieser Stellung sah er die Fäden auf dem blauen Theile undeutlich, und mufste die weifse Fläche, worauf das Bild aufgefangen wurde, näher heran nach D schieben, damit der blaue Theil mit seinen Fäden deutlich erschiene, wobei aber die Deutlichkeit des rothen Theiles verloren ging. —[2]. Fig. 237.

4. Damit scheint zwar die ungleiche Brechbarkeit der Farbenstrahlen schon erwiesen; aber eine andre Erscheinung, die Entstehung der Farben aus weifsem Lichte, erfordert eine noch nähere Betrachtung, und selbst die Behauptung, dafs die Brechbarkeit ungleich sey, verdient noch eine strengere Prüfung. Wenn man durch eine kleine runde

---

1 Vergl. *Bild* und *Linsengläser*.

2 v. Göthe versichert, dafs dieser Versuch ihm nie das Resultat gegeben habe; es wäre wohl der Mühe werth, die Umstände, worauf dies beruhen mag, zu untersuchen, wozu ich die Mittel nicht besitze.

Oeffnung Sonnenstrahlen in ein dunkles Zimmer fallen läfst, und dem einfallenden Sonnenstrahle eine Ebene senkrecht entgegen stellt, so erhält man auf dieser Ebene ein rundes Sonnenbild, dessen Gröfse sich leicht bestimmen läfst, wenn man sich Linien vom Rande der Sonne durch die Grenzen der Oeffnung bis an jene Ebene gezogen denkt. Auch wenn die Lichtstrahlen gebrochen werden, so müfsten sie, wofern die Brechung bei allen gleich wäre, ein rundes Bild auf einer ihnen entgegengestellten Fläche darbieten, oder wenigstens würde das Bild nur sehr wenig (und es läfst sich leicht berechnen, wie viel,) vom Kreise verschieden seyn. Aber wenn man das durch eine enge Oeffnung einfallende Sonnenlicht mit einem dreiseitigen Prisma auffängt, und dem durchs Prisma gebrochenen Lichte eine Ebene so entgegenstellt, dafs sie senkrecht gegen die jetzige Richtung des Strahles ist, so erhält man nicht mehr ein rundes, sondern ein sehr verlängertes Bild, und dieses Bild zeigt zugleich alle Farben. Dieses längliche Bild hat genau die Breite, welche es nach der eben erwähnten Berechnung bei gleicher Brechung aller Lichtstrahlen haben sollte, und diese Breitendimension ist den Kanten des Prismas parallel; die Länge hingegen, die viel gröfser ist, hängt von einem näher zu untersuchenden Umstande ab.

Da wir uns im Vorigen schon überzeugt haben, dafs ein blauer Lichtstrahl mehr als ein rother gebrochen wird, so werden wir es wohl als gewifs annehmen können, dafs ein Fig. 238. rother und ein blauer Lichtstrahl, die in a b parallel einfielen, nach der Brechung im dreiseitigen Prisma L M N nicht parallel bleiben, sondern der eine nach c d, der andere nach e f fortgehen werde, und dafs folglich das in d auf einer Tafel aufgefangene Roth, von dem in f aufgefangenen Blau viel entfernter liegen wird, als es der Fall war, wenn man die parallelen Strahlen a b ihr Licht auf eine zwischen a, b, senkrecht auf a b gesetzte Tafel werfen liefs. Gerade so aber, wie hier der rothe und blaue Strahl aus einander gebrochen werden, sehen wir die aus dem weifsen Sonnenlichte entstehenden Farbenstrahlen aus einander gebrochen, und auch hier fällt im Farbenbilde das *Roth* an die Stelle, wo es die

geringste Brechung fordert; dann folgen immer stärker gebrochen, *Orange*, *Gelb*, *Grün*, *Blau*, *Violett*, und wir finden uns daher veranlafst zu sagen: jener weifse Sonnenstrahl, der auf das Prisma auffiel, enthält schon alle jene Farbenstrahlen in sich, die erst nach der Brechung wegen ihrer verschiedenen Brechbarkeit von einander getrennt erscheinen. Diese Behauptung spricht nichts weiter aus, als was die Erscheinung selbst darbietet. Wir sehen nämlich die aus dem Prisma ausfallenden Strahlen eben die Wege verfolgen, welche ein *rother*, *orangefarbener*, *gelber*, *grüner*, *blauer*, *violetter* Strahl verfolgen würden, wenn sie einzeln, auf denselben Punct des Prisma's, parallel unter sich, einfielen, und wir sehen daher den weifsen Strahl, den wir als einfallend wahrnehmen, so an, als ob er alle jene in sich enthielte. Und wir sind hierzu auch um so mehr berechtiget, da die aus dem Prisma hervorgehenden Farbenstrahlen, wenn man sie durch ein Linsenglas vereiniget, wieder ein eben solches Sonnenbild geben, wie sie es thäten, wenn man sie vor der Zerlegung in Farbenstrahlen aufgefangen hätte.

Indefs sind hierbei noch mehrere Umstände zu erwägen. Wenn man die Sonnenstrahlen durch eine sehr kleine Oeffnung einfallen läfst, so stellt sich, so lange die Strahlen noch nicht durch das Prisma gebrochen sind, ein rundes Sonnenbild dar; wären die Sonnenstrahlen alle *roth*, so würde auch nach der Brechung im Prisma das Sonnenbild roth und kreisförmig in G A erscheinen; wären alle Sonnen- Fig. strahlen violett, so würde auch nach der Brechung ein rundes 239. Sonnenbild von violetter Farbe in M F erscheinen; statt dieser einzelnen runden Bilder aber sehen wir ein längliches Bild, das an den Seiten mit parallelen Linien, und an beiden Enden mit Halbkreisen begrenzt ist. Dieses längliche Bild entsteht dadurch, dafs zwischen dem äufsersten rothen Kreise A P G R den eine *rothe* Sonne darstellen würde, und dem äufsersten violetten Kreise F T M den eine *violette Sonne* zeigen würde, eine ganze Folge anderer kreisförmiger Sonnenbilder von minder brechbaren Farben liegen, die sich einander bedecken und daher in Puncten, wie R ein aus verschiedenen Farben gemischtes Licht hervorbringen. Man er-

hält daher, wie schon Newton zeigt, ein reineres Farbenbild, wenn man das Sonnenbild weniger breit zu erhalten sucht, damit keine solche Mischung der in m f und der in e l dargestellten, ziemlich weit von einander entfernten Farben statt finde. Um ein solches schmäleres Bild zu erhalten,
Fig. liefs Newton das Sonnenlicht durch ein etwas gröfseres Loch
240. a b einfallen, stellte aber dann den so einfallenden Sonnenstrahlen in ziemlicher Entfernung eine zweite Tafel mit einem ganz kleinen Loche c entgegen; dann war der Durchmesser des bei d e aufgefangenen Bildes nur so grofs als der Winkel a c b es forderte, also kleiner als das vorhin betrachtete Sonnenbild in eben dem Verhältnisse, in welchem a c b
Fig. zum scheinbaren Sonnendurchmesser stand. Und dieser Be-
241. stimmung gemäfs fand sich dann auch die Breite m f des prismatischen Farbenbildes vermindert, während seine Länge, nämlich die Länge seiner Seiten a f, g m dieselbe blieb, wie vorhin. Diese nämlich wird durch den Winkel bestimmt, den die am wenigsten und die am meisten gebrochenen Strahlen mit einander machen und da sie dieselbe bleibt, wenn man dem Prisma und der Tafel, worauf das Farbenbild aufgefangen wird, dieselbe Stellung giebt, so erhellet, dafs die Brechbarkeit der einzelnen Farbenstrahlen bei jenem gröfsern Sonnenbilde und bei diesem kleineren ganz gleich sey.

Schon in diesem Versuche liegt ein Beweis, dafs das längliche Farbenbild eigentlich als ein aus einzelnen farbigen Kreisen zusammengesetztes Bild anzusehen ist, das durch eine ganze Folge ungleich brechbarer Strahlen gebildet wird, unter welchen wir nur die am auffallendsten verschiedenen als die Hauptfarben gebend zu unterscheiden gewohnt sind, wenn gleich dazwischen noch eine Menge von Farben-Abstufungen liegen. Aber noch mehr zeigt diese runden Farbenbilder ein Versuch, den von Münchow angestellt hat, und bei welchem es durch Gläser, die man zwischen das Prisma und das aufgefangene Farbenbild einschob, gelang, einige dieser einzelnen Farbenbilder deutlich zu sehen. Liefs er z. B. das Licht durch drei starke Gläser, eines von violetter, eines von kobaltblauer, eines von okerartiger rothbrauner Farbe gehen, so erhielt er das Farbenbild mit solchen Lücken, dafs die Ränder der zinnoberrothen und gelbgrünen Sonnen-

bilder sich hinreichend deutlich zeigten; fügte er noch ein etwas heller violettes Glas hinzu, so waren alle mittleren Farben aufgehoben und nur eine schöne zinnoberrothe und eine schwach violette Sonnenscheibe blieben sichtbar[1].

5. Diese Betrachtungen sind es, die uns berechtigen, das farbenlose Sonnenlicht, und so auch das von weifsen Gegenständen herkommende Licht als alle Farbenstrahlen enthaltend anzusehen; aber die so hervorgehenden Farbenstrahlen sind nun auch, nachdem sie getrennt sind, ungleich brechbar und jeder von eben der Brechbarkeit, die er bei der Zerlegung des weifsen Lichtes zeigte.

Newton zeigt dieses vorzüglich durch zwei Versuche[2]. Wenn man die aus dem horizontalen Prisma A B C hervorge- Fig. henden Strahlen, von welchen wir schon wissen, dafs sie 2 4 2. in der Richtung über D H hinaus ein Farbenbild darstellen würden, in D H auf einem zweiten verticalen Prisma, dessen Axe mit der verlängerten Richtung des Farbenbildes parallel ist, auffängt, so erhält man statt des Farbenbildes P T, welches nach der verticalen Richtung verlängert war, ein nach geneigter Richtung verlängertes Farbenbild. Diese Stellung des Farbenbildes läfst sich leicht erklären; denn es ist schon bekannt, dafs alle von A B nach P T zu gehenden Strahlen, indem sie auf das zweite Prisma auffallen, nach der Seite gebrochen werden müssen. Wären nun alle diese Strahlen in gleichem Grade brechbar, so würde etwa in π t ein dem vorigen Farbenbilde paralleles Farbenbild entstehen; das aber zeigt sich nicht, sondern die *violetten* Strahlen geben in p ein weiter von P entferntes Bild und sind also stärker gebrochen, die *rothen* Strahlen geben in t ein weniger von T entferntes Bild, und sind also weniger als alle übrigen gebrochen; die zwischenliegenden Strahlen zeigen eine mittlere Brechbarkeit.

Eben diese ungleiche Brechbarkeit zeigt ein zweiter Versuch[3]. Man stelle einem, durch eine nicht allzu kleine Oeffnung einfallenden, Lichtstrahle das Prisma A B C entgegen, Fig. so wird sich auf der Tafel D E, oder wenn die Oeffnung G 2 4 3.

1 Astron. Zeitschrift von v. Lindenau und v. Bohnenberger. II. 455.
2 Optice. Lib. I. Propos. 2. Exper. 5.
3 Optice. Lib. I. Prop. 2. Exp. 6.

grofs genug ist, auch auf der Tafel d e das verlängerte Farbenbild darstellen. Sind aber in beiden Tafeln nur so kleine Oeffnungen, dafs sie von einer einzigen Farbe des Farbenbildes ganz bedeckt werden, oder nur ein einfarbiger Strahl durch sie hindurch gelassen wird; dann wird man durch eine allmälige Drehung des Prisma's bewirken können, dafs bald der *rothe*, bald der *gelbe*, bald der *blaue* Strahl auf die Oeffnung G falle und sich folglich ein eben so gefärbtes Bild auf der Wand in Z zeige. Fängt man nun diesen einfarbigen Strahl mit einem Prisma a b c auf, so wird der von g kommende Strahl, durch dasselbe abermals gebrochen in M ein farbiges Bild, und zwar nur einfarbig, von eben der bei g durchgelassenen Farbe, darstellen. Aber dieses Bild bleibt nicht an derselben Stelle, wenn man bald den rothen, bald den blauen Strahl durch g einfallen läfst, sondern obgleich die zwei Oeffnungen Sicherheit gewähren, dafs der einfallende Strahl immer auf einerlei Weise auf das Prisma a b c auffällt, so erhält dennoch das Bild für den einfallenden *rothen* Strahl die Lage, welche einer geringeren Brechung, das Bild für den einfallenden *blauen* Strahl die Lage, welche einer stärkeren Brechung entspricht; und auch diese getrennten, aus dem Sonnenlichte durch die erste Brechung erhaltenen Farbenstrahlen zeigen also die *ungleiche Brechbarkeit*, die wir vorhin an ihnen bemerkten.

6. Endlich giebt auch die im Artikel Brechung (Nr. 4 und Nr. 24 (3)) erklärte Erscheinung einen Beweis für die *ungleiche Brechbarkeit* der verschiedenen Farbenstrahlen. Es wird wird nämlich der Lichtstrahl, wenn er aus dem Prisma in die Luft hervordringen soll, aber der Sinus des Brechungswinkels für die stärker brechbaren Strahlen gröfser, für die minder brechbaren Strahlen etwas kleiner als 1 ist, nur zum Theil zurückgeworfen und zum Theil durchgelassen.

Man wählt zu diesem Versuche am besten ein dreiseitiges Prisma, dessen zwei Winkel B = C so grofs sind, dafs
Fig. 244. Sin. B. mit der Zahl, welche das Brechungsverhältnifs ausdrückt, multiplicirt, ungefähr = 1 giebt. Läfst man nun den von F herkommenden Lichtstrahl ungefähr senkrecht auf A C auffallen, so kann man durch eine kleine Drehung

des Prisma's die Stellung finden, wobei der ganze Lichtstrahl nicht mehr bei M ausfährt, sondern nach MN zurückgeworfen wird; stellt man aber den Versuch etwas sorgfältiger an, indem man durch *langsame* Drehung des Prisma's nach der Richtung, welche die Ordnung der Buchstaben A,B,C, angiebt, zu der Zurückwerfung zu gelangen sucht, so nimmt man wahr, dafs die *am meisten brechbaren* Strahlen, die violetten und blauen, schon nach N zurückgeworfen werden, wenn die übrigen (die grünen, gelben, rothen), noch bei HG ein Farbenbild, welchem jene zurückgeworfene Farben fehlen, darstellen; man nimmt ferner wahr, dafs bei etwas weiterer Drehung des Prisma's auch die F grünen Farbenstrahlen mit nach N zurückgeworfen werden und dort ein grünlichblaues Bild geben, während dem Farbenbilde HG nun das Grün fehlt; und so kann man fortfahren, bis alle Strahlen nach N zurückgeworfen worden, wo sie dann ein weifses Bild geben, oder einen weifsen Strahl bilden, der auf ein neues Prisma vxy fallend sich wieder aufs neue in Farbenstrahlen zerlegen läfst.

7. Alle diese Versuche zeigen deutlich, dafs die rothen Lichtstrahlen *weniger brechbar* als die blauen sind, oder da man eben die Versuche für die zwischen liegenden Farbenstrahlen anstellen kann, dafs die Farbenstrahlen so in der Ordnung folgen, dafs der rothe am *wenigsten brechbar* ist, und Orange, Gelb, Grün, Blau, Violett, mit immer *stärkerer Brechbarkeit* auf einander folgen. —

Die Frage über die Anzahl der aus dem weifsen Lichte entstehenden Farbenstrahlen, über die verhältnifsmäfsige Ausdehnung derselben im Farbenbilde, über den Ursprung der verschiedenen Eindrücke im Auge u. s. w. gehört nicht hieher und wird in den Artikeln: *Farbenlehre, Farbenbild* u. s. w. vorkommen. Ebenso übergehe ich hier die Erklärung der Erscheinungen, die sich durch das Prisma zeigen, der Entstehung der Farbenränder an der Grenze des Weifs u. s. w.

Geschichte dieser Lehre.

8. Newton hat zuerst diese ungleiche Brechbarkeit der Farbenstrahlen gelehrt, und seine Versuche, von denen ich einige der wichtigsten angeführt habe, geben dem,

der einen rein geometrischen Gegenstand geometrisch aufzufassen weifs, den vollkommensten Beweis für die Newtonsche Behauptung. Diese Lehre hatte sich dem Wesentlichen nach von allen Seiten so bewährt, dafs die Einwürfe, mit denen Newton anfangs zu kämpfen hatte, so gut wie vergessen waren; die achromatischen Fernröhre und Prismen selbst, (obgleich Newton durch die individuelle Art seiner Versuche verleitet, eine solche Aufhebung der Farbenzerstreuung für unmöglich hielt) wurden nach den Regeln, welche aus der ungleichen Brechbarkeit der Lichtstrahlen folgen, berechnet, und die grofse Vervollkommnung unsere optischen Werkzeuge legt ein Zeugnifs ab für die Richtigkeit der Theorie, nach welcher man sie anordnete. Es war daher eine unerwartete Erscheinung, dafs von Göthe, der die Entstehung der Farben anders zu erklären suchte, und in geometrischen Untersuchungen ungeübt war, Newton zu widerlegen suchte [1]. Da mir hier unmöglich zugemuthet werden kann, dafs ich seine Einwürfe einzeln prüfe, so will ich nur an einem einzigen zeigen, wie nöthig es ist, den Gegenstand strenge und geometrisch aufzufassen, ehe man entscheiden kann, ob selbst die dem Anschein nach gründlichsten Einwürfe das Gewicht haben, das man beim ersten Blicke geneigt ist, ihnen beizulegen.

Als einen der wichtigsten Einwürfe führt v. Göthe [2] folgenden Versuch an, welcher, wie er glaubt, *„die Newtonische Theorie von Grund aus zerstört“*, und von dem man gestehen mufs, dafs er allerdings auf den ersten Blick von Gewicht zu seyn scheint. Der Versuch ist folgender: „Man „verschaffte sich ein längliches Blech, das mit den Farben in „der Ordnung des prismatischen Bildes angestrichen ist. „Dieses Blech legten wir in einen viereckten blechernen „Kasten und stellten uns so, dafs es ganz von dem einen „Rande desselben für das Auge zugedeckt war. Wir lies„sen alsdann Wasser hineingiefsen, und die Reihe der sämmt„lichen Farbenbilder stieg gleichmäfsig über den Rand dem

1 Zur Farbenlehre von Göthe.

2 Farbenlehre, 2ter. Th. S. 435.

„Auge entgegen, da doch, wenn sie divers refrangibel wä-
„ren, die einen vorauseilen und die andern zurückbleiben
„müfsten". — Der Schlufs ist ganz richtig, nur fragt sich, wie viel denn dieses Voreilen und Zurückbleiben wohl betragen könne, und ob unser Auge, weil es wenig betragen wird, es zu unterscheiden im Stande sey. Da v. Göthe seinen Versuch nicht mit Angabe der genauen Abmessungen beschreibt, so will ich zuerst eine allgemeine Rechnung führen und diese dann auf einen Fall, der mir ungefähr für einen Versuch passend scheint, anwenden. Es sey E der unter dem Wasser liegende Punct, O das Auge, AB die Wasserfläche: so wird der rothe Strahl etwa so wie ECO, der blaue Strahl etwa so wie EDO zum Auge gelangen, und es ist zu bestimmen, ob der Winkel DOC so grofs ist, dafs man bei dem angeführten Versuche ihn deutlich wahrnehmen kann. Ich nenne AB = a, AE = b, OB = c, wenn nämlich AE, OB senkrecht auf AB sind, und AC = x; das Brechungsverhältnifs sey = n, so ist bekanntlich Fig. 248.

$$n.\ \text{Cos. ECA} = \text{Cos. OCB, oder}$$

$$\frac{nx}{\sqrt{(b^2+x^2)}} = \frac{a-x}{\sqrt{(c^2+(a-x)^2)}},$$

das ist $n^2 c^2 x^2 + n^2 x^2 (a-x)^2 = b^2 (a-x)^2 + x^2 (a-x)^2$

oder $n^2 c^2 x^2 + (n^2-1) x^2 (a-x)^2 = b^2 (a-x)^2$;

$$\text{oder } x^4 - 2ax^3 + \left(a^2 + \frac{n^2}{n^2-1} c^2 - \frac{b^2}{n^2-1}\right) x^2 + \frac{2ab^2}{n^2-1} x - \frac{a^2 b^2}{n^2-1} = 0$$

Hierdurch wird der Punct C bestimmt, wenn man n dem Brechungsverhältnisse für rothe Strahlen gemäfs annimmt, und der Punct D wird bestimmt, wenn man n so annimmt, wie es für blaue Strahlen pafst; jener Werth ist nach Newton $= \frac{108}{81}$, dieser dagegen $\frac{190}{81}$. Um ein Beispiel zu geben, setze ich $a = 1$, $b = 0{,}2$ $c = 0{,}05$; denn um die Brechung grofs zu erhalten, mufs man die Stellung des Auges ziemlich niedrig wählen. Dann ist für die rothen Strahlen die obige Gleichung

$x^4 - 2x^3 + 0{,}9542857 \cdot x^2 + 0{,}1028571 \cdot x - 0{,}0514285 = 0$

und es ist $x = 0{,}22568$; $a - x = 0{,}77432$.
und $BCO = 3°.41'.40''$.

Für die violetten Strahlen dagegen wird die Gleichung

$x^4 - 2x^3 + 0{,}9562520 \cdot x^2 + 0{,}0986624\, x - 0{,}0493312 = 0$,

und giebt $x = 0{,}22109$,
$a - x = 0{,}77891$; $BDO = 3°40'.20''$.

Der äufserste rothe und der äufserste violette Strahl machen also nur einen Winkel von $1\frac{1}{3}$ Min. mit einander; oder um unsern Fall in bekannteren Zahlen darzustellen, wenn AB = 30 Zoll ist, AE = 6 Zoll, und BO = 1,5 Zoll, so müfste der über das Roth hervorgehobene blaue Rand gerade neun Tausendtel eines Zolles betragen, und eine so geringe Vorrückung kann dem blofsen Auge unmöglich bemerkbar seyn.

Diese Rechnung mag genügen, um zu zeigen, wie vieler Vorsicht es bedarf, um, selbst bei dem täuschendsten Anschein, seiner Sache gewifs zu werden. Niemand wird es dem grofsen Göthe verargen, dafs er diesen Versuch nicht rechnend prüfte, sondern geleitet durch andre, zum Theil mit Scharfsinn ausgedachte Ansichten, diese und ähnliche Versuche als genügend, um Newtons Theorie umzustürzen, ansah; man wird freilich die Härte, mit welcher er sich gegen Newton ausläfst, nie ganz entschuldigen können, aber man wird diese Härte doch eher ihm, dem in einer neuen Ansicht Befangenen verzeihen, als dem Haufen der armseligen Nachbeter, die ohne selbst etwas Neues erdacht zu haben, dem grofsen Meister zu gleichen meinen, wenn sie wenigstens die leichte Kunst, den Gegner, den sie nicht verstehen, mit Schmähungen zu verfolgen, ihm abgelernt haben.

Mittel, um die Gröfse der Brechung für die verschiedenen Farbenstrahlen genau zu bestimmen.

9. Aus dem Vorigen erhellet wohl, dafs schon Newton im Stande war, die Gröfse der Brechung für jeden einzel-

ten Farbenstrahl zu finden, denn da sich die Richtung des einfallenden Strahles bestimmen liefs, und aus der Lage jeder einzelnen Farbe im Farbenbilde auch die Richtung des gebrochenen Strahles sich ergab, so war der Werth des Brechungsverhältnisses leicht zu bestimmen. Hiebei blieb indefs, wegen der Unbestimmtheit der Grenzen jeder Farbe, eine Unsicherheit, die bei der Wichtigkeit, welche diese Untersuchung seit der Erfindung der achromatischen Fernröhre erhielt, nicht unberücksichtigt bleiben durfte. Die spätern Bemühungen der Physiker waren vorzüglich darauf gerichtet, aus gegebenen Glasarten Prismen und Linsengläser zusammen zu setzen, die eine Brechung ohne Farbenränder bewirkten; diese Bemühungen übergehe ich hier, da sie besser im Artikel: *Prisma, achromatisches*, dargestellt werden. Dagegen verdienen Frauenhofers schöne Versuche als die vollkommensten, die über die Brechbarkeit der einzelnen Farbenstrahlen angestellt sind, hier noch erzählt zu werden.

Auch Frauenhofers Absicht ging vorzüglich dahin, genauere Resultate für die Farbenzerstreuung der zu Fernröhren brauchbaren Gläser zu erhalten; aber er begnügte sich nicht, die Brechung der äufsersten Farbenstrahlen in verschiedenen Mitteln zu bestimmen, sondern die Brechung *aller* einzelnen Farbenstrahlen. Um diese Farbenstrahlen möglichst rein zu erhalten, wurde an einem Fensterladen ein Prisma A von Flintglas aufgestellt und 13 Fufs davon Fig. in BC sechs Lampen, von welchen durch sehr schmale 246. Oeffnungen das Licht auf das Prisma A fiel. Das so auffallende Licht wird durch das Prisma A in Farbenstrahlen zerlegt und fährt durch die Oeffnung des Fensterladens. Es läfst sich nun wohl einsehen, dafs, indem die von der Lampe C herkommenden Strahlen ihs *rothes* Licht nach E, ihr *violettes* Licht nach D werfen, und indem die von der Lampe B kommenden Strahlen ihr *rothes* Licht nach F, ihr *violettes* Licht nach G werfen, es sich so einrichten läfst, dafs ein entfernt stehendes Prisma H von der Lampe C nur die rothen, von der Lampe B nur die violetten Strahlen erhält, und so von jeder zwischen jenen stehenden Lampe einen andern Farbenstrahl, der immer von demselben Puncte, näm-

lich von der engen Oeffnung im Fensterladen bei A ausgeht. Bei Frauenhofers Versuchen stand das Prisma H um 692 Fufs von A entfernt, und wenn man nun die aus dem Prisma H hervorgehenden Strahlen auf das Objectiv am Fernrohre eines Theodoliten fallen liefs, so stellten sich durch das Fernrohr gesehen, die Spectra der von A herkommenden
Fig. Lichtstrahlen so dar, wie die Zeichnung es angiebt, in wel-
247. cher J violett, K blau, L grün, M gelb, N orange, O roth bedeutet. Die Farben erscheinen also isolirt und die Entfernungen O N, N M u. s. w. sind (bei gleichem brechenden Winkel des Prisma's H) desto gröfser, je mehr dieses Prisma H die Farbe zerstreuet. Diese Entfernungen werden mit einem Mikrometer gemessen, und da sich auch die Richtung der einfallenden Strahlen mit dem Theodolit bestimmen läfst, so erhält man hier die Brechung aller einzelnen Strahlen.

Indefs war auch hier die Frage, welcher genaue Punct des Farbenbildes denn in jedem beobachteten Farbenstrahle eigentlich beobachtet werde, noch nicht ganz strenge zu beantworten, und Frauenhofer fügte daher noch eine Beobachtung hinzu, die sich auf die von ihm zuerst entdeckten Lichtlinien im Farbenspectrum stützt [1]. Er brachte nämlich ge-
Fig. nau vertical oberhalb der bei A gezeichneten Oeffnung noch
246. eine zweite an, vor welcher eine Lampe stand, die ihr volles Licht auf das Prisma H warf, und daher im Fernrohr
Fig. des Theodoliten ein Farbenbild P Q gab, welches alle Far-
247. ben enthielt. In diesem Farbenbilde gab es, wie Frauenhofer entdeckt hatte, allemal an derselben Stelle einen hellen, scharf begrenzten Streifen, der zur genauen Angabe des Ortes, den jeder jener Farbenstrahlen im Farbenbilde einnahm, und zur Prüfung, ob die Stellung der Lampen keine Aenderung gelitten hatte, diente.

Von den Resultaten dieser Versuche will ich hier nur einige anführen, welche den Werth des Brechungsverhältnisses für verschiedene Strahlen für *Flintglas*, *Crownglas* und *Wasser* angeben.

---

1 Vergl. *Licht*.

Brechende Mittel	Exponenten der Brechungs-Verhältnisse für O roth	N orange	M gelb	L grün	K blau	I violett
Flintglas Nr. 13.	1,63074.	1,63505.	1,63933.	1,64349.	1,64775.	1,65203.
Crownglas Nr. 9.	1,52736.	1,52959.	1,53173.	1,53380.	1,53586.	1,53783.
Wasser	1,33209.	1,33359.	1,33501.	1,33635.	1,33765.	1,33888.

Mehrere Zahlenbestimmungen für diese, bei allen Körpern verschiedene ungleiche Brechbarkeit und andere wichtige Resultate mufs man in der Abhandlung [1] selbst nachsehen. Uebrigens findet man die mit diesem Artikel verwandten Gegenstände unten den Artikeln: *Farbenzerstreuung*, *Farbenbild*, *Farbenränder*, *Farbenlehre* u. s. w. abgehandelt. *B.*

Brechung der Lichtstrahlen.

Refractio radiorum lucis. Refraction de la lumière. *Refraction of light.* ἀνάκλασις. Wenn der Lichtstrahl aus einem durchsichtigen Mittel in ein anderes von gröfserer oder geringerer Dichtigkeit übergeht, so verändert er seine Richtung, und diese Aenderung ist es, was man Brechung nennt. Der Lichtstrahl, der beim Fortgange in derselben Materie eine gerade Linie durchlaufen würde, durchläuft jetzt eine gebrochene, das ist, aus zwei geraden Stücken zusammengesetzte Linie, die in dem Puncte, wo sie aus dem einen Medio in das andre übergeht, einen Winkel bildet.

Allgemeine Gesetze der Brechung.

1. Um zuerst die Erscheinungen darzustellen, welche die Brechung darbietet, sey BAN eine auf der Ebene PONFig. senkrechte, undurchsichtige Wand, die von einem in 248. S stehenden leuchtenden Puncte beschienen einen Schatten wirft. Ist hier SC ein von dem leuchtenden Puncte ausgehender und gerade den oberen Rand der Wand treffender Strahl, so wird dieser geradlinig verlängert, die Grenze des auf PON geworfenen Schattens in L angeben, wo die verlängerte SC diese Ebene trifft. Legt man aber nun einen gläsernen Würfel EH ganz nahe an die Wand,

1 G. LVI. 264. Münchener Denkschriften für 1814.

so dafs der Strahl SC jetzt die Oberfläche BEDC des Würfels trifft, so gelangt dieser Lichtstrahl innerhalb des Würfels nicht mehr nach L, sondern nach K, und der Raum LK, der vorhin beschattet war, ist jetzt erleuchtet. Der Lichtstrahl ist in C beim Eintritt in das Glas gebrochen, und hat die veränderte Richtung CK, stat der ursprünglichen Richtung SCL angenommen.

Fig. 249. Ein andres Beispiel der Brechung bietet sich uns dar, wenn unser Auge in O über den Rand C eines Gefäfses wegsieht. So lange das Gefäfs leer ist, sehen wir vom Boden des Gefäfses nur den von B nach E liegenden Theil, und die gerade Linie OB, welche von unserm Auge durch den Rand C des Gefäfses bis an den Boden desselben gezogen ist, bezeichnet den Punct B, wo der durch den Rand verdeckte Theil des Bodens anfängt. Sobald man aber das Gefäfs zum Theil mit Wasser füllt, zum Beispiel bis an GF, werden Puncte jenseits B, bis nach A hin, uns sichtbar, wenn gleich das Auge seine Stelle unverändert behält. Es kommt uns jetzt vor, als hätten alle auf dem Boden des Gefäfses kenntlichen Puncte ihre Lage verändert; denn B, vorhin der unmittelbar am Rande C erscheinende Punct, ist weit vom Rande weggerückt, so dafs nun alle Puncte bis A sichtbar werden. Indefs würde es unpassend seyn, wenn wir von diesem blofsen Scheine den Ausdruck hernehmen und von einer Fortrückung der Puncte A, B, reden wollten, und es ist dagegen, geometrisch richtig ausgedrückt, wenn wir sagen, der Lichtstrahl AH werde, indem er in die Luft eintritt, *gebrochen*, und gelange dadurch in unser Auge. Es ist nämlich bekannt, dafs jeder Punct A nach allen Richtungen Lichtstrahlen aussendet, unter denen AH einer ist. So lange das Gefäfs leer war, ging dieser Lichtstrahl nach T gerade fort und traf das Auge O nicht; aber nachdem das Gefäfs bis an FG mit Wasser gefüllt worden, ändert der Strahl in H seine Richtung, oder wird *gebrochen*, und gelangt nun in der Richtung HO in das Auge.

Fig. 248. 2. Man nennt hier SC den einfallenden Strahl (*radius incidens*, rayon incident, *incident ray*), und CK den gebrochenen Strahl (*radius refractus*; rayon réfracté; *refracted ray*), und ebenso würde

AH der einfallende, HO der gebrochene Strahl heifsen, wenn wir den Strahl als von A ausgehend und nach O hin-gelangend ansehen; aber ebenso gut könnte auch OH der einfallende und HA der gebrochene Strahl heifsen, wenn wir das Licht als von O ausgehend und nach A gelangend betrachten. Der Weg des Lichtstrahls ist im einen und im andern Falle derselbe. Fig. 249.

Die Fläche, welche die beiden verschiedenen Mittel trennt, oder die Fläche, in welcher die Brechung geschieht, Fig. FG, heifst die brechende Fläche (*superficies refringens;* surface d'incidence, surface réfringente; *refracting surface*); die in dem Einfallspuncte H, (*Punctum incidentiae*; point d'incidence; *Point of Incidence*) errichtete senkrechte HI gegen die brechende Fläche, heifst das Einfallsloth (*cathetus incidentiae;* la perpendiculaire à la surface réfringente; *the Perpendicular*). Der Winkel OHI, den der einfallende Strahl mit dem Einfallslothe macht, heifst der Einfallswinkel (auch wohl der Neigungswinkel; *angulus incidentiae;* l'angle d'incidence; *Angle of Incidence*); der Winkel KHA, den der gebrochene Strahl mit dem verlängerten Einfallslothe macht, heifst der Brechungswinkel oder auch der gebrochene Winkel[1] (*angulus refractionis* s. *angulus refractus;* l'angle de refraction;) und man sagt nun Brechungs-Sinus (*sinus refractionis*) statt Sinus des Brechungswinkels, Einfalls-Sinus (*sinus incidentiae*) statt Sinus des Einfallswinkels. Eine Ebene, die durch den einfallenden Strahl und den gebrochenen Strahl gelegt ist, heifst die Brechungsebene (*planum refractionis;* plan de réfraction; *Plane of refraction*).

3. Die Hauptgesetze der gewöhnlichen Brechung[2] sind folgende:

---

1 Diejenigen Schriftsteller, welche diesen Winkel den gebrochenen nennen, wie Wolf, Kästner, verstehen unter Brechungswinkel denjenigen, welchen der gebrochene Strahl mit dem verlängerten macht.

2 Von der ungewöhnlichen wird später erst die Rede seyn, Art. *Brechung, doppelte.*

a. der Strahl bleibt nach der Brechung in derjenigen auf die brechende Fläche senkrechten Ebene, in welcher er sich vor der Brechung befand, oder die Brechungsebene steht auf der brechenden Fläche senkrecht und geht also zugleich durch das Einfallsloth. Wenn die brechende Fläche gekrümmt ist, so mufs man statt ihrer die an den Einfallspunct gelegte Berührungsebene verstehen, das *Einfallsloth* ist dann die Normallinie der krummen Fläche in dem Einfallspuncte, und die *Brechungsebene* eine durch diese Normallinie gelegte Ebene.

b. Obgleich die Brechung sehr verschieden ist, nach Verschiedenheit der brechenden durchsichtigen Körper, so kann man doch im Allgemeinen sagen, dafs beim Uebergange aus einem minder dichten Körper in einen dichteren der Lichtstrahl *gegen das Einfallsloth zu gebrochen wird,* oder der Brechungswinkel kleiner als der Einfallswinkel ist; dafs hingegen bei dem Uebergange aus dem dichteren Körper in den minder dichten, der Strahl *vom Perpendikel oder vom Einfallslothe abwärts gebrochen wird*, also der Brechungswinkel gröfser als der Einfallswinkel ist. Eine vollkommen strenge Uebereinstimmung findet indefs in Hinsicht auf die Dichtigkeit nicht statt, und namentlich werden die Lichtstrahlen beim Eintritt in brennbare durchsichtige Körper stärker gebrochen, als der Dichtigkeit angemessen scheint.

c. Dagegen ist das Gesetz völlig strenge, dafs für *dieselben Körper* die Brechung bei verschiedenen Einfallswinkeln so statt findet, *dafs der Sinus des Einfallswinkels zum Sinus des Brechungswinkels ein unveränderliches Verhältnifs hat.* Also in Fig. 249. Sin. JHT zu Sin. KHA, oder Fig. 248. Sin. SCR zu Sin. HCK ein unveränderliches Verhältnifs bleibt, es mag der Strahl unter einem gröfseren oder kleineren Winkel einfallen.

4. Dieses Verhältnifs zwischen dem Sinus des Einfallswinkels und dem Sinus des Brechungswinkels, welches bei jeder Lage des einfallenden Strahls unverändert bleibt, so lange die beiden Körper dieselben bleiben, die sich in der brechenden Fläche berühren, heifst das Brechungsverhältnifs *(ratio refractionis;* rapport de ré-

fraction.) Kennt man also einmal dieses Verhältnifs für gegebene Materien, so kann man in jedem Falle den Weg des Lichtstrahls leicht bestimmen. Es sey z. B. das Verhältnifs des Sinus des Einfallswinkels zum Sinus des Brechungswinkels wie 3 : 2, wie es ungefähr statt findet, wenn der Lichtstrahl aus Luft in Glas übergeht: so wird, wenn AB die brechende Fläche, SC der einfallende Strahl, DE das Einfallsloth ist, die Richtung CG des gebrochenen Strahles gefunden, wenn man in dem mit willkührlichem Halbmesser gezeichneten Kreise, FH als Sinus des Einfallswinkels zieht, und G so annimmt, dafs $JG = \frac{2}{3} HF$ den Sinus des Brechungswinkels darstelle. Trifft dieser Strahl eine zweite Oberfläche des Glases BK und geht er hier wieder bei C′ aus Glas in Luft über, so erhält man die Richtung des ausfahrenden Strahles C′P, wenn man ebenso wie vorhin, mit Hülfe eines um C′ als Mittelpunct gezeichneten Kreises, den Sinus des Winkels PC′N gleich $\frac{3}{2}$. Sin. MC′G macht. Fig. 250.

Wenn die brechende Fläche gekrümmt ist, würde man auf ähnliche Art verfahren. Genauer findet man diesen Weg des Lichtstrahls durch Rechnung. Nenne ich α den Einfallswinkel, β den Brechungswinkel, so ist Sin. $\beta = \frac{m}{n}$ Sin. α, wenn m : n das Brechungsverhältnifs ist, und es erhellet nun sogleich, dafs für $\alpha = 0$ allemal auch $\beta = 0$ wird, das heifst, dafs der senkrecht einfallende Strahl ungebrochen fortgeht. Geht der Strahl aus Luft in Glas, wo $\frac{m}{n} = \frac{2}{3}$ ist, so wäre

für $\alpha = 30°$, Sin. $\alpha = 0{,}5$; Sin. $\beta = 0{,}3333$, $\beta = 19°.28'$.
— $\alpha = 60°$, Sin. $\alpha = 0{,}8660$; Sin. $\beta = 0{,}5773$, $\beta = 35°.16'$.
— $\alpha = 90°$, Sin. $\alpha = 1{,}000$; Sin. $\beta = 0{,}6667$, $\beta = 41°.49'$.

also selbst ein unmittelbar an der brechenden Fläche fortgehender Strahl, der als mit AC zusammenfallend angesehen werden könnte, nimmt nach der Brechung die Richtung CZ und von allen zwischen DC und CA einfallenden Strahlen gelangt keiner in den Raum BCZ. Diese letztere Betrachtung wird noch merkwürdiger, wenn man den aus dem dich-

Fig. 250. teren Körper hervorkommenden Strahl verfolgt. Stellt ABK eine Glasmasse vor, so wird auch hier, wenn der Strahl aus Glas in Luft geht, der senkrecht auffallende Strahl EC ungebrochen nach CD fortgehen; ein Strahl GC, dessen Einfallswinkel ECG = 20° ist, wird nach CS so gehen, dafs Sin. DCS = $\frac{3}{2}$ Sin. 20° = 0,5130, also DCS = 30°.52′, ist; ein unter dem Winkel ZCE = 41°40′ einfallender Strahl wird nach der Brechung einen Winkel 85°43′ mit CD machen; aber für einen Strahl, der wie UC einen Einfallswinkel = 60° hat, sollte der Sinus des Brechungswinkels = $\frac{3}{2}$ Sin. 60° = 1,732 seyn, und da es einen solchen Sinus, der gröfser als 1 wäre, nicht giebt, so kann es auch keinen ausfallenden Strahl geben, sondern ein vom Innern des Glases her unter einem solchen Winkel auffallender Strahl dringt gar nicht in die Luft hervor; die Erfahrung zeigt vielmehr, dafs er an der Oberfläche AB des Glases nach innen zurückgeworfen wird. Es verdient daher diese Erscheinung besonders bemerkt zu werden, dafs der Strahl, welcher nach dem Brechungsverhältnisse nicht aus dem dichteren Körper in den minder dichten übergehen kann, (welches sich in der Formel dadurch zeigt, dafs der Ausdruck für den Sinus des Brechungswinkels gröfser als 1 wird) *an der brechenden Fläche ebenso, als ob sie eine Spiegelfläche wäre, zurückgeworfen wird.*

5. Ehe ich die Mittel angebe, wie man bei verschiedenen Körpern das Brechungsverhältnifs genau bestimmt, werde ich kurz die Entdeckungsgeschichte der bisher betrachteten Gesetze erzählen.

Obgleich man längst wufste[1], dafs manche durch die Brechung hervorgebrachte Erscheinungen den Alten bekannt waren, und man aus dem, was man hier und da aus des Ptolemaeus Optik angeführt findet, schlofs, dafs dieser Untersuchungen über die Brechung der Lichtstrahlen mittheile; so hat doch erst die Wiederauffindung dieses Werkes uns in den Stand gesetzt, zu beurtheilen, wie weit des Ptolemaeus Kenntnifs dieses Gegenstandes reichte[2]. Es er-

1 Zum Beisp. aus Seneca quaest. natur. I. 3.

2 Nach Delambre, dessen Bericht ich hier folge, führt das aufgefundene Manuscript, welches eine nicht alle fünf Bücher umfassende lateinische Uebersetzung aus dem Arabischen enthält, den Titel: Liber Ptolemaei de opticis, sive de aspectibus. Vergl. G. XL. 374.

Universitäts- und Landesbibliothek Düsseldorf

hellet daraus, dafs Ptolemaeus Versuche angestellt hat, um die Brechung bei dem Uebergange des Strahls aus Wasser in Luft bei verschiedenen Einfallswinkeln genau zu bestimmen. Er stellte einen eingetheilten Kreis vertical so im Wasser auf, dafs die Wasserfläche durch den Mittelpunct ging; im Mittelpuncte war ein Stiftchen befestiget, und auf dem Rande liefsen sich zwei Indices fortschieben. Stellte man nun den unter dem Wasser befindlichen Index zum Beispiel auf 10 Grad von der Verticallinie, so wurde der aufser dem Wasser befindliche Index so gestellt, dafs das Auge beide Indices und das Stiftchen in der Mitte, in gerader Linie zu sehen glaubte, oder dafs der Index oberhalb des Wassers die Richtung des von dem unteren Index gegen den Mittelpunct zu gehenden Strahles *nach* der Brechung angab; und so hatte man die zu gewissen Einfallswinkeln gehörigen Brechungswinkel. Ptolemaeus giebt auf diese Weise die Gröfse der Brechung für verschiedene Winkel an, sowohl für den Uebergang aus Luft in Wasser, als auch aus Luft in Glas und aus Glas in Wasser; indefs sind seine Versuche zu wenig genau, um zu einem Gesetze, wie die Winkel durch einander bestimmt werden, zu führen.

Nach Ptolemaeus ist Alhazen (im zwölften Jahrh.) der erste, der sich mit ähnlichen Versuchen abgegeben hat, und Vitellio theilt eine ähnliche Tafel, wie die eben erwähnte, aus eignen Versuchen mit[1]; da aber seine Versuche, so gut wie die von Ptolemaeus, eine Unsicherheit von mehr als zwei Graden lassen, so konnte er das Gesetz der Brechung unmöglich entdecken.

Kepler hat sich viel mit der genauern Bestimmung der Brechung beschäftigt. Dafs die Brechungswinkel nicht den Einfallswinkeln proportional wären, bemerkte er schon früh, und suchte es theoretisch zu erklären[2]; er nahm an, der Winkel, den der einfallende Strahl mit dem gebrochenen macht, wachse so, dafs ein Theil der Zunahme dem Einfallswinkel proportional, der andre der Secante des Einfallswinkels pro-

1 vergl. G. XL. 386. Alhazen's und Vitellio's optische Schriften stehen in Risners Thesaurus opticae. (Basil. 1572).

2 Kepleri paralipomena ad Vitellionem, seu astronomiae pars optica. Francof. 1604. Cap. 3. Vl. propos. 3. 6. 8.

portional sey. In seiner später geschriebenen Dioptrik[1] giebt er für die Brechung aus Luft in Glas den Brechungswinkel ungefähr (ad sensum) als zwei Drittel des Einfallswinkels an, so lange dieser nicht über 30 Grade ist; er bemerkt aber selbst, dafs dieses nicht genau richtig sey[2], und macht[3] die richtige Bemerkung, dafs kein Strahl mehr aus dem Innern des Glases in die Luft hervordringe, wenn er unter einem Winkel gröfser als 42 Grade gegen das Einfallsloth geneigt ist. Seine Versuche stellte er, zum Theil wenigstens[4], mit dem Würfel so an, wie es hier in Nr. 1. beschrieben ist.

Fig. 248. Da nämlich der aufserhalb des Würfels beobachtete Schatten LH den Einfallswinkel LCH = SCR bestimmt, und der Schatten KH innerhalb des Würfels den Brechungswinkel KCH bestimmt: so ergiebt sich die Gröfse der Brechung für jeden gegebenen Einfallswinkel. Will man nicht die Brechung bei dem Uebergange aus Luft in Glas, sondern aus Luft in einen flüssigen Körper bestimmen, so bedient man sich eines hohlen, mit dieser Materie angefüllten Würfels.

Die Instrumente, deren Scheiner und Kircher sich bedienten, und die Resultate ihrer Beobachtungen giebt Kircher an[5].

6. Endlich entdeckte Willebrord Snellius (der als junger Mann 1626 starb) das richtige Gesetz der Brechung. Sein Werk über die Optik[6] ist nie öffentlich bekannt geworden; aber Huygens und Vossius haben es benutzt[7], und theilen daraus folgenden Satz, als des Snellius Entdek-

Fig. 251. kung mit. Wenn ein Auge in O den in einem dichteren Körper, z. B. im Wasser, befindlichen Punct F in der

---

1 Kepleri Dioptrice August. Vindelic. 1611. axioma 7. 8.

2 Dioptr. im 12ten Satze.

3 Dioptr. 13. propos. u. 9 ax.

4 Dioptr. 4. 5. problemata.

5 Kircheri ars magna lucis et umbrae. Romae 1646, wo das 8te Buch hiervon handelt.

6 Welches nach Vossius de natura lucis (Amstelod. 1662) aus drei Büchern bestand.

7 Hugenii Dioptrica (in d. Operib. posth.) pag. 2. und Vossius de natura lucis im 16. Cap. — Dafs Vossius die Handschrift des Snellius durch dessen Sohn zur Benutzung erhalten habe, steht ausdrücklich dort.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Richtung OCD zu sehen glaubt, so hat, wenn man DF senkrecht gegen die brechende Fläche AB zieht, der wahre Einfallsstrahl CF zu dem scheinbaren Einfallsstrahl CD ein unveränderliches Verhältnifs, so lange die brechende Materie dieselbe bleibt. Snellius drückte dies auch so aus, da für den Radius CG, CF die Cosecante des Einfallswinkels CFG = FCH, und CD die Cosecante des Brechungswinkels CDG darstellt, so sind die Cosecanten des Einfalls- und Brechungswinkels im constanten Verhältnifs. Hätte Snellius bedacht, dafs CD : CF = Sin. CFD : Sin. CDG ist, so hätte er den Satz in der Form ausgedrückt, die Descartes in seiner Dioptrik (1637) ihm gab, und die wir noch als die leichteste Darstellung dieses Gesetzes beizubehalten pflegen. (S. oben Nr. 3.).

Ob Descartes wirklich sich hier eines Plagiats schuldig gemacht hat, indem er den Satz als eine theoretische Folgerung seiner Untersuchungen darstellt, ohne den Erfinder zu nennen, ist zwar ungewifs, aber Huygens hatte wenigstens gehört[1], dafs Descartes die Handschriften des Snellius gesehen habe.

7. Obgleich durch solche Instrumente, wie die, deren Ptolemaeus, Kepler und andre sich bedienten, und die man *anaklastische* Instrumente nannte, die Brechung ziemlich gut bestimmt werden konnte, so ist doch diese Methode für den jetzigen Zustand der Wissenschaft nicht genau genug. Man erhält mehr Genauigkeit, wenn man die Beobachtungen mit dem Prisma anstellt; mufs aber nur vor allem auch darauf Rücksicht nehmen, dafs von einer *bestimmten Gröfse* der Brechung nur dann die Rede seyn kann, wenn man einen Lichtstrahl, der nicht weiter in

1 Huygens sagt Dioptrice pag. 3. von den unedirt gebliebenen optischen Schriften des Snellius, quae et nos vidimus aliquando et Cartesium quoque vidisse *accepimus*; aber Vossius in der Responsio ad objecta Johannis De Bruyn (Hagae Com. 1663) pag. 32. spricht es etwas härter aus: satis liquet, ipsum (Cartesium) nonnihil intellexisse de Snellii methodo ad mensurandas refractiones, utpote quam multi satis norant quamque Hortensius et publice et privatim exposuerat. Cartesius habe more solito den Namen des Snellius verschwiegen, doch aber seine Demonstration vielleicht nicht gekannt. Vergl. Cartesii Dioptrice Cap. II. Nr. VII.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Farben zerlegt werden kann, einfallen läfst. Da nämlich, wie im Artikel: *Brechbarkeit* gezeigt ist, jeder Farbenstrahl eine verschiedene Brechung erleidet, so müssen wir hier einen einfachen Strahl voraussetzen; — soll die Untersuchung über die Stärke der Brechung in einzelnen Materien ganz vollendet werden, so mufs man sie für jeden einzelnen Farbenstrahl insbesondere anstellen.

Mittel, um die Brechung in verschiedenen Materien genau kennen zu lernen.

8. Dafs man durch einen mit dem dreiseitigen Prisma angestellten Versuch, das Verhältnifs zwischen dem Sinus des Einfallswinkels und dem Sinus des Brechungswinkels finden könne, läfst sich leicht zeigen. Es sey ABC der auf die Seitenkanten eines Prisma senkrechte Querschnitt. In der Ebene dieses Schnittes treffe der Lichtstrahl SJ die Oberfläche so dafs $SJB = \varphi$, also der Neigungswinkel $= 90° - \varphi$ sey, dann bleibt (Nr. 3. a) auch der gebrochene Strahl JJ' in eben der Ebene, und wenn $AJJ' = \varphi'$, der Brechungswinkel $= 90° - \varphi'$, heifst, so soll nun $\frac{\text{Cos. } \varphi}{\text{Cos. } \varphi'} = n$ bestimmt werden. Der Winkel JAJ' sey $= \alpha$, also $JJ'C = \alpha + \varphi'$ und beim Hervordringen aus dem Prisma der Neigungswinkel $= 90° - \alpha - \varphi'$, und der Brechungswinkel $90° - AJ'O = 90° - \varphi''$, welcher nun so bestimmt ist, dafs $\frac{\text{Cos. } \varphi''}{\text{Cos.}(\alpha + \varphi')} = n$. Bei dem Versuche bestimmt man nun den Winkel $J'OS = \beta$, und den Winkel $JSO = \gamma$, und hat damit Bestimmungsstücke genug, um n zu finden. Es ist nämlich die Summe der vier Winkel im Viereck $SJJ'O$,

$= \gamma + \varphi + 180° - \varphi' + \varphi' + \alpha + 180° - \varphi'' + \beta = 360°$,

also $\varphi'' = \gamma + \beta + \alpha + \varphi$, und da zugleich

Cos. φ = n. Cos. φ' und

Cos. φ'' = n. Cos. α Cos. φ' + n Sin. α Sin. φ'

seyn soll, das ist

$$\text{Cos. } \varphi'' = \text{Cos. } \alpha \text{ Cos. } \varphi + n \text{ Sin. } \alpha \sqrt{\left(1 - \frac{\text{Cos.}^2 \varphi}{n^2}\right)}$$

Fig. 252.

so wird Cos. $(\gamma+\beta+\alpha+\varphi)$ — Cos. α Cos. φ = — Sin. $\alpha\sqrt{(n^2 - \text{Cos.}^2\,\varphi)}$. Hieraus läfst sich n bestimmen, und wenn man für mehrere Winkel den Versuch anstellt, findet man n constant. Wenn SJ mit SO parallel ist, so hat man $\gamma = 0$, für Lichtstrahlen, die von sehr entfernten Puncten herkommen. Nähme man dagegen $\alpha = 0$ oder einen durchsichtigen Körper mit parallelen Flächen, so würde Sin. $\alpha = 0$ und die Formel würde, ohne n zu bestimmen, fordern, dafs

$$\text{Cos.}\,(\gamma+\beta+\varphi) = \text{Cos.}\,\varphi$$

oder $\gamma+\beta = 0$; $\gamma = -\beta$ sey, das ist, der ausfallende Strahl mit dem einfallenden parallel. Hier ist nämlich Fig. JSO = — SOJ′, weil der letztere an der entgegenge- 253.
setzten Seite von OS liegt.

9. Die Anstellung der Versuche orfordert sehr viel Sorgfalt. Da die von Biot und Cauchoix angestellten Versuche zu den genauesten gehören, die wir haben, so will ich das dabei beobachtete Verfahren nach Biots Beschreibung hier erzählen[1].

a. Der Lichtstrahl mufs so einfallen, dafs er in einer auf die Seitenkanten des Prisma's senkrechten Ebene liege. Man nimmt daher ein Prisma, dessen Grundflächen sehr genau senkrecht gegen die Seitenflächen sind, stellt dieses mit seiner Grundfläche auf eine matt geschliffene Glasplatte, und richtet durch Stellschrauben, worauf die Glasplatte ruht, diese so, dafs ihre Ebene den leuchtenden Punct trifft. Dann wird, wenn dieser Punct ziemlich entfernt ist, ein von dem leuchtenden Puncte auf das Prisma fallender Strahl seinen ganzen Weg in einem auf die Seitenflächen senkrechten Querschnitte vollenden.

b. Um den Einfallswinkel zu bestimmen, stellt man das Fig. Prisma in der Lage auf, die es behalten soll; man läfst 254.
nun den Lichtstrahl SJ auf die Fläche AB des Prisma's ABC fallen, und beobachtet mit einem genauen Winkel-Instrumente den Winkel S′OJ, den der von der Oberfläche des Prisma's zurückgeworfene Strahl JO, mit dem directen Strahle S′O, macht. Ist nun der Gegenstand so

1 Traité III. p. 214.

entfernt, dafs man SJ und S'O als parallel ansehen kann, so hat man sogleich den Einfallswinkel SJN $= \frac{1}{2}$ SJO $= 90° - \frac{1}{2}$ S'OJ; wäre dagegen der Gegenstand nicht so sehr entfernt in S, so müfste man auch OSJ messen oder aus den Seiten des Dreiecks OSJ berechnen, um SJN $= 90° - \frac{1}{2}$ (OSJ + SOJ) zu erhalten. Diese Winkel müssen sehr genau gemessen werden, und man mufs daher die bekannten Vorsichtsregeln, dafs des Winkelmessers Mittelpunct genau in O sey, die Ebene des Kreises mit der Ebene des zu messenden Winkels zusammenfalle u. s. w. sorgfältig beobachten.

Man bedient sich bei diesen Versuchen am besten einer, nach Art der Argandschen Lampen, durch starken Luftzug angefachten Lampe, die aufser dem gewöhnlichen Glas-Cylinder noch mit einem Blechcylinder umgeben ist, in welchem ein kleines Loch das Licht durchläfst und den leuchtenden Punct bestimmt. Die Beobachtung der Refraction mufs dann im Dunkeln geschehen, damit das Licht andrer Gegenstände nicht störend einwirke.

Fig. c. Der Winkel J'OS zwischen dem gebrochnen und dem
252. directen Strahle wird ebenfalls mit aller Sorgfalt gemessen. Brot bediente sich dazu, wie zu der vorhin erwähnten Messung, des Wiederholungskreises.

Da ein Lichtstrahl von weifsem Lichte nach der Brechung in Farbenstrahlen zerlegt wird, so kann man den Werth von n für rothe, gelbe, grüne Strahlen u. s. w. bestimmen, je nachdem man den Punct O im rothen, gelben, grünen Strahle u. s. w. wählt.

10. Die bisher erklärte Methode, um die Stärke der Brechung oder den Werth von n zu bestimmen, ist anwendbar für alle feste durchsichtige Körper, aus denen man Prismen erhalten kann; aber sie ist auch für flüssige Körper brauchbar. Hat man nämlich ein hohles Prisma, dessen Seitenflächen als Glasplatten mit sehr genau parallel geschliffenen Oberflächen bestehen, so bringen diese dünnen Glasplatten keine merkliche Aenderung in der Brechung hervor, und man erhält daher, wenn man das Prisma mit der Flüssigkeit, für welche die Brechung bestimmt werden soll, füllt, eben die Brechung, wie sie

das flüssige Prisma ohne die Glaswände geben würde. Biot giebt[1] ein sinnreiches Mittel an, um der Unannehmlichkeit auszuweichen, die aus dem Zusammenleimen der drei Glasplatten, welche das Prisma bilden sollen, entstehen würde. Man nimmt eine Glasplatte von etwa $\frac{1}{2}$ Zoll dick und 2 Zoll breit, und durchbohrt diese, so dafs eine Oeffnung von 1 Zoll Durchmesser entsteht. Nun läfst man diese Platte zu einem Prisma schleifen, das also ein von der einen Seitenfläche zur andern hinübergehendes Loch hat; man legt an das Prisma zwei Plangläser mit vollkommen parallelen Flächen, um jenes Loch von beiden Seiten zu schliefsen, und kann nun, wenn die Höhlung mit einer Flüssigkeit gefüllt ist, ohne allen Kitt, die Flüssigkeit in der Höhlung erhalten, weil vollkommen gut abgeschliffene Gläser sich so dicht anlegen, dafs keine Flüssigkeit verloren geht. Jene mit Flüssigkeit gefüllte Höhlung bietet ein hinreichend grofses Stück eines flüssigen Prisma's dar, um damit die Versuche anzustellen.

11. Um die Brechung bei verschiedenen Luftarten zu untersuchen, bedarf es einer besondern Sorgfalt, weil die Brechung hier so sehr geringe ist, und die starken Aenderungen, welche die Wärme und der Druck in der Dichtigkeit der Gasarten bewirken, hier nicht unbeachtet bleiben dürfen.

Um zuerst die bei der Brechung zu bestimmenden Winkel möglichst genau, und auch die Ablenkung des Lichtstrahls so grofs als möglich zu erhalten, dienen folgende Ueberlegungen. Es kommt hier sehr darauf an, diejenige Lage des Prisma's und des einfallenden Strahls zu wählen, bei welcher der Winkel $J'OS = \beta$, den der gebrochene Strahl mit dem directen Strahle macht, nicht erheblich geändert wird, wenn auch bei wiederholten Versuchen die Lage des Prisma's nicht ganz genau dieselbe würde, und das geschieht bekanntlich dann, wenn β einen gröfsten oder kleinsten Werth erhält. Jene Lage wird also gefunden, indem man die Formeln (Nr. 8.) differentiirt und $d\beta = 0$ setzt. Wir hatten dort $\beta = \varphi'' - \alpha - \gamma - \varphi$, also damit $d\beta = 0$

[1] Traité III. p. 220.

sey, $d\varphi'' = d\varphi$. Aber die Formeln
Cos. φ = n. Cos. φ' und Cos. φ'' = n. Cos. $(\alpha + \varphi')$
geben $d\varphi = \frac{n.\,d\varphi'.\,\text{Sin.}\,\varphi'}{\text{Sin.}\,\varphi} = \frac{n.\,d\varphi'.\,\text{Sin.}\,(\alpha+\varphi')}{\text{Sin.}\,\varphi''} = d\varphi''$,
also $\frac{\text{Sin.}\,\varphi'}{\text{Sin.}\,\varphi} = \frac{\text{Sin.}\,(\alpha+\varphi')}{\text{Sin.}\,\varphi''}$; und da zugleich
$\frac{1}{n} = \frac{\text{Cos.}\,\varphi'}{\text{Cos.}\,\varphi} = \frac{\text{Cos.}\,(\alpha+\varphi')}{\text{Cos.}\,\varphi''}$ seyn sollte, so mufs
$\varphi' = 180° - \alpha - \varphi'$ und $\varphi = 180° - \varphi''$ seyn, als der bestimmte Werth, den diese Winkel für diesen Fall erhalten. Wir haben also $\varphi' = 90° - \frac{1}{2}\alpha$ oder die hier geforderte Lage des einfallenden Strahls ist die, bei welcher
Fig. der gebrochene Strahl JJ' innerhalb des Prisma's gleiche
252. Winkel mit den Seiten des Prisma's macht.

Um den Winkel β möglichst grofs zu erhalten, während dieser Bedingung Genüge geschieht, mufs man α recht grofs annehmen. Die Brechung nämlich wird desto gröfser, je kleiner φ ist, und folglich je kleiner φ' ist; dieses aber sollte $= 90° - \frac{1}{2}\alpha$ seyn, und α müfste, wenn wir hiernach allein urtheilen wollten, sehr nahe an 180° genommen werden. Das wäre nun freilich, weil dann der einfallende Strahl durch Zurückwerfung zu sehr geschwächt wird, nicht angemessen; aber es erhellet hieraus der Grund, warum man zu den Versuchen mit Luftarten ein ziemlich stumpfwinkliches Prisma nimmt. Borda, Biot und Arago bedienten sich eines Prisma's, dessen brechender Winkel 143° 7' 28" also $\varphi' = 18°\ 26'\ 16''$ war.

Die Versuche von Biot und Arago[1], sind unstreitig die vollkommensten, die man bis jetzt über die Brechung in verschiedenen Gasarten besitzt. Sie bedienten sich, um auf die Veränderungen Rücksicht zu nehmen, die durch Aenderungen in der Dichtigkeit und Erwärmung der Luft entstehen,
Fig. folgender Vorrichtung. Das Prisma a b bestand aus einer
255. cylindrischen Röhre, deren Enden so abgeschliffen waren, dafs die Grundflächen den eben erwähnten Winkel von 143° 7' 28" mit einander bildeten. Diese Grundflächen

1 G. XXV. 353 und Biot Traité III. p. 222.

wurden mit Glasplatten, deren Seiten möglichst sorgfältig parallel waren, luftdicht geschlossen, und so das Luftprisma gebildet. Die Röhre hatte senkrecht auf ihre Axe eine Oeffnung, die mit einem Hahne R geschlossen werden konnte, und dazu diente, um vermittelst der Luftpumpe die Röhre luftleer zu machen, und mit andern Gasarten zu füllen; sie hatte ferner nach der andern Seite eine Oeffnung, die mit einem Recipienten VT, worin sich ein Barometer befand, in Verbindung stand, damit dieser Recipient immer mit Luft von eben der Dichtigkeit, wie die im Prisma, gefüllt wäre, und durch die im Recipienten beobachtete Barometerhöhe auch die Dichtigkeit der Luft im Prisma angegeben würde. Die Wärme ward durch ein die Glasplatten von aufsen berührendes Thermometer bestimmt. Die Beobachtung der Richtung des gebrochenen Strahles ward mit dem Wiederholungskreise angestellt, indem man bei der Entfernung des Objectes S die Lichtstrahlen SO, S'O als parallel ansehen konnte, das Fernrohr des unverrückt erhaltenen Theodoliten erst gegen das freie Object richtete, dann das Prisma dazwischen stellte, und den Abweichungswinkel LOL' auf dem Limbus ablas. Dabei brachte man das Prisma abwechselnd in entgegengesetzte Lagen, so dafs der gebrochene Strahl bei der einen Stellung rechts, bei der andern Stellung links von dem ungebrochenen Strahle lag, und also der kleine Winkel zwischen beiden gebrochenen Strahlen hierdurch schon selbst verdoppelt wurde; die Wiederholung des Versuchs, wobei durch die Messung der Winkel mit dem Wiederholungskreise alle beobachteten Winkel in eine Summe gebracht und die Fehler des Instruments und der einzelnen Beobachtungen unschädlich gemacht wurden, gab nun ein sehr genaues Resultat. Fig. 256.

Da bei diesen Versuchen jeder kleine Umstand berücksichtigt werden mufste, so kam es darauf an, auch zu wissen, ob die Glasplatten, welche das Luftprisma von beiden Seiten bedeckten, wahre Plangläser mit parallelen Flächen wären. Um dies zu untersuchen, ward das Prisma mit der äufsern Luft in freie Verbindung gesetzt, und da dann, wenn die Gläser genau parallele Flächen hatten, gar keine Ablenkung des Strahles erfolgen durfte, so kam die dennoch statt fin-

dende, freilich höchst geringe, Ablenkung auf Rechnung der Gläser und mufste als eine Correction bei den übrigen Versuchen beachtet werden.

Die mit diesem Apparat und mit diesen Vorsichten angestellten Versuche dienten theils um die Brechung in verschiedenen Gasarten, theils um die Brechung in verdünnter Luft und selbst bei dem Uebergange aus Luft in den leeren Raum zu bestimmen. Die Resultate dieser Versuche werden nachher vorkommen.

12. Eine andere Methode, um die Gröfse der Brechung, vorzüglich bei flüssigen Körpern, zu finden, hat Euler[1] angegeben. Nimmt man nämlich zwei Glas-Menisken, ABC, ADC und füllt den Zwischenraum zwischen den Oberflächen AdC, AbC mit verschiedenen Flüssigkeiten, so ändert sich die Brennweite des so zusammengesetzten Linsenglases, wenn man nach einander verschiedene Flüssigkeiten in diesen Raum bringt. Aus dieser veränderten Brennweite läfst sich der Werth von n für diese Flüssigkeiten berechnen, wie sich aus dem, was im Art. *Linsengläser* gesagt ist, vollständig übersehen läfst. Versuche, die auf diese Weise angestellt sind, hat der jüngere Euler bekannt gemacht[2]. Fig. 257.

Diese Methode schien nur brauchbar für Flüssigkeiten, die in ziemlicher Vollkommenheit durchsichtig sind; aber Brewster[3] hat davon Gebrauch gemacht, um selbst die Brechung für Materien zu bestimmen, die man gewöhnlich als undurchsichtig anzusehen pflegt. Er fand nämlich, dafs viele undurchsichtige Materien, z. B. Pech, Kautschuck und andere, durchsichtig werden, wenn man sich eine sehr dünne Schicht derselben verschafft, und dies veranlafste ihn, die Brechung dieser Materien vermittelst einer sehr dünnen planconcaven Linse zu untersuchen.

Wenn man sich ein gewöhnliches, aus zwei convexen Gläsern zusammengesetztes Mikroskop denkt, worin DE die dem Objecte zugekehrte Linse ist, so wird bekanntlich von Fig. 258.

1 Mémoires de Berlin 1756. p. 235.

2 Mém. de Berlin pour 1762 p. 279. Auch Fabroni's Versuche G. VI. 149 gehören hieher.

3 G. L. 28 und Brewsters Treatise on new philos. Instruments p. 247.

dem Objecte AB ein Bild ab hervorgebracht, welches man durch das Augenglas GH betrachtet. Die Stelle dieses Bildes ab wird nicht geändert, wenn man ein Planglas uv mit vollkommen parallelen Flächen hinter dem Objectivglase senkrecht gegen die Axe Aa des Mikroskops einsetzt; aber sobald man den Raum DEvu mit einer Flüssigkeit von anderer Brechungskraft, als die der Luft ist, füllt, mufs sich die Stelle des Bildes ändern. Sobald aber dieses geschieht, wird das durch GH den Gegenstand AB betrachtende Auge diesen nicht mehr deutlich sehen, sondern man wird dem Gegenstande eine mehr vom Objectivglase entfernte Stelle geben müssen, damit er wieder deutlich erscheine, oder damit das Bild wieder in ab, wie vorhin, gebildet werde. Wenn man also die Entfernung genau abmifst, die man dem Gegenstande A von der Vorderseite der Linse DE geben mufs, damit er deutlich gesehen werde, so erhält man auf ganz ähnliche Weise den Werth von n oder das Brechungsverhältnifs, wie vorhin bei dem von Euler vorgeschlagenen Versuche, nur dafs n hier nach den Regeln bestimmt wird, wie es geschieht, wenn die Strahlen nicht von einem unendlich entfernten Puncte kommen. Bei Brewsters Versuchen wurde der Raum DEvu mit einer minder durchsichtigen Materie z. B. Pech, gefüllt, und vermittelst einer Schraube wurde das Planglas so angedrückt, dafs der kleine planconcave Raum zwischen dem Planglase und der Linse dünne genug wurde, um jene Materien als durchsichtig darzustellen. Auch sie machten dann eine eben solche Aenderung in der Stellung des Gegenstandes nöthig, wenn das Bild durch GH deutlich erscheinen sollte, und es läfst sich also die Brechung, welche der Lichtstrahl in jener Materie litt, bestimmen.

13. Da es, selbst um die Brechung fester und durchsichtiger Körper zu bestimmen, doch bei den bisherigen Methoden immer einer sorgfältigen Schleifung und Ausarbeitung eines Prisma's bedurfte (einer theils schwierigen, theils bei kleinern unregelmäfsigen Stücken, und in manchen andern Fällen ganz unausführbaren Arbeit), so dachte Brewster auch hier auf ein leichteres Verfahren. Er überlegte[1], dafs ein durchsichtiger Körper, der wegen une-

1 G. L. 52 und Brewster on philos. Instr. p. 273.

bener Oberfläche die hinter ihm liegenden Gegenstände sehr undeutlich zeigt, als vollkommen durchsichtig erscheinen müsse, wenn man ihn in eine Flüssigkeit taucht, die das Licht genau ebenso als er selbst bricht. Denn dann kann, nachdem alle Unebenheiten der Oberfläche mit dem flüssigen Körper in genaue Berührung gekommen sind, der Lichtstrahl bei dem Uebergange aus dem flüssigen in den festen Körper weder Brechung noch Zurückwerfung leiden, und es müssen folglich (da der Körper in seinem Innern durchsichtig ist,) die hinter ihm liegenden Gegenstände vollkommen deutlich erscheinen. Um die Richtigkeit dieser Ansicht zu untersuchen, warf Brewster ein durchaus unregelmäfsiges Stück Crownglas, das wegen seiner rauhen Oberfläche als undurchsichtig erschien, in Canadischen Balsam, und fand hier, dafs das Glas fast ganz unsichtbar wurde, dafs es nämlich so durchsichtig erschien, dafs er sogar durch dasselbe lesen konnte.

So liefse sich also, wenn man durch Mischung von Flüssigkeiten einen flüssigen Körper hervorbringt, der den unregelmäfsigen festen in einen durchsichtigen verwandelt, die Stärke der Brechung bestimmen, wenn man die des flüssigen kennt. Aber da dieses doch immer nur oberflächlich seyn würde, wenn man nur das bloſse Auge anwendet, so bediente Brewster sich auch hier jenes Mikroskops. Er füllte den Raum DEvu mit einer Flüssigkeit, die er ungefähr als gleiche Brechung mit dem zu untersuchenden festen Körper hervorbringend erkannt hatte, suchte, wie vorhin, die Entfernung des Gegenstandes vom Objectivglase auf, wobei er deutlich erschien; brachte dann ein solches Stück des festen Körpers so, dafs die Lichtstrahlen durch dasselbe gehen mufsten, in den Raum DEvu und beobachtete, ob der Gegenstand noch anders als vorhin gestellt werden mufste, um deutlich gesehen zu werden; war dies der Fall, so ward die Flüssigkeit durch Beimischung einer andern so lange verändert, bis man den Gegenstand bei unveränderter Stellung deutlich sah, sowohl wenn der Raum DEvu mit der Flüssigkeit allein gefüllt war, als wenn sich der feste Körper in ihr befand, und sobald man dies erlangt hatte, liefs sich aus der abgemessenen Entfernung des Gegenstandes vom Objectiv-

glase finden, wie stark die Brechung sowohl in dem flüssigen als in dem festen Körper wäre.

Diese Methode, die Körper ungeachtet der rauhen Oberfläche durchsichtig zu machen, und die Brechung zu bestimmen, gewährt manche praktische Vortheile. Der Optiker, der die Brechung für ein Glas, dessen er sich zu Fernröhren bedienen will, zu wissen verlangt, hat nun nicht erst nöthig, Prismen daraus zu schleifen, um die Brechung kennen zu lernen, sondern braucht sich nur für alle vorkommende Fälle ein Mikroskop auf die angegebene Weise einzurichten. Der Juwelier kann der Unsicherheit, ob ein von aufsen gut aussehender Edelstein nicht vielleicht inwendig rissig ist, ganz ausweichen; denn er braucht ihn nur in Sassafras - Oel oder ein ähnliches zu tauchen, so erkennt er in dem alsdann fast ganz durchsichtig gewordenen Steine alle Risse. Eben das Mittel dient auch, künstliche Pasten von wahren Edelsteinen zu unterscheiden, da sie nicht gleiches Brechungsvermögen besitzen. Eine Mischung von Cassia-Oel und Baum - Oel ist zu diesen Versuchen für eine sehr grofse Menge von Körpern brauchbar, wenn man für jeden das richtige Verhältnifs der Mischung wählt.

14. Endlich mufs ich noch die Methode erwähnen, deren zuerst Wollaston[1] und nachher (mit Berücksichtigung eines Umstandes, den Wollaston übersehen hatte,) Malus sich bedient haben, um die Brechung für völlig undurchsichtige Körper zu bestimmen. Diese Methode beruht auf dem schon oben erwähnten Umstande, (Nr. 4. am Ende), dafs ein aus dem stärker brechenden Körper in einen minder brechenden übergehender Lichtstrahl nur dann wirklich in den letztern übergeht, wenn die Gröfse des Einfallswinkels eine gewisse Gröfse nicht übertrifft, dafs hingegen der Strahl zurückgeworfen wird, wenn der Sinus des Brechungswinkels gröfser als 1 werden müfste.

Es sey A C B ein gläsernes Prisma, dessen Winkel A, B Fig. gleich sind, welches mit seiner unteren Fläche A B irgend 259. einen Körper, der das Licht nicht so stark als Glas bricht, innig berührt. Fällt um ein Lichtstrahl F E aus der Luft

1 G. XXXI. 235. 225.

auf das Prisma, so wird, wenn DJ das Einfallsloth in E, GH das Einfallsloth in G ist, und 1 : n das Brechungsverhältnifs für Luft und Glas angiebt, Sin. JEG = n. Sin. FED; und damit ist auch HGE = B — JEG gegeben. Der Lichtstrahl EG sollte nun, wenn das Brechungsverhältnifs für den Uebergang aus Glas in die unterhalb AB befindliche Masse n : m ist, unter einem Brechungswinkel = φ in diese Masse übergehen, dessen Sinus = Sin. $\varphi = \frac{m}{n}$ Sin. EGH wäre; aber wenn man den Einfallswinkel nach und nach so abändert, bis $\frac{m}{n}$ Sin. EGH gleich oder gröfser als 1 wird, so wird der Lichtstrahl EG zurückgeworfen und ein Auge in O sieht den Gegenstand F in der unteren Fläche des Prisma's abgespiegelt. Bestimmt man also den Werth von Sin. EGH, wobei dies anfängt einzutreten, so ist dann $\frac{m}{n}$ Sin. EGH = 1, und folglich m bestimmt.

Diese Regel findet, mit einer kleinen Abänderung, deren Grund ich erst in der Folge (Nr. 27) erklären kann, auch dann statt, wenn die unter AB befindliche Masse eine undurchsichtige ist, und folglich kann auch für undurchsichtige Körper m auf diese Weise bestimmt werden. Bei diesen nämlich wird so lange $\frac{m}{n}$ Sin. EGH kleiner als 1 bleibt, das Licht verschluckt, hingegen zurückgeworfen, wenn diese Grenze (deren Werth noch um ein Geringes corrigirt werden mufs, Nr. 27) überschritten wird[1].

Läfst sich der undurchsichtige Körper, etwa so wie Wachs, das man flüssig an die Fläche AB brachte und daran erkalten liefs, völlig berührend an die Fläche bringen, so ist die Bestimmung am leichtesten zu erhalten; im entgegengesetzten Falle bringt man zwischen AB und die völlig eben abgeschliffene Fläche des undurchsichtigen Körpers eine Flüssigkeit,

---

1 Biot zweifelt zwar, ob diese Methode ganz genaue Bestimmungen gebe, indefs ist sie doch dem Wesentlichen nach gewifs richtig. Traité. III. 295.

die das Licht stärker als dieser selbst bricht, und auf deren Natur es, wenn sie durch parallele Flächen begrenzt wird, weiter nicht ankömmt.

15. Von dieser Bestimmung der Brechung durch Reflexion machte Wollaston noch einen andern nützlichen Gebrauch, um die Verfälschung mancher Flüssigkeiten zu entdecken. Bringt man nämlich, um ein Beispiel anzuführen, einen Tropfen reines Nelken-Oel, und einen Tropfen desjenigen Nelken-Oels, was im Handel vorkömmt, auf die Fläche AB unsers Prisma's, so fängt die Zurückwerfung des Lichtes nicht bei beiden Tropfen zugleich oder mit demselben Einfallswinkel des Lichtstrahls an, sobald das letztere mit irgend einer andern Flüssigkeit verfälscht ist.

Erklärung einiger durch die Brechung hervorgebrachter Erscheinungen.

16. Folgende Erscheinung schliefst sich an die eben durchgeführten Betrachtungen so nahe an, dafs sie kaum noch einer Erklärung bedarf. Wenn man ein Glasprisma auf eine trockene Fläche legt, so kann man leicht dem Auge eine solche Stellung geben, dafs die untere Seite des Prisma's wie ein Spiegel erscheint, und dafs von dem nichts gesehen wird, was sich auf der Fläche, auf der es liegt, befindet. Bringt man aber einen Tropfen Wasser auf jene untere Seite des Prisma's, so dafs an einer kleinen Stelle dieser Tropfen sowohl das Prisma als die darunter befindliche Fläche benetzt, so sieht man hier die untere Fläche mit allen darauf befindlichen Schriftzügen u. s. w. ganz deutlich, während der trockene Theil als ein Spiegel erscheint und nichts von der unteren Fläche zu sehen erlaubt. Befindet sich nämlich das Auge in O, so wird ein Fig. von d durch die Luft, (welche den Zwischenraum zwi- 259. schen Prisma und Tafel immer füllt, so lange beide trokken sind) auf das Prisma fallender Strahl de, selbst wenn der Winkel Bed sehr klein wird, nach defg gebrochen, weit oberhalb des Auges weggehen, und kein Lichtstrahl von Gegenständen, die unterhalb AB liegen, gelangt zum Auge, so lange diese Lichtstrahlen durch die Luft gehen.

Bringt man aber zwischen d e Wasser, so dringt der von d ausgehende Lichtstrahl beinahe ungebrochen bei h in das Prisma ein, weil die Brechung bei dem Uebergange aus Wasser in Glas nur geringe ist. Der Lichtstrahl gelangt also beinahe in der Richtung d k an die obere Seite des Prisma's und kommt mit geringer Brechung nach O zum Auge, daher alle in der Gegend von d befindlichen Gegenstände, aufgezeichnete Linien u. dgl. durch den Wassertropfen fast so, als ob gar kein brechender Körper dazwischen wäre, gesehen werden.

Fig. 260. 17. Wenn man den horizontalen Boden A C eines mit Wasser gefüllten Gefäfses betrachtet, so erscheint er höher, als die natürliche Stellung verstattet. Da nämlich der senkrechte Strahl A D ungebrochen, andere Strahlen hingegen so wie B E O, C F O, gebrochene zum Auge kommen, so erscheint selbst der nahe bei A liegende Theil A B des Bodens unter einem viel gröfsern Sehewinkel D O E als es ohne den flüssigen Körper der Fall seyn würde; wir versetzen daher ungefähr den Theil A B nach a b, den Theil B C nach b c, so dafs b B, c C senkrecht auf die Grundfläche sind, und defshalb erscheint der Boden des Gefäfses uns als höher liegend und hohl. Indefs ist die Bestimmung, in welche Höhe wir uns den Gegenstand herauf gerückt denken, nicht vollkommen strenge, da unsere Schätzungen der Entfernungen nie ganz genau sind[1]. Wenn wir mit beiden Augen auf den Boden jenes Gefäfses sehen, so erhält die Bestimmung der Entfernung mehr Sicherheit. Es sey O das eine, O′ das andere Auge, so müssen die Augenaxen sich nach O a und O′ a richten, wenn wir mit beiden Augen den Punct A in der Mitte unsers Gesichtsfeldes sehen wollen; dagegen müssen beide Augenaxen sich nach O c, O′ c richten, um C in der Mitte des Gesichtsfeldes zu sehen, und wir versetzen also den Punct C nach c, so wie wir A nach a versetzen; diese Puncte a, c sind dann genau bestimmt. Hierher gehört auch die Erscheinung, dafs ein ins Wasser getauchter gerader Stab uns als gebrochen erscheint. Befindet sich

1 Vergl. *Gesicht.*

nämlich das Auge aufserhalb der durch den Stab gelegten Verticalebene, so sieht es den Endpunct des Stabes, der unter dem Wasser liegt, in der durch ihn gehenden Verticallinie höher hinauf gerückt, also nicht in der Verlängerung derjenigen geraden Linie, die der aufser dem Wasser liegende Theil des Stabes bestimmt.

18. Für Strahlen, die auf eine brechende Ebene parallel auffallen, läfst sich leicht übersehen, dafs sie auch nach der Brechung wieder parallel seyn werden; fallen Strahlen convergirend auf, so wird beim Uebergange in ein dichteres Mittel ihre Convergenz geringer.

Geht ein Lichtstrahl durch einen dichteren, an beiden Seiten von parallelen Ebenen begrenzten Körper, so ist, wenn er bei BE in eben das Medium wieder eindringt, was er in CF verliefs, AB mit CD parallel. Gleichwohl kann ein Gegenstand durch einen solchen, von parallelen Ebenen begrenzten Körper gesehen, vergröfsert erscheinen. Ein Auge in A nämlich sieht den Gegenstand DG unter dem Sehewinkel BAE, welcher gröfser ist, als DAG; also erscheint er gröfser, als wenn der brechende Körper nicht da wäre. Es läfst sich leicht übersehen, dafs diese Vergröfserung nur dann erheblich ist, wenn die Dicke am des durchsichtigen Körpers bedeutend in Vergleichung gegen den ganzen Abstand AM ist. Fig. 261.

19. Die Erscheinungen, welche das Prisma darbietet, werden in dem Art. *Prisma* vollständiger betrachtet werden; hier will ich nur, ohne die Verschiedenheit der Farben zu berücksichtigen, kurz folgendes erwähnen.

Wenn man die Axe des dreiseitigen Prisma's, welches ich als ungefähr gleichseitig annehmen will, horizontal hält, und das Auge auf einen der Gegenstände richtet, die ungefähr in einer durch das Auge senkrecht auf die Axe gelegten Ebene liegen, so bemerkt man erstlich, dafs man bei ungefähr horizontaler Lage der Seite LM des Prisma's sein Auge sehr hoch hinauf richten mufs, nämlich nach DC, um den Gegenstand A zu sehen. Zweitens wenn man das Prisma langsam um seine immer horizontal bleibende Axe dreht, so sieht man den Gegenstand A steigen oder sinken und bemerkt, dafs er bei einer gewissen Stellung so niedrig als Fig. 262.

möglich, oder am wenigsten von seiner wahren Stelle entfernt erscheint; dies ist die Stellung, wobei der Strahl BC ein gleichschenklies Dreieck BEC abschneidet [1]. Richtet man seinen Blick durch das immer noch horizontal gehaltene Prisma auf einen horizontal begrenzten Gegenstand, z. B. auf die horizontalen Begrenzungen der Fensterscheiben, so erscheinen diese nicht als horizontal, sondern als bogenförmig gekrümmt, und zwar an den Seiten *aufwärts* gebogen, wenn die Brechung den Gegenstand hinaufwärts gerückt zeigt oder des Prisma's brechender Winkel nach oben gekehrt ist.

Fig. 263. Dies rührt daher, weil das Auge die Gegenstände, welche in der auf die Axe senkrechten Ebene CAB liegen, weniger gebrochen sieht, als die, welche sich in der durch das Auge O gelegten schiefen Ebene FDE befinden; obgleich nun die Brechung nicht ganz so erfolgt, wie in einem Prisma, dessen senkrechter Querschnitt FDE wäre [2], wo wegen des gröfsern Winkels EDF die Brechung stärker ist, so reicht doch diese oberflächliche Betrachtung hin, um zu zeigen, woher diese Bogenform entsteht.

20. Endlich mag hier noch eine Erscheinung erwähnt werden, die etwas schwieriger scheint; Klügel giebt folgenden Versuch an [3]. Man halte ein Brett, worauf zwei Stecknadeln mit einander parallel befestiget sind, senkrecht in ein Gefäfs mit Wasser, so dafs die obere Nadel das Wasser berührt, darauf bringe man das Auge mit dieser Nadel und der untern in eine Ebne, so wird das Bild der unteren gespalten, oder die untere Nadel doppelt erscheinen. Nach Hällströms Bemerkung findet die Erscheinung nur statt, wenn die obere Nadel nafs ist, und (wie es dann immer der Fall seyn wird, wenn man sie über die Wasserfläche erhebt) eine Erhöhung

Fig. 264. der Wasserfläche neben sich bewirkt. Es sey nun AB der Querschnitt der im Wasser eingetauchten, CD der

---

1 Vergl. oben No. 11.

2 Die Ebene DEF ist nämlich nicht gegen die brechenden Flächen senkrecht.

3 Priestley's Geschichte d. Optik. S. 392, die Erklärung von Hällström G. III. 235. umfafst alle Umstände, statt dafs ich hier nur bei dem einfachsten Theile der Erscheinung stehen bleibe.

Querschnitt der an der Oberfläche befindlichen Nadel, die neben sich die Wasserfläche E F etwa so, wie E C, F D zeigt, erhoben hat, dann wird ein Lichtstrahl G H, der auf diese geneigte und gekrümmte Fläche fällt, vom Perpendikel H J abwärts gebrochen, und gelangt in das Auge O, welches bei geradlinigem Fortgange der Lichtstrahlen die Nadel AB als von C D verdeckt sehen würde. Eben so gelangt der Lichtstrahl K L O in das Auge, und dieses sieht daher die untere Nadel doppelt, an beiden Seiten der oberen [1].

Hypothesen über die Ursache der Brechung.

21. Ich will die Erklärungen, die vor Newton nur sehr unbefriedigende Aufschlüsse über diese Erscheinung gaben, nur kurz erwähnen[2]. Descartes nahm an [3], dafs in den dichteren Körpern die Geschwindigkeit des Lichtes zunähme, aber so, dafs dabei die mit der brechenden Fläche parallele Geschwindigkeit ungeändert bliebe, und leitete daraus den Satz her, dafs die Sinus des Einfallswinkels und des Brechungswinkels ein unveränderliches Verhältnifs für alle Winkel behalten, wenn die brechenden Mittel dieselben sind. Descartes gab aber keinen Grund an, warum jene Zunahme der wahren Geschwindigkeit doch nur mit einer gleich bleibenden Geschwindigkeit nach der Richtung der brechenden Fläche verbunden sey, auch erklärte er sich nicht darüber, wie die Geschwindigkeit des Lichtes, die er als unendlich ansah (es werde in instanti fortgepflanzt), doch noch einer Zunahme fähig sey.

22. Die Hypothese des Descartes hat wohl unstreitig ganz das Ansehen, als ob sie erdacht sey, um das schon bekannte Phänomen zu erklären, und daher fand sie auch, da sie an sich selbst nicht einleuchtend war, wenig Bei-

---

1 Ueber die Brechung in Linsengläsern, die aus Kugelsegmenten gebildet sind. S. *Linsengläser.*

2 Montucla hist. des math. II. 248 bis 259. Priestley's Geschichte der Optik. S. 104. handeln umständlicher hiervon.

3 Dioptrice. Cap. II. Nr. IV.

Universitäts- und Landesbibliothek Düsseldorf

fall. Andre Mathematiker suchten den Weg des Lichtes beim Uebergange in ein andres Mittel aus Principien herzuleiten, die sie auf das so häufig wahr befundene Naturgesetz gründeten, dafs die Natur ihre Zwecke auf dem leichtesten Wege erreiche. Fermat [1] nahm an, das Licht bewege sich schneller im dünnern Mittel und nehme dann den Weg, auf welchem es in der kürzesten Zeit zu seinem Ziele gelange; er fand daraus dasselbe Gesetz, dafs das Verhältnifs der Sinus constant seyn müsse, aber man warf ihm vor, dafs seine Hypothese zwei sich compensirende Fehler enthalte. Leibnitz glaubte auch [2], das Licht gelange von einem Puncte zum andern auf dem leichtesten Wege, diese Leichtigkeit des Weges aber stehe im umgekehrten Verhältnifs der Länge und des Widerstandes; den Widerstand aber nahm er in den dichteren Körpern als geringer an (vermuthlich weil er einsah, dafs das schon als richtig anerkennte Gesetz der Brechung eine vergröfserte Geschwindigkeit in dem dichtern Körper fordere).

Maupertuis [3] wandte sein Princip der kleinsten Wirkung, nämlich die Voraussetzung, dafs das Product aus Masse, Geschwindigkeit und durchlaufenem Wege ein Kleinstes seyn müsse, auch hier an. Da die Masse hier nicht in Betrachtung kommt, so führt er die Frage darauf zurück, wie der Weg des von S ausgehenden Lichtstrahls beschaffen seyn mufs, damit er in der Oberfläche AB gebrochen nach K gelange. Stellt SC den Strahl vor der Brechung, CK den Strahl nach der Brechung vor, und sind die Geschwindigkeiten vor und nach der Brechung V und v, so soll SC. V + CK. v = einem Kleinsten seyn, also V. d. SC = — v. d. CK.

Fig. 265.

Die Aenderungen von SC und CK könnten aber hier nur darin bestehen, dafs der Strahl nicht den Weg SCK, sondern den davon wenig verschiedenen SDK nähme, um gebrochen von S nach K zu gelangen, und wenn man Dd, Cc auf die beiden Strahlen senkrecht zieht, so ist

1 Cartesii Epistolae III. 51. 52. 53. 54 Br.

2 Acta Erud. pro anno 1682.

3 Mémoires de l'Acad. de Prusse 1746.

$$cD = d \,.\, CS = CD \,.\, \text{Cos. } SCG$$
$$\text{und } Cd = -d \,.\, CK = CD \,.\, \text{Cos. } ACK,$$

also mufs, vermöge der obigen Gleichung,

Cos. SCG : Cos ACK = v : V, in unveränderlichem Verhältnisse seyn.

23. Andre Physiker, unter denen auch Barrow sich befindet[1], legten den Lichttheilchen eine parallelpipedische Form bei, und zeigten (dieser Hypothese gemäfs, ganz richtig), dafs wenn diese Theilchen nach der Richtung ihrer einen Seite fortbewegt auf die Oberfläche des dichteren Körpers in geneigter Richtung aufträfen, sie sich um die zuerst auftreffende Ecke drehen, und folglich in einer gegen das Einfallsloth weniger geneigten Richtung fortgehen müfsten. Man stellte noch andre minder leicht zu übersehende Erklärungen auf[2], die ich übergehe, um nun auf die von Newton zu kommen, die allen den Preis abgewonnen hat. Ich will diese zuerst kurz nach Newtons eigner Darstellung[3] mittheilen, und dann die genauer rechnende Entwickelung ausführen, die man bei Laplace und andern neueren Schriftstellern findet.

24. Newton beweist aus den Grundgesetzen der Bewegung folgende drei Sätze: 1. wenn zwei gleichförmige Media durch eine Ebene von einander getrennt sind, und ein Körper, während er sich durch diese Media fortbewegt, von ihnen angezogen wird und daher in einer gegen die Trennungsfläche senkrechten Richtung eine beschleunigende Kraft statt findet, diese Attraction aber in gleichen Abständen von der Trennungsfläche überall gleich ist, so ist der Sinus des Einfallswinkels gegen die Trennungs-Ebene zu dem Sinus des Ausfallswinkels gegen eben diese Ebene in constantem Verhältnisse. 2. Die Geschwindigkeit des Körpers vor dem Eintritt verhält sich zu der Geschwindigkeit nach dem völligen Eintritt in das zweite Medium, wie der Sinus des Ausfallswinkels zu dem Sinus des Einfallswinkels[4]. 3. Wenn bei eben den Voraussez-

1 Lectiones opticae et geometricae. Londini. 1674. Lect. II. §. 4.
2 z. B. Joh. Bernoulli Acta Erud. Lips. pro Anno 1701.
3 Princip. philos. natnr. Lib. I. Propos. 94. 95. 96.
4 So wie es oben nach Maupertuis gefunden wurde.

zungen die Bewegung vor dem Eintreten schneller ist als nachher, so kann der Einfallswinkel so grofs werden, dafs eine Zurückwerfung eintritt, wobei der Zurückwerfungswinkel dem Einfallswinkel gleich wird.

Die Beweise hierfür, die Newton synthetisch führt, übergehe ich, und bemerke nur folgendes als den allgemein verständlichen Gang der Schlüsse. So lange das Lichttheilchen in einer gleichartigen Masse fortgeht, wird es nach allen Seiten gleich angezogen und daher in seiner geradlinigen Bewegung nicht gehindert. Kömmt es aber in die Nähe eines unterhalb AB liegenden, stärker anziehenden Medii, so bringt dieses vermöge seiner gesammten Anziehungskräfte eine Beschleunigung in der auf AB senkrechten Richtung hervor und so wie der geworfene Körper wegen der Schwere einen Parabelbogen durchläuft, so durchläuft das von S kommende Lichttheilchen eine gegen B hohle Curve, der Weg des Lichttheilchens ist also bei d, innerhalb des stärker anziehenden Medii, weniger gegen das Einfallsloth geneigt, und das Lichttheilchen geht erst dann nach der Tangente dK dieser Curve fort, wenn es tief genug eingedrungen ist, um von allen Seiten gleich stark angezogen zu werden. Dabei hat nun auch die Geschwindigkeit des Lichttheilchens zugenommen[1] und die genaue mathematische Betrachtung ergiebt für die Bestimmung der Winkel und der Geschwindigkeit die oben erwähnten Gesetze.

Fig. 265.

Tritt das Lichttheilchen aus einem stärker anziehenden Mittel aus und in ein minder anziehendes ein, so wird bei kleinern Einfallswinkeln der Strahl so wie CDE gekrümmt, also der Brechungswinkel gröfser als der Einfallswinkel seyn, bei grofsen Einfallswinkeln aber wird die Attraction des oberhalb AB liegenden Körpers dem Lichtstrahl FD gar nicht erlauben, in das unterhalb liegende Medium einzudringen, sondern er wird die Bahn FDG durchlaufen, also von der Oberfläche AB zurückgeworfen werden. Diese hier als gekrümmt gezeichneten Bahnen erscheinen uns als plötzlich gebrochen oder als aus zwei geraden Linien zusammen-

Fig. 266.

---

1 Welches anzunehmen schon Cartesius nöthig fand, ohne einen deutlichen Grund dafür angeben zu können.

gesetzt, weil die Ausdehnung der Schicht, worin diese Wirkung vorgeht, so geringe ist, dafs die ganze Krümmung uns nur wie ein Punct erscheint.

25. Vollständig und gründlich lassen sich alle hierbei vorkommende Umstände so übersehen [1]. Obgleich wir allen Grund haben, die Einwirkung der anziehenden Kräfte auf das Lichttheilchen als auf eine sehr geringe Entfernung beschränkt anzusehen, so läfst sich dennoch die ganze Betrachtung so anstellen, wie sie einem weiter ausgedehnten Wirkungskreise angemessen wäre. Es sey also AB die Fläche, welche zwei Körper von ungleicher Attractionskraft oder ungleicher Einwirkung auf das Licht trennt, cd sey die mit AB parallele Ebene, wo jene Einwirkung anfängt, und ef die Ebene, wo die Einwirkung aufhört. GH sey der gerade Weg eines mit der Geschwindigkeit $= V$ unter dem Einfallswinkel $GHJ = \alpha$ eintretenden Lichttheilchens, dessen mit AB parallele Geschwindigkeit also $=$ v. Sin. α, dessen auf AB senkrechte Geschwindigkeit $=$ v. Cos. α ist [2]. Uebt nun der unterhalb AB liegende Körper eine stärkere Anziehung, als der oberhalb liegende aus, so können wir es ansehen, als ob jener allein anziehend wirkte mit einer Attraction, die dem Unterschiede der Attractionen beider gleich ist. Die Richtung dieser Attraction ist gegen AB senkrecht, und wenn man die Geschwindigkeit des in L angekommenen Lichttheilchens $=$ u und den Neigungswinkel des Strahles gegen das Einfallsloth an dieser Stelle $= \eta$ nennt, so bleibt die mit AB parallele Geschwindigkeit, $=$ u. Sin. η, ungeändert, die auf AB senkrechte Geschwindigkeit aber, die so eben $=$ u. Cos. η war, geht in dem kleinen Zeitraume dt in $=$ u. Cos. $\eta + G\,dt$ über, wenn G die Gröfse der Attraction an dieser Stelle ausdrückt. Diese Ueberlegung zeigt, dafs d. (u. Cos. η) $= G\,dt$ ist, oder da G ohne Zweifel eine Function des senkrechten Abstandes von AB ist, den ich s nennen will, und der sich in der Zeit dt um u. Cos η. dt $=$ ds ändert, so ist

Fig. 267.

1 Laplace Mécanique céleste Livre. x.

2 Vergl. *Bewegung*.

$$2\,u.\,\mathrm{Cos.}\,\eta.\,d.\,(u.\,\mathrm{Cos.}\,\eta) = 2\,G\,ds$$
$$u.^2\,\mathrm{Cos.}^2\,\eta = \int 2\,G\,ds.$$

Dieses Integral mufs so genommen werden, dafs es verschwindet bei H, und seinen vollen Werth bei m erhält, wo der Strahl in die Oberfläche AB eintritt; nenne ich also den so genommenen Werth von $\int 2\,G\,ds = P$, so ist beim Eintritt in die Oberfläche AB wenn dort die Geschwindigkeit $= u'$ und der Winkel $= \eta'$ wird

$$u'.\,\mathrm{Cos.}\,\eta' = \sqrt{\{v^2.\,\mathrm{Cos.}^2\,\alpha + P\}},$$

und zugleich

$$u'.\,\mathrm{Sin.}\,\eta' = v.\,\mathrm{Sin.}\,\alpha,$$
$$\text{also } u'^2 = v^2 + P.$$

Eben die Schlüsse gelten aufs neue, wenn der Lichtstrahl sich zwischen AB und ef fortbewegt, indem auch da die gesammte Anziehung nach dem dichteren Körper zu gröfser ist, so lange das Lichttheilchen, bei n z. B. von allen zwischen P und o liegenden Theilchen angezogen wird. Man kann also, wenn das auf ähnliche Art wie vorhin bestimmte, und von AB bis ef genommene Integral $= P'$ ist, und u'' die Geschwindigkeit, η'' den Neigungswinkel bei der Ankunft in ef bedeuten:

$$u''.\,\mathrm{Cos.}\,\eta'' = \sqrt{(v^2.\,\mathrm{Cos.}^2\,\alpha + P + P')}$$
$$u''.\,\mathrm{Sin.}\,\eta'' = v.\,\mathrm{Sin.}\,\alpha, \text{ setzen.}$$

Da jenseits ef der Lichtstrahl so von dem dichteren Körper umgeben ist, dafs er von allen Seiten gleich angezogen wird, so geht er von dort an geradlinig fort, und η'' ist der Brechungswinkel, die Formel $u''.\,\mathrm{Sin.}\,\eta'' = v.\,\mathrm{Sin.}\,\alpha$, giebt den zweiten Newtonschen Satz (Nr. 24) dafs $v : u'' = \mathrm{Sin.}\,\eta'' : \mathrm{Sin.}\,\alpha$ und da $u'' = \sqrt{(v^2 + P + P')}$ ganz unabhängig von dem Einfallswinkel α ist, so ist das Verhältnifs $u'' : v$ und folglich das Verhältnifs der Sinus des Einfallswinkels und des Brechungswinkels immer dasselbe für jeden Werth von α, so wie es Snellius Versuche angaben; — also ein Beweis für Newtons ersten Satz.

26. Es läfst sich auch noch beweisen, dafs $P' = P$ ist. Da hi die ganze Wirkungssphäre der Attractionen seyn sollte, so wird, wenn $hf' = hf''$ ist, ein Theilchen in f'' eben so stark als ein Theilchen in f' nach dem Innern des dichtern Körpers zu gezogen. Denn nehme ich für das er-

stere Theilchen $g'f' = hf'$, so heben die Attractionen der zwischen $g'f'$ und zwischen hf' liegenden Schichten einander ganz auf; trage ich $g'l = f'k =$ der Ausdehnung der Wirkungssphäre auf, so wird also das Theilchen in f' von der dünneren Masse $g'l$ hinaufwärts und von der dichteren Masse hk herabwärts gezogen; der Unterschied beider Attractionen wird an dieser Stelle den Werth von G in der Formel $G\,d\,t$ geben. Aber genau so wird, wenn $hf'' = hf'$ ist, die Attraction der Schichten $vhf'', f''g''$ sich gegenseitig aufheben, und nur der Unterschied der Attractionen von $g''k''$ und hl'' wirksam und $= G$, dem für f' geltenden Werthe gleich seyn. Da nun dies gilt für alle gleiche Abstände oberhalb und unterhalb AB, so wird das Integral P, welches gleichsam die Summe aller Werthe von G ist, mit dem Integral P' einerlei seyn. Wir haben also

$$u''.\ \text{Cos.}\ \eta'' = \sqrt{(v^2.\ \text{Sin.}^2\ \alpha + 2\ P)}.$$

Wenn der Körper, in welchen der Lichtstrahl hineingeht, dünner ist oder das Licht weniger anzieht, so wird offenbar P negativ und wir erhalten dann für den Eintritt in die Oberfläche AB:

$$u' = \sqrt{(v^2 - P)}$$

für den vollkommenen Eintritt in die Schicht wo der Fortgang des Lichtstrahls geradlinig wird:

$$u'' = \sqrt{(v^2 - 2\ P)}.$$

Die gegen AB senkrechten Geschwindigkeiten werden dann durch

$$u'.\ \text{Cos.}\ \eta' = \sqrt{(v^2.\ \text{Cos.}^2\ \alpha - P)}$$

$$\text{und } u''.\ \text{Cos.}\ \eta'' = \sqrt{(v^2.\ \text{Cos.}^2\ \alpha - 2\ P)}$$

ausgedrückt.

27. Hier kann sich der Fall ereignen, dafs die Wurzeln unmöglich werden. Wäre die letzte Wurzel noch nicht unmöglich, sondern nur $v^2.\ \text{Cos.}^2\ \alpha = 2\ P$, so wäre $u''.\ \text{Cos.}\ \eta'' = 0$, also $\eta'' = 90°$, und der unter einem solchen Winkel $= \alpha$ einfallende Strahl für den $\text{Cos.}\ \alpha = \frac{\sqrt{2\ P}}{v}$ ist, würde seinen Weg in dem dünneren Medio unmittelbar an der Fläche ef selbst fortsetzen. Sobald das ganze Integral $= 2\ P$ gröfser ist als $v^2.\ \text{Cos.}^2\ \alpha$, so

wird der Strahl schon ehe er ef erreicht mit der Oberfläche parallel, nämlich an der Stelle, wo das Integral $\int 2\,G\,ds$ einen mit $v^2 . \cos.^2 \alpha$ gleichen Werth erhält. Wenn dieses in u geschieht, so läfst sich leicht zeigen, dafs die Attraction den Strahl nöthiget, von u an eine der Curve vu ganz gleiche Curve uw zu durchlaufen, und der so einfallende Strahl vu wird unter einem Winkel, der dem Einfallswinkel gleich ist, zurückgeworfen, welches der dritte Newtonsche Satz ist.

Bei dieser Zurückwerfung kann man zwei Fälle unterscheiden. Wenn schon $P > v^2 . \cos.^2 \alpha$, so wird der Strahl gar nicht die Oberfläche AB des minder brechenden Körpers erreichen; dagegen wenn zwar $P < v^2 . \cos.^2 \alpha$, aber $2P > v^2 . \cos.^2 \alpha$ ist, so dringt er zwar in diesen ein, verläfst ihn aber dennoch wieder, indem sein Weg eine Curve, wie vuw, deren Scheitel unterhalb AB liegt, bildet.

Wenn man, wie wir es in Nr. 14 thaten, $\sin. \eta'' = \frac{m}{n}$. $\sin. \alpha$ setzt, so dafs sich der Sinus des Einfallswinkels zum Sinus des Brechungswinkels wie n zu m verhält, so erhalten wir aus den Formeln

$$u''.\ \sin. \eta'' = v.\ \sin. \alpha,$$

$$\text{und } u''^2 = v^2 - 2P$$

$$u''^2 = \frac{n^2}{m^2} v^2 = v^2 - 2P,$$

also $2P = v^2 \left(1 - \frac{n^2}{m^2}\right)$ für den Uebergang in minder brechende Körper, wo $\frac{n}{m} < 1$ ist. Der erste Fall der Zurückwerfung, wo der Strahl die Brechungsfläche gar nicht erreicht, findet also statt, wenn

$$P > \frac{2P . \cos.^2 \alpha}{1 - \frac{n^2}{m^2}} \text{ oder } \cos.^2 \alpha < \frac{1 - \frac{n^2}{m^2}}{2}$$

ist; der zweite Fall der Zurückwerfung dagegen, wenn $\cos.^2 \alpha$ zwischen den Grenzen

$\frac{1 - \frac{n^0}{m^2}}{2}$ und $1 - \frac{n}{m^2}$ liegt.

Und hier wird nun die genaue Bestimmung verständlich, auf welche ich bei Wollastows Versuchen (nr. 14) hindeutete. Bei durchsichtigen Körpern nämlich, deren Brechungskraft geringer ist als die Brechungskraft des Körpers, aus welchem der Strahl austritt, fängt die Zurückwerfung schon an, sobald $\text{Cos.}^2 \alpha = 1 - \frac{n^2}{m^2}$ oder $\text{Sin.}\ \alpha = \frac{n}{m}$ ist; aber bei undurchsichtigen Körpern gehen alle einmal in die Oberfläche eingedrungene Strahlen nicht mehr aus ihr hervor, sondern werden nach der Natur des undurchsichtigen Körpers verschluckt, und folglich werden nur die Strahlen reflectirt, welche jene Oberfläche gar nicht erreichen, das ist die, für welche $\text{Cos.}^2 \alpha < \frac{1 - \frac{n^2}{m^2}}{2}$ ist, so dafs $\text{Cos.}\ \alpha = \sqrt{\left(\frac{1 - \frac{n^2}{m^2}}{2}\right)}$ die Grenze dieser Zurückwerfungen ist, und

$\frac{n}{m} = \sqrt{(1 - 2\ \text{Cos.}^2 \alpha)}$, aus der Beobachtung des Winkels, bei welchem die Zurückwerfung anfängt, gefunden wird.

28. Hier läfst sich nun auch erklären, was wir im strengsten Sinne unter *Brechungsvermögen*, oder *brechender Kraft* eines Körpers verstehen müssen[1].

Diese Kraft ist offenbar die gesammte Wirkung des Körpers auf das Licht, also einerlei mit dem, was wir kurz vorher $= 2\ P$ gefunden und durch $= v^2 \left(1 - \frac{n^2}{m^2}\right)$ für den Uebergang in minder brechende Mittel angegeben haben; da wo der Strahl in dichtere Mittel übergeht, ist sie offenbar $= v^2 \left(\frac{n^2}{m^2} - 1\right)$. Ist also z. B. für Wasser $\frac{n}{m} = \frac{4}{3}$, so ist die Brechungskraft $= \frac{7}{9}$, und für Glas, wo $\frac{n}{m} = \frac{3}{2}$, ist sie $= \frac{5}{4}$.

1 Newtoni optice. Pars III. Propos. 10. G. XXVI. 71.

Newton hat eben den Ausdruck für die Brechungskraft auf einem andern Wege gefunden. Fällt ein Lichtstrahl aus einem minder brechenden Medio auf die Oberfläche eines stärker brechenden unter einem so grofsen Einfallswinkel, dafs man fast $\alpha = 90^\circ$, Sin. $\alpha = 1$, setzen kann; dann wird der Sinus des Brechungswinkels $= \frac{m}{n} =$ Sin. η und die Geschwindigkeit, welche das Lichttheilchen, nach einer auf die Oberfläche senkrechten Richtung erlangt, ist $=$ v. Cotg. $\eta =$ v. $\sqrt{\left(\frac{n^2}{m^2} - 1\right)}$. Da nun bei gleichen durchlaufenen Wegen die Kräfte sich wie die Quadrate der bewirkten Geschwindigkeiten verhalten, so ist $v^2 \left(\frac{n^2}{m^2} - 1\right)$ der Ausdruck für die Brechungskraft, die also da v unveränderlich ist, durch $\frac{n^2}{m^2} - 1$ gegeben wird.

Diese Bestimmung giebt die *absolute Brechungskraft;* da man nun findet, dafs diese der Dichtigkeit proportional ist, wenn man sie bei einem Körper untersucht, der verschiedene Dichtigkeiten annehmen kann, dafs sie aber bei zwei verschiedenen Körpern, selbst wenn diese gleiche Dichtigkeiten haben, ungleich ist, so kann man die absolute Brechungskraft $=$ f.D setzen, wenn D die Dichtigkeit bedeutet. Die Gröfse f bedeutet dann das was man *specifische Brechungskraft*[1] nennt, nämlich diejenige Zahl, welche das verschiedene Brechungsvermögen der verschiedenen Körper dann ausdrücken würde, wenn man diese auf gleiche Dichtigkeit zurückführen könnte.

Angabe der Brechung in verschiedenen Körpern.

29. Die Tafel, die ich hier mittheile, enthält in der ersten Columne das *Brechungsverhältnifs* oder die Zahl, mit welcher der Sinus des Einfallswinkels dividirt werden mufs, um den Sinus des Brechungswinkels für den in diese Materie eindringenden Strahl anzugeben. Die zweite Co-

1 G. XXVI. 71.

lumne enthält die *Brechungskraft*, die man findet, wenn man von dem Quadrate jener Zahl 1 subtrahirt. Die dritte Columne enthält, wo ich sie habe angeben können die *Dichtigkeit* des Körpers, die vierte die *specifische Brechungskraft* oder die Zahl der zweiten Columne mit der der dritten dividirt[1].

	Brechgs. Verhältn.	Absol. Brch. Kr.	Dichtigk.	Specif. Brch. Kr.
Chromsaures Blei der am stärksten, der am schwächsten gebrochene Strahl	2,974 2,503	7,845 5,145		
Realgar (rothes Rauschgelb)	2,549	5,497	3,225	1,705
Diamant	2,487 2,470	5,185 5,101	3,521	1,473 1,449
Diamant nach Newton.	2,439	4,949		1,406
Phosphor	2,224	3,946	1,770	2,230
Spiefsglanzglas	2,216	3,910	4,946	0,790
Schwefel, gediegner (doppelt brechend)	2,115	3,473	2,033	1,708
Kohlensaures Blei doppelt brechend	2,084 1,813	3,342 2,287		
Schwefelsaures Blei	1,925	2,706		
Granat	1,815	2,294	4,188	0,548
Blauer Sapphir	1,794	2,218	4,000	0,554
Rubin - Spinell	1,761	2,101	3,700	0,568
Chrysoberyll	1,760	2,098	3,710	0,565
Turmalin	1,668	1,782		
Kalkspath doppelt brechend	1,665 1,519	1,772 1,307	2,715	0,653 0,481
Cassia - Oel	1,641	1,693		
Gelber Topas	1,638	1,684	3,550	0,474
Salmiak	1,625	1,640	1,420	1,155

1 Die Zahlen der erstern Columnen sind meistens aus BREWSTERS Tr. on new phil. Instr. p. 283 genommen und einige aus WOLLASTONS Beob. G. XXXI. 249. LVI. 274 u. a. nachgetragen.

	Brechgs. Verhältn.	Absol. Brch. Kr.	Dichtigk.	Specif. Brch. Kr.
Guajak	1,619	1,621	1,229	1,319
Flintglas				
nach Brewster . von	1,616	1,611		
nach Brewster . bis	1,596	1,547		
nach Frauenhofer für gelbe Strahlen . .	1,639	1,687	3,723	0,453
Anis - Oel . . .	1,601	1,564		
Horn	1,565	1,449		
Bergkrystall . . .	1,562	1,440	2,653	0,545
Burgund. Pech . .	1,560	1,434		
Steinsalz	1,557	1,424	2,143	0,664
Bernstein	1,552	1,409	2,230	0,632
Schwefelsaures Kupfer	1,547	1,393	1,080	1,290
Phosphorsäure, feste .	1,544	1,384	2,687	0,515
Crownglas . . .	1,544	1,384	2,520	0,549
Crownglas . . .	1,534	1,353	2,520	0,537
Caoutchouc . . .	1,534	1,353	0,933	1,450
Die verschiedenen Glasarten, welche Brewster anführt geb.	1,729	ein tief rothes Glas.		
bis	1,527	Tafelglas		
Nelken - Oel. . . .	1,535	1,356	1,036	1,309
Salpeter (*) . . .	1,524	1,322	1,920	0,689
Gelbes Wachs . .	1,522	1,313	0,965	1,361
Arab. Gummi . . .	1,512	1,286	1,452	0,886
Nufs - Oel . . .	1,507	1,271		
Kampfer n. Wollaston.	1,487	1,211	0,989	1,224
Schwefelsaures Eisen dopp.brech.; stärkst.Br.	1,494	1,231	1,715	0,718
Terpentin - Oel . .	1,476	1,178	0,885	1,332
Borax	1,475	1,175	1,720	0,683
Oliven - Oel . . .	1,470	1,161	0,915	1,269
Schwefelsäure . . .	1,440	1,074	1,841	0,583
Flufsspath	1,436	1,061	3,180	0,334
Salpetersäure . . .	1,406	0,977	1,480	0,660
Salzsäure	1,376	0,893	1,150	0,776

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

	Brechgs. Verhältn.	Absol. Brch. Kr.	Dichtigk.	Specif. Brch. Kr.
Alkohol	1,374	0,887	0,825	1,076
Ambra - Oel . . .	1,368	0,870		
Eiweifs	1,361	0,853	1,090	0,783
Salzwasser . . .	1,343	0,804		
Wasser	1,336	0,785	1,000	0,785
Eis	1,307	0,708	0,916	0,775
Tabascheer sehr harter aus Nagpore . .	1,182	0,397		
Tabascheer aus Hyderabad	1,1115	0,235		

Der Tabascheer findet sich in dem weiblichen Bambusrohr, zuweilen flüssig wie Milch, zuweilen verdickt; meistens als harte Concretion und zuweilen durchsichtig.

So unvollkommen diese Tafel in Rücksicht auf die darin berechneten specifischen Brechungskräfte ist, da bei manchen Substanzen die Dichtigkeit nicht fest bestimmt ist, und die Urheber der Versuche nicht angegeben haben, wie grofs bei den von ihnen gebrauchten Substanzen die Dichtigkeit war, so lassen sich doch einige Resultate wohl angeben. Die Edelsteine, der Bergkrystall, die gewöhnlichern Glasarten stehen einander ziemlich nahe etwa zwischen 0,47 und 0,57; die Salpetersäure, die Schwefelsäure und die Neutralsalze stehen wieder einander ziemlich nahe von 0,6 bis 0,7 [die Salzsäure macht eine Ausnahme] und an sie schliefsen sich die metallischen Salze an; dann folgen Wasser, Eiweifs, arabischer Gummi; die Körper, die eine noch gröfsere specifische Brechungskraft haben, sind fast alle brennbar, Alkohol, Campher, Olivenöl, Bernstein, Caoutchouc, Nelkenöl, Guajakharz, Wachs, Diamant, Schwefel und endlich Phosphor folgen hier einander. Der Salmiak hat ebenfalls eine sehr starke Brechungskraft, welches nach Biot's Meinung daraus, dafs das Ammoniak Wasserstoff enthält, zu erklären ist.

Nach Biot's Versuchen über die Brechungskraft der Gasarten, hat nämlich das Wasserstoffgas eine sehr grofse brechende Kraft, und alle Körper, die Wasserstoff in ihrer Mischung enthalten, zeigen dieses Bestandtheils wegen eine starke Brechung. Aus diesen Versuchen ergab sich das Gesetz, dafs

nicht blofs das absolute Brechungsvermögen bei Medien, die einer Verdichtung fähig sind, der Dichtigkeit proportional sey, sondern auch, dafs bei Mischungen das specifische Brechungsvermögen bestimmt werde, wenn man es nach dem Verhältnisse der Mischungsantheile aus dem Brechungsvermögen der Bestandtheile bestimme[1]. Dieses bei blofsen Mengungen genau zutreffende Gesetz findet sich auch bei denjenigen innigen Verbindungen bestätiget, wo die Stoffe keine sehr grofse Verdichtung erlitten haben, z. B. bei atmosphärischer Luft, Ammoniakgas u. s. w., bei sehr starker Verdichtung der Stoffe, wie z. B. beim Wasser, in welchem 0,883 Gewichtstheile Sauerstoff mit 0,117 Gewichtstheile Wasserstoff verbunden sind, findet einige, doch nicht so sehr erhebliche Aenderung statt; denn wenn man beim Wasser nach dem eben angegebenen Mischungsverhältnisse die specifische Brechungskraft berechnet, so sollte sie = 0,3465 + 0,3525 = 0,6990 seyn, statt dafs sie nach allen Versuchen = 0,7846 ist, also etwa um ein Neuntel verschieden[2]. Die folgende Tafel zeigt die Resultate der Biotschen Versuche[3], wo den vorigen Columnen noch eine beigefügt ist, welche die specifische Brechungskraft mit der der atmosphärischen Luft zu vergleichen dient.

	Absolute Brechungskraft	Dichtigkeit.	Specifische Brechgs. kraft bei 0° Wärme u. 0,76 Met. Druck.	
Atmosphär.Luft	0,00058917	0,0012937	0,4554	1,000
Sauerstoffgas	0,00056020	0,0014277	0,3920	0,861
Stickgas	0,00059044	0,0012537	0,4710	1,034
Wasserstoffgas	0,00028531	0,0000947	3,0128	6,614
Ammoniakgas	0,00076235	0,0007719	0,9876	2,168
Kohlensaur.Gas	0,00089957	0,0019659	0,4576	1,005

B.

1 Nämlich, wenn $\frac{m}{n}$ und $\frac{n-m}{n}$ die Quantitäten der beiden Bestandtheile ausdrückten, P′ und P″ die specifischen Brechungskräfte derselben, P die specifische Brechungskraft der Mischung, so ist $P = P'.\frac{m}{n} + P''\frac{(n-m)}{n}$.

2 G. XXVI. 91. 112.

3 G. XXVI. 94.

Brechung, doppelte.

Refractio gemina; La double Refraction; *Double Refraction.*

1. Wenn wir einen Gegenstand durch einen durchsichtigen Körper sehen, so sind wir zwar wohl gewohnt, ihn in einer andern Richtung, als in der, wo er sich wirklich befindet, zu sehen; wir sind auch gewohnt, sein Bild durch Farbenränder undeutlich zu sehen, so als ob ein blaues Bild an der einen, ein rothes Bild an der andern Seite des Gegenstandes über ihn hinaus vorragte; aber dennoch sehen wir den Gegenstand bei den uns am gewöhnlichsten vorkommenden durchsichtigen Körpern immer nur einmal dargestellt, und es überrascht uns daher, wenn wir andere durchsichtige Körper finden, die den Gegenstand doppelt, oder zwei völlig getrennte Bilder desselben Gegenstandes, zeigen. Diese doppelten Bilder, die sich uns darbieten, wenn wir einen Gegenstand durch krystallisirte Körper, deren Krystallform kein Würfel, kein reguläres Oktoëder und kein Rhomboidaldodekaëder ist, betrachten, entsteht durch doppelte Strahlenbrechung, oder dadurch, dafs diese brechenden Körper auf einige Lichttheilchen mit einer anderen Kraft als auf die übrigen wirken. Wir werden nachher sehen, durch welche verschiedene Eigenschaften die der einen Brechung folgenden Lichtstrahlen sich von denen auszeichnen, welche der andern folgen.

2. Da der Kalkspath (chaux carbonatée rhomboidale, *calcareous Spar*) sonst unter dem Namen Isländischer Krystall bekannt, diese Eigenschaft der doppelten Brechung in hohem Grade besitzt, so will ich mit der Beschreibung der Krystallform dieses Körpers und der Erscheinungen, welche er darbietet, anfangen.

Die Krystalle des Kalkspaths sind schiefe Parallelepipeda, und wenn der Krystall die seiner primitiven Form angemessene Gestalt hat, so sind seine Seitenflächen gleichseitige Rhomben, deren Winkel 78°5′ und 101° 55′ enthalten; die Seitenflächen sind dann unter Winkeln von 74° 55′ und 105° 5′ gegen einander geneigt, und unter den körperlichen Ecken sind zwei aus gleichen Seitenflächen, jede = 101°55′, sechs aus zwei gleichen Seitenflächen von 78°5′ und einer

von 101° 55′ gebildet. Die gleichseitigen körperlichen Ecken bilden die zwei stumpfen Ecken des Krystalls, und wenn man zwischen ihnen eine Diagonale zieht, so ist dieses diejenige, die man *die Axe des Krystalles* oder die Krystallisations-Axe nennt. Sie ist gegen alle Seitenflächen gleich geneigt unter einem Winkel von 45°23′ 25″, und die durch sie und zwei parallele Kanten gelegte Ebene heifst ein Hauptschnitt des Krystalls.

3. Dieser Kalkspath zeigt nun, wenn man durch ihn sieht, fast in allen Lagen die Gegenstände doppelt. — Eine Entdeckung, die schon Bartolinus in der Mitte des 17. Jahrhunderts machte[1], die Huygens durch eine mit ungemeinem Scharfsinn angelegte Reihe von Versuchen sehr vervollkommnete[2], und die in den neuesten Zeiten durch die dabei sich zeigenden Modificationen des Lichts höchst wichtig geworden ist[3].

Man sieht diese doppelte Brechung zum Beispiel, wenn man den Krystall auf ein beschriebenes Papier legt, wo die Gegenstände, die Buchstaben u. s. w. doppelt erscheinen. Eben so sieht man auch, wenn ein Sonnenstrahl durch eine enge Oeffnung auf ihn fällt, zwei getrennte Strahlen in verschiedenen Richtungen aus ihm an der andern Seite hervorgehen. Dieser Körper (und eben das gilt von vielen andern) wirkt also auf das Licht so ein, dafs er einen Theil des Lichtstrahls nach andern Gesetzen als den übrigen Theil bricht; und da man findet, dafs bei dem einen Theile oder Strahlenbüschel die gewöhnlichen Gesetze der Brechung gelten, bei dem andern aber andere, so nennt man jenen *den gewöhnlich gebrochenen*, diesen *den ungewöhnlich gebrochenen* Strahl.

4. Um die Gesetze dieser ungewöhnlichen Brechung zu finden, hat Malus ein sehr einfaches und zu lehrreichen Schlüssen führendes Verfahren vorgeschlagen.

---

1 Erasm. Bartolini experimenta Crystalli Islandici Disdiaclastici, quibus mira refractio detegitur. Havniae. 1669, u. Philos. Transact. Nr. 67.

2 Hugenii traité de la lumière. Leyd. 1690.

3 Beiträge zur Geschichte der Entdeckung in Brewsters Edinb. philos. Journal. I. 289. u. folg.

Universitäts- und Landesbibliothek Düsseldorf

Auf das Papier, worauf man den Krystall legt, zeichne Fig. 268.
man ein rechtwinkliges Dreieck, dessen kleine Seite B C ein bestimmtes Verhältnifs gegen A C habe, z. B. $BC = \frac{1}{8} AC$; man theile A C und A B in eine bestimmte Anzahl Theile und numerire die Theilstriche; und nun beobachte man, da durch den Krystall das Dreieck A B C mit seinem Doppelbilde A′ B′ C′ erscheint, wo A′ C′ und A B sich schneiden; dieser Punct F bezeichnet uns auf A B und A C die beiden Puncte F und F′ deren einer durch gewöhnliche, der andere durch ungewöhnliche Brechung einen Strahl in einer und derselben Richtung zum Auge sendet. Um nun über die Lage der von F und F′ Fig. ausgehenden und vereinigt in der Richtung J O zum Auge O 269. gelangenden Strahlen sich zu belehren, mifst man, nachdem die Seitenflächen des Krystalles genau horizontal gestellt sind, mit einem getheilten Kreise den Winkel J O V, den der ausfallende Strahl mit der Verticallinie, das heifst mit dem Einfallslothe O V macht, bestimmt den Punct J des Krystalles und erhält so, da die Lage der Puncte F, F′, in Beziehung auf den in sorgfältig gewählter Stellung aufgelegten Krystall auch bekannt ist, alles was zur Kenntnifs der Brechung erforderlich ist.

5. Mit Hülfe dieser Vorrichtung kann man sich leicht überzeugen, dafs das eine Hauptgesetz der gewöhnlichen Brechung, nämlich dafs der einfallende und der gebrochene Strahl mit dem Einfallsloth in einer Ebene liegen, bei der ungewöhnlichen Brechung nicht allgemein statt findet; ferner dafs auch das Gesetz, ein senkrecht einfallender Strahl gehe ungebrochen fort, für die ungewöhnliche Brechung nicht gilt. Aber wir wollen sogleich zur Bestimmung eines Hauptgesetzes dieser ungewöhnlichen Brechung übergehen.

6. Obgleich im Allgemeinen der ungewöhnlich gebrochene Strahl nicht mit dem Einfallslothe und dem einfallenden Strahle in derselben Ebene liegt, so giebt es doch, wenn man den Strahl auf die natürliche Oberfläche des Krystalles auffallen läfst, eine gewisse Lage des Strahles, bei welcher diese drei Linien in eine Ebene fallen, in welcher sich dann offenbar zugleich der gewöhnlich gebrochene Strahl mit befindet. Man bestimmt diese, wenn man das

Fig. 268. Auge in eine durch BC senkrecht auf die Ebene ABC gesetzte Ebene bringt, und hierauf den auf ABC aufliegenden Krystall so lange dreht, bis die Linien BC, B′C′ der beiden Bilder auf einander fallen. Dieses aber findet statt, wenn BC entweder mit der durch die stumpfen Winkel der Grundfläche gezogenen Diagonale zusammenfällt oder auch nur mit ihr parallel ist. In diesem Falle liegen also der einfallende und beide gebrochene Strahlen in einer Ebene, die mit der Ebene des Hauptschnittes parallel ist, und wenn man in ihr durch den Einfallspunct des Strahles eine Linie mit der Axe des Krystalls parallel zieht, so findet man, dafs der ungewöhnlich gebrochene Strahl allemal mit dieser Linie einen gröfseren Winkel macht, als

Fig. 270. der gewöhnlich gebrochene Strahl, so dafs wenn ABA′B′ die Ebene vorstellt, worin die Strahlen sich befinden, und JA″ die mit der Axe parallele Linie ist, sowohl für den einfallenden Strahl LJ, als für den einfallenden Strahl L′J, der ungewöhnlich gebrochene Strahl, JE im einen und JE′ im andern Falle, mit JA″ einen gröfseren Winkel macht, als der gewöhnlich gebrochene Strahl, den wir in jenem Falle durch JO, in diesem Falle durch JO′ darstellen müfsten.

Diese Erscheinung giebt uns Veranlassung, die Ablenkung des ungewöhnlich gebrochenen Strahles als Wirkung einer von JA″ ausgehenden Kraft, welche den Strahl von JA″ zurücktreibt, anzusehen. — Und hier ist JA″ zwar nicht die Axe des ganzen Krystalls, aber sie ist die Axe des an J anliegenden Theilchens, indem der rhomboëdrische Krystall nach Haüy[1] aus integrirenden Molecülen zusammengesetzt ist, deren Gestalt genau die oben (Nr. 2.) beschriebene ist.

7. Dieser Hypothese, dafs eine von JA″ ausgehende Kraft, die Richtung des ungewöhnlich gebrochenen Strahles bestimme, entsprechen nun auch die übrigen Erscheinungen, welche dieser Kalkspath, wenn man den Krystall zerschneidet, darbietet.

a. Wird der Krystall so geschnitten, dafs die Ebene des Schnittes senkrecht auf die Axe des Krystalles ist, so wird

---

1 Haüy Handb. der Physik, übers. v. Weifs. I. 122.

ein mit der Axe parallel einfallender Strahl gar nicht gebrochen und nicht gespalten, indem er in den Krystall eintritt, ein schief einfallender Strahl dagegen wird allerdings in zwei Strahlen zerlegt, aber beide Strahlen bleiben mit dem einfallenden Strahle und dem Einfallsloth, da dieses der Axe parallel ist, in *einer* Ebene. Der Strahl nämlich, der senkrecht auf die Einfallsebene und folglich hier parallel mit der Axe eintritt, kann eben so wenig von der nach allen Seiten gleichen Wirkung der Axe als von der gewöhnlichen Attraction des Körpers aus seiner Richtung abgelenkt werden, und jene erstere Kraft kann auch seine Geschwindigkeit nicht ändern; daher geht er, es mag bei seinem Austreten aus dem Krystall sich ihm eine auf die Axe senkrechte oder gegen sie geneigte Ebene darbieten, ganz nach den gewöhnlichen Brechungsgesetzen fort. Trifft er nämlich hier wieder eine Ebene, welche der Brechungsebene beim Eintritte parallel ist, so geht der Strahl auch hier ungebrochen fort; trifft er eine gegen seine Richtung geneigte Ebene, so wird er zwar gebrochen und man bemerkt die gewöhnliche Farbenzerstreuung; aber eine Trennung zweier Strahlen vermöge der gewöhnlichen und der ungewöhnlichen Brechung findet nicht statt.

Dagegen wenn der Strahl gegen eben jene Brechungs-Ebene geneigt einfällt, so wird er in zwei Strahlen gespalten, und der ungewöhnlich gebrochene Strahl wird minder als der gewöhnlich gebrochene gegen das Perpendikel zu abgelenkt; die Lage beider gebrochenen Strahlen aber bleibt gegen den einfallenden Strahl einerlei bei gleichem Einfallswinkel, es mag der einfallende Strahl, von welcher Seite man will, gegen die Axe geneigt seyn.

Diese Erscheinungen geben ein Mittel, um die wahre Lage der Axe, von welcher die doppelte Strahlenbrechung abhängt, zu erkennen, indem nur bei der Einfallsebene, welche senkrecht auf diese Axe ist, sich die eben genannten Erscheinungen darbieten.

b. Wird der Krystall so geschnitten, dafs die Ebene des Schnittes, die ich wieder als Brechungsebene beim Eintritte des Strahls betrachten werde, mit der Axe parallel ist, so kann man für die Lage des einfallenden Strahles

zwei Hauptfälle unterscheiden, erstlich wenn die durch den einfallenden Strahl und das Einfallsloth gelegte Ebene senkrecht auf die Axe, zweitens, wenn sie damit parallel oder zusammenfallend ist. Im ersten Falle bleiben der gewöhnlich gebrochene und der ungewöhnlich gebrochene Strahl in derselben auf die Axe senkrechten Ebene, und man findet bei verschiedenen Einfallswinkeln sowohl für den ungewöhnlichen als für den gewöhnlichen Strahl die Sinus der Brechungswinkel in constantem Verhältnisse zu den Sinus der Einfallswinkel, wenn gleich die constante Zahl, die dieses Verhältnifs bestimmt, bei beiden verschieden ist und für den ungewöhnlich gebrochenen Strahl gröfser = 0,674, statt dafs sie bei dem gewöhnlich gebrochenen nur = 0,604 gefunden wird. Der ungewöhnlich gebrochene Strahl weicht weniger als der gewöhnlich gebrochene Strahl von der Richtung des einfallenden Strahles ab, weil [1] die Repulsivkraft der Axe zwar kein Bestreben hat, den Strahl aus der Einfallsebene zu entfernen, aber sich der Vermehrung der Geschwindigkeit bei ihrem Eindringen in den Krystall widersetzt.

Im zweiten Falle, wo die Einfallsebene mit der Axe zusammenfällt, ist der Brechungswinkel für den ungewöhnlichen Strahl kleiner als für den gewöhnlich gebrochenen, weil Fig. jener, indem er von der Axe, die hier die Lage AA' hat, 271. abgestofsen wird, nach JE, dem Perpendikel näher gebracht wird, als JO, der gewöhnliche Strahl.

8. Schon Huygens [2] hat eine Construction angegeben, welche dienen kann, in jedem Falle die Richtung des ungewöhnlich gebrochenen Strahls zu bestimmen, und obgleich die zweierlei Undulationen, aus welchen er sie herleitet, schwerlich in der Natur vorhanden sind, so stimmt doch diese Construction genau mit den Erscheinungen überein. Um diese Construction für den ungewöhnlichen Strahl leichter aufzufassen, ist es gut, die Gesetze der gewöhnlichen Brechung durch eine analoge Construction dargestellt zu sehen. Es stelle also MM' die Einfallsebene bei

1 Wie Biot es ausdrückt. Tr. d. Phys. III. 535.
2 Traité de la lumière. Chap. V.

irgend einem Körper dar, LJ sey der einfallende Strahl, JR die Projection desselben; um den Mittelpunct J beschreibe man mit dem Halbmesser = 1 eine Kugelfläche, nehme nun JK = n. Sec. LJR, auf der verlängerten RJ wenn n das Brechungsverhältnifs ausdrückt, ziehe TT' auf JK durch K senkrecht und lege durch TT' eine die Kugel berührende Ebene; dann ist der Berührungspunct dieser Ebene an der Kugel allemal der Punct, wohin der Strahl nach der gewöhnlichen Brechung gelangt. Der Grund davon erhellet leicht, da es nur eine allgemeinere Darstellung dessen ist, was im Kreise sogleich erkannt wird, wo Cos. SJO = n. Cos. LJR und JK = JO. n Sec. LJR ist. Aber eine ganz analoge Construction lehrt uns auch die Richtung des ungewöhnlichen Strahles kennen, wenn wir um den Mittelpunct J ein Sphäroid construiren, dessen Polaraxe mit AA', der durch J gezogenen Axe der doppelten Brechung, zusammenfällt und = 1 ist; und dessen Aequatorealhalbmesser zum Polarhalbmesser wie $\frac{m}{n}$: 1 ist, wenn m das Brechungsverhältnifs für den ungewöhnlich gebrochenen, n für den gewöhnlich gebrochenen Strahl ist. Nehmen wir nämlich nun in der Brechungsebene MM', die Axe AA' mag in ihr liegen oder nicht, auf der verlängerten Projection RJ des einfallenden Strahls LJ, die Entfernung JK = n. Sec. LJR, ziehen TT' in der Brechungsebene auf JK senkrecht und legen durch TT' eine das Sphäroid berührende Ebene, so ist der Berührungspunct allemal derjenige, gegen welchen der ungewöhnlich gebrochene Strahl zu geht. Wollte man auch den gewöhnlich gebrochenen Strahl finden, so müfste man zugleich eine Kugel vom Halbmesser = 1 um den Mittelpunct J beschreiben, und durch TT' auch an sie eine berührende Ebene legen, wo dann der Berührungspunct der ist, gegen welchen der gewöhnlich gebrochene Strahl zugeht.

Fig. 272.

Fig. 273.

Fig. 274.

Diese von Huygens Scharfsinn zeugende Construction ist durch alle neueren Beobachtungen, vorzüglich von Wollaston und Malus [1] vollkommen bestätigt worden, und man

1 G. XXXI. 289.

kann die schon angegebenen Erscheinungen in einzelnen Fällen leicht als dieser Construction entsprechend nachweisen[1].

Eben diese Construction findet auch bei andern Körpern Anwendung, welche doppelte Brechung zeigen, nur ist bei allen das Verhältnifs der beiden Durchmesser des Sphäroids verschieden, und es mufs allemal der Durchmesser des gröfsesten auf die Axe senkrechten Kreises sich zu der Axe selbst verhalten, wie die Zahl, welche das Brechungsverhältnifs für den ungewöhnlichen Strahl ausdrückt, zu der, welche das Brechungsverhältnifs für den gewöhnlichen Strahl angiebt.

9. Ich habe bei der Theorie der gewöhnlichen Brechung gezeigt, dafs sich die Erscheinungen derselben aus den anziehenden Kräften herleiten lassen, und insbesondre auch, wie das Princip der kleinsten Wirkung diene, um die Hauptgesetze der gewöhnlichen Brechung zu finden; es wird daher hier wohl an seiner Stelle seyn, zu zeigen, wie Laplace aus eben dem Gesetze der kleinsten Wirkung die Erscheinungen der doppelten Brechung ableitet[2].

Nach den Gesetzen der nur bis auf sehr geringe Entfernung merklichen Anziehung mufs, sobald alle Theilchen eine gleiche Anziehungskraft besitzen, die Geschwindigkeit des Strahles im Innern des Körpers, in welchen er übergeht, eine constante seyn, gleich grofs, für jeden Einfallswinkel, befindet sich dagegen in dem Körper eine Axe, die eine besondre Einwirkung ausübt, und zwar so, dafs die Brechung an allen Seiten dieser Axe auf gleiche Weise von der gewöhnlichen Brechung abweicht, so kann man keinen einfachern Ausdruck für das Quadrat der Geschwindigkeit des Lichts im Inneren des Körpers als $v^2 = a^2 + b^2 . \text{Cos.}^2 V$ annehmen, wenn V der Winkel des ungewöhnlich gebrochenen Strahles mit dieser Axe ist. — Dieser Ausdruck ist der einfachste unter denen, wo an allen Seiten der Axe einerlei Wirkung hervorgeht und wo eben deshalb nur gerade Potenzen des Sinus oder Cosinus vorkommen dürfen, und er verdient da-

---

1 Da man diese Nachweisung bei Biot findet, dem ich hier gröfstentheils gefolgt bin, Traité III. 345. so übergehe ich sie, um lieber die folgende analystische Entwickelung mitzutheilen. (Nr. 9.)

2 Mémoires de l'Institut. de France. X. p. 300.

her nächst dem in Art. *Brechung*, Nr. 22, betrachteten Falle zunächst untersucht zu werden, wenn man den Weg des Lichtstrahles, der dem Gesetze der kleinsten Wirkung gemäfs ist, untersuchen will.

Das Gesetz der kleinsten Wirkung fordert eigentlich, wenn v die Geschwindigkeit, ds das Element des Weges ist, dafs $\int v\,ds$, ausgedehnt auf den ganzen Weg des Lichtstrahls ein Minimum sey, aber auch hier besteht dieser Weg aus zwei geraden Stücken, deren jedes mit unveränderlicher Geschwindigkeit durchlaufen wird, so dafs wenn v die Geschwindigkeit im leeren Raume, v' die Geschwindigkeit innerhalb des Körpers, S der im leeren Raume, s' der innerhalb des Körpers durchlaufene Weg ist, $v.s+v'.s'=$ einem Kleinsten werden mufs.

Es sey A der Punct im leeren Raume, von wo der Licht- Fig. strahl nach C innerhalb des Körpers so gelangen soll, dafs 274. $v.s+v'.s'$ ein Kleinstes werde, und $AB = p$ der senkrechte Abstand von der Brechungs-Ebne, Θ der Einfallswinkel, als o $AD = p.\mathrm{Sec}.\,\Theta$, $DB = p.\,\mathrm{Tang}.\,\Theta$; eben die Bedeutung soll in Beziehung auf C die Gröfse p', Θ', $p'.\mathrm{Sec}.\,\Theta'$, $p'.\,\mathrm{Tang}.\,\Theta'$ haben, wo dann Θ' der Brechungswinkel ist.

Es ist also hier

$v.p.\mathrm{Sec}.\,\Theta + v'.p'.\mathrm{Sec}.\,\Theta'$ ein Kleinstes, und v' eine Function der Lage des Strahls gegen die Axe der doppelten Brechung. Um dieses auszudrücken, beziehen wir die Lage des Strahls auf eine in der Brechungs-Ebene gezogne Linie DE, und setzen $BDE = \eta$, und den entsprechenden Winkel für den gebrochenen Strahl $= \eta'$. Es erhellt leicht, dafs dann $p.\,\mathrm{Tang}.\,\Theta.\,\mathrm{Sin}.\,\eta + p'\,\mathrm{Tang}.\,\Theta'.\,\mathrm{Sin}.\,\eta'$ und $p.\,\mathrm{Tang}.\,\Theta.\,\mathrm{Cos}.\,\eta + p'.\,\mathrm{Tang}.\,\Theta'.\,\mathrm{Cos}.\,\eta'$ die Abstände zweier Paare von Ebenen von einander sind, dafs die erstere Formel nämlich den Abstand zweier durch A und C senkrecht auf die Brechungs-Ebene gelegter und mit DE paralleler Ebenen, die zweite den Abstand zweier, gleichfalls auf die Brechungs-Ebene senkrechter, aber auf DE senkrechter, durch A und C gelegter Ebenen darstellt. Da nun A und C ihrer Lage ungeändert behalten sollen, wenn gleich der Einfallspunct D ein anderer wird, so müssen die Differentiale beider Formeln verschwinden, wenn man Θ und η veränderlich

setzt, und dieses dient, zwei der Differentiale $d\Theta$, $d\eta$, $d\Theta'$, $d\eta'$, durch die beiden andern auszudrücken. Es ist nämlich

$$0 = \frac{p \,.\, d\Theta \,.\, \text{Sin.}\, \eta}{\text{Cos.}^2\, \Theta} + \frac{p'.\, d\,\Theta' \,.\, \text{Sin.}\, \eta'}{\text{Cos.}^2\, \Theta'}$$

$$+ p \,.\, d\eta \,.\, \text{Tang.}\, \Theta \,.\, \text{Cos.}\, \eta + p' \,.\, d\eta' \,.\, \text{Tang.}\, \Theta' \,.\, \text{Cos.}\, \eta.$$

und

$$0 = \frac{p \,.\, d\Theta \,.\, \text{Cos.}\, \eta}{\text{Cos.}^2\, \Theta} + \frac{p' \,.\, d\,\Theta' \,.\, \text{Cos.}\, \eta'}{\text{Cos.}^2\, \Theta'}$$

$$- p \,.\, d\eta \,.\, \text{Tang.}\, \Theta \,.\, \text{Sin.}\, \eta - p' \,.\, d\eta' \,.\, \text{Tang.}\, \Theta' \,.\, \text{Sin.}\, \eta'.$$

Aus diesen beiden Gleichungen folgt:

$$\frac{p \,.\, d\Theta}{\text{Cos.}^2\, \Theta} = -\frac{p' \,.\, d\,\Theta'}{\text{Cos.}^2\, \Theta'} \,.\, \text{Cos.}\,(\eta' - \eta)$$

$$+ p' \,.\, d\eta' \,.\, \text{Tang.}\, \Theta' \,.\, \text{Sin.}\,(\eta' - \eta);$$

und eben so liefse sich $d\eta$ ausdrücken, wenn es nöthig wäre.

Nach dem Gesetze der kleinsten Wirkung soll nun

$$d\,.\,(v\,p \,.\, \text{Sec.}\, \Theta + v'\, p' \,.\, \text{Sec.}\, \Theta') = 0$$

$$\text{also } \frac{v \,.\, p \,.\, d\,\Theta \,.\, \text{Sin.}\, \Theta}{\text{Cos.}^2\, \Theta} + \frac{v'\, p' \,.\, d\,\Theta' \,.\, \text{Sin.}\, \Theta'}{\text{Cos.}^2\, \Theta'}$$

$$+ \left\{ \left(\frac{d\,v'}{d\,\Theta'} \right) d\,\Theta' + \left(\frac{d\,v'}{d\,\eta'} \right) d\,\eta' \right\} p' \,.\, \text{Sec.}\, \Theta' = 0$$

seyn, denn v ist unveränderlich, v' aber hängt von der Lage des Strahls gegen eine bestimmte Axe ab. Verbindet man die beiden letzten Gleichungen, um $d\,\Theta$ fortzuschaffen, und setzt dann die Coefficienten von $d\,\Theta'$ und $d\,\eta'$ jede für sich $= 0$, so ist

$$\left(\frac{d\,v'}{d\,\eta'} \right) = -\,v \,.\, \text{Sin.}\, \Theta \,.\, \text{Sin.}\, \Theta' \,.\, \text{Sin.}\,(\eta' - \eta).$$

und

$$v' \,.\, \text{Sin.}\, \Theta' + \left(\frac{d\,v'}{d\,\Theta'} \right) \text{Cos.}\, \Theta' = v \,.\, \text{Sin.}\, \Theta \,.\, \text{Cos.}\,(\eta' - \eta).$$

Diese Formeln, die sich auf eine ganz willkürliche Axe D E
Fig. beziehen, müssen nun auf die Axe doppelter Brechung bezo-
274. gen werden. Diese sey D U und ihre Projection auf die
und Brechung-Ebene D V; es sey

275. $\text{C D U} = \text{V}$, $\text{U D V} = 90° - \lambda$ $\text{E D V} = \text{u}$

so wäre ja $AB = 90° - \Theta$, $UV = 90° - \lambda$, $VB = \mu + \eta$,

also Cos. UB = Sin. λ . Cos. $(\mu + \eta)$,

Sin. UB . Sin. VBU = Sin. VU = Cos. s'

also Cos. AU = Cos. AB. Cos. BU + Sin. AB. Sin. BU Cos. (ABU)

= Sin. Θ . Sin. λ Cos. $(\mu + \eta)$ — Cos. Θ . Cos. λ,

weil Cos. ABU = Cos. $(90° + VBU)$ = — Sin. VBU ist.

Ganz eben so fände sich für den gebrochenen Strahl Cos. V. Aber da die willkührliche Linie DE am besten so angenommen wird, dafs sie mit DV zusammenfällt oder selbst die Projection der Axe doppelter Brechung ist, so setze ich $\mu = 0$, also Cos. V = — Sin. Θ'. Sin. λ. Cos. η' + Cos. Θ' . Cos. λ, wo dann V der Winkel ist, den der gebrochene Strahl mit der Axe doppelter Brechung macht. Wir können nun

da $\left(\frac{\text{d. Cos. V.}}{\text{d}\,\Theta'}\right)$ = — Cos. Θ' Sin. λ. Cos. η' — Sin. Θ'. Cos. λ,

und $\left(\frac{\text{d . Cos. V}}{\text{d}\,\eta'}\right)$ = Sin. Θ' . Sin. λ . Sin. η'.

auch statt der vorigen Ausdrücke für die partielle Differentiale von v' erhalten:

$$-v \,.\, \text{Sin.}\ \Theta \,.\, \text{Sin.}\ (\eta' - \eta) = \left(\frac{\text{d}\,v'}{\text{d . Cos. V}}\right) \text{Sin.}\ \lambda \,.\, \text{Sin.}\ \eta'$$

und

$$v' \,.\, \text{Sin.}\ \Theta' - \text{Cos.}\ \Theta' \left(\frac{\text{d}\,v'}{\text{d . Cos. V}}\right) (\text{Cos.}\ \Theta' \,.\, \text{Sin.}\ \lambda\ \text{Cos.}\ \eta'$$

$$+ \text{Sin.}\ \Theta'\ \text{Cos.}\ \lambda) = v \,.\, \text{Sin.}\ \Theta \,.\, \text{Cos.}\ (\eta' - \eta).$$

Multiplicirt man hier die letzte Gleichung mit Sin. η', die erste mit Cos. η', so giebt ihre Summe:

$$v \,.\, \text{Sin.}\ \Theta \,.\, \text{Sin.}\ \eta = \text{Sin.}\ \Theta' \,.\, \text{Sin.}\ \eta' \left\{ v' - \text{Cos. V} \left(\frac{\text{d}\,v'}{\text{d. Cos. V}}\right) \right\}$$

und wenn man umgekehrt die erste mit Sin. η', die letzte mit Cos. η' multiplicirt, so giebt die Differenz

$$v \,.\, \text{Sin.}\ \Theta \,.\, \text{Cos.}\ \eta = \text{Sin.}\ \Theta' \,.\, \text{Cos.}\ \eta' \left\{ v' - \left(\frac{\text{d}\,v'}{\text{d.Cos.V.}}\right) \text{Cos. V} \right\}$$

$$- \left(\frac{\text{d}\,v'}{\text{d . Cos. V}}\right) \text{Sin.}\ \lambda \,.$$

Diese Formeln sind noch ganz allgemein, es mag v' wie man will von Cos. V abhängen; setzen wir aber nun

$$v'^2 = v^2 (a^2 + b^2 \text{ Cos.}^2 V);$$

$$\left(\frac{dv'}{d \cdot \text{Cos. V}}\right) = \frac{v^2 b^2 \text{ Cos. V}}{v'};$$

so geben die beiden letzten Ausdrücke

$$\text{Sin. } \Theta \text{ . Sin. } \eta = \frac{v a^2 \text{ Sin. } \Theta' \text{ . Sin. } \eta'}{v'}; \quad \ldots\ldots \text{(I)}$$

und

$$\text{Sin. } \Theta \text{ . Cos. } \eta = \frac{v}{v'} \left\{ a^2 \text{ Sin. } \Theta' \text{ . Cos. } \eta' - b^2 \text{ Cos. V. Sin. } \lambda \right\}; \ldots \text{(II)}$$

Diese Gleichungen müssen so verbunden werden, dafs man v' und V ganz wegschafft, und dann Θ' und η' durch gegebene Gröfsen bestimmt. Die folgenden von Laplace angegebenen Umformungen sind dazu deswegen am vortheilhaftesten, weil sich die ungeraden Potenzen von Cos. V. sogleich aufheben.

Die Summe der Quadrate beider Gleichungen (I) und (II) giebt:

$$\left(\text{Sin. } \Theta \text{ . Cos. } \eta + \frac{v b^2}{v'} \text{ Sin. } \lambda \text{ . Cos. V}\right)^2 + \text{Sin.}^2 \Theta \text{ . Sin.}^2 \eta = \frac{v^2 a^4}{v'^2} \text{ Sin.}^2 \Theta'; \quad \ldots \text{(III)}$$

und wenn man (II) mit Sin. λ multiplicirt, und bemerkt, dafs

$$\text{Sin. } \lambda \text{ . Sin. } \Theta' \text{ . Cos. } \eta' = \text{Cos. } \lambda \text{ . Cos. } \Theta' - \text{Cos. V}$$

ist, so hat man auch

$$\left(\text{Sin. } \lambda \text{ . Sin. } \Theta \text{ . Cos. } \eta + \frac{v(a^2 + b^2 \text{ . Sin.}^2 \lambda)}{v'} \text{ Cos. V}\right)^2 = \frac{v^2 a^4}{v'^2} \text{ Cos.}^2 \lambda \text{ . Cos.}^2 \Theta'; \ldots \text{(IV)}$$

Subtrahirt man nun die Gleichung (IV) mit b^2 multiplicirt, von der Gleichung (III) mit $(a^2 + b^2 \text{ . Sin.}^2 \lambda)$ multiplicirt, so erhält man

$$v' = \frac{v a^2 \text{ Cos. } \Theta' \text{ . } \sqrt{(a^2 + b^2)}}{\sqrt{\left\{ a^2 (a^2 + b^2 \text{ Sin.}^2 \lambda) - \text{Sin.}^2 \Theta (a^2 + b^2 \text{ Sin.}^2 \lambda \text{ . Sin.}^2 \eta) \right\}}}$$

und daraus erhält man leicht vermittelst der Gleichung (I)

$$\text{Tang. } \Theta' \text{. Sin. } \eta'$$
$$= \frac{\sqrt{(a^2+b^2)}\,\text{Sin.}\,\eta\,.\,\text{Sin.}\,\Theta}{\sqrt{\{a^2(a^2+b^2\,\text{Sin.}^2\lambda)-\text{Sin.}^2\,\Theta(a^2+b^2\,\text{Sin.}^2\lambda\,\text{Sin.}^2\eta)\}}}$$

und da (II) sich in

$$\text{Sin. } \Theta\,.\,\text{Cos. } \eta = v\frac{(a^2+b^2\ \text{Sin.}^2\lambda)\ \text{Sin. }\Theta'\text{. Cos. }\eta'}{v'}$$
$$-\frac{v}{v'}\ b^2\ \text{Sin. }\lambda\,.\,\text{Cos. }\lambda\,.\,\text{Cos. }\Theta',$$

verwandeln läfst, so giebt sie

$$\text{Tang. } \Theta'\,.\,\text{Cos. } \eta' = \frac{b^2\ \text{Sin. }\lambda\,.\,\text{Cos. }\lambda}{a^2+b^2\ \text{Sin.}^2\lambda} + \frac{a^2}{(a^2+b^2\,.\,\text{Sin. }\lambda)}$$
$$+\frac{\sqrt{(a^2+b^2)}\,\text{Sin. }\Theta\,.\,\text{Cos. }\eta}{\sqrt{\{a^2(a^2+b^2\,\text{Sin.}^2\lambda)-\text{Sin.}^2\,\Theta\ (a^2+b^2\ \text{Sin.}^2\lambda\,\text{Sin.}^2\eta)\}}}$$

10. Wir wollen diese beiden Hauptgleichungen nun auf einige besondre Fälle anwenden, und sie mit den in Nr. 7 gefundenen Resultaten vergleichen.

a. Es sey $\lambda = 0$, oder die Brechungs-Ebene senkrecht auf die Axe des Krystalls, so ist, wenn man aus den beiden letzten Formeln Tang. η' sucht, Tang. $\eta' =$ Tang. η, oder $\eta' = \eta$. Also der gebrochene Strahl liegt mit dem einfallenden Strahle und dem Einfallslothe in derselben Ebene.

Zugleich ist $\text{Tang. } \Theta' = \dfrac{\sqrt{(a^2+b^2)}\ \text{Sin. }\Theta}{a\sqrt{(a^2-\text{Sin.}^2\,\Theta)}}$

$$\text{oder Sin. } \Theta' = \frac{\sqrt{(a^2+b^2)}\ \text{Sin. }\Theta}{\sqrt{(a^4+b^2\,\text{Sin.}^2\,\Theta)}}.$$

b. Liegt dia Axe in der Brechungs-Ebene selbst, so ist $\lambda = 90°$, und man findet Tang. $\eta' = (a^2+b^2)$ Tang. η. und

$$\text{Tang } \Theta' = \frac{\text{Sin. }\Theta\,.\,\sqrt{\{(a^2+b^2)^2\ \text{Sin.}^2\,\eta + a^4\ \text{Cos.}^2\,\eta\}}}{\sqrt{(a^2+b^2)}.\sqrt{\{a^2(a^2+b^2)-\text{Sin.}^2\,\Theta(a^2+b^2\,\text{Sin.}^2\eta)\}}}$$

Die zwei Hauptfälle, wo $\eta = 90°$ und wo $\eta = 0$ sind, geben:

Wenn $\eta = 90°$, auch $\eta' = 90°$, und Sin. $\Theta' = \dfrac{1}{a}$ Sin. Θ, also ist hier der Sinus des Brechungswin-

kels dem Sinus des Einfallswinkels proportional. Nach den in Nr. 7, b angeführten Versuchen ist $\frac{1}{a} = 0,674$.

Der zweite Fall giebt $\eta = 0, \eta' = 0$;

$$\text{Tang. } \Theta' = \frac{a \cdot \text{Sin. } \Theta}{\sqrt{(a^2 + b^2)} \cdot \sqrt{(a^2 + b^2 - \text{Sin.}^2 \Theta)}}$$

$$\text{und Sin. } \Theta' = \frac{a \text{ Sin. } \Theta}{\sqrt{\{(a^2+b^2)^2 - b^2 \text{ Sin.}^2 \Theta\}}}.$$

In diesen drei Fällen liegen der einfallende und gebrochene Strahl mit dem Einfallsloth in derselben Ebene.

c. Wenn die Brechungs-Ebene eine der natürlichen Oberflächen des Krystalls ist, also $\lambda = 44^\circ\ 36'\ 35''$ (Nr. 2), so ist für $\Theta = 0$ oder für den senkrecht einfallenden Strahl, $\eta' = 0$, und

$$\text{Tang. } \Theta' = \frac{b^2 \cdot \text{Sin. } \lambda \cdot \text{Cos. } \lambda}{a^2 + b^2 \text{ Sin.}^2 \lambda},$$ welches vermöge der nachher folgenden Werthe von a^2 und b^2 giebt $\Theta' = 6^\circ 16'$, was auch mit den Beobachtungen übereinstimmt.

d. Wenn eine ganz willkührliche Oberfläche des Krystalls die Brechungsfläche darbietet, so giebt es eine bestimmte Lage des einfallenden Strahles, wobei der gebrochene Strahl mit der Axe des Krystalls zusammenfällt, oder $V = 0$ und $\Theta' = -\lambda$ wird. Wenn das geschieht wird

$$\text{Sin. } \Theta = \sqrt{(a^2 + b^2)} \text{ Sin. } \lambda$$

$$\text{oder Sin. } \Theta' = \frac{1}{\sqrt{(a^2 + b^2)}} \text{ Sin. } \Theta.$$

Da in diesem Falle der ungewöhnlich gebrochene Strahl mit dem gewöhnlich gebrochenen zusammenfällt, so ist

$\frac{1}{\sqrt{(a^2 + b^2)}} = 0,604$, und damit sind die beiden Grössen a, b bestimmt; (Vergl. Nr. 7, b.) nämlich

$a^2 + b^2 = 2,741$; $a^2 = 2,199$; $b^2 = 0,542$.

Laplace zeigt, dafs diese Formeln das von Huygens angegebene Sphäroid darstellen.

Ueber die verschiedene Beschaffenheit der beiden gebrochenen Strahlen, nach ihrem Durchgange durch den Krystall.

11. Schon aus dem vorigen erhellet, dafs nicht alle Lichttheilchen nach den eben angegebenen Gesetzen fortgehen, sondern während einige Lichttheilchen den gewöhnlichen Gesetzen gemäfs so fortgehen, dafs der Brechungswinkel Θ'' für sie durch

Sin. $\Theta'' = \frac{\text{Sin. } \Theta}{\sqrt{(a^2 + b^2)}}$ bestimmt wird oder die Geschwindigkeit $= \sqrt{(a^2 + b^2)}.v$, ist, gehen die übrigen, dem ungewöhnlichen Gesetze gemäfs, so fort, dafs $v' = \sqrt{(a^2 + b^2 - b^2 \text{ Sin.}^2 V)}$ ist, oder der Brechungswinkel Θ' für sie den in Nr. 9 bestimmten Werth hat.

Man fragt daher wohl mit Recht, welche Verschiedenheit denn unter den Lichttheilchen, welche dem einen Gesetze und denen, welche dem andern Gesetze folgen, statt finden möge.

Schon Huygens lernte durch seine Versuche eine solche Verschiedenheit kennen, Newton fafste sie auf eine sehr richtige Weise auf, aber erst in neuern Zeiten haben andre Versuche die ganze Wichtigkeit dieser Verschiedenheit ganz vorzüglich dargethan. Der Versuch, der zuerst diese Verschiedenheit zeigte, ist ungefähr folgender:

Läfst man einen Lichtstrahl senkrecht auf die natürliche Oberfläche des Kalkspaths fallen, und durch eine, der ersten Brechungs-Ebene parallele Ebene wieder ausfallen, so hat er sich in zwei Strahlenbüschel getrennt, deren einer ungebrochen durchgegangen ist, der andre aber einen Winkel von $6^\circ 16'$ mit jenem bildet. Der erstere ist der gewöhnlich gebrochene, der andre ungewöhnlich gebrochene. Stellt man nun einen zweiten Krystall so, dafs die Axen beider parallel sind, und die entsprechenden Seitenflächen parallel, und läfst auf diesen jene beiden Strahlen auffallen, so wird der erste nach den Gesetzen der gewöhnlichen Brechung, der andre nach den Gesetzen der ungewöhnlichen Brechung in dem zweiten Krystalle fortgehen, und keine neue Spaltung der Strahlen erfolgen. Verändert man da-

gegen des zweiten Krystalls Lage, so dafs noch immer die von dem Strahle getroffene Ebene parallel mit denen des ersten Krystalls bleibt, aber der Krystall nach und nach gedreht wird, so sieht man jeden der beiden Strahlenbüschel sich in zwei Büschel trennen, die anfangs von ungleicher Intensität sind, die einander gleich werden, wenn ein Achtel der Drehung vollendet ist, und wenn man die Drehung weiter fortsetzt, sich so verändern, dafs nach Vollendung eines Viertels der Drehung zwei von ihnen wieder ganz verschwunden sind, indem nun der ganze, als gewöhnlich gebrochener Strahl eintretende Strahl im zweiten Krystalle der ungewöhnlichen Brechung folgt, und der als ungewöhnlich gebrochener eintretende Strahl im zweiten Krystalle der gewöhnlichen Brechung folgt. Hiermit sind die bei parallel bleibenden Brechungs-Ebenen sich ergebenden Verschiedenheiten erschöpft; denn wenn man die Drehung weiter fortsetzt, so kommen die vorigen Erscheinungen wieder, hat man drei Achtel der Umdrehung vollendet, so hat man wieder vier gleich starke Strahlenbüschel, hat man eine halbe Umdrehung vollendet, so ist es wie zu Anfang, bei $\frac{5}{8}$ und $\frac{7}{8}$ der Drehung kommen die Erscheinungen wie bei $\frac{1}{8}$ wieder, bei $\frac{3}{4}$ wie bei $\frac{1}{4}$.

Um diese Verschiedenheiten mit einem Blicke zu übersehen, gebraucht Biot eine sehr passende Bezeichnung, indem er des aus dem ersten Krystalle hervordringenden, gewöhnlich gebrochenen, Strahles Intensität durch Fo, und des ungewöhnlich gebrochenen Strahles Intensität durch Fe bezeichnet, (o und e erinnern an die Worte ordinär und extraordinär). Versteht man dann ferner unter Foo den Theil des ersten, der auch im zweiten Krystalle der gewöhnlichen Brechung folgt, unter Foe den Theil des ersten der im zweiten Krystalle der ungewöhnlichen Brechung folgt, und ebenso unter Feo, Fee die beiden Theile des im ersten Krystalle ungewöhnlich gebrochenen Strahles, so ist allgemein

$$Foo = Fo \cdot \cos.^2 i$$
$$Foe = Fo \cdot \sin.^2 i$$
$$Feo = Fe \cdot \sin.^2 i$$
$$Fee = Fe \cdot \cos.^2 i$$

wenn i den Winkel bedeutet, den die Ebene des Haupt-

schnittes des letztern Krystalls mit der Ebene des Hauptschnitts des ersteren macht, während die Brechungs-Ebenen unter sich parallel bleiben und der einfallende Strahl senkrecht gegen sie ist [1].

Aehnliche Erscheinungen ergeben sich auch bei Strahlen, die unter andern Winkeln einfallen.

Uebrigens ist es bei diesem Durchgange durch zwei doppelt brechende Krystalle gleichgültig, ob es gerade Kalkspathe oder andre Krystalle, welche die Eigenschaft der doppelten Brechung besitzen, sind; ja es können zwei verschiedenartige Krystalle seyn, und immer wird das, was von dem gewöhnlich gebrochenen und dem ungewöhnlich gebrochenen Strahle gesagt ist, eben so statt finden.

12. Es ist hier zwar nicht der Ort, näher anzugeben, welche andre mit diesen in Verbindung stehende Erscheinungen Veranlassung gegeben haben, die Modification, welche das Licht beim Durchgange durch doppelt brechende Krystalle erleidet, mit einem eigenen Namen zu belegen, und sie *Polarisirung des Lichtes* zu nennen; aber um die Erscheinungen, von denen hier die Rede ist, besser zu übersehen, wird es gleichwohl nöthig seyn, die Vorstellung, durch welche sie sich am leichtesten der sinnlichen Anschauung unterwerfen lassen, hier mitzutheilen.

So wenig wir auch von den Lichttheilchen wissen, so wollen wir sie uns hier doch als gleichgeformt und als Körper denken, die eine Axe haben. Die Strahlen, die von einem leuchtenden Körper zu uns gelangen, enthalten Lichttheilchen in allen möglichen Lagen, die nach der Richtung des Lichtstrahls fortgehen. Erleidet aber der Lichtstrahl die Brechung im doppelt brechenden Krystalle, so ordnen sich in dem gewöhnlich gebrochenen Strahle allemal die Axen der Lichttheilchen so, dafs sie sämmtlich in einer durch die Richtung dieses Strahls mit der Axe des Krystalls parallel gelegten Ebene liegen; dagegen ordnen sich in dem ungewöhnlich gebrochenen Strahle die Axen der Lichttheilchen so, dafs sie senkrecht sind auf eine durch die Richtung des ungewöhnlich gebrochenen Strahles parallel mit der Axe gelegte Ebene. Beide Strahlen sind also polarisirt, dder die Axen der Licht-

1 Traité IV. 264.

theilchen haben eine bestimmte Lage in Beziehung auf jene Ebene angenommen, aber eine Lage, die für den einen Strahl anders als für den andern ist.

Da hier also eine Kraft wirken muſs, welche die Lichttheilchen in diese Stellung bringt, so läſst sich nun leicht einsehen, warum der schon durch einen Krystall durchgelassene Strahl im zweiten Krystalle die vorhin erwähnten, nach der Lage des letztern ungleichen Erscheinungen darbietet.

Es sey nämlich zuerst die Ebene des Hauptschnittes im zweiten Krystall parallel der Ebene des Hauptschnittes im ersten. Trifft hier ein im ersten Krystall gewöhnlich gebrochener Strahl die Oberfläche des zweiten senkrecht, so haben alle Theilchen schon die Lage gegen die Axe des zweiten Krystalls, die sie bei der gewöhnlichen Brechung in diesem Krystall annehmen würde, und kein Theilchen folgt der ungewöhnlichen Brechung; und ebenso haben alle Theilchen des ungewöhnlich gebrochenen Strahles der aus dem ersten Krystalle zum zweiten gelangt, die Lage, die sie in Beziehung auf die Axe des zweiten Krystalls bei der ungewöhnlichen Brechung hier annehmen würden, und deshalb folgen alle Theilchen dieses Strahls hier der ungewöhnlichen Brechung. Sollten im letztern Falle einige Lichttheilchen in die Stellung gebracht werden, die bei der gewöhnlichen Brechung statt findet, so müfsten ihre Axen um einen ganzen Quadranten gedreht werden; diese Wirkung erfolgt aber nicht, weil die Kraft, welche die Axe richten sollte, hier mit der Richtung der Axe zusammenfällt.

Wir gehen zu einem zweiten Falle über, wo die Brechungs-Ebenen noch unter einander parallel sind, aber die Hauptschnitte beider Krystalle einen rechten Winkel mit einander machen. Hier treten die Theilchen des im ersten Krystalle gewöhnlich gebrochenen Strahles so ein, dafs ihre Axen sich sämmtlich in der Lage befinden, welche dem ungewöhnlich gebrochenen Strahle im zweiten Krystalle angemessen ist, und folgen alle der ungewöhnlichen Brechung; die Theilchen des ungewöhnlich gebrochen aus dem ersten Krystalle hervorgehenden Strahls haben dagegen sämmtlich die Lage,

welche der gewöhnlichen Brechung im zweiten Krystall zugehört, und erleiden daher alle die gewöhnliche Brechung.

Machen endlich die Ebenen der Hauptschnitte einen Winkel mit einander, und trifft der gewöhnlich gebrochene Strahl den zweiten Krystall, so sind die Axen seiner Theilchen schief geneigt gegen die beiden Richtungen, die sie hier theils bei der gewöhnlichen Brechung theils bei der ungewöhnlichen annehmen sollten, und die Kräfte, die ihnen diese Richtungen zu ertheilen streben, wirken daher auf sie ein. Ist der Winkel, den die Ebenen beider Hauptschnitte mit einander bilden, klein, so hat die Kraft, welche die Axen der Theilchen in eine mit der Axe des zweiten Krystalls parallel durch die Richtung des Strahles gelegte Ebene zu bringen strebt, eine grofse Gewalt und die meisten Theilchen folgen ihr, oder folgen der gewöhnlichen Brechung; der gewöhnlich gebrochene Theil des Strahles hat also noch immer eine sehr bedeutende Intensität, statt dafs der ungewöhnlich gebrochene Theil des Strahles nur schwach erscheint, weil die Kraft, welche die Theilchen in die ihm entsprechende Lage bringen sollte, nur erst wenig von der Lage der Axe verschieden ist. Dieselbe Betrachtung findet für die beiden aus dem ungewöhnlich gebrochenen Strahle hervorgehenden Strahlen statt, und läfst sich nun auf alle Neigungswinkel der Hauptschnitte gegen einander leicht anwenden. Das Einzige, was bei dieser Vorstellungsart noch zweifelhaft erscheint, ist die Frage: warum denn einige Theilchen der einen, andere der andern Einwirkung folgen, da doch allen Axen genau einerlei Richtung zugeschrieben wurde? — Dieser Zweifel mag hier nur durch eine zweite Hypothese, dafs nämlich jene Richtung aller Axen nur die mittlere Richtung sey, von der die einzelnen Axen ein wenig nach allen Richtungen abweichen, beseitiget werden. Die Untersuchungen, welche in dem Art. *Polarisirung* des Lichts vorkommen, werden zeigen, dafs hier eben solche Anwandlungen entgegengesetzter Zustände sich zeigen, wie wir sie in dem Art. *Anwandlungen* betrachtet haben, und dafs also etwas, das dieser zweiten Hypothese ungefähr gemäfs ist, allerdings statt findet.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Ueber die Bestimmung der Lage der Axe und über die Entscheidung der Frage, ob Körper eine oder mehrere Axen doppelter Brechung haben.

13. Wenn die doppelte Brechung eines jeden Krystalls nur von *einer* Axe doppelter Brechung abhinge, wie es beim Doppelspath der Fall zu seyn scheint: so liefse sich diese Axe nach der von Biot angegebenen Methode finden[1]. Da es nämlich für diese Krystalle nur zwei Lagen giebt, in welchen ein polarisirter Lichtstrahl seine ursprüngliche Polarisirung behält, nämlich 1. wenn die Ebene des Hauptschnittes mit der Ebene, worin die Richtung des Strahls und die Axe jedes Lichttheilchens liegt, zusammenfällt, und 2. wenn diese Ebenen auf einander senkrecht sind: so braucht man nur in einem Körper, der doppelte Brechung zeigt, die beiden Schnitte aufzusuchen, wobei die Fortdauer der ursprünglichen Polarisirung statt findet. Einer dieser Schnitte ist gewifs der Hauptschnitt, und wenn man den Krystall so schneidet, dafs das eine Mal der eine, das andere Mal der andere jener Schnitte die Brechungs-Ebene darstellt, so läfst sich hier wieder die Richtungslinie finden, wo der gebrochene Strahl seine Polarisation behält, und eine dieser Richtungslinien ist die Axe. Um zu entscheiden, welche es ist, mufs man aus dem Krystall aufs neue Stücke so schneiden, dafs der durchgehende Strahl jener Richtungslinie parallel sey; denn wenn sie die Axe ist, so entstehen dann keine doppelten Bilder. Man schneidet diese Stücke am besten so, dafs sie Prismen sind, deren eine Seitenfläche senkrecht auf die Axe ist, indem dann, wenn der Strahl innerhalb des Prisma's nach der Richtung der Axe fortgeht, also die eine Seitenfläche, die man dem Auge zuwendet, senkrecht trifft, keine Zerlegung in zwei Strahlenbüschel erfolgt, wie aus Nr. 7, a und Nr. 10, d erhellet. Um zu verhindern, dafs nicht wegen der beim Eintritte in das Prisma erfolgenden Farbenzerstreuung einige Farbenstrahlen von der ge-

1 Biot Traité. IV. 319.

nauen Axe abweichend durchgehen, während andere genau mit ihr zusammenfallen; mufs man das Prisma achromatisiren, indem man ein Glasprisma an der schief gegen die Axe geschnittenen Seite anlegt, und dieses so nimmt, dafs die von ihm hervorgehenden und in das aus dem doppelt brechenden Körper geschnittene Prisma übergehenden Farbenstrahlen alle, vermöge der kleinen Ungleichheit des Einfallswinkels, genau der Richtung der Axe des Krystalles parallel gebrochen werden.

Hat man diese Axe doppelter Brechung gefunden, so kann man bei jedem verschiedenartigen Krystalle auch bestimmen, ob die von der Axe ausgehende Kraft eine anziehende oder eine abstofsende ist. Man nimmt nämlich ein Prisma aus dem zu untersuchenden Krystalle so geschnitten, dafs die Kanten der Axe parallel sind, und untersucht nun, welches der beiden Bilder der Axe parallel polarisirt, und welches senkrecht gegen die Axe polarisirt ist, das erstere ist das aus dem gewöhnlich gebrochenen, das zweite das aus dem ungewöhnlich gebrochenen Strahle entstehende; ist jenes mehr abgelenkt, so ist die Kraft eine repulsive, ist dieses mehr abgelenkt so ist die Kraft eine attractive, wie aus Nr. 7, b. erster Fall, erhellet; oder wie Brewster noch vorsichtiger sagt, im einem Falle ist sie negativ, wenn man sie im andern positiv nennt. Wie man aber die Art der Polarisirung mit Hülfe eines Krystalls, dessen Axe und Einwirkung man kennt, finde, läfst sich aus Nr. 11. 12. übersehen, und der Art. *Polarisirung* wird noch andere Mittel angeben.

14. Diese Methode ist, nach Brewster's Meinung [1], darum nicht allgemein anwendbar, weil sie anscheinend genügende Resultate da giebt, wo der Krystall zwei Axen doppelter Brechung hat, und in diesem Falle gleichwohl die Lage der Axen nicht richtig hiedurch erkannt wird. Ich gehe daher zu einer andern Methode über, die Brewster für alle Fälle anwendbar hielt, und die auch Biot schon angewandt hat. Dabei mufs ich freilich Einiges, was erst in der Lehre von der Polarisirung des Lichts seine völlige Erklärung finden kann, unerklärt lassen; aber man wird

1 Philos. Transact. for 1818. p. 199.

dennoch die Verbindung der Phänomene mit unserm jetzi-
Fig. gen Zwecke hinreichend übersehen. Wenn man[1] eine an
276. der hintern Seite geschwärzte Glasscheibe MM′ nimmt, und einen Lichtstrahl unter einem solchen Winkel auf sie fallen läfst, dafs er polarisirt zurückgeworfen werde, so kann man einem zweiten geschwärzten Glase VV′ die Stellung geben, dafs es nichts von dem so empfangenen polarisirten Strahle zurückwirft, oder dafs ein in VV′ hineinblickendes Auge O hier den Gegenstand M, obgleich er im Sehefelde bleibt, verschwinden sieht. Hat man diese Stellung erhalten, so stellt man eine Platte Kalkspath, die senkrecht auf die Axe geschnitten ist, etwa bei P auf, so dafs der von MM′ nach VV′ gehende Strahl durch sie gehen mufs, und sie senkrecht trifft. Sobald dies geschehen ist, sieht das Auge in O, in eben der Stellung, wo es vorhin keinen von MM′ ausgehenden Lichtstrahl durch Reflexion empfing, auf dem Glase VV′ eine Menge concen-
Fig. trischer, farbiger Ringe, die, wie die Fig. zeigt, durch ein
277. schwarzes Kreuz in vier Quadranten getheilt sind, diese Farbenkreise sind, vorzüglich, wenn man dss ganz weifse Licht glänzender Wolken auf MM′ auffallen läfst, denjenigen Ringen vollkommen gleich, die zwischen Gläsern durch die Anwandlungen der leichtern Zurückwerfung entstehen[2], ihre Farben folgen sich ebenso, nur dafs das schwarze Kreuz, gegen welches zu sie schnell abnehmen, sie alle unterbricht.

Ohne hier auf die Erklärung dieses schönen Phänomens einzugehen[3], genügt es, zu bemerken, dafs die Axe dop-
Fig. pelter Brechung des Kalkspaths P mit der Richtung des von
276. MM′ nach VV′ gehenden Strahls zusammentreffen mufs, wenn jene Kreise sich zeigen sollen, und dafs also umgekehrt, das Entstehen dieser Kreise ein Zeichen ist, dafs die in P aufgestellte Krystallplatte, welche den Strahl senkrecht gegen beide Brechungsebenen empfängt, genau senkrecht auf die Axe doppelter Brechung geschnitten sey. Auf eine ganz

---

1 Biot Traité. IV. 482.

2 S. *Anwandlungen.*

3 Das von Seebek zuerst beschrieben ist. S. Schweigg. J. VII. 259 XII. 1.

ähnliche Weise hat Brewster für 23 verschiedene doppelt brechende Krystalle bestimmt, dafs sie nur *eine* Axe doppelter Brechung haben[1].

Nimmt man Kalkspathplatten von verschiedener Dicke, aber immer senkrecht auf die Axe doppelter Brechung geschnitten, um sie in P dem senkrecht auffallenden Strahle darzubieten, so sind die Ringe desto kleiner, je dicker die Platte ist; stellt man zwei gleichartige Platten hinter einander auf, so ist die Verminderung des Durchmessers der Ringe ebenso, als wenn man eine einzige Platte von der Dicke, welche der Summe beider gleich ist, genommen hätte. Auf ähnliche Weise vermindert sich der Durchmesser der Ringe, wenn man eine Platte von Beryll und eine von Kalkspath gehörig geschnitten, hinter einander aufstellt und dies ist ein Beweis, dafs der Beryll zu eben der Classe, wie der Kalkspath gehört, nämlich zu der repulsiven oder negativen Classe. Nimmt man dagegen eine Zirkonplatte, und stellt sie mit einer Kalkspathplatte zugleich auf, so erscheinen gröfsere Kreise, als durch den Kalkspath allein, und man schliefst daraus mit Recht, dafs der Zirkon zur attractiven oder positiven Klasse von doppelt brechenden Krystallen gehört. Solcher Krystalle, die *eine* Axe haben, und zur *positiven* Klasse gehören, führt Brewster 5 an, dagegen 18, die zur *negativen* Klasse gehören.

15. Die Erscheinung der gefärbten Ringe zeigte uns, wenn diese kreisförmig sind, die Lage der *einen* Axe doppelter Brechung; aber wenn diese isochromatische Curven durch die Einwirkung von zwei verschiedenen Axen entstehen, so nehmen sie eine verwickeltere Form an.

Wenn man sich unter dem Kreise CODo den Fig. 278. auf CD senkrechten Kreis einer aus dem Krystalle geschnittener Kugel denkt, so findet man zwei Durchmesser Pp, P′p′, in welchen es weder Polarisirung noch doppelte Brechung giebt, und diese kann man die Axen ohne doppelte Brechung und P, p, und P′, p′, die beiden Paare der Pole dieser Axen nennen. Jeder dieser Pole ist mit solchen Ringen umgeben, deren Farben bei P, P′ anfangen, sich Fig. 279.

[1] Ph. Tr. 1818. p. 211.

bei O, C, D, A, B, verstärken und bei A, B ihr Maximum erreichen. Ist P P' ein sehr bedeutender Bogen, wie es bei Glimmer (mica) Topas u. a. der Fall ist, so kann man das System der Ringe nicht wohl auf einmal übersehen, aber in den Fällen, wo jene Axen einen kleinen Winkel mit einander machen, stellt sich das ganze System sehr sauber dar.

Fig. 280. Um es zu beobachten, nehme man eine 1 Lin. dicke Platte Salpeter, die senkrecht gegen die Axe des sechsseitigen prismatischen Krystalls geschnitten ist, setze diese so dem polarisirten Lichte aus, dafs entweder AB oder CD in der Polarisationsebene des Strahls liegen, und analysire das Licht durch Hülfe eines Kalkspathprisma's; dann wird das durch

Fig. 278. ungewöhnliche Brechung entstehende Bild ein System von Ringen, wie Fig. 278 darstellen, und wenn man dagegen das durch gewöhnliche Brechung entstehende Bild nimmt, wird man ein ähnliches System mit den complementären Farben des vorigen erhalten. — [1]

Die weitere Erzählung der Erscheinungen würde hier zu weit führen. Brewster führt 49 Krystalle an, für welche er den Winkel bestimmt hat, den die Axen mit einander bilden. Indefs trägt er Bedenken, aus diesen anscheinenden Axen einen ganz sichern Schlufs über die Anzahl und wahre Lage der Axen zu ziehen, von denen die brechenden Kräfte ausgehen, weil sehr verschiedene Hypothesen über die Lage derselben zur Erklärung der Erscheinungen dienen und diese anscheinenden Axen als Resultat ergeben können.

16. Indefs, wenn gleich diese Möglichkeit bei *verschiedenen* Hypothesen über die Lage der wirkenden Axen solche Resultate zu erhalten, die den Beobachtungen entsprechen, jene Bestimmungen zweifelhaft machen: so ergiebt sich doch von andrer Seite her eine Uebereinstimmung zwischen der krystallographischen und optischen Beschaffenheit der Mineralien, und diese scheint uns, nach Brewster's scharfsinniger Bemerkung, zu einer sehr entscheidenden Beantwortung der Frage über die Axen doppelter

---

1 Dies wird aus Nr. 14. gröfstentheils verständlich seyn; wie man beide Arten von Strahlen mit Hülfe der Spiegel erhält, wird sich vollständig im Art. *Polarisirung* ergeben.

Universitäts- und Landesbibliothek Düsseldorf

Strahlenbrechung zu führen [1]. Brewster nämlich findet, dafs in Beziehung auf die von Haüy angenommenen Kerngestalten (molécules integrantes) der Krystalle, diejenigen Krystalle, die nach den angeführten Versuchen nur *eine* Axe doppelter Brechung zeigen, zu einer gewissen Reihe von Kerngestalten gehören, dafs die, welche *zwei* Axen doppelter Brechung zeigen, zu einer andern Reihe von Kerngestalten gehören, und dafs es endlich Krystalle, zu andern Reihen von Kerngestalten gehörig giebt, deren doppelt brechende Kräfte im Gleichgewichte sind vermöge der vereinten Wirkung dreier gleicher auf einander rechtwinklicher Axen, und dafs diese daher keine doppelte Brechung zeigen.

Die Krystalle, welche nur eine Axe doppelter Brechung zeigen, scheinen entweder auch geometrisch nur eine Axe zu haben, wie der Kalkspath, bei denen die Diagonale zwischen den stumpfen Ecken die einzige gerade Linie ist, die als Axe eine für den ganzen Krystall symmetrische Lage haben kann, oder sie mögen mehrere Axen haben, aus deren einzelnen Wirkungen jedoch eine einzige mittlere entspringt. Allerdings nämlich lassen sich in solchen Krystallen, wie selbst der Kalkspath ist, gerade Linien angeben, die alle mit gleichem Rechte Axen heifsen könnten, z. B. im Kalkspath die drei zwischen der Mitte zweier einander gegenüberstehender Seiten gezogenen Linien, aber sie können auf jene eine Axe zurückgeführt werden, und zwar auf eine ihnen gleichnamig oder entgegengesetzt wirkende, je nachdem die Neigung jener gegen diese kleiner oder gröfser als $54^\circ 44' 8''$ ist [2]. Und etwas Aehnliches gilt von andern Krystallen, die geometrisch nur *eine* eigentliche Axe haben. Solche Kerngestalten sind das stumpfe Rhomboëder, das spitze Rhomboëder, das quadratische und das sechsseitige Prisma, das Oktaëder mit quadratischer Basis und das Bipyramidaldodekaëder, welche alle Mohns unter zwei Systeme, das rhomboëdrische und das pyramidalische bringt.

Betrachtet man die Krystalle, die zwei Axen doppelter Brechung zeigen, so sieht man, dafs sich bei ihnen nicht eine

1 G. LXIX. 1.

2 = Arc. Tang. $\sqrt{2}$. welchen Werth der Winkel beim Würfel erhält.

einzige geometrische Axe aufweisen läfst, wohl aber zwei auf einander senkrechte. Brewster führt als solche diejenigen an, die in Mons's prismatisches System gehören, und denen Haüy als Kerngestalten folgende beilegt: das senkrechte und schiefe Prisma mit rechteckiger, mit rhombischer, mit schief parallelogrammischer Basis; das Oktaëder mit rechteckiger (nicht quadratischer) und mit rhomboidaler Basis.

Endlich lassen sich bei den Krystallen, die keine doppelte Strahlenbrechung zeigen, drei Axen nachweisen, und es läfst sich zeigen, dafs drei gleiche auf einander senkrechte Axen, von denen alle positive oder negative Kräfte ausfliessen, ein vollkommenes Gleichgewicht dieser Kräfte ergeben. Solche Körper, in denen sich vollkommen symmetrisch nicht mehr und nicht weniger als drei Axen auffinden lassen, sind der Würfel das regelmäfsige Oktaëder und das Rhomboidaldodekaëder, und diese sind es eben, die keine doppelte Brechung zeigen [1].

17. Theoretische Untersuchungen über die Wirkung zweier Axen hat Brewster in der oben erwähnten Abhandlung angestellt, und sich bemüht zu zeigen, dafs theoretische Schlüsse über die Zahl und Lage der Axen sich nicht so leicht ziehen lassen. Biot dagegen [2] versichert, dafs er die von Laplace für Krystalle mit *einer* Axe geführte Untersuchung nach eben den Principien auf Krystalle mit *zwei* Axen angewandt habe, und dafs sich die Resultate der Rechnung bei Versuchen mit dem weifsen Topas, nachdem man durch einige Versuche die constanten Gröfsen bestimmt hatte, für alle Lagen des einfallenden Strahls bestätigt fanden. Fresnel bemerkt [3], dafs in Krystallen mit zwei Axen keiner der beiden Strahlen genau der gewöhnlichen Brechung folgen könne, und glaubt auch das, was ihm darüber seine Rechnung angab, durch Versuche mit dem Topas bestätigt zu finden.

---

1 Die weitere Ausführung und ein Verzeichnifs der einzelnen zu jeder Classe gehörenden Krystalle s. in G. LXIX. 18. und über den Zusammenhang zwischen der optischen Structur und der chemischen Bestandtheile von Brewster. G. LXIX. 157.

2 Bulletin de la société philom. 1820. p. 12.

3 Bullet. de la soc. philom. 1822. p. 65.

Universitäts- und Landesbibliothek Düsseldorf

18. Was die Lage der Lichttheilchen in Hinsicht auf die Polarisirung oder Stellung der Axen bei der doppelten Brechung in den Fällen betrifft, wo der Krystall zwei Axen hat, so stellt Biot darüber folgende Bestimmungen auf[1]. Hat der Krystall zwei Axen, so führe man durch jede von ihnen eine Ebene, die den gewöhnlich gebrochenen Strahl enthält; dieser Strahl ist dann polarisirt in einer genau mittleren Richtung zwischen diesen zwei Ebenen; und der ungewöhnliche Strahl ist polarisirt in einer Ebene, die senkrecht gegen die für ihn durch eine ganz gleiche Construction gefundene Ebene ist.

19. Einen Umstand, der die Schwierigkeit bei allen diesen Untersuchungen noch in hohem Grade vermehrt, hat Herschel (der Jüngere) aufgefunden[2]. Jene anscheinenden Axen nämlich (Nr. 15.) sind nicht genau dieselben für verschiedenfarbige Strahlen, sondern es findet sich, dafs der violette Strahl in zwei Farbenbüschel zerlegt werden kann, wenn er in eben derselben Richtung durchgeht, in welcher der rothe Strahl unzerlegt durchging. Diese Erscheinung kommt bei allen Krystallen mit zwei Axen vor, und man sieht daraus, dafs man die anscheinende oder neutrale Axe eines Krystalls nur als eine Gleichgewichtsrichtung ansehen mufs, bei welcher die auf das Lichttheilchen einwirkenden Kräfte durch entgegengesetzte Einwirkung sich aufheben. Gesetzt nun, dafs jene Kräfte von gewissen Linien ausgehen, die sich aus der primitiven Form des Krystalles entnehmen lassen (vergl. Nr. 16); so sind wir genöthigt anzunehmen, dafs diese Kräfte ein anderes Verhältnifs für den rothen als für den violetten oder jeden anderen Farbenstrahl haben müssen. Ist aber diese Wirkung eine andere für jeden Farbenstrahl, so mufs, wenn auch nur eine einzige Axe wirksam ist, die Farbenfolge in den kreisförmigen Ringen eine Abweichung von der Newtonschen Farbenscale darstellen, und dieses findet sich in der That so. —

Hier mufs ich mich begnügen, diese merkwürdige Untersuchung nur angedeutet zu haben, da sie zu sehr in Lehren

1 Bullet. de la soc. philom. 1820. p. 12.

2 Transact. of the Cambridge Soc. Vol. I. Part. I. p. 21.

eingreift; die erst im Art. *Polarisirung* erklärt werden können.

20. Aber wieviel uns hier überhaupt noch fehlt, um alle Umstände richtig zu übersehen, davon giebt Mitscherlich's wichtige Entdeckung [1] über die Ausdehnung der Krystalle durch die Wärme einen Beweis. Nach seinen Versuchen findet beim Kalkspath, wenn er erwärmt wird, eine Abnahme der stumpfen Winkel und eine Zunahme der spitzen Winkel statt, die für 80 Gr. Réaum. $8\frac{1}{2}$ Min. beträgt, diese Aenderung rührt daher, weil der Kalkspath nach der Richtung seiner Hauptaxe sich durch die Wärme ausdehnt, während er in den übrigen Richtungen eine Zusammenziehung leidet. Nach Mitscherlich's Bestimmungen findet eine solche Ungleichheit der Ausdehnung nach den verschiedenen Dimensionen nicht statt für Krystalle, die keine doppelte Brechung zeigen, dagegen verhalten sich die Krystalle mit *einer* Axe gerade in der Richtung dieser Axe anders gegen die Wärme, als in den darauf senkrechten Richtungen, und die Krystalle mit *zwei* Axen doppelter Brechung dehnen sich nach allen drei Richtungen verschieden aus.

Welchen Einfluss diese Veränderung auf die doppelte Brechung habe, hat Mitscherlich zwar in Verbindung mit Fresnel untersucht, aber den Erfolg seiner Bemühungen noch nicht bekannt gemacht [2]. Die ungleiche Ausdehnung hat Fresnel [3] auch an Gyps beobachtet.

Andere Erscheinungen, die der Doppelspath und andere Krystalle darbieten.

21. Nicht blofs da, wo ein von aufsen zum Krystall gelangender Strahl in ihn eindringt, wird dieser in zwei Farbenbüschel gespalten, sondern dasselbe ereignet sich auch, wenn ein auf die innere Oberfläche des Krystalls auffallender Strahl, statt aus ihm hervorzudringen, ganz oder

---

1 Poggendorff Ann. d. Phys. I. 125.

2 Hierher scheint Fresnel's Beobachtung zu gehören. Ann. de Ch. et P. IV. 298.

3 Poggendorff Ann. d. Phys. II. 109.

zum Theil nach Innen zurückgeworfen wird. Dafs nämlich auch hier der durch den Krystall durchgehende Strahl, wenn er die zweite Oberfläche erreicht, in gewissen Fällen theilweise, in andern gänzlich (vergl. Art. *Brechung*. Nr. 27) reflectirt wird, läfst sich leicht übersehen. Bei dieser Zurückwerfung nun erleidet fast in allen Fällen die Lage der Lichttheilchen eine solche Aenderung, dafs der im Innern zurückgeworfene Strahl sich wieder spaltet. Um die Regeln, nach welchen dies geschieht, leicht zu übersehen, dient die Bemerkung, dafs der reflectirte Strahl sich so verhält, als ob er von aufsen käme.

Ist also erstlich der Strahl, welcher die innere Oberfläche trifft, ein gewöhnlich gebrochener, so erhält man zwei zurückgeworfene Strahlen, deren einer, der der gewöhnlichen Brechung folgende, oder ihr gemäfs polarisirte, ganz so wie in andern Fällen reflectirt wird, der andre hingegen hat die Richtung, welche ein ungewöhnlich gebrochener Strahl haben würde, wenn der eben beschriebene, gewöhnlich gebrochene, einem von aufsen kommenden Strahle zugehörte, und der ungewöhnlich gebrochene eben demselben seinen Ursprung verdankte.

Wäre dagegen zweitens der die innere Oberfläche treffende Strahl ein ungewöhnlich gebrochener, so ist es nöthig, den ihm zugehörenden gewöhnlich gebrochenen zu berechnen, nämlich diejenige Richtung, die dieser haben würde, wenn jener da eindränge, wo er die Oberfläche trifft; führt man dann aus diesem berechneten Strahle die Bestimmung beider nach der Reflexion hervorgehenden Strahle so, wie im ersten Falle, so hat man beide reflectirte Strahlen, oder kurz: ein gewöhnlich gebrochener und ein ungewöhnlich gebrochener Strahl, die sich bei ihrem innern Einfallen begleiten, begleiten sich auch nach der Reflexion [1]. Dies würde nicht blofs für den Doppelspath, sondern auch für andre Krystalle gelten.

22. Der Doppelspath zeigt oft eine noch gröfsere Vervielfachung der Bilder. Von Münchow beschreibt [2] sehr

1 Biot Traité. III. 355.
2 G. XLIV. 24.

genau einen, der neben den beiden Hauptbildern noch an jeder Seite zwei Nebenbilder desselben durch ihn gesehenen Gegenstandes zeigte. Die Nebenbilder waren, vermöge der gewöhnlichen Farbenzerstreuung etwas gefärbt, und zwar beide oder alle vier mit einem rothen Saume an der innern, mit einem violetten Saum an der äufsern Seite. v. Münchow zeigt sehr genügend, dafs eine sprungartig durchgehende Ebene, die im Krystall kenntlich war, diese Erscheinung bewirkte.

Aehnliche Erscheinungen und eine noch gröfsere Vervielfachung der Bilder hat Martin schon beobachtet, und unter andern einen Versuch beschrieben, wobei 20 einzelne Bilder sichtbar wurden [1].

23. Die besondern Erscheinungen, welche sich bei manchen doppelt brechenden Krystallen zeigen, können hier unmögl. alle erwähnt werden, ich führe nur einige kurz an.

Nach Biots Beobachtungen [2] hat der Turmalin die Eigenschaft, doppelte Bilder zu zeigen, wenn man ein dünnes Stück anwendet, einfache Bilder, wenn man durch dickere Stücke sieht; Brewster beschreibt umständlich die Erscheinungen doppelter Brechung im Analcim [3]. Hier scheine von der Regel, dafs die Eigenschaft der doppelten Brechung in den kleinsten Theilchen, aus dem der Krystall besteht, ihren Sitz habe, eine Ausnahme statt zu finden. Perlmutter zeigt, dünne geschnitten und polirt, mehrere Bilder, nach Brewster [4] ein Paar colorirte Bilder und nach Herschel [5] noch aufserdem zwei neblige colorirte Massen. Aber am merkwürdigsten ist, dafs man auch Glas und andern Massen die Eigenschaft, doppelt zu brechen, künstlich ertheilen kann. Seebek hatte zuerst entdeckt, dafs eine schnelle Abkühlung nach starker Erhitzung dem Glase Eigenschaften ertheilt, die es zu Darstellung der Erscheinungen fähig

---

1 Brewster hat die Beob. zieml. umständlich mitgetheilt in Edinburgh. philos. Journal. Vol. VIII. p. 245.

2 Ann. de Chimie. XCIV. p. 191.

3 Edinb. phil. Journ. Nro. XX. p. 255.

4 Philos. Transact. 1814. p. 404.

5 Edinb. Philos. Journ. Nr. III. p. 114.

Universitäts- und Landesbibliothek Düsseldorf

macht, welche man sonst nur bei doppelt brechenden Krystallen kannte; Brewster fand, dafs eine ungleiche Fortpflanzung der Wärme in den Platten eben dieses bewirke, und endlich beobachteten Seebek und Brewster, dafs ein starker Druck bei Glas eben die Wirkung hervorbringe. Indefs, obgleich diese Wirkung in Hinsicht auf die Polarisirung genau dem entsprach, was die doppelt brechenden Krystalle zeigen, und man daher mit Recht schlofs, dafs sich auch ein Erscheinen doppelter Bilder zeigen müsse, so hatte doch keiner dieser Beobachter dieses Phänomen wirklich wahrgenommen. Da sich wohl voraussehen liefs, dafs *ein* Prisma bei sehr geringer Ablenkung beider Strahlen von einander nicht hinreichen würde, um ein doppeltes Bild zu zeigen, so legte Fresnel [1] vier Prismen, deren brechender Winkel ein rechter war, so neben einander, dafs die brechenden Winkel nach *einer* Seite lagen, und die parallelen Kanten der neben einander liegenden Grundflächen sich berührten. Diese vier Prismen waren so zwischen einen eisernen Schraubstock gelegt, dafs sie dadurch der Länge nach zusammengepreſst werden konnten. Um diese Prismen zu achromatisiren, oder jede, hier nicht zum Zweck gehörende Brechung aufzuheben, wurden die Zwischenräume zwischen diesen Prismen durch völlig gleiche, umgekehrt liegende Prismen ausgefüllt, und an den Enden Prismen von 45 Grad angelegt, um ein rechtwinkliges Parallelepipedum zu bilden, wodurch das Licht geradlinigt fortgehen würde, wenn alle in ihrer natürlichen Beschaffenheit blieben. Um die Reflexionen an den Oberflächen zu hindern, war zwischen den Flächen Terpentin aufgestrichen. Nachdem alles so vorgerichtet war, wurden die ersten vier Prismen stark zusammengepreſst, während die etwas kürzeren, zur Ausfüllung und Achromatisirung bestimmten, diesen Druck nicht litten, und es liefs sich nun voraussehen, dafs die kleine Abweichung der beiden Strahlenbüschel von einander, die etwa im ersten Prisma entstehen möchte, sich im zweiten, dritten, vierten, vermehren müsse; und wirklich zeigten sich bei starker Compression zwei deutlich von einander ent-

1 J. de P. 1822. Octbr. p. 314.

fernte Bilder, wie es hier, wo der Strahl senkrecht auf die Richtung der Compression, welche zugleich die Axe doppelter Brechung ist, durchgieng, der Fall seyn mufste. *B.*

Breite, geographische.

Polhöhe; *Latitudo geographica;* Latitude; *Latitude;* die geographische Breite eines Ortes heifst sein Abstand vom Erdäquator auf der Kugel gemessen, oder auch der Bogen des Meridians vom Zenith des Ortes bis zum Aequator der Himmelskugel. Sie heifst *südlich* oder *nördlich*, je nachdem der Ort zwischen dem Aequator und dem Südpole oder aber dem Nordpole liegt. *Höhere* Breiten nennt man diejenigen, die weit vom Aequator abstehen, niedere dagegen diejenigen, welche demselben näher sind.

Die Breite ist, in Verbindung mit der Länge, ein Hauptelement der geographischen Ortsbestimmung; und kann in der Regel nur durch astronomische Beobachtungen ausgemittelt werden; die Fälle abgerechnet, wo sie zur See durch Messung des vom Schiffe zurückgelegten Weges, vermittelst der Schiffsrechnung, zu Lande etwa durch Dreieckmessungen von der Breite eines andern Ortes hergeleitet wird. Es bezeichne HAZPO den Meridian eines Ortes, HQO den Horizont desselben, Z seinen Scheitelpunct, AQ die Lage des Aequators, P den Erdpol, so ist AZ die Breite des Ortes, AH die Höhe des Aequators, oder die Neigung des Horizonts gegen den Aequator, und OP die Erhebung des Pols über den Horizont. Da HZ ein Quadrant ist, so ist AH die Ergänzung von AZ zu 90°. Eben so ist, weil AP und OZ Quadranten sind, der Bogen PZ die Ergänzung von AZ und auch von OP. Mithin ist OP = AZ; d. h. *Polhöhe und Breite sind einander gleich.* Zur Bestimmung der Breite wird also die Kenntnifs irgend eines der vier Bogen AH, AZ, PZ, OP, oder der gegenseitigen Lage von Horizont und Aequator, Zenith und Pol erfordert. Diese kann, wie alles, was auf den Horizont sich bezieht, nur durch Messung der Höhen erlangt werden. Von der Genauigkeit, mit welcher diese gemacht werden kann, hängt der praktische Theil der Breitenbestimmung ab. Diesen Mängeln der Beobachtung selbst, so wie den Ungewifsheiten, die von der De-

Fig. 281.

clination des beobachteten Gestirns, seiner Parallaxe und der Strahlenbrechung abhängen, hat man auf verschiedene Weise zu begegnen gesucht, wodurch folgende Methoden der Breitenbestimmung entstanden sind.

a. Aus der Mittagshöhe eines Gestirns. Die einfachste und allgemeinste jener Methoden besteht darin, die Höhe eines Gestirns zu messen, in dem Moment, wo es den Meridian passirt. Man verbessert dieselbe wegen Refraction, und: (wenn man die Sonne beobachtet hat, wegen ihres Halbmessers und ihrer Parallaxe) und subtrahirt oder addirt die Declination des Gestirns, je nachdem sie mit der Polhöhe gleichnamig oder ungleichnamig ist; somit erhält man die Aequatorshöhe. Hat man, wie die Einrichtung der neuern Instrumente es mit sich bringt, statt der Höhe ihr Complement, die Zenithdistanz gemessen, so werden die erwähnten Correctionen umgekehrt angebracht.

b. Circummeridianhöhen. Da sich die Höhe eines Gestirns um die Zeit seiner Culmination nur langsam ändert, so läfst sich für kleine Abstände von der Culminationszeit durch eine leichte Rechnung bestimmen, um wie viel dasselbe niedriger stand, als seine gröfste Höhe. Man pflegt daher etwa eine Viertelstunde vor und nach der Culmination, so oft man kann, eine Höhe oder Zenithdistanz zu messen, und durch Anbringung des mit aller Zuverlässigkeit zu berechnenden Unterschieds, alle diese Beobachtungen in eigentliche Mittagshöhen zu verwandeln. Auf diese Weise erhält man mehrere Bestimmungen, deren Mittelgröfse, wenn keine constanten Fehler sich eingeschlichen haben, nach den Gesetzen der Wahrscheinlichkeit, je nach der Anzahl und der Uebereinstimmung der Resultate sich der Wahrheit in bedeutendem Grade nähert. Man thut jedoch wohl, bei der Beobachtung selbst sich nicht zu übereilen, und mehr darauf zu sehen, möglichst genaue, als nur viele Beobachtungen zu machen.

c. Verbindung zweier Mittagshöhen im südlichen und im nördlichen Theile des Meridians. Es bezeichne φ die gesuchte Breite oder den Abstand des Zeniths vom Aequator, d die nördliche Abweichung eines Sterns auf der Südseite des Meridians, δ die Abweichung des auf der Nordseite cul-

minirenden Sterns; z und Z seyen die beiden Zenithdistanzen, so ist $\varphi = z + d$ und auch $= \delta - Z$. Sind nun die Zenithdistanzen mit irgend einem constanten Fehler des Instruments, einem Collimationsfehler[1] od. dgl. behaftet, der jedoch bei beiden Beobachtungen sich gleich bliebe, so wird er durch Verbindung beider sich aufheben. Wären z. B. beide z und Z um 5 Min. zu grofs, so würde die Breite aus den südlichen Beobachtungen um eben so viel zu grofs, dagegen die aus der nördlichen um 5 Min. zu klein werden. Das arithmetische Mittel aus beiden φ gäbe die richtige Breite; ihr halber Unterschied den Fehler des Instruments. Diese Methode hilft also die constanten Fehler des Instruments vermeiden; und war früher hauptsächlich zur Ausweichung des Theilungsfehlers vorgeschlagen worden; ein Vortheil, der bei der Genauigkeit der heutigen Eintheilungsmethoden grofsentheils überflüssig wird. Wählt man solche Sterne, deren Zenithdistanzen beinahe gleich sind, so fällt auch der Einflufs der Refraction weg, zumal, wenn man die Beobachtungen um die nämliche Zeit anstellt.

d. Höhen des nämlichen Sterns über und unter dem Pol. Sowie man den Fehler des Instrumentes beseitigen kann, so läfst sich auch ein anderes Element der Breitenbestimmung, die Declination eliminiren. Man nimmt zu dem Ende die Höhe eines der Sterne, die niemals untergehen, in seiner obern, und 12 Stunden Sternenzeit später in seiner untern Culmination. Das arithmetische Mittel aus beiden Höhen, nachdem diese von der Refraction befreit sind, giebt die Höhe des Poles über dem Horizonte. Diese ist jedoch mit dem absoluten Fehler des Instrumentes behaftet; auch darf wegen Ungleichheit der Refraction die Differenz der Höhen nicht zu grofs seyn; daher man hierzu am besten Sterne nahe am Pol, am öftersten den *Polarstern* wählt. Bei der Genauigkeit, mit welcher die Declination der meisten Sterne, zumal die der gröfseren um den Pol bestimmt sind, ist diese Methode nicht von besonderm Nutzen.

e. Höhen des Polarsterns. Die geringe Höhenänderung dieses Sterns um die Zeit seiner Culmination macht ihn

1 S. *Collimation.*

zur Anwendung der oben in b angeführten Methode der Circummeridianhöhen besonders tauglich. Allein auch ausser dem Meridian in jeder beliebigen Entfernung von demselben ist seine Bewegung so geringe, und die Reduction auf die Mittagshöhe, die gröfstentheils vom Cosinus des Stundenwinkels abhängt, so leicht zu berechnen, dafs er nach Littrow's Vorschlage zu jeder Zeit zur Bestimmung der Breite benutzt werden kann[1]. Littrow's Formel ist folgende: es sey Z die beobachtete Zenithdistanz des Polarsterns, P seine Polardistanz; t der Stundenwinkel, so ist die Aequatorshöhe

$$\psi = P.\mathrm{Cos.}\,t - \frac{P^2.\,\mathrm{Sin.}^2\,t.\,\mathrm{Sin.}\,1''}{2} \times \mathrm{Cotg.}\,Z + \frac{P^3.\,\mathrm{Sin.}^2\,t.\,\mathrm{Sin.}\,1''.\,\mathrm{Cos.}\,t}{3};$$

die beiden letztern Glieder lassen sich in ein Paar kleine Tafeln bringen, die man an dem angezeigten Orte findet.

f. Gleiche Höhen der Circumpolarsterne. Die im vorigen Satze e bezeichnete Methode setzt, zumal in gröfserer Entfernung vom Meridian, eine genaue Kenntnifs der wahren Sternzeit voraus; beim Polarstern selbst bewirkt im schlimmsten Falle eine Zeitsecunde Fehler des Stundenwinkels, freilich nur eine halbe Raumsecunde Fehler in der Polhöhe. Auch dieser Fehler läfst sich jedoch compensiren, wenn man zu beiden Seiten des Meridians in nahe gleicher Entfernung von demselben das Gestirn beobachtet, da dann der Fehler des Stundenwinkels mit entgegengesetzten Zeichen auf die Höhenänderung einwirkt.

g. Höhen zweier Sterne nebst der Zwischenzeit der Beobachtung. Diese Methode, welche nebst der Breite auch noch den Stundenwinkel finden lehrt, ist eigentlich eine Erweiterung des ursprünglich zum Gebrauch der Seefahrer bestimmten Problems. Aus zwei Höhen eines und eben desselben Sterns nebst der Zwischenzeit der Beobachtung die Breite und die wahre Zeit zu bestimmen. Nach der

---

1 v. Lindenau und v. Bohnenberger's Zeitschr. für Astron. III. 208. Corresp. Astron. du B. de Zach. IV. 370. Tafeln zur Erleichterung der Rechnung von Littrow und ähnliche von Horner ebend. VI. 74 u. V. 316.

bequemen indirecten Auflösung, welche Littrow[1] gegeben hat, wird sie auch für die genauere Astronomie, zumal auf Reisen ein brauchbares Hülfsmittel der Ortsbestimmung. Die Breite wird hierbei, was zu Lande mit ziemlicher Genauigkeit sich thun läfst, nach Schätzung bestimmt, und mit diesem nicht ganz genauen Element werden die beiden Stundenwinkel berechnet, deren Vergleichung mit der beobachteten wahren Zwischenzeit die Verbesserung der Breite durch eine kurze Rechnung an die Hand giebt. Man hat nämlich, wenn man mit y und y' die mit der supponirten Aequatorshöhe μ berechneten Stundenwinkel, mit ω und ω' die zugehörigen Azimuthe bezeichnet,

$$A = \frac{\text{Cotg. } \omega}{\text{Sin. } \mu} \text{ und } A' = \frac{\text{Cotg. } \omega'}{\text{Sin. } \mu'}; \text{ hieraus die}$$

$$\text{Verbesserung von } \mu = \frac{y' - y + \Theta}{A - A'}; \text{ hiebei ist } \Theta \text{ die}$$

Differenz der Rectascensionen plus der Zwischenzeit der Beobachtungen. Stundenwinkel sowohl als Azimuth sind auf der Ostseite des Meridians negativ. Die Azimuthe, die man nur in Minuten zu kennen braucht, finden sich aus den Formeln:

$$\text{Sin. } \omega = \frac{\text{Sin. p. Sin. y}}{\text{Sin. a.}} \text{ und Sin. } \omega' = \frac{\text{Sin. p'. Sin. y'.}}{\text{Sin. a'.}}$$

a, a' sind die beobachteten Zenithdistanzen, p, p' die Polarabstände der Sterne.

h. Beobachtung eines Sterns bei seinem Durchgang durch den östlichen und westlichen Verticalkreis. Wenn man ein berichtigtes Passageinstrument in der Richtung von Osten und Westen befestigt, dergestalt, dafs seine Queraxe horizontal in der Richtung des Meridians sich befindet, so werden die Sterne, deren Abweichung der Polhöhe gleich ist, den mittlern Verticalfaden desselben berühren, alle übrigen aber, die zwischen dem Zenith und dem Aequator liegen, zweimal im Fernrohr beobachtet werden

---

1 Theoretische und practische Astronomie. Wien. 1821. II Vol. 8. I. 181.

können. Nennt man die Zeit de östlichen Durchgangs t, die des westlichen t', die Abweichung δ, die Breite φ, so ist Tang. φ = Tang. $\delta \frac{\text{Cos. } \frac{1}{2}(t + t')}{\text{Cos. } \frac{1}{2}(t - t')}$.

Die Beobachtung läfst sich mit einem tragbaren Transitinstrumente oder noch besser mit dem Reichenbachschen Universalinstrumente machen, welches man jederzeit leicht nach dem Polarstern orientiren kann. Ein kleiner Fehler in der Azimuthalrichtung des Fernrohres, im Gange der Uhr ist von keinem bedeutenden Einflufs, wenn man sich solcher Sterne bedient, die nahe am Zenith durchgehen. Man erhält durch diese Methode eine Breitenbestimmung, bei welcher man von der Gradeintheilung ganz unabhängig ist, und welche ihr Erfinder Bessel, zur Bestimmung der *Breitenunterschiede* vorschlug, indem wenn man sich auf allen Stationen der nämlichen Sterne bedient, auch der Einflufs der Abweichung wegfällt[1].

Breitenbestimmung zur See. Zur See begnügt man sich, die gröfste Höhe der Sonne abzuwarten, und aus dieser mit Zuziehung der Declination die Breite des Schiffes herzuleiten. Die Uebereinstimmung, mit welcher verschiedene Beobachter zugleich, unter gewöhnlich guten Umständen und mit guten Sextanten eine Breite bestimmen mögen, mithin die Genauigkeit einer einzelnen guten Beobachtung läfst sich auf etwa 20 Raumsecunden oder 2000 Fufs auf der Erde anschlagen, was zumal im Verhältnifs zu der weit unsicherern Längenbestimmung für den Seegebrauch mehr als genügend ist. In denjenigen Fällen, wo die Mittagsbeobachtung nicht erhältlich war, bedient man sich wo möglich der Culmination des Mondes, wobei jedoch wegen der schnellen Abweichungsänderung des Mondes die Länge und die wahre Zeit ziemlich genau bekannt seyn müssen; oder man versucht auch des Nachts Sternhöhen zu messen, für welchen Zweck man nach dem Vorschlage des Admiral Löwenörn die Sextanten und Octanten mit einem kleinen lichtstarken Fernrohr nach Art der Operngucker versehen soll, um den so schwach beleuchteten Horizont des Meeres besser wahrnehmen zu

1 Schumacher Astronomische Nachrichten III. 10 No. 49.

können. Da es oft unthunlich ist, die Culminationszeiten der hellern Fixsterne und Planeten abzuwarten, so hat man in neuern Zeiten für die nördliche Hälfte der Erde die oben in e bemerkte Methode in Vorschlag gebracht, und in den neuen nautischen Ephemeriden von Kopenhagen, so wie in den bessern neuern Lehrbüchern der nautischen Astronomie Tafeln für die bequeme Berechnung der Breite aus Höhen des Polarsterns gegeben. Man hat den Seefahrern häufig noch eine dritte Methode der Breitenbestimmung anempfohlen, die aber trotz aller Mühe, die man sich gegeben hat, die erforderliche Berechnung abzukürzen, doch im Ganzen noch nicht recht in Ausübung gekommen ist. Es ist die oben in g angeführte; mit der Veränderung, dafs man statt der Ascensionaldifferenz zweier gleichzeitig beobachteten Sterne den Unterschied der Stundenwinkel eines und eben desselben in zwei verschiedenen Zeitpuncten beobachteten Gestirns in Rechnung brachte. Sie ist unter dem Namen des Problems von Douwes bekannt; und wird so ausgesprochen: „Aus zwei Höhen der Sonne aufserhalb des Meridians die Breite und die wahre Zeit zu finden". Douwes bediente sich der indirecten Methode, welche eine supponirte Breite in Rechnung bringt. Allein, obgleich er noch ausführliche Tafeln zu ihrer Abkürzung mittheilte, so wurde sie dennoch wenig benutzt aus folgenden Gründen: erstlich, weil die meisten Seefahrer, wenn sie im freien Ocean in gefahrlosen Gegenden und ohne Anzeigen von starken Strömungen sich befinden, sich lieber für ein Paar Tage mit der aus der Schiffsrechnung hergeleiteten Breite behelfen, als eine mehr oder weniger beschwerliche Rechnung unternehmen; zweitens, weil selbst diese Rechnung häufig durch langweilige Annäherungen den Rechner oft im Zirkel herumführte; und drittens, weil unnöthige Beschränkungen der Beobachtung selbst die Anwendung der Methode oft ganz unmöglich machten. Neuere Schriftsteller über nautische Astronomie, Mendoza, Rosset, Delambre, Du Hamel, Du Bourguet empfehlen deswegen die rein trigonometrische Methode: allein die Auflösung von drei sphärischen Dreiecken bleibt immer eine beschwerliche Sache, und gestattet keine Abkürzung durch Tafeln. Littrow's oben in g erwähnte Methode scheint diese

Schwierigkeiten zu heben, und eine kürzere und sicherere Rechnung darzubieten, die noch beträchtlich abgekürzt werden kann, wenn man die Werthe A und A' in Tafeln bringt, was durch folgende Formel sich thun läfst:

$A = \text{Tang. } \varphi \text{ Cotg. } t \mp \text{Tang. } \delta \text{ Cotg. } t \mp \text{Tang. } \delta \text{ Tang. } \frac{1}{2} t$,

wobei φ die Breite, t den Stundenwinkel, δ die Abweichung des Gestirns nördlich bei —, und südlich bei + vorstellt. Diese Methode hat überdem den Vorzug der Allgemeinheit, indem sie auch auf gleichzeitige Höhen zweier Gestirne anwendbar ist, mithin z. B. bei Mondsdistanzen, zur genauern Bestimmung der wahren Zeit dient, die sonst meistens nur nach einer durch die Schiffsrechnung bestimmten Breite berechnet wird [1].

Auf Landreisen kann der Beobachter allerdings seine Breite viel schärfer bestimmen, als zur See. Er bedient sich hierzu am besten der oben in b bemerkten Methode der Circummeridianhöhen. Die Vollkommenheit, in welcher sein Hauptinstrument, der Spiegelsextant, gegenwärtig von den Künstlern verfertigt wird, gestattet ihm beim Gebrauche des künstlichen Horizontes eine früher kaum möglich geglaubte Genauigkeit in seine Beobachtungen zu legen; und bei der Lichtstärke der neuern Instrumente dieser Art, und der Anwendung eines bequemen Stativs kann er auch durch Sternhöhen eben so gut, wie sonst blos durch die Sonne, seinen Endzweck erreichen. Das Reichenbachsche Universalinstrument in einem kleinern Mafsstabe ausgeführt, würde allerdings, zumal als Passageinstrument für die Zeitbestimmung und als Theodolith zu Aufnahmen, für den reisenden Astronomen ein nützliches Werkzeug bilden; doch würde es in dieser reducirten Form für die Breitenbestimmung dem Sextanten wohl an Genauigkeit nachstehen müssen [2].

H.

---

1 Corresp. Astron. du B. de Zach. VIII. 318.

2 Ueber das, was mit dem letztern Instrumente in dieser Hinsicht geleistet werden könne, sehe man unter Andern die Beobachtungen der Russischen Astronomen Simonof. i. d. Corresp. Astron. Vol. X. p. 26–36 und die von Hansteen in Schumachers Astron. Nachr. St. 3, 8, 12 etc. nebst frühern ähnlichen Beispielen in der monatl. Correspondenz für Erd- und Himmelskunde.

Breite der Gestirne.

Latitudo siderum; Latitude des astres; *Latitude of stars.* Der Abstand eines Gestirnes von der Ekliptik heifst die Breite desselben. Dieser Abstand wird auf dem vom Pole der Ekliptik gegen die Ekliptik gezogenen gröfsten Kreise gemessen, der also senkrecht gegen die Ekliptik ist. Die Breite ist nördlich oder südlich, je nachdem der Stern gegen den Nordpol oder Südpol der Ekliptik zu liegt. Sie kann nie über 90 Grade betragen.

Die in der Ekliptik selbst stehenden Sterne haben keine Breite, daher pflegt man gewöhnlich auch die Breite des Sonnenmittelpunctes als = 0 anzusehen, obgleich die Perturbationen doch auch ihn ein wenig von der Ekliptik entfernen können. Der Mond und die Planeten haben bald nördliche bald südliche Breite, da ihre Bahnen eine Neigung gegen die Ekliptik haben.

Die Breite dient, in Verbindung mit der Länge, um die Lage eines Sternes zu bestimmen, und die alten Astronomen bedienten sich dieser Bestimmung, um den Ort der Sterne anzugeben. Sie suchten deshalb die Breite mit Hülfe der Ringkugel durch Beobachtungen zu finden, was aber, da die Ekliptik unaufhörlich ihre Stellung ändert, schwierig ist. Die neuern Astronomen haben daher die Angabe der *geraden Aufsteigung* und *Abweichung* zur Bestimmung der Lage mit Recht vorgezogen.

Die Lage der Planeten wird sehr oft durch Länge und Breite angegeben; da aber ist es nöthig, die *heliocentrische* Lage von der *geocentrischen* zu unterscheiden; jenes ist die Lage, in welcher der Planet von dem Mittelpuncte der Sonne aus gesehen, erscheinen würde, die geocentrische Lage dagegen ist der Ort, wo ein Beobachter im Mittelpuncte der Erde den Planeten sehen würde. Hieraus erklärt sich, was *heliocentrische* und *geocentrische Breite* ist.

Die Berechnung der Breite aus gegebener gerader Aufsteigung und Abweichung ist genau der Berechnung der Abweichung aus Länge und Breite entsprechend[1].

B.

---

1 S. *Abweichung.*

Brennglas.

Brennlinse; *Vitrum ustorium s. causticum. Lens caustica;* Verre ardent; *Burningglafs.* Ein entweder an einer Seite oder an beiden Seiten erhaben geschliffenes Linsenglas, welches die Sonnenstrahlen in einen engen Raum vereiniget und dadurch Hitze hervorbringt. Man bedient sich lieber des an beiden Seiten convexen Glases, weil es die Strahlen in einem nähern Brennpuncte vereinigt und sich auch mehr concentrirt. Uebrigens würde selbst der Meniscus als Brennglas wirken, da auch er die Strahlen in einen Brennpunct vereinigt[1].

Um die hervorzubringende Hitze recht bedeutend zu erhalten, mufs das Brennglas grofs, und der Raum, in welchem die Lichtstrahlen vereinigt werden, möglichst klein seyn, auch mufs man das Glas den Sonnenstrahlen so zu wenden, dafs sie es senkrecht treffen. Um die Wirkung zu verstärken, bringt man bei grofsen Brenngläsern da, wo die Strahlen schon sehr nahe vereinigt sind, ein kleineres convexes Glas, als *Collectivglas* an, um die Strahlen in einem engern Brennraume zu vereinigen. Tschirnhausen beschreibt diese Einrichtung und fand sie sehr wirksam[2]. Dafs schon die Alten Brenngläser kannten, scheint aus einer Stelle im Aristophanes[3] zu erhellen, die Vofs so übersetzt:

Streps. Du hast bei den Heilkrauthändlern doch wohl jenen Stein
Ehmals gesehn, den schönen, den durchsichtigen,
Womit sie Feuer zünden.
Sokr. Meinst du Brennkrystall?
Streps. Den mein' ich.
. . . . Ja, nähm' ich den,
Indefs der Schreiber jene Klag' ausfertigte,
Abwärts mich stellend, also nach der Sonne hin,
Jedweden Buchstab schmelzt' ich hinweg aus der Klagschrift.

---

1 S. *Linsengläser.*

2 Acta Erudit. Lipsiens. 1691. p. 52 und 1697. p. 414.

3 Aristophanes von J. H. Vofs Braunschw. 1821. Wolken. v. 760.

Dafs man darunter ein Brennglas verstehen müsse, scheint DE LA HIRE zuerst nachgewiesen zu haben[1]. Vom Brennen vermittelst gläserner und krystallener Kugeln redet auch PLINIUS[2], und LACTANTIUS[3] erwähnt, dafs eine gläserne, mit Wasser gefüllte Kugel auch in der Kälte Feuer anzünde, wenn man sie der Sonne aussetzt.

Im Mittelalter werden sie öfter erwähnt. Aber auffallend heftige Wirkungen hat TSCHIRNHAUSEN zuerst durch sie hervorgebracht. Er liefs einige sehr grofse Linsengläser machen[4], deren zwei eines von 33 Zoll Durchmesser und 7 Fufs Brennweite, und ein zweites von 33 Zoll Durchmesser und 12 Fufs Brennweite nach Paris gekommen sind; ein drittes von 24 Zoll Durchmesser und 6 Fufs Brennweite befindet sich vermuthlich noch auf der Rathsbibliothek in Görlitz. Auch HARTSOEKER verschaffte sich ein Brennglas von 41 Zoll Breite und 9 Fufs Brennweite[5]. Die Wirkungen dieser Gläser waren sehr heftig, und glichen denen des stärksten Feuers. Es wurde z. B. selbst grünes oder im Wasser erweichtes Holz sogleich angezündet; Metalle kamen zum Schmelzen, Ziegel, Bimsstein u. dgl. wurden glühend; Fichtenholz wurde selbst im Wasser verkohlt (doch, sagt TSCHIRNHAUSEN, bemerkte man dies nicht so sehr an der vom Wasser benetzten Oberfläche, als wenn man es zerschnitt); auf einer ausgehöhlten Kohle schmelzte jedes Metall, und einige Metalle, namentlich Zinn und Blei, gingen in Rauch auf, wenn sie lange im Flufs erhalten wurden. Diese und ähnliche Wirkungen beschreiben TSCHIRNHAUSEN, HOMBERG[6], HARTSOEKER und GEOFFROY[7]. HOMBERG u. TSCHIRNHAUSEN behaupteten, das Gold verglafst zu haben, was aber Hartsoeker bestreitet.

Das durch diese starken Brenngläser verdichtete Licht des Mondes brachte dagegen keine Spur von Wärme hervor[8].

1 Hist. de l'Acad. de Paris. 1708. p. 112.

2 Histor. natural. L. 36. c. 26. L. 37. c. 2.

3 Lact. de Ira Dei. Cap. X.

4 Act. Erud. Lips. 1691. p. 52. 1697. p. 414.

5 Hartsoeker Cours de Physique Livre 3. Chap. 4. Art. 11.

6 Mém. de l'Acad. 1702. p. 141. 1706. p. 158. 1707. p. 40.

7 Mém. de Paris 1709 p. 162.

8 Tschirnh. am ang. Ort. Hartsoeker Cours de phys. Liv. 4. Chap. I. art. 5.

Universitäts- und Landesbibliothek Düsseldorf

Aehnliche Versuche mit sehr grofsen Brenngläsern haben Cadet, Brisson, Macquer und Lavoisier angestellt. Da die sehr dicken Glasmassen der Tschirnhausenschen Brenngläser keine vollkommene Durchsichtigkeit besafsen, so bedienten sie sich einer mit Terpentinöl gefüllten Linse. Es wurden nämlich[1] zwei Gläser, die als Kugelabschnitte von 4 Fufs Durchmesser zu Kugeln von 8 Fufs Halbmesser gehörten, zusammengesetzt, und der Zwischenraum, dessen gröfste Dicke gegen $5\frac{1}{2}$ Zoll betrug, mit jener Flüssigkeit gefüllt. Derjenige Brennpunct, den diese Linse zeigte, wenn man nur die nahe an der Axe einfallenden Strahlen benutzte, war 10 Fufs 11 Zoll 5 Lin. entfernt, und es zeigte sich da ein wohlbegrenzter Brennraum von $14\frac{3}{4}$ Lin. Durchmesser. Bedeckte man dagegen den mittlern Raum und liefs blofs den Rand frei, so rückte der Brennpunct näher, so dafs er nur 10 Fufs 0 Zoll 6 Linien entfernt lag, wenn blofs ein 6 Lin. breiter Rand frei blieb. Benutzte man *alle* auffallende Strahlen, so fand man den wirksamsten Punct in 10 Fufs 10 Zoll 1 Lin. Entfernung von der Mitte der Linse. Bei dieser grofsen Brennweite war die für jede Art von Farbenstrahlen verschiedene Lage des Brennpunctes sehr deutlich zu bemerken, und jener Punct der gröfsten Hitze fiel nahe an den Vereinigungspunct der gelben Strahlen.

Die Wirkungen dieser Linse waren weit stärker, als die der Tschirnhausenschen. Sie schmolz ohne Collectivglas in $\frac{1}{2}$ Min. Kupfermünzen, die jene in 3 Min. noch nicht zum Flusse brachte. Mit einem Collectivglase von $8\frac{1}{2}$ Zoll Durchmesser und 1 Fufs 10 Zoll 8 Lin. Brennweite gab sie einen Brennraum von 8 Lin. Durchmesser, in welchem Eisen auf einer Kohle fast sogleich schmelzte; das Eisen gab einen brennenden Rauch von sich, der unten als wahre Flamme erschien, und verwandelte sich endlich in verglafste Schlacke. Platin kam zwar nicht ganz zum Flufs, rauchte aber, und vereinigte sich in eine Masse. Schon an dem Orte des Strahlenkegels, wo das Collectivglas stand, wo doch der Kegel noch 10 Zoll breit war, fand man die Hitze so stark, dafs ein darüber gelegtes Brett oft anbrannte, und zwar mehr am

1 Mém. de Paris. 1774. p. 62.

Rande des Strahlenkegels als in der Mitte. Brisson schliefst aus diesem letztern Umstande, die am Rande der Linse durchgehenden Strahlen gäben mehr Hitze, was sich aus dem Verlust an Wärme beim Durchgehen der Strahlen durch dicke Massen allenfalls erklären liefse. Wahrscheinlicher ist es indefs, dafs dieses von der minder brechbaren, und daher am Rande des Lichtkegels befindlichen gelben (und rothen) Strahlen herrührte, in denen, wie eben angegeben ist, die Hitze am stärksten war.

Die ungleiche Heiterkeit der Luft brachte in den Wirkungen eine grofse Ungleichheit hervor; Homberg fand die Wirkungen bei kaltem Wetter stärker. — Legt man die der Hitze auszusetzenden Körper auf ausgehöhlte Kohlen, so findet man die Hitze vorzüglich stark, wozu anfangs die Schwärze der Kohle und nachher ihr Brennen mit beiträgt. Durchsichtige Körper lassen Licht und Wärme durch und werden nicht so stark erhitzt.

Die bei diesen Versuchen von Brisson gebrauchte Linse ist nicht mehr vorhanden; dagegen hat man in Paris jetzt eine andere Linse, wovon Coutelle[1] eine kurze Nachricht giebt, die bei 3 Fufs Durchmesser nur einen Brennraum von 4 Lin. Durchmesser hat, und Platin zu schmelzen und Diamanten zu verbrennen im Stande seyn soll.

In der neuesten Zeit hat Brewster eine Einrichtung, um grofse Brenngläser zu erhalten, vorgeschlagen. Er nennt sie Polyzonal Lenses, vielzonige Linsen, und giebt folgendes von ihnen an[2].

Da das Giefsen und Schleifen sehr grofser Linsen so viele Schwierigkeiten hat und überdies die zu dicke Glasmasse den Durchgang der Strahlen hindert, so hat schon Büffon vorgeschlagen, die Gläser Zonenweise zu schleifen. Er wollte das an einem einzigen Glasstücke zu Stande bringen, Fig. und es ist ungewifs, ob er wirklich solche lentilles à écha- 282. lons zu Stande gebracht hat. Weit leichter ist es, ein gros- u. ses Brennglas aus mehrern kleinen zusammen zu setzen. AB 283. stellt ein solches Glas von 4 Fufs Durchmesser dar. Die

1 Annales de Chimie, LXIX. p. 92.

2 Brewsters Edinburgh philosoph. Journal.

mittlere Linse Nr. 1. hält 18 Zoll Durchmesser und ist von Flintglas: sie wird: von der Zone CD, die aus vier zusammengekitteten Segmenten A besteht, umschlossen, daran schliefst sich die aus acht Segmenten zusammengesetzte Zone AB an. Fig. 284 zeigt ein solches Segment. Brewster führt folgende Vorzüge dieser zusammengesetzten Gläser an. Fig. 284. 1. Man bedarf nicht so grofser ganz reiner Glasmassen, kann also aus einem grofsen Glasstücke den Theil, der recht rein ist, wählen. 2. Eine zufällige Beschädigung zerstört nicht sogleich das ganze Glas, und ist eher durch ein neues Segment zu ersetzen. 3. Die Abweichung wegen der Kugelgestalt kann gröfstentheils gehoben werden, weil man den Zonen eine solche Lage geben kann, dafs ihre Brennpuncte nahe bei dem Brennpuncte der Mittellinse zusammentreffen. 4. Man kann diese Linsen nach und nach theilweise zu Stande bringen, und sie schon gebrauchen, wenn auch noch nicht alle Stücke fertig sind. 5. Will man sich zum Schleifen der Segmente kleinerer Schalen bedienen, so kann man jedes einzeln bearbeiten. 6. Wenn die Segmente nicht alle gleiche Brennweite haben, so ist es leicht, sie in den gehörigen Abständen vom Brennpuncte zu befestigen. Eine solche Zonenlinse würde nach Brewster's Meinung eben nicht über 300 Pf. Sterling kosten, wenn ihr Durchmesser 6 Fufs betrüge.

Solche Zonenlinsen, die jedoch von nicht so ungemeiner Gröfse sind, hat Fresnel[1] für die Leuchtthürme vorgeschlagen, und Becquey hat sie ausführen lassen. Diese neue Einrichtung der *Leuchtthürme* besteht nämlich darin, dafs man aus linsenförmig geschliffenen Gläsern quadratische Stücke von $27\frac{1}{2}$ Zoll Seite schneidet und acht solcher Brenngläser zu einem achteckigen geraden Prisma verbindet. Der 34 Zoll entfernte Brennpunct aller 8 Linsen fällt in einen einzigen Punct, und hier befindet sich eine hell brennende Lampe, deren Strahlen, weil sie vom Brennpuncte ausgehen, durch eine Linse parallel gebrochen und so ungeschwächt auf grofse Fernen sichtbar werden. Wenn die Lampe nur ein einziger leuchtender Punct wäre, und die Abweichung wegen der Kugelgestalt und der Farbenzer-

1 Bullétin des sciences, pour la société philom. Année 1822. p. 123.

streuung nicht einwirkte; so würden diese Strahlen ganz allein nach den acht, auf die Seitenflächen des Prisma's senkrechten Richtungen fortgehen, und zwischen diesen Richtungen würde man kein Licht erblicken; aber die Gröfse der Lampe bewirkt, dafs das Licht sich in einem Kegel, dessen Winkel an der Spitze 7 Grad ist, ausbreitet. Damit nun aber die dunkeln Zwischenräume minder breit werden, bilden andre acht Linsengläser oberhalb der vorigen eine abgekürzte Pyramide, deren Seite gegen einen Theil jener dunkeln Zwischenräume gewandt sind, diese bringen ebenso parallele Strahlen hervor, die durch Spiegel in horizontaler Richtung zurückgeworfen werden. Durch dieses Hülfsmittel erhält man, obgleich das Licht der letztern acht Gläser schwächer als das der erstern ist, eine solche Ausbreitung der erleuchteten Gegend, dafs die dunkeln Zwischenräume nur doppelt so viel als die erleuchteten Räume betragen, wenigstens wenn die Entfernung nicht über hunderttausend Fufs beträgt. Damit aber das Leuchten der Lampe nicht auf gewisse Gegenden beschränkt sey, hat die ganze Verbindung von Gläsern eine drehende Bewegung um eine durch den Mittelpunct gehende verticale Axe, und man sieht daher in der Ferne bald ein schwaches, durch die obern Gläser hervorgebrachtes, bald ein starkes, durch die Hauptgläser bewirktes Licht, welchem eine kurze Dunkelheit folgt, und dann sich die vorige Erscheinung erneuert. Dieser Wechsel dient zugleich, um dieses Licht von andern Lichtern zu unterscheiden, und den Schiffer zu überzeugen, dafs er wirklich einen Leuchtthurm erblickt. Man hat diese Linsen, theils um sie minder schwer zu machen, theils um ihre Durchsichtigkeit zu vermehren, aus Zonen zusammengesetzt, und Fresnel scheint hierbei noch nicht Brewster, sondern nur Büffon's Vorschlag gekannt zu haben[1]. Die Wirkung einer sehr hell brennenden Lampe ist durch eine solche Linse so grofs, dafs man sie in 17 Lieues Entfernung am Tage mit dem Fernrohr sehen konnte, und sie Abends, eine Stunde nach Sonnenuntergang, mit bloßem Auge eben so hell sah, wie einen nur 5 Lieues entfernten englischen Feuerthurm.

1 Mém. de Paris. 1748. p. 311.

Ich muſs diesen Bemühungen, wirksame Brenngläser zu erhalten, noch eine Bemerkung Herschels[1] beifügen. Die Untersuchung, die er über die Abweichung der Gläser für Strahlen, die mit der Axe parallel einfallen, anstellte, führte ihn zu der Betrachtung, daſs die Zusammensetzung zweier Linsen, wodurch die Focalweite abgekürzt, und eine vollkommnere Concentrirung der Strahlen bewirkt würde, mehr Wirkung thun müsse, als die einer einzigen Linse. Er lieſs eine solche zusammengesetzte Linse nach den von ihm berechneten Dimensionen machen, und glaubte deutlich eine Verstärkung der Wirkung wahrzunehmen. Die von ihm angegebenen Abmessungen verdienten also wohl von Künstlern berücksichtiget zu werden. *B.*

Brennkugel.

Burning Sphere. Unter diesem Namen schlägt Brewster einen Apparat vor[2], der statt eines sehr starken Brennglases gebraucht werden könnte. Die Linsen A, B, C, D, E von willkürlichem Durchmesser und Brennweite werden auf einer Kugeloberfläche so vertheilt, daſs ihre Brennpuncte in F zusammentreffen. Die Planspiegel P Q, R S, und ebenso T U, V W sind so angeordnet, daſs sie die Sonnenstrahlen senkrecht auf die Linsen werfen. So bringen also die sämmtlichen Linsen vereinigt im Centro der Kugel eine groſse Hitze hervor. Hier geht nun freilich bei der Zurückwerfung ein bedeutender Theil der Wärme verloren, indeſs ersetzt dagegen die Zahl der Linsen diesen Abgang; und da man kleine Linsen von schönerem Glase als groſse erhalten kann, so giebt dies der Brennkugel einen Vorzug. Dazu kommt, daſs die Abweichung wegen der Kugelgestalt und die Farbenzerstreuung bei diesen kleineren Linsen geringer ist, als bei einer groſsen, und daſs bei der geringen Focalweite die Strahlen in einen engern Raum concentrirt werden. *B.*

Fig. 285.

Brennlinie.

Linea caustica; Courbe caustique; *caustic Line.* Lichtstrahlen, die von einem Puncte ausgehen, werden von

---

1 Phil. Trans. for 1821. p. 247.

2 Edinb. philos. Journ. Nro.

einer krummen Fläche nur in den seltensten Fällen so zurückgeworfen, dafs sie sich in einem einzigen Puncte vereinigen, sondern in den meisten Fällen haben zwei einander nahe, zurückgeworfene Strahlen einen Durchschnittspunct, zwei andre einander nahe Strahlen einen andern Durchschittspunct, so dafs sich eine ganze Reihe solcher Puncte ergiebt, aus deren Vereinigung die *Brennlinie* entsteht. Man sieht diese Brennlinien sehr häufig; zum Beispiel, wenn Licht auf die innere polirte Seite eines hohlen Cylinders fällt, so sieht man auf dem Boden desselben eine erleuchtete Linie, deren Gestalt nach der Lage des leuchtenden Punctes verschieden ist, diese ist die Brennlinie. Auf ganz ähnliche Weise kommen auch bei durchsichtigen Körpern, wenn sie die Lichtstrahlen nicht genau in einem Puncte vereinigen, Brennlinien vor. Jene nennt man *katakaustische*, diese *diakaustische* Brennlinien.

Um von der geometrischen Bestimmung der Brennlinien einen Begriff zu geben, mag folgendes dienen. Es sey AB eine gegebene krumme Linie, auf welche Lichtstrahlen, die von D ausgehen, DE, DF auffallen. Wenn die Linie der Durchschnitt eines Spiegels ist, so werden diese Strahlen von ihr so zurückgeworfen, dafs einfallende und zurückgeworfene Strahlen mit der Normallinie gleiche Winkel machen, ist also EM die Normallinie in E und MEL = DEM, so ist EL der zurückgeworfene Strahl, dessen Lage sich vollkommen bestimmen läfst. Bestimmt man auf eben diese Weise die Lage des Strahles FL, der von einem sehr nahe bei E liegenden Puncte F zurückgeworfen wird, so ergiebt sich der Durchschnittspunct L beider Strahlen, und dieser ist ein Punct in der Brennlinie, deren einzelne Puncte daher ziemlich genau gefunden werden, wenn man eine Reihe auffallender und zurückgeworfener Strahlen zeichnet. Hier ist F der lichtaussendende Punct im Umfange eines Kreises angenommen, und die Strahlen fallen auf diesen Kreis, dessen Mittelpunct C ist, auf, und werden zurückgeworfen. Fa, Fb, Fc, Fd, Fe, Ff, Fg, Fh, sind einfallende Strahlen, Ca, Cb, Cc, Cd, Ce, Cf, Cg, Ch, Normallinien, $a\alpha$, $b\beta$, $c\gamma$, $d\delta$, $e\varepsilon$, $f\zeta$, $g\eta$, $h\eta$, sind zurückgeworfene Strahlen, und α der Durchschnittspunct des ersten und zwei-

Fig. 286.

Fig. 287.

ten, β der Durchschnittspunct des zweiten und dritten und so weiter, γ, δ, ε, ζ, η bezeichnen hier ungefähr den Lauf der Brennlinie. Eigentlich sollten hier die Puncte a, b, c einander viel näher genommen werden, und so wie man den Kreis als ein Polygon von unendlich vielen Seiten ansieht, so wird hier die Brennlinie durch die Durchschnittspuncte unendlich vieler Strahlen bestimmt, die von unendlich nahen Puncten zurückgeworfen, jeder den ihm nächst liegenden schneiden [1].

Die Brennlinie ist zugleich diejenige, welche alle einzelnen zurückgeworfenen Strahlen $a\alpha$, $b\beta$, $c\gamma$, u. s. w. berührt, und daher stellt sie sich bei der analytischen Untersuchung als das besondre Integral dar, welches der für alle einzelnen zurückgeworfenen Strahlen geltenden Differentialgleichung Genüge thut, ohne in dem durch eine unbestimmte beständige Gröfse vollständig dargestellten Integrale (welches den Ausdruck für die Lage aller einzelnen zurückgeworfenen Strahlen enthält) mit begriffen zu seyn [2].

Dafs da, wo mehrere auf einander folgende Lichtstrahlen sich schneiden, mehr reflectirtes Licht vereiniget und deshalb ein hellerer Punct sichtbar wird, läfst sich leicht erachten, und daher stellen sich die Brennlinien, wenn man sie durch auffallendes Licht hervorbringt, als glänzend dar. Die Erleuchtung ist aber in verschiedenen Puncten der Brennlinie ungleich und läfst sich photometrisch auf folgende Weise vergleichen. Das gesammte auf dem Bogen ac auffallende Licht wird ungefähr zwischen $\alpha\beta$, das gesammte auf bd auffallende Licht wird auf $\beta\gamma$, das auf ce auffallende wird auf $\gamma\delta$, das aus df, eg, fh auffallende wird in $\delta\varepsilon$, $\varepsilon\zeta$, $\zeta\eta$ vereiniget. Sind nun die Bogen ac, bd, ce, df, eg, fh gleich, so wird die Intensität des Lichtes in $\zeta\varepsilon$ um so stärker in Vergleichung gegen die Intensität des Lichtes in $\alpha\beta$ seyn, je kleiner $\varepsilon\zeta$ gegen $\alpha\beta$ ist, oder die Intensität ist der Länge des Bogens auf der Brennlinie umgekehrt pro-

---

1 Beispiele solcher kaustischen Linien pflegt man in der höhern Geometrie zu betrachten. z. B. Brandes Lehrbuch der höhern Geom. 1. Th. §. 467. 487.

2 Brandes höhere Geometrie. 2 Thl. §. 205.

portional, wenn diese Länge so bestimmt wird, dafs sie die von gleichen Bogen der Hauptcurve zurückgeworfenen Strahlen umfafst. Deshalb ist in dem dargestellten Beispiele die Brennlinie bei η am glänzendsten.

Für die durch Brechung entstehenden Brennlinien finden ganz ähnliche Betrachtungen statt, nur mufs man da die *gebrochenen* Strahlen so zeichnen, ihre Durchschnittspuncte bestimmen, u. s. w., wie wir es hier für die zurückgeworfenen thaten [1].

Dafs aus diesen, in *einer* Ebene bestimmten Brennlinien durch ganz gleiche Betrachtungen Flächen hervorgehen, wenn man die ganze Oberfläche sphärischer und anderer Spiegel berücksichtiget, ist offenbar. *B.*

Brennpunct.

Focus; Foyer; *Focus*, ist bei Hohlspiegeln und Linsengläsern derjenige Punct, in welchem parallel mit der Axe auffallende Strahlen sich vereinigen, wo sie also das Bild des Gegenstandes, von welchem sie ausgehen, darstellen, und wenn dieser ein Wärme ausstrahlender ist, zugleich Hitze hervorbringen.

Der Raum, in welchem die Strahlen sich sammeln, ist schon wegen der durch die Kugelgestalt hervorgebrachten Abweichung und bei Gläsern noch mehr wegen der ungleichen Brechung der Farbenstrahlen kein Punct [2], selbst wenn der Gegenstand, welcher die Strahlen aussendet, ein Punct ist; für Gegenstände von merklicher scheinbarer Gröfse wird das von jedem Puncte des Gegenstandes ausgehende Licht in einem andern Puncte vereinigt, und dadurch das *Bild* des Gegenstandes, und die Gröfse des *Brennraumes* [3] bestimmt. Der eigentliche Brennpunct im strengen Sinne ist der Vereinigungspunct derjenigen, Strahlen, welche parallel mit der Axe und zugleich sehr nahe bei der Axe einfallen.

---

1 De la Rive sur les courbes caustiques. Genève. 1824. (ein Buch, das ich noch nicht gesehen habe) scheint hierüber sehr vollständige Untersuchungen zu enthalten.

2 Vergl. *Abweichung*.

3 Vergl. *Brennraum*.

Der parabolische Hohlspiegel hat, da hier nur von Strahlen, parallel mit der Axe, die Rede ist, im strengsten Sinne einen *Brennpunct*, weil auch die entfernter von der Axe parallel mit ihr einfallenden Strahlen sich in einem einzigen Puncte vereinigen. Wollte man bei Linsengläsern dies bewirken, so müfste man ihre Oberflächen nicht sphärisch bilden[1]; aber damit würde man doch nur erreichen, dafs die Strahlen von bestimmter Brechbarkeit, (z. B. die gelben) genau in einem Puncte vereinigt würden, und für alle verschiedenenfarbigen Strahlen, läfst es sich nicht durch eine einfache Linse erreichen.

Diese Brennpuncte, welche Hohlspiegeln und convexen Linsengläsern angehören, sind *wirkliche* Brennpuncte *(foci physici* s. *actuales)*; dagegen werden die Strahlen von convexen Kugelspiegeln so zurückgeworfen, und von concaven Gläsern so gebrochen, dafs sie von einem Puncte auszugehen scheinen, der nahe hinter der Oberfläche des Spiegels oder nahe vor dem Glase liegt. Ein solcher Punct heifst ein *eingebildeter* Brennpunct *(focus geometricus* s. *virtualis)* oder ein *Zerstreuungspunct*, die Strahlen kommen nicht wirklich von ihm her, sondern ihre nach der Zurückwerfung oder nach der Brechung erlangten Richtungen durchschneiden sich, rückwärts verlängert, in demselben.

Auch der *Ellipse*, *Parabel*, und *Hyperbel* legt man Brennpuncte bei. Bei der Parabel ist der Brennpunct ein Punct in der Hauptaxe, welcher die Eigenschaft hat, dafs alle von ihm ausgehenden, an irgend einen Punct der Parabel gezogenen Radien, mit der Tangente an diesem Puncte eben so grofse Winkel machen, als der zwischen der Tangente und mit der Axe parallelen Linie eingeschlossene Winkel ist. In der Ellipse liegen beide Brennpuncte auf der Hauptaxe, in gleichen Entfernungen vom Mittelpuncte; zieht man von beiden Brennpuncten Radien nach irgend einem Puncte auf dem Umfange der Ellipse, so schliefsen beide Radien mit der Tangente an diesem Puncte gleiche Winkel ein. In der Hyperbel findet genau eben das, wie bei der Ellipse statt, nur mit dem Unterschiede, dafs in der

1 Descartes. Dioptr. C. 8. Newtoni Principia Lib. 1. Prop. 97. 98.

Ellipse sich beide Radien an der concaven Seite des Bogens befinden, statt dafs in der Hyperbel der eine an der concaven, der andre an der convexen Seite liegt, oder diese Radien ihre gleichen Winkel mit der Tangente an den verschiedenen Seiten der Tangente bilden. Lichtstrahlen, die vom einen Brennpuncte der Ellipse ausgehen, werden, wenn die Ellipse ein Spiegel ist, im andern Brennpuncte vereinigt; Lichtstrahlen, die parallel mit der Axe der Parabel auffallen, werden im Brennpuncte vereinigt. Lichtstrahlen, die vom einen Brennpuncte der Hyperbel ausgehen, werden, wenn die Hyperbel ein Spiegel ist, so zurückgeworfen, als wenn sie alle vom andern Brennpuncte ausgingen.

Im Sonnensystem steht die Sonne im Brennpuncte aller Planetenbahnen und Kometenbahnen. *B.*

Brennraum.

Focus, Foyer; *Focus*. Wenn auch die Spiegel und Gläser nicht einer Unvollkommenheit bei der Sammlung der Strahlen, nämlich der Abweichung wegen der Gestalt und wegen der Farbenzerstreuung, unterworfen wären, so würde dennoch, wenn man die Sonnenstrahlen auf den Brennspiegel oder das Brennglas fallen läfst, der Raum, in welchem die Hitze entsteht, kein Punct seyn, sondern wegen des scheinbaren Durchmessers der Sonne einen bestimmten Durchmesser haben. Dieser Raum heifst nun der Brennraum, und da er eben die Gröfse hat, welche wir bei Gegenständen, die blofs dem Gesicht dargestellt werden, das Bild des Gegenstandes nennen, so wird die Gröfse des Brennraumes eben so bestimmt[1]. Da blofs von der Sonne beim Brennen mit Brennglas und Brennspiegel die Rede ist, so hat der Winkel L C M, wenn A C ein vom Mittelpuncte der Sonne, B C ein vom Rande der Sonne kommender Sonnenstrahl ist, die Gröfse, welche dem scheinbaren Halbmesser der Sonne gleich ist, und wenn die Brennweite C M = f heifst, so ist M L = f. Tang. 16′ der Halbmesser des Brennraums, weil der scheinbare Halbmesser der Sonne immer we-

Fig. 288.

1 Vergl. *Bild.*

nig von 16′ verschieden ist. Da nun Tang. 16′ = 0,00465 = $\frac{1}{216}$ ist, so giebt man den Halbmesser des Brennraums gleich dem 216tel der Brennweite an.

Hierauf gründet sich auch eine Regel, um die Intensität der Wärme im Brennpuncte zu bestimmen. Da alle die Strahlen, welche auf das Glas auffielen, jetzt im Brennraume vereinigt sind, so ist die Intensität der Wärme im Brennraume zu der Intensität der auf das Glas auffallenden Wärme im umgekehrten Verhältnifs der Räume, worauf die Wärme ausgetheilt ist, also die Intensität im Brennraume $= \frac{D^2}{(\frac{1}{108})^2 . f^2}$, wenn sie für das auffallende Licht = 1 und D der Durchmesser des Glases ist. Sie verhält sich also direct wie die Gröfse des Brennglases oder Brennspiegels, und umgekehrt, wie das Quadrat der Brennweite.

Wenn man auf die Abweichung, vermöge welcher das von einem Puncte ausgehende Licht nicht genau in einem Puncte vereinigt wird, Rücksicht nimmt, so würde, was zuerst die Abweichung wegen der Gestalt der Gläser oder Spiegel betrifft, die Brennlinie den Brennraum bestimmen, und die bei der Brennlinie erwähnten Untersuchungen über die Stärke des Lichts in jedem Puncte derselben müfsten bei der Berechnung der Intensität beachtet werden. Wollte man aber auch auf die ungleiche Brechbarkeit der Farbenstrahlen und auf die vielleicht von diesen noch verschiedene Brechbarkeit der Wärmestrahlen Rücksicht nehmen, so würde die Untersuchung noch weitläuftiger werden, und vorzüglich von der noch nicht ganz genau beantworteten Frage [1], wie die Wärme im Farbenbilde der Sonne vertheilt sey, abhängen. *B.*

Brennspiegel.

Speculum ustorium s. *causticum*; Miroir ardent; *Burning Speculum* sind Hohlspiegel, die die Sonnenstrahlen in einem engen Raum vereinigen und dadurch grofse Hitze hervorbringen.

Der *parabolische* Hohlspiegel vereinigt die mit der Axe parallel einfallenden Strahlen genau in einem Puncte;

[1] Vergl. Art. *Licht*.

der sphärische Hohlspiegel vereiniget wenigstens die nahe bei der Axe einfallenden Strahlen so genau, dafs nahe um den Punct, welcher der *Brennpunct* heifst, die Strahlen hinreichend verdichtet werden, um grofse Hitze hervorzubringen. Die sämmtlichen Sonnenstrahlen, die freilich nie in einem einzigen Puncte vereinigt werden können, da die Sonne eine erhebliche scheinbare Gröfse hat, bringen, vereinigt in dem Brennraume dieser Spiegel, oft die heftigste Hitze hervor, die hier, wie bei dem Brennglase, desto gröfser ist, je gröfser der Spiegel und je kleiner der Brennraum ist. Aufser diesen Hohlspiegeln hat man auch Zonen hohler Kegelflächen zu Brennspiegeln vorgeschlagen, und Lambert hat damit wirklich gezündet [1].

Die vortheilhafteste Stellung, die man einem Brennspiegel geben mufs, damit er grofse Hitze hervorbringe, ist die, wo die Sonnenstrahlen mit der Axe parallel einfallen; aber dann liegt sein Brennpunct zwischen ihm und der Sonne, und er ist deshalb unbequemer zu gebrauchen, als das Brennglas.

Die Brennspiegel sind den Alten schon bekannt gewesen. In der dem Euklides zugeschriebenen Katoptrik ist ausdrücklich gesagt, dafs Hohlspiegel gegen die Sonne gekehrt, zünden; Plutarch führt im Leben des Numa an, dafs die Vestalischen Jungfrauen sich einer Art Brennspiegels zum Anzünden des heiligen Feuers bedienten; Plinius scheint diese Erscheinung des Zündens mit Brennspiegeln als sehr bekannt angesehen zu haben [2]. Die wichtigste Erzählung aus dem Alterthume, welche den Gebrauch der Brennspiegel betrifft, ist die, dafs Archimedes sich ihrer zur Zerstörung der römischen Flotte vor Syracus bedient habe. Da diese Nachricht nur in späteren Schriftstellern vorkommt, und Polybius und Livius nichts davon erwähnen, so hat man lange gezweifelt, ob man den Erzählungen des Zonaras und Tzetzes, die sich freilich auf ältere, jetzt nicht mehr vorhandene Schriftsteller berufen, und den allgemeinen Glauben an diese Erzählung für sich haben, glauben dürfe.

1 Comment. acad. Theod. Palatinae. Vol. IV. Phys. pag. 385. und Mémoires de Berlin. 1770. p. 51.

2 Diese und mehrere Stellen führt v. Capelle an.

Mit Sicherheit wird sich, wenn nicht noch ein den Zeiten jenes Ereignisses mehr gleichzeitiger Schriftsteller wieder aufgefunden wird, wohl nie hierüber entscheiden lassen; indefs hat VAN CAPELLE, der [1] alle Nachrichten verglichen und über die Kenntnisse der Alten von den Brennspiegeln genaue Untersuchungen angestellt hat, gezeigt, dafs die Erzählung wahrscheinlich richtig sey, und die Geschichtschreiber vielleicht nur darum nichts davon erwähnen, weil der den Römern zugefügte Schade, (da sie die Schiffe leicht aus dem Brennpuncte entfernen konnten,) vermuthlich viel unerheblicher war, als der, welchen ARCHIMEDES ihnen durch seine mechanischen Vorrichtungen zufügte. Nach TZETZES Erzählung hat man geschlossen, dafs ARCHIMEDES die Wirkung durch mehrere verbundene ebene Spiegel hervorgebracht habe, und wenigstens hat schon ANTHEMIUS und in viel späterer Zeit KIRCHER die Möglichkeit eines aus ebenen Spiegeln zusammengesetzten Brennspiegels gezeigt [2]. VON BUFFON hat den Beweis, dafs man mit ebenen Spiegeln die heftigste Hitze bewirken könne, am vollständigsten geführt [3], indem er Glasspiegel 6 Zoll hoch und 8 Zoll breit, 168 an der Zahl, durch Charniere mit einander verband, und sie so stellte, dafs alle oder eine grofse Menge derselben das Sonnenbild auf einen Punct hin warfen. Hiedurch konnte er in verschiedenen Entfernungen von 20 Fufs, 30 Fufs, 150 Fufs, grofse Hitze erregen. Er entzündete zum Beispiel mit 40 Spiegeln in 50 Fufs Entfernung ein getheertes büchenes Brett; schon 12 Gläser reichten hin, um in 20 Fufs Entfernung leichter brennbare Sachen in Brand zu stecken; ein anderes Mal wurde mit 117 Gläsern Silber geschmolzen, mit 128 Gläsern auf 150 Fufs Entfernung ein getheertes tannenes Brett angezündet u. s. w. Bei dieser Einrichtung war auch das bequem, dafs man noch eine hinreichende Wirkung erhielt, wenn man auch den Brennpunct nicht zwischen die Spiegel und die Sonne, sondern in einige Entfernung seitwärts

1 Verhandl. van de Maatschappy te Haarlem. 7 Deel und G. LIII. 274. der alles, was von Brennspiegeln vorkommt, gesammelt hat.

2 Vergl. van Capelle am ang. Orte.

3 Mém. de Paris 1747. p. 83. 1748. p. 305.

brachte. Hierdurch ist die Möglichkeit dessen, was Archimedes geleistet haben soll, erwiesen, und da Archimedes von Brennspiegeln geschrieben hat, so gewinnt die Erzählung an Wahrscheinlichkeit [1]. Eine ähnliche Anwendung der Brennspiegel gegen die Flotte des Vitalianus vor Constantinopel (514 nach Chr. G.) wird dem Proclus zugeschrieben.

Im siebzehnten Jahrhundert haben sich mehrere Künstler durch Verfertigung grofser Brennspiegel hervorgethan. Unter ihnen zeichnet sich Vilette aus, der mit einem Brennspiegel von nur 30 Zoll Durchmesser und 3 Fufs Brennweite die schwerflüssigsten Metalle zum Schmelzen brachte, und Schmelztiegel, Erde und Steine verglasete [2]. Tschirnhausen liefs aus einer dicken Kupferplatte einen Spiegel von 6 Fufs Durchmesser und 4 Fufs Brennweite verfertigen [3], der Holz in volle Flammen setzte, der selbst Silber schmelzte, eiserne und kupferne Bleche durchlöcherte, Ziegel und Erden verglasete u. s. w.

Um wohlfeilere Brennspiegel zu haben, sind von mehreren verschiedene Vorschläge gethan. Man solle von Holz einen Theil einer Hohlkugel ausarbeiten und mit einer Vergoldung versehen; oder [4] auf einer Form von Lehm ein Kugelsegment von Pappe bilden und vergolden; oder man solle in ein hölzernes hohles Kugelsegment belegte Spiegelgläser einsetzen, die vereinigt beinahe die Wirkung eines sphärischen Spiegels haben würden, oder man solle [5] aus Spiegelgläsern kreisrunde Stücke schneiden und durch einen Druck, den man vermittelst Schrauben auf die Mitte ausübte, ihnen eine Krümmung geben u. s. w.

Eine wichtige Anwendung ist in neuern Zeiten von den Brennspiegeln bei Leuchtthürmen gemacht worden. Da

---

1 Vergl. Oetinger. Praes. G. B. Bülfinger de Speculo Archimedis cet. Tub. 1725. 4.

2 Montucla hist. des Math. II. p. 513. und Philos. Transact. for 1665. p. 95.

3 Acta Erud. Lips. 1687. p. 52.

4 Krünitz Encyclop. Th. 6. S. 622.

5 nach Buffons Angabe, der mit solchen Scheiben von 3 Fufs Durchmesser auf 30 bis 60 Fufs Entfernung zündete. Mém. de Paris. 1748. p. 306.

nämlich die Lichtstrahlen einer im Brennpuncte des Brennspiegels stehenden Lampe so zurückgeworfen werden, dafs sie unter sich und mit der Axe parallel fortgehen, so wird die hervorgebrachte Erleuchtung nicht mehr so erheblich bei zunehmender Entfernung abnehmen, sondern, wenn man den Lichtverlust in der Atmosphäre gar nicht zu beachten brauchte, und das gesammte Licht der Lampe aufs genaueste im Brennpuncte des parabolischen Spiegels vereinigt wäre, so müfste das Licht ungeschwächt bis zu den gröfsesten Entfernungen hingelangen. Die zu diesem Zwecke angewandten Brennspiegel kann man daher nach LAMBERT[1] Lichtträger, Porte-Lumière, nennen, oder Reverberen. Welche Vortheile es bei ihnen gewährt, das Licht der Lampe in einen möglichst kleinen Punct zu concentriren, haben CHARLES DE ROSSEL und ARAGO gezeigt[2]. Sie konnten die Lenoirschen Reverberen auf 7 Lieues oder 80000 Fufs weit mit bloſsem Auge, einem Sterne erster Gröfse gleich sehen; aber schon wenn das Auge sich in einer Stellung 3 Grad von der Richtung der Axe befand, ward das Licht so schwach, dafs es kaum ohne Fernrohr zu erkennen war. Wenn man daher den Leuchtthurm nach ausgedehntern Gegenden nützlich machen will, so mufs man entweder dem Spiegel eine Drehung mittheilen, damit er das Licht nach und nach zu verschiedenen Puncten hinwerfe, oder man mufs so viele Reverberen anbringen, dafs jede nur etwa 6 Grade zu erleuchten braucht.

B.

Brennweite.

Distantia foci; Distance du foyer; *focal distance;* ist der Abstand des Brennpunctes von der Mitte des Brennglases oder Brennspiegels. Sie wird gefunden, indem man den Vereinigungspunct der parallel mit der Axe, und zugleich sehr nahe an der Axe einfallenden Strahlen sucht. — In den Artikeln *Hohlspiegel* und *Linsengläser* sind die Regeln zur Bestimmung der Brennweite angegeben, deren Resultate ich nur hieher setze. Der Brennpunct des *para-*

1 Lambert Mém. de Berlin. 1770. p. 51.
2 Annales de Chimie. XCVI. 69.

bolischen Spiegels fällt mit dem Brennpuncte der Parabel, durch deren Umdrehung der Spiegel entsteht, zusammen. Für den *sphärischen* Hohlspiegel ist sie gleich dem halben Halbmesser der Kugel, wovon der Spiegel ein Theil ist. Für Linsengläser, die an beiden Seiten convex sind, verhält sich die halbe Brennweite zum Radius der einen Oberfläche wie der Radius der andern Oberfläche zur Summe beider Radien; oder es ist die Brennweite $= \frac{2r\varrho}{r+\varrho}$, wenn man annimmt, dafs beim Glase das Verhältnifs der Sinus für Einfallswinkel und Brechungswinkel, wie 3 zu 2 ist, und die Radien der beiden Kugelflächen r und ϱ heifsen. Nimmt man jenes Verhältnifs, welches nicht bei allen Glasarten gleich ist, wie m : n, so ist allgemein die Brennweite $= \frac{nr\varrho}{(m-n)(r+\varrho)}$.

Als besondere Fälle, die hier öfter vorkommen, verdienen erwähnt zu werden, 1. wenn beide Oberflächen Theile gleicher Kugelflächen sind, also $r = \varrho$, so ist die Brennweite $= \frac{nr}{2(m-n)}$, also $= r$, wenn $\frac{m}{n} = \frac{3}{2}$ ist; 2. wenn eine Seite eben ist, oder $\varrho = \infty$, welches die Brennweite $= \frac{nr}{m-n}$ giebt, also $= 2r$, wenn $\frac{m}{n} = \frac{3}{2}$ ist. Für den Meniscus ist die Brennweite $= \frac{nr\varrho}{(m-n)(r-\varrho)}$, und ϱ ist hier der Halbmesser der erhabnen Fläche, r der Halbmesser der hohlen Fläche. Bei concaven Gläsern, und auch bei dem concav-convexen, wo der Halbmesser der convexen Fläche gröfser als der concaven ist, giebt es keine Vereinigung der Strahlen, und daher wird der Ausdruck für die Brennweite negativ[1]. Diese Formeln setzen voraus, dafs die Dicke der Gläser sehr geringe sey; sie gelten daher nicht für die Kugel. Die Brennweite der Glaskugel von ihrer nächsten Oberfläche an gerechnet, ist gleich dem halben

1 Einige dieser Regeln für die Brennweite gab schon Kepler Dioptr. prop. 35. 39. die allgemeine Regel soll Cavalleri entdeckt haben, nach Montucla's Angabe.

Halbmesser, oder der Brennpunct ist für die Glaskugel um $\frac{3}{2}$ r vom Mittelpuncte entfernt. Die allgemeine Formel für Kugeln aus irgend einer Materie ist, Abstand des Brennpunctes von der Oberfläche der Kugel $= (n - \frac{1}{2} m)\, r$[1].

Wenn man durch Beobachtung den Brennpunct eines Linsenglases finden will, so mufs man die Sonnenstrahlen mit der Axe des Glases parallel einfallen lassen, und dann das Sonnenbild auf einer senkrecht gegen die Axe gehaltenen Ebene auffangen. Da wo das Sonnenbild am reinsten und hellsten ist, liegt der Brennpunct. Man kann ihn auch dadurch bestimmen, dafs man auf ganz ähnliche Weise die Bilder näherer Gegenstände auf einer hinter dem Glase gehaltenen Fläche, die gegen die Axe senkrecht ist, auffängt. Mifst man dann den Abstand des Gegenstandes $= b$ vom Glase, und den Abstand des Bildes $= f$, so ist[2]

$$f = \frac{n\,b\,r\,\varrho}{(m-n)\,b\,(r+\varrho) - n\,r\,\varrho},$$

und die Brennweite $\varphi = \frac{n\,r\,\varrho}{(m-n)\,(r+\varrho)}$

also $f = \frac{b\,\varphi}{b-\varphi}$, oder $\varphi = \frac{b\,f}{b+f}$,

die Brennweite wird also aus der Entfernung des Bildes gefunden. Eigentlich giebt es für jede Art von Farbenstrahlen bei Brenngläsern einen eignen Brennpunct und eine eigene Brennweite. Der Brennpunct der rothen Strahlen ist am entferntesten, der Brennpunct der violetten Strahlen am nächsten, so wie es der für jede Art von Strahlen verschiedene Werth des Verhältnisses m : n ergiebt. *B.*

Brillen.

Perspicilla; Lunettes ou besicles, *Spectacles*, sind die Gläser, deren man sich bedient, um bei zu grofser Fernsichtigkeit nahe Gegenstände, und bei grofser Kurzsichtigkeit entfernte Gegenstände deutlich zu sehen. Für diese beiden verschiedenen Bedürfnisse sind auch die Gläser verschieden; man nennt aber beide Arten von Gläsern Brillen,

1 Vergl. Art. *Linsengläser*. Nr. 4.
2 S. *Linsengläser*.

wenn sie, zwei verbunden, fortwährend vor beiden Augen getragen werden. Die *Lorgnetten* haben für Kurzsichtige, und die Lesegläser für Fernsichtige denselben Zweck, werden aber nur als einzelnes Glas vor's Auge gehalten. Die Brillengläser, deren sich die Fernsichtigen bedienen, sind convex geschliffene Gläser, welche die von nahen Gegenständen divergirend auffallenden Strahlen so brechen, dafs sie beinahe parallel oder so zum Auge gelangen, als ob sie von sehr entfernten Gegenständen herkämen, und dadurch denjenigen Augen, die nur in die Ferne gut sehen, nähere Gegenstände deutlich sichtbar machen. Die Brillengläser für Kurzsichtige sind concav und brechen die von entfernten Gegenständen kommenden Strahlen so, dafs sie divergirend, als ob sie von nahen Gegenständen kämen, zum Auge gelangen[1].

B.

Brunnen S. Quellen.

---

1 Vergl. *Gesicht.*

(Ende des ersten Bandes).

An die

Herren Subscribenten

des

physikalischen Wörterbuches von Gehler.

Neue Ausgabe.

Indem ich hiermit den geehrten Hrn. Subscribenten für die unerwartete zahlreiche Theilnahme bei diesem Unternehmen meinen schuldigen Dank abstatte, bemerke ich zugleich, dafs zwar der Preis in der Subscriptions-Anzeige für jeden Band von 58 Bogen, nebst den dazu gehörigen Kupfertafeln auf Druckpapier 3 Thlr. 12 Gr. und auf Schreibpapier 4 Thlr. 8 Gr. festgesetzt war; dieses Versprechen werde ich auch erfüllen. Jedoch hat dieser erste Band, der einige der schwierigsten und reichhaltigsten Artikel enthält, die bestimmte Bogenzahl um ein Drittel überschritten, und ohne die bedeutende Anzahl von Kupfertafeln in Anschlag zu bringen, sehe ich mich genöthiget, den Preis desselben nach dem versprochenen Verhältnisse zu erhöhen. Dieser Band kostet demnach

auf Druckpapier 4 Thlr. 16 Gr.

und auf Schreibpapier 5 — 18 —

Werden die bedeutenden Kosten, welche die Unternehmung eines solchen Werkes erfordert, wo im Voraus die Bogenzahl eines jeden Bandes nicht so genau sich be-

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

stimmen läfst, erwogen, so wird diese Preiserhöhung nicht als eine willkührliche, und daher unbillige, erscheinen.

Sollten die folgenden Bände eine verminderte Bogenzahl als die bestimmte von 58 Bogen erhalten, so wird, wie billig, auch ein verminderter Preis statt finden.

Um eine Gleichförmigkeit der Bände zu erhalten, sind diesem Bande zwei Titel beigegeben worden, und er kann daher in zwei Bände gebunden werden.

Leipzig im May 1825.

Der Verleger.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf