Zeitschrift: Verhandlungen der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft = Actes de la Société Helvétique des Sciences Naturelles = Atti della Società Elvetica di Scienze Naturali

Herausgeber: Schweizerische Naturforschende Gesellschaft

Band: 39 (1854)

Rubrik: Abhandlungen und wissenschaftliche Notizen

IX. BEILAGE.

ABHANDLUNGEN UND WISSENSCHAFTLICHE NOTIZEN.

Der Foucault'sche Pendelversuch

als

*direkter Beweis von der Achsendrehung der Erde.**)

Frei vorgetragen in der allgemeinen Versammlung der schweizerischen naturforschenden Gesellschaft zu St. Gallen, den 24. Juli 1854,

von

G. Delabar, *Professor.*

Hochgeachteter Herr Präsident!
Hochverehrte Herren!

Wenn ich mir erlaube, Sie, Tit.! auf kurze Zeit in Anspruch zu nehmen, so geschieht es in der Voraussetzung, dass Sie einem in Ihre Gesellschaft neu Eingetretenen alle Nachsicht werden angedeihen lassen.

---

*) Diese Abhandlung ist im Wesentlichen der Inhalt des Vortrages, welchen der Verfasser über diesen Gegenstand in der allgemeinen Versammlung der schweizerischen naturforschenden Gesellschaft gehalten hat. Diejenigen Partien derselben, welche,

Wie Ihnen bereits vom Präsidium angezeigt worden ist, so handelt der Gegenstand meines Vortrags von dem so berühmt gewordenen Foucault'schen Pendelversuch über die Achsendrehung der Erde. Ist derselbe für die Meisten der Anwesenden wahrscheinlich auch nicht mehr ganz neu, so bietet er doch so allgemeines Interesse dar und wurde er allenthalben, wo er seit seiner ersten Ausführung durch Hrn. L. Foucault in Paris*) angestellt worden ist, mit so viel Beifall aufgenommen, dass ich wohl annehmen darf, derselbe werde auch für Sie, Tit.! nicht ohne Interesse sein.

Indem ich mich daher meiner Aufgabe zuwende, werde ich es zunächst versuchen, Ihnen von dem allerdings nicht leichten Gegenstande eine gemeinfassliche und möglichst deutliche Darstellung zu entwerfen, und darauffolgend werde ich dann die Ehre haben, den Versuch selbst in der hiesigen Domkirche, die zu diesem Behufe von der hohen Geistlichkeit mit sehr verdankenswerther Bereitwilligkeit überlassen worden ist, vor Ihren Augen vorzunehmen.

---

wie namentlich der Beweis des Gesetzes, nach welchem sich die Winkelbewegung der Schwingungsebene des Pendels mit der geographischen Breite des Beobachtungsortes ändert, sowie die Rechnungsresultate im zweiten Abschnitt, beim freien Vortrag wegen der beschränkten Zeit abgekürzt oder ganz weggelassen werden mussten, sind hier vervollständigt mit aufgenommen.

*) Der erste Bericht darüber an die französische Akademie datirt vom 3. Febr. 1851. Siehe Compt. rend. Tome XXII, pag. 135 u. Pogg. Ann. Bd. 82, S. 458.

I.

Vom Prinzip und Beweis des Foucault'schen Pendelversuchs.

Wo du auch wandelst im Raum, es knüpft dein Zenith und Nadir
An den Himmel dich an, dich an die Achse der Welt.
Wie du auch handelst in ihr, es berühre den Himmel der Wille,
Durch die Achse der Welt gehe die Richtung der That!

Schiller.

Es ist Ihnen, Tit.! bekannt, dass die Thatsache, welche durch den Foucault'schen Pendelversuch dargethan wird, erst seit etwa 350 Jahren als solche erkannt werden ist. Zwar haben auch schon die alten *Griechen* (wie z. B. die Pythagoräer: Heraklides von Pontus, Ecpantus und Seleucus von Erithraea und Nycetas von Syracus) die Achsendrehung der Erde vorübergehend angenommen. Allein die bleibende Annahme datirt eben doch erst seit 1507 n. Chr., in welchem Jahre dem tiefdenkenden *Copernicus* (geb. 1472, gest. 1543) die Erfindung unsers jetzigen Planetensystems gelang, womit das frühere ptolemäische System von der Himmelsbewegung nach und nach, besonders bei der kräftigen Unterstützung, welche ersteres an *Galilei* (geb. 1564, gest. 1642), *Keppler*, (geb. 1571, gest. 1630) und *Newton* (geb. 1642, gest. 1727), diesen unsterblichen Männern der Wissenschaft, gefunden, fallen musste.

Ebenso sind Ihnen wohl auch die verschiedenen Beweise*) bekannt, welche man vor Foucault für die Achsen-

*) Als solche können nämlich, ausser den *innern Gründen*, wie sich uns dieselben bei einigem Nachdenken schon aus den

drehung der Erde geltend machte. Ohne mich desshalb in eine weitere Auseinandersetzung derselben einzulassen, will ich wenigstens darauf hinweisen, dass keiner derselben die Anschaulichkeit und überzeugende Gewissheit in einem so hohen Grade für sich hat, wie diess beim neuen Foucault'schen Beweise der Fall ist, den ich Ihnen nun sofort des Nähern auseinandersetzen werde.

Zum bessern Verständniss wird es jedoch gut sein, demselben eine kurze Erläuterung der dabei in Verbindung stehenden physikalischen Gesetze, die Trägheit der Materie und die Wirkung der Schwere betreffend, vorauszuschicken.

Was die letztere anbetrifft, so mag hier einzig bemerkt werden, dass in Folge derselben alle Körper auf der Erdoberfläche das Bestreben haben, nach dem Mittelpunkte der Erde zu fallen, und dass demnach auch die Schwingungsebene eines Pendels, verlängert gedacht, stets durch denselben Punkt gehen muss. Was dagegen das erstere Grundprinzip, die Trägheit der Materie oder das Beharrungsvermögen, anbelangt, so sei mir gestattet, daran zu erinnern, dass es nichts Anderes sagen will, als dass kein materieller Körper den Ruhe- oder Bewegungszustand, in dem er sich gerade befindet, von sich aus ver-

---

Grössen- und Geschwindigkeitsverhältnissen der Erde im Vergleich mit jenen der übrigen Himmelskörper — je nachdem wir diese oder jene in Bewegung denken — aufdrängen, angesehen werden: die zuerst von Hadley erklärten *Passatströmungen* und das Dove'sche *Winddrehungsgesetz*, dann die von Benzenberg, Reich u. A. angestellten *Fallversuche* mit schweren Körpern aus grossen Höhen und die zahlreichen *Abweichungsbeobachtungen* an Geschützkugeln und endlich die in Folge der Centrifugalkraft entstandene und durch Pendelversuche zuerst constatirte *Abplattung der Erde* selbst.

ändern kann, sondern darin so lange verbleiben muss, bis er durch eine äussere Ursache in einen andern übergeführt wird; und dass, wenn bezüglich des Bewegungszustandes die Erfahrung damit nicht im Einklange zu sein scheint, der Grund davon einzig in den dabei vorkommenden Hindernissen, wie im Reibungs- und Luftwiderstand etc. etc., zu suchen ist. Denn soll z. B. ein Körper auf horizontalem Boden fortgezogen, die Masse desselben also beschleunigt werden, so muss zur Erzeugung dieser Beschleunigung auf derselben mit einer gewissen äussern Kraft eingewirkt werden, die jedoch, wenn die Bewegung einmal eingeleitet und die verlangte Geschwindigkeit erreicht ist, zur Fortpflanzung dieser Geschwindigkeit entsprechend kleiner sein kann und nur so gross zu sein braucht, als der Reibungswiderstand am Boden und der Widerstand der Luft nöthig macht. Könnten daher diese Bewegungshindernisse ganz beseitigt werden, so würde der Körper die einmal erlangte Bewegung in Folge des Trägheitsprinzips oder des Beharrungsvermögens mit derselben Geschwindigkeit und nach derselben Richtung, ohne weitere Einwirkung der Kraft von selbst fortsetzen. Da nun diess in der Praxis nie ganz möglich ist, so findet bei jeder Bewegung ein gewisser, den sämmtlichen dabei auftretenden Hindernissen entsprechender Verlust an Wirkung statt; und jeder bewegte Körper wird desshalb auch, wenn die motorische Kraft abgestellt wird, nach Verfluss einer gewissen Zeit wieder zur Ruhe kommen, und zwar wird diess eintreten, sobald als die in ihm im Momente der Abstellung enthaltene lebendige Kraft oder Wirkungsfähigkeit durch die genannten Bewegungshindernisse aufgezehrt sein wird.

Es ist hier nicht am Orte, diese Grundgesetze weiter zu verfolgen. Das Gesagte mag genügen, um die Anwendung derselben auf die Pendelbewegung, zu der wir nun übergehen wollen, zu verstehen.

Denken wir uns nämlich irgend ein materielles Pendel in seiner Ruhelage, so wird es begreiflich in derselben verbleiben, bis es aus ihr von der Hand oder einer andern Ursache abgelenkt wird. Sich selbst überlassen, wird es alsdann durch die Erdschwere wieder herabgezogen. Dadurch erlangt es aber eine gewisse Wirkungsfähigkeit, welche es im tiefsten Punkte nicht zur Ruhe kommen lässt, sondern auf der andern Seite in die Höhe treibt, bis dieselbe durch das herabziehende Gewicht konsumirt ist und die Schwere es sodann auf's Neue in die Tiefe zieht etc. etc. Wegen der Reibung am Aufhängepunkt und dem Widerstand der Luft am Pendelgewicht werden die aufeinanderfolgenden Schwingungen nach und nach kleiner ausfallen und unter der Voraussetzung, dass der Aufhängepunkt ein *absolut fester* und das Pendelgewicht eine *vollkommen homogene* Kugel wäre, deren Schwerpunkt mit ihrem geometrischen Mittelpunkt *genau* zusammenfiele, würde ihre Ebene in Folge des Beharrungsvermögens eine unveränderliche Lage im Raume behalten und überdiess wegen der gleichzeitigen Einwirkung der Schwere stets nach dem Mittelpunkte der Erde gerichtet sein.

Denken Sie sich daher mit mir für einen Augenblick unter den Pol A der Erdkugel ADBE, Fig. 1, Taf. I, versetzt, wo die Erscheinung, um die es sich handelt, in ihrer grössten Einfachheit auftritt.

Denken Sie sich daselbst in der Richtung der verlängerten Erdachse AB an einem fixen, aber von der Bewegung der Erde unabhängigen Punkte F (einem sogenannten archimedischen Punkte) ein Pendel*) (in einem entsprechend langen biegsamen Faden oder Draht und einer verhältnissmässig sehr schweren und gut centrirten Kugel bestehend) aufgehängt und in der Berührungsebene des Pols einen Theilkreis GHIK, dessen Centrum mit dem Pol A zusammenfällt, verzeichnet, und stellen Sie sich ferner vor, die Horizontalprojektion der Schwingungsebene FNAO des Pendels treffe anfangs, wann dieses zu schwingen beginnt, mit irgend einem Durchmesser GH des genannten Theilkreises zusammen: so müssten auch, sofern die Erde sich nicht bewegte, weil, wie wir gesehen haben, die Schwingungsebene des Pendels unter der gemachten Voraussetzung wegen der Trägheit der Pendelmasse die anfängliche Lage unveränderlich beibehielte, die erwähnten beiden Geraden fortwährend mit einander zusammenfallen; wenn aber, wie es wirklich der Fall ist, die Erde sich um ihre Achse drehte, so müsste nothwendig die unveränderliche Horizontalprojektion der Schwingungsebene des Pendels gegen jenen als Ausgangslinie angenommenen Durchmesser GH des Theilkreises, der die Achsendrehung der Erde von Westen nach Osten ebenfalls mitmacht und nach einer gewissen Zeit nach LM gekommen sein wird, immer mehr abweichen, und zwar würde uns, die wir die Rotation ebenfalls mitmachten, scheinen, als weiche die Schwingungsrichtung gegen jenen Durch-

---

*) Zur Vornahme des Versuchs bedarf es ein Pendel, dessen Pendelgewicht am besten von 20 bis 60 ℔ und dessen Pendellänge nicht wohl unter 30′ betragen soll. Das Pendel im Pantheon in Paris hatte eine Länge von 220′, das im Kölner Dome eine Länge von 145′ und das in der hiesigen Kathedralkirche, womit ich experimentirte, 100′.

messer immer mehr von Osten nach Westen oder, dem Pendel sich zugewendet, von der Rechten zur Linken ab.

Allein unter der gemachten ideellen Annahme ist der Versuch, auch wenn wir wirklich an den Pol gelangen könnten, nicht möglich. Wir müssten uns jedenfalls zu einem reellen irdischen Aufhängepunkt, der die Rotation der Erde also mitmachte, entschliessen. Dann entstünde aber die Frage, ob die Drehung dieses Aufhängepunktes um sich selbst nicht auch eine Störung auf die Richtung der Schwingungsebene nach sich zöge und diese ebenfalls im Sinne der Erdrotation bewegte. Dieser störende Einfluss wäre indessen, wenn anders der Aufhängepunkt genau über dem Pol in der Richtung der Erdachse sich befände, nicht zu befürchten. Denn jene Torsion des Aufhängepunktes würde allerdings eintreten und sich nothwendig auch dem Pendelfaden und Pendelgewichte mittheilen. Auf die Richtung der Schwerkraft und auf die dadurch und durch die Trägheit der Pendelmasse bedingte Lage der Schwingungsebene des Pendels hätte sie aber nicht den geringsten Einfluss.

Bei der Unzugänglichkeit des Pols kann man diess zwar nicht durch einen Versuch daselbst darthun; wohl aber kann man sich von der Wahrheit der so eben ausgesprochenen Behauptung an jedem Orte der Erdoberfläche leicht dadurch überzeugen, dass man, nach dem Vorgang des Hrn. Foucault, *) an der Achse einer Dreh-

*) Es verdient bemerkt zu werden, dass Hr. Foucault auf seinen berühmt gewordenen Pendelversuch gerade durch die Beobachtung geführt worden ist, dass ein abgedrehter dünner Stahlstab, auf der Drehbank eingespannt, seine Schwingungsebene unabhängig von der Drehung des Wirtels behauptete.

bank und in der Längenrichtung derselben einen runden biegsamen Stahlstab befestigt, ihn dann durch Ablenkung aus seiner Gleichgewichtslage in Schwingungen versetzt und ihn nun sich selbst überlässt. Die dadurch bedingte Schwingungsebene zeichnet sich vermöge des Verweilens der Gesichtseindrücke scharf im Raume ab, und wenn man nun die Achse der Drehbank mit der Hand in drehende Bewegung setzt, sieht man, dass die Schwingungsebene nicht mit herumgeführt wird, sondern in der einmal angenommenen Lage beharrt. Dasselbe ist auch der Fall, wenn man ein Fadenpendel senkrecht über der Drehachse der Scheibe einer Schwungmaschine aufhängt und diese, während das Pendel schwingt, in Umdrehung versetzt. Noch einfacher und, wie mir scheint, genügend ist der Versuch, wenn man den Faden eines von Hand gehaltenen schwingenden Pendels sorgfältig zwischen den Fingern dreht.

Wir dürfen es daher als eine ausgemachte Thatsache annehmen, *dass, wenn der Versuch am Pol wirklich vorgenommen werden könnte, die Pendelschwingungsebene ihre anfängliche Lage trotz der durch die Umdrehung des Aufhängepunktes dem Pendelfaden und Pendelgewicht mitgetheilten Torsion in Folge des Beharrungsvermögens und der gleichzeitigen Wirkung der Schwere unverändert beibehielte, und dass folglich ihre Horizontalprojektion gegen den anfänglich mit ihr in* GH *zusammenfallenden Durchmesser des Theilkreises, der inzwischen durch die Rotation der Erde von Westen nach Osten in die gedrehte Lage* L M *gebracht worden, scheinbar von Osten nach Westen oder, dem Pendel sich zugewendet, von der Rechten zur Linken abweichen müsste;* und es ist klar, *dass diese scheinbare Abweichung der Schwingungsebene am Pole nach einer vollen Umdrehung* *oder also nach* 24 *Sternstunden, in Winkelmass ausgedrückt, genau* 360°, *nach* 1 *Stunde* 15°, *nach* 1 *Minute* $\frac{1}{4}°=15'$ *und nach* 1 *Sekunde Sternzeit* 15'' *des Theilkreises* GIHK — *oder, auf mittlere Sonnenzeit*) bezogen, nach* 1 *Stunde* 15°,04107, *nach* 1 *Minute* 15',04107 *und nach* 1 *Sekunde mittlerer Zeit* 15'',04107 *des genannten Theilkreises betragen würde.*

Die Sache wird jedoch wesentlich modifizirt, wenn wir uns jetzt vom Pole A weg zu irgend einem andern Punkte F, unter irgend einem Breitenkreise FAW, Fig. 2, Taf. 1, wenden und an demselben den Versuch vornehmen. Denn während der bisher gerade über dem Pol gedachte Aufhängepunkt des Pendels bei der Rotation der Erde nur um sich selbst gedreht wird, ohne seine Lage im Raume**) zu ändern, ändert ein vertikal über F oder über jedem andern Orte der Erdoberfläche zwischen den Polen A und B und dem Aequator DUE angenommener Punkt P mit der Umdrehung der Erde ebenfalls seinen Ort und beschreibt, wie jeder andere Punkt des Rotationskörpers, einen Kreis um die Erdachse, und durch diese Verrückung desselben wird auch die relative Lage der Schwingungsebene des Pendels geändert und zwar so, dass sie in jedem Augenblick durch den Mittelpunkt C der Erde geht.

---

*) Da nämlich 24 Sternstunden gleich 23^h 56' 4'',09 mittlerer Sonnenzeit, so muss man, um die scheinbare Abweichung nach einer Stunde mittlerer Zeit zu erhalten, 360.60.60 durch (23.60.60+56.60+4,09)=86164,09 dividiren, was 15,04107 gibt, wie im Text angegeben ist.

**) Von der Umlaufsbewegung der Erde in ihrer Bahn um die Sonne, die auf das in Rede stehende Phänomen ohne Einfluss ist, wird hiebei abstrahirt.

Man sieht daher, *dass in diesem Fall die Schwingungsebene unmöglich den vollkommenen Parallelismus mit ihrer anfänglichen Lage beibehalten kann, sondern dass sie selbst, indem sie in jedem Momente diejenige Lage annimmt, welche ihr bei der Rotation durch die Wirkung der Erdschwere und die Trägheit der Pendelmasse vorgeschrieben wird, eine Drehung um ihren Aufhängepunkt im Sinne der Erdrotation annehmen muss.*

Die Figur 2 zeigt zugleich, *dass die durch diese wirkliche Drehung der Schwingungsebene von Westen nach Osten modificirte scheinbare Abweichung derselben von Osten nach Westen um so kleiner wird, je näher der Ort, an dem der Versuch angestellt wird, dem Aequator liegt.*

Denn sind FQW, F′Q′W′ und F″Q″W″ drei Parallelkreise von verschiedener geographischer Breite und darauf F, F′ und F″ drei Beobachtungsorte desselben Meridians, nach dessen Richtung das Pendel PNO etc. zu schwingen beginnt, und nehmen wir an, diese Orte kommen mit den Theilkreisen GIHK, G′I′H′K′ und G″I″H″K″ nach Verfluss einer *sehr kleinen* Zeit durch die Rotation der Erde nach Q, Q′ und Q″ zu liegen, so kann die Schwingungsrichtung RT, R′T′ und R″T″ in den neuen Stellungen füglich noch parallel zur anfänglichen Richtung GH angesehen werden, während die anfänglich mit der Schwingungsrichtung zusammenfallenden Durchmesser GH, G′H′ und G″H″ der Theilkreise innert dieser Zeit durch Drehung nach LM, L′M′ und L″M″ zu liegen kommen und die Winkel $FSQ = MQT = \varphi$, $F'S'Q' = M'Q'T' = \varphi'$ und $F''S''Q'' = M''Q''T'' = \varphi''$ beschreiben, welche nun offenbar die scheinbaren Abweichungen an den drei gewählten Beobachtungsorten während dieser Zeit versinnlichen, die daher, wie man sieht, um so kleiner ausfallen, je kleiner die geographische Breite des Beobachtungsortes ist.*)

Unter dem *Aequator* DD'E selbst, Fig. 3, Taf. 1, *wo die Schwingungsebene* FNO *des Pendels bei der Erdrotation durch die gleichzeitige Einwirkung der Schwere und der Trägheit der Pendelmasse in jedem Augenblick genöthigt wird, mit der entsprechenden Meridianebene zusammenzufallen und sich demnach mit derselben Winkelgeschwindigkeit um die Vertikale* CD *des Aufhängepunktes* F, *wie die Erde um ihre Achse* AB, *zu drehen, wird diese Abweichung*, da die Schwingungsrichtung in jedem Augenblicke mit dem anfänglichen Durchmesser GH, der nach und nach in die parallelen Stellungen G'H', G''H'' etc. etc. gelangt, zusammenfällt, sogar *ganz verschwinden*. Und eben desshalb ist es auch *nicht* möglich, die Achsendrehung der Erde am Aequator durch Pendelversuche nachzuweisen.

Aus dem Bisherigen hat sich nun ergeben, *dass die scheinbare Abweichung der Schwingungsrichtung eines Pendels gegen einen auf dem Theilkreis des Beobachtungsortes beliebig gezogenen und anfänglich mit ihr zusammenfallenden Durchmesser an den Polen am grössten ist und zwar nach Verfluss von einer vollen Umdrehung der Erde gerade* 360° *beträgt, dass sie dagegen für Orte zwischen den Polen und dem Aequator um so geringer wird, je kleiner deren geographische Breite ist und endlich, dass sie am Aequator selbst ganz verschwindet und also gleich Null ist.*

Es bleibt mir daher jetzt noch übrig, das *Gesetz* zu bestimmen, nach welchem die Abnahme der scheinbaren Abweichung der Schwingungsebene gegen einen anfänglichen Durchmesser des Theilkreises oder, was auf's

*) Den strengern Beweis hievon siehe weiter unten.

Gleiche herauskömmt, die Zunahme der wirklichen Winkelbewegung derselben um die Vertikale des Aufhängepunktes an irgend einem Orte irgend eines Breitenkreises während einer gegebenen Zeit t oder eines gegebenen Drehungswinkels α stattfindet.

Indem wir das bisher Gesagte wohl erwägen, so lässt uns ein gewisses *mathematisches Gefühl* zum Voraus ahnen, dass sich dieses Gesetz durch eine von der geographischen Breite β abhängige Funktion werde ausdrücken lassen, welche für die Pole, oder $\beta = \pm 90^\circ$, gleich 1, für den Aequator, oder $\beta = 0^\circ$, gleich 0 und für Orte zwischen dem Aequator und den Polen, oder $\beta = 0^\circ$ bis $\pm 90^\circ$, gleich einem ächten Bruch, d. h. kleiner als 1 und grösser als 0 sein müsse.

Nun aber besitzt bekanntlich diejenige trigonometrische Funktion, die man *Sinus* nennt, alle diese Eigenschaften, desshalb sich auch sofort vermuthen lässt, dass die scheinbare Abweichung der Schwingungsrichtung gegen einen anfänglichen Durchmesser des Theilkreises oder die Winkelbewegung der Schwingungsebene um die Vertikale des Aufhängepunktes gleich sei der Winkelbewegung der Erde um ihre Achse während derselben Zeit multiplizirt mit dem Sinus der geographischen Breite.

Indessen dürfen wir nicht bei einer blossen Vermuthung stehen bleiben, sondern müssen es nun auch versuchen, die Richtigkeit dieses Satzes mathematisch zu beweisen.*)

---

*) Solche Beweise sind gegeben worden von Anstice (s. Philos. Mag. [4] II. 379), Binét (s. Compt. rend. XXXII. 157 und 197 etc.), Braschmann (s. Petersb. acad. Bull. X. 81), Coombe (Philos. Mag. [4] I. 554), Crahay (s. Pogg. Ann. Bd. 88), Clausen (s. Petersb. Acad. Bull. X. 17), Eschweiler (s. Dr. Garthe's Schrift: „Foucault's Versuch etc.“), Lyman (s. Sill.

Von dem bekannten Satze der Mechanik ausgehend, dass jede Bewegung in zwei oder mehrere Seitenbewegungen zerlegt werden kann, denke man sich die Bewegung, welche der unter dem Pendel aufgestellte horizontale Theilkreis in jedem Augenblick durch die Rotation der Erde erfährt, in *zwei drehende* Bewegungen, die eine um die Vertikale des Aufhängepunktes und die andere um die durch den Mittelpunkt der Erde in der zugehörigen Meridianebene gezogene Horizontale oder die wahre Mittagslinie des Beobachtungsortes als Achse, zerlegt. Diese letztere, welche die Aenderung ausdrückt, welche die Schwingungsebene des Pendels in ihrer Lage durch die beständige Einwirkung der Schwere (von welcher sie in jedem Momente gezwungen wird, durch den Mittelpunkt der Erde zu gehen) erleidet, hat offenbar keinen Einfluss auf die Lage der Schwingungsrichtung, während die erstere in der stetigen Aenderung des Winkels, welchen die Horizontalprojektion der Schwingungsebene mit einem als Ausgangslinie angenommenen Durchmesser des Theilkreises bildet, die verlangte *scheinbare* Abweichung angibt.

Diese zu bestimmen, sei ADBE, Fig. 4, Taf. 2, ein Meridianschnitt der Erdkugel, AB ihre Achse und C das Centrum, FMNP irgend ein Parallelkreis auf der nördlichen Halbkugel (z. B. der Parallelkreis durch St. Gallen),

---

Am. J. [2] XII. 410), Marignac (s. Arch. ph. nat. XVII. 116), O'Brien (s. Philos. Mag. [4] II. 125), Tebay (s. Philos. Mag. [4] II. 376), Thäcker (s. Philos. Mag. [4] II. 275), Young (s. Mechanic's Mag. v. Mai 1851) und Andern.

Der Beweis, den ich zunächst im Folgenden entwickeln werde, stimmt am meisten mit jenem von Crahay überein, unterscheidet sich aber doch, wie sich aus der Vergleichung ergeben wird, wesentlich von ihm.

G irgend ein Ort auf demselben (z. B. St. Gallen), A G B der zugehörige Meridian, C G I die zugehörige Vertikale und G S, senkrecht zur vorigen Geraden und in der Ebene des Meridians A G B liegend und diesen berührend, die zugehörige Meridianlinie, welche der verlängerten Erdachse in S begegnet. Bei der Umdrehung der Erde beschreiben alsdann die Vertikale C G und die Meridianlinie G S Drehungskegelflächen, welche den Parallelkreis F M N P als Basis gemein haben und deren Spitzen beziehungsweise in C und S liegen. Nach Verfluss von einer *unendlich kleinen* Zeit komme der Punkt G nach H, die Vertikale C G nach C H, die Meridianebene A G B nach A H B und die zugehörige Meridianlinie G S nach H S. Nehmen wir an, die Schwingungsebene des Pendels falle im Anfang, also beim Ausgang in G, mit der Meridianebene A G B zusammen,*) so würde dieselbe, wie bereits oben angedeutet worden ist, vermöge der Trägheit der Pendelmasse, ohngeachtet ihrer Verrückung im Raume, stets mit sich selbst parallel bleiben, wenn sie anders durch die beständige Einwirkung der Schwere nicht genöthigt wäre, durch den Mittelpunkt der Erde zu gehen. Unter dieser Einwirkung ändert sie jedoch, indem sie, durch das Centrum der Erde gehend, sich selbst um die Vertikale des Aufhänge-

---

*) Diese Annahme wird nur der Einfachheit wegen, unbeschadet der Allgemeinheit, gemacht. Die Sache bleibt sich aber ganz gleich, nach welcher Richtung das Pendel anfänglich auch zum Schwingen gebracht werden mag. Denn, da jeder Durchmesser des gedachten Theilkreises sich im gleichen Sinne dreht, so ist klar, dass sich dieselbe Abweichung der Schwingungsebene zeigen muss, gleichviel ob das Pendel zuerst im Meridian oder nach einer darauf senkrechten oder nach irgend einer dazwischenliegenden Richtung losgelassen wird. Die Versuche, welche ich darüber mit dem Pendel angestellt, haben diess vollkommen bestätigt. (S. die Anmerkung *) S. 145.)

punktes dreht, fortwährend ihre Stellung und Richtung. Nichsdestoweniger können wir aber, wegen der *Kleinheit* des Bogens GH, ihre horizontale Projektion oder die Schwingungsrichtung auf dem Theilkreis in der Lage H füglich parallel mit der anfänglichen Richtung in G annehmen. Ziehen wir daher HL parallel GS, so wird die Schwingungsebene bei ihrer Ankunft in H bestimmt sein durch die Vertikale CHK und Schwingungsrichtung HL. Da aber die Meridianebene des Punktes H durch dieselbe Vertikale CHK und die Meridianlinie HS geht, so ist SHL offenbar der Winkel, den die Schwingungsebene des Punktes H mit der zugehörigen Meridianebene bildet, oder also der Winkel, um welchen die Schwingungsrichtung gegen die Meridianlinie, mit der sie anfangs zusammenfiel, in der neuen Lage abweicht. Da überdiess für eine *unendlich kleine* Zeit, wie wir sie voraussetzen, der Bogen GH als eine *Gerade* und das Kegelflächenelement GSH als ein *Ebenenelement* angesehen werden kann, so ist der Winkel SHL auch gleich dem Winkel GSH, und wir können daher auch diesen letztern Winkel als Mass für die scheinbare Abweichung der Schwingungsebene von der anfänglichen Schwingungsrichtung oder für die erfolgte Winkelbewegung derselben um die Vertikale des Aufhängepunktes, während welcher die Erde sich um den kleinen Winkel GOH $= d\alpha$ gedreht hat, annehmen.

Dasselbe, was wir so eben vom Bogenelement GH und dem zugehörigen Winkelelement GSH bewiesen haben, gilt nun auch für jedes folgende Bogenelement HQ und das zugehörige Winkelelement HSQ etc. etc., also auch für sämmtliche Elemente einer ganzen Umdrehung. Während einer ganzen Umdrehung bilden aber die Elemente GSH, HSQ etc. etc., welche an der gemeinschaftlichen Spitze S den Winkel der scheinbaren Abweichung der Schwingungsebene enthalten, zusammen die Kegelfläche SFMNP. Entwickelt man daher diese Kegelfläche in eine Ebene, so gibt der erhabene Centriwinkel $FSF' = \varphi$ des dadurch erhaltenen Kreissektors SFMNPF', Fig. 5, Taf. 2, die Gesammtabweichung der Schwingungsebene während einer vollen Erddrehung an. Es handelt sich demnach jetzt nur noch um die Bestimmung dieses Winkels φ.

Nun aber ist allgemein : $\varphi = \frac{\overparen{FMNPF'}}{\overline{FS}}$ und da FMNPF' gleich dem Parallelkreis FMNPF und dieser gleich $2\pi \,.\, \overline{FO} = 2\pi \,.\, \overline{CF} \cos FCD = 2\pi\, r \cos \beta$ und $\overline{SF} = \overline{CF} \operatorname{cotag} FCD = r \operatorname{cotag} \beta$,*) so erhält man durch Substitution dieser Werthe in die vorige Gleichung für die Abweichung nach einer vollen Umdrehung in Theilen des Bogens vom Radius 1 : $\varphi = \frac{2\pi\, r \cos \beta}{r \operatorname{cotag} \beta} = 2\pi \sin \beta$, oder in Graden ausgedrückt:

$$\varphi = 360 \sin \beta \ \ldots . \ (I_a)$$

und für irgend einen Drehungswinkel $GOR = \alpha$

$$\varphi = \alpha \sin \beta \ \ldots . \ (I_b).$$

Aus dieser Gleichung, welche nun das Gesetz für die scheinbare Abweichung der Schwingungsebene gegen einen anfänglichen Durchmesser des Theilkreises oder für die wirkliche Bewegung derselben um die Vertikale des Aufhängepunktes ausdrückt, sieht man daher, *dass die genannte Abweichung oder Winkelbewegung für irgend einen Ort irgend eines Parallelkreises gefunden wird, wenn*

---

*) wobei r den Erdradius, β die geographische Breite und π die Ludolphine 3,1415926 bedeutet.

man den entsprechenden Erddrehungswinkel mit dem Sinus der geographischen Breite des Beobachtungsortes multiplizirt.

Da diese Gleichung auch in die Proportion verwandelt werden kann:

$$\varphi : \alpha = \sin \beta : 1,$$

so sieht man überdiess, *dass sich die scheinbare Abweichung oder die wirkliche Winkelbewegung der Schwingungsebene um die Vertikale des Aufhängepunktes an irgend einem Orte der Erdoberfläche zur Achsendrehung der Erde in derselben Zeit ebenso verhält wie der Sinus der geographischen Breite dieses Ortes zur Einheit.* —

Für Diejenigen, die mit der höhern Mathematik vertraut sind, möge hier auch noch der zuerst von Hrn. Direktor Eschweiler in Köln angegebene Beweis, welcher in der folgenden Darstellung, wie ich hoffe, an mathematischer Strenge und Präcision Nichts zu wünschen übrig lassen wird, eine Stelle finden.

Es sei C, Fig. 6, Taf. 2, irgend ein Ort auf der Erdoberfläche, an welchem ein Pendel zum Schwingen gebracht wird und den man sich als Centrum des Himmelsgewölbes, dessen Hauptmeridian AEPD ist, vorstellen mag. AP sei die Weltachse, P der Himmelspol, Z das Zenith des Ortes zu irgend einer Zeit der Pendelbewegung, CZ also die Vertikale und FHG der Horizont des gedachten Ortes. Im Anfang der Bewegung des Pendels falle die Schwingungsebene mit dem Meridian zusammen, ihr Azimuth sei also $= 0$, nach Verlauf der Zeit t sei dasselbe dagegen $= \varphi$ und die Erde habe sich inzwischen um den Winkel α gedreht. Die Schwingungsebene sei dann nach CZH gekommen, in welcher Lage sie den Horizont FHG in $\overline{CH}$ und das Himmelsgewölbe in $\widehat{ZH}$ schneidet. Der Bogen ZH ist desshalb ein Viertelskreis und der Bogen

FH oder der Winkel FCH gleich dem Azimuth φ und es kommt jetzt einzig darauf an, dieses Azimuth φ als Funktion der Zeit t oder des Winkels α, um welchen sich die Erde in derselben Zeit um ihre Achse gedreht hat, zu bestimmen.

Nach Verfluss von einer *unendlich kleinen Zeit* dt, in welcher die Erde sich um $d\alpha$ dreht und das Azimuth φ sich um $d\varphi$ ändert, komme daher das Zenith, welches bei der Rotation der Erde den Parallelkreis ZZ'I um die Himmelskugel beschreibt, von Z nach Z', die Vertikale CZ also nach CZ' und der Horizont FHG nach F'H'G', während die schwingende Pendelmasse dagegen vermöge ihrer Trägheit in der Richtung CH beharrt, die Schwingungsebene also die Lage CZ'H erhält und CH nach CH' auf den neuen Horizont F'H'G' reduzirt wird, wodurch das sphärische Dreieck PZH in das sphärische Dreieck PZ'H' übergeht,*) welches im nächsten Zeitelement eine ähnliche Veränderung erleidet.

Zur Ableitung des Gesetzes, nach welchem sich die Schwingungsebene des Pendels beim Foucault'schen Ver-

*) Zum richtigen Verständniss dieser *Reduktion* erwäge man, dass der Bogen Z'H, in welchem die Schwingungsebene das Himmelsgewölbe nach Verfluss der Zeit dt schneidet, ein Stück eines grössten Kreises Z'HLK ist und dass darauf, um den reduzirten Punkt H zu erhalten, Z'H' gleich 90° abgetragen werden muss, was am einfachsten durch die Construktion des Parallelkreises FH'M geschieht, der jenen grössten Kreis Z'HLK in H' scheidet, womit alsdann die neue Schwingungsrichtung CH' und der neue Horizont F'H'G' bestimmt ist.

Ohne indiskret zu sein, so darf ich wohl sagen, dass die Figuren, welche sonst diesem Beweise beigegeben worden sind, keineswegs geeignet waren, die Sache zu verdeutlichen, sondern eher zu verwirren. Die Darstellung des Problems, wie ich sie in Figur 6 ausgeführt, wird dagegen, wie ich hoffe, zur Verdeutlichung des Gegenstandes wesentlich beitragen.

suche in Folge der Erdrotation um die Vertikale des Aufhängepunktes dreht, bedarf es daher einzig des veränderlichen sphärischen Dreiecks PZH, worin die Seiten $\widehat{PZ} = (\widehat{PD} - \widehat{ZD}) = (90 - \beta)$ und $\widehat{ZH} = 90^0$, sowie $\widehat{PH}$ unveränderlich dieselben Werthe beibehalten und die Winkel bei P und Z sich mit der Erdrotation stetig ändern.

Da bekanntlich die vier Stücke $\widehat{PZ}$, $\widehat{PH}$, P und Z in der Relation stehen, dass:

$$\text{cosin}\ \widehat{PZ} \cos P = \sin \widehat{PZ}\ \text{cotag}\ \widehat{PH} - \sin P\ \text{cotag}\ Z,$$

so ergibt sich, wenn man für $\widehat{PZ}$ seinen Werth $(90 - \beta)$ und $Z = (180 - \varphi)$, also $\text{cotag}\ Z = \text{cotag}\ (180 - \varphi) = - \text{cotag}\ \varphi$ setzt:

$$\sin \beta \cos P = \cos \beta\ \text{cotag}\ \widehat{PH} + \sin P\ \text{cotag}\ \varphi.$$

Aendert sich nun durch die Rotation der Erde während der unendlich kleinen auf t folgenden Zeit dt der Winkel P in $(P - d\alpha)$ und φ in $(\varphi - d\varphi)$, so folgt aus der vorigen Gleichung durch Differentiation, wenn man berücksichtigt, dass β und $\widehat{PH}$, also auch $\sin \beta$ und $\text{cotag}\ \widehat{PH}$ constant bleiben:

$$- \sin \beta \sin P\, d\alpha = - \sin P \frac{d\varphi}{\sin \varphi^2} + \text{cotag}\ \varphi \cos P\, d\alpha,$$

oder

$$d\varphi = (\sin \beta \sin \varphi^2 + \sin \varphi \cos \varphi\ \text{cotag}\ P)\, d\alpha.$$

Da aber $\widehat{HZ}$ ein Quadrant, das sphärische Dreieck HZP also ein rechtwinkliches Dreieck und daher bekanntlich:

$$\text{cotag}\ P = \sin \beta\ \text{cotag}\ \varphi$$

ist, so erhält man durch Substitution dieses Werthes:

$$d\varphi = (\sin \beta \sin \varphi^2 + \sin \varphi \cos \varphi \,.\, \sin \beta\ \text{cotag}\ \varphi)\, d\alpha$$
$$= \sin \beta (\sin \varphi^2 + \cos \varphi^2)\, d\alpha$$

oder endlich, da $\sin \varphi^2 + \cos \varphi^2 = 1$,

$$d\varphi = \sin \beta \, d\alpha$$

und folglich, wenn man integrirt,

$$\int d\varphi = \int \sin . \beta \, d\alpha = \sin \beta \int d\alpha, \text{ oder}$$

$$\varphi = \sin \beta \, . \, \alpha = \alpha \sin \beta$$

wie oben.

Ist nun die geographische Breite eines Ortes bekannt, so lässt sich mittelst dieser Gleichung die Winkelbewegung der Schwingungsebene um die Vertikale des Aufhängepunktes oder die scheinbare Abweichung derselben gegen den anfänglichen Durchmesser des Theilkreises für denselben mit Leichtigkeit finden.

Für St. Gallen ist die geographische Breite $\beta = 47^0\ 25'\ 39''$, also $\sin \beta = \sin 47^0\ 25'\ 39'' = 0{,}7364218$ und daher die scheinbare Abweichung für eine volle Umdrehung: $\varphi = 360 \, . \, 0{,}7364218 = 265^0{,}111848 = 265^0\ 6'\ 42''{,}6528$, oder da eine volle Umdrehung der Erde um ihre Achse in 24 Sternstunden vor sich geht, für eine Sternstunde: $\varphi = \frac{360}{24} \, . \, 0{,}7364218 = 15 \, . \, 0{,}7364218 = 11^0{,}046327 = 11^0\ 2'\ 46''{,}7772$, für eine Minute Sternzeit ebenso: $\varphi = 11'{,}046327 = 0^0\ 11'\ 2''{,}77962$ und für eine Sekunde Sternzeit: $\varphi = 11''{,}046327$ des Theilkreises.

Zur bessern Uebersicht habe ich die scheinbare Abweichung für den Parallelkreis von St. Gallen nach 3, 6, 9, 12, 15, 18, 21 und 24 Sternstunden oder 45^0, 90^0, 135^0, 180^0, 225^0, 270^0, 315^0 und 360^0 der Erddrehung in folgende Tabelle zusammengestellt und zugleich durch die schwarz ausgefüllten Kreissektoren der Figur 7, Taf. 3, versinnlicht.

Tabelle

über die Grösse der scheinbaren Abweichung nach je drei Sternstunden für den Parallelkreis von St. Gallen.

Nummer der Stellung des Theilkreises.	Erddrehung nach		Grösse der scheinbaren Abweichung in Graden.
	Sternstunden.	Graden.	
1	0	0	0 = 0
2	3	45	45 . 0,7364218 = 33,139
3	6	90	90 . 0,7364218 = 66,278
4.	9	135	135 . 0,7364218 = 101,733
5	12	180	180 . 0,7364218 = 132,556
6	15	225	225 . 0,7364218 = 165,695
7	18	270	270 . 0,7364218 = 198,834
8	21	315	315 . 0,7364218 = 231,973
9	24	360	360 . 0,7364218 = 265,112

Aus der Fig. 7 sieht man, dass die Schwingungsrichtung AB in der ersten Stellung mit dem Durchmesser SN oder der Meridianrichtung CP zusammenfällt, dass sie aber in der zweiten Stellung, in welcher der Durchmesser SN wieder nach dem Pole P gerichtet ist, mit diesem Durchmesser den Winkel ACN = 33°,139 bildet, und dass sie in den folgenden Stellungen mit dem genannten Durchmesser immer grössere, und zwar die in der obigen Tabelle angegebenen Winkel macht.

Bezieht man die scheinbare Abweichung der Schwingungsrichtung AB des Pendels gegen den anfänglich mit ihr znsammenfallenden Durchmesser NS des Theilkreises auf mittlere Sonnenzeit,*) so beträgt dieselbe nach einer Stunde einen Bogen von: $\varphi = \frac{360 \,.\, 60 \,.\, 60}{23 \,.\, 60 \,.\, 60 + 56 \,.\, 60 + 4{,}09} \,.$ $0{,}7364218 = 15{,}04107 \,.\, 0{,}7364218 = 11^\circ{,}07657 = 11^\circ\, 4'\, 35''{,}652$, nach einer Minute einen Bogen von $\varphi =$

*) Siehe die erste Anmerkung auf Seite 116.

11',07657 = 11' 4'',5942 und nach einer Sekunde mittlerer Zeit einen Bogen von φ = 11'',07657 des Theilkreises.

Will man aber umgekehrt die Beobachtungszeit t berechnen, welche hier in St. Gallen verstreicht, bis die scheinbare Abweichung φ^0 beträgt, so dient hiezu die Formel:

$$t'' = \frac{\varphi \,.\, 60 \,.\, 60}{11{,}046327} \text{ Sternzeit,}$$

oder:

$$t'' = \frac{\varphi \,.\, 60 \,.\, 60}{11{,}07657} \text{ mittlerer Zeit.}$$

Hiernach habe ich folgende Tabelle berechnet, die der Vollständigkeit wegen hier mit aufgenommen werden mag.

Tabelle

über die Beobachtungszeit, welche hier in St. Gallen einem gegebenen Abweichungswinkel entspricht.

Scheinbare Abweichung in Graden.	Beobachtungszeit in Sternzeit.			Beobachtungszeit in mittlerer Zeit.		
	h	'	''	h	'	''
1	0	5	25,9	0	5	25,01
2	0	10	51,8	0	10	50,02
3	0	16	17,7	0	16	15,03
4	0	21	43,6	0	21	40,04
5	0	27	9,5	0	27	5,05
6	0	32	35,4	0	32	30,06
7	0	38	1,3	0	37	55,07
8	0	43	27,2	0	43	20,08
9	0	48	53,1	0	48	45,09
10	0	54	19,0	0	54	10,10
11	0	59	44,9	0	59	35,11
12	1	5	10,8	1	5	0,12
13	1	10	36,7	1	10	25,13

Scheinbare Abweichung in Graden.	Beobachtungszeit in Sternzeit.			mittlerer Zeit.		
	h	′	″	h	′	″
14	1	16	2,6	1	15	50,14
15	1	21	28,5	1	21	15,15
16	1	26	54,4	1	26	40,16
17	1	32	20,3	1	32	5,17
18	1	37	46,2	1	37	30,18
19	1	43	12,1	1	42	55,19
20	1	48	38,0	1	48	20,20
21	1	54	3,9	1	53	45,21
22	1	59	29,8	1	59	10,22
23	2	4	55,7	2	4	35,23
24	2	10	21,6	2	10	0,24
25	2	15	47,5	2	15	25,25
26	2	21	13,4	2	20	50,26
27	2	26	39,3	2	26	15,27
28	2	32	5,2	2	31	40,28
29	2	37	31,1	2	37	5,29
30	2	42	57,0	2	42	30,30

Auf dieselbe Weise findet man auch die Zeit, innert welcher die scheinbare Abweichung der Schwingungsebene hier in St. Gallen einen vollen Kreis von 360° beschreiben würde. Man findet: $t = 32^h\ 35'\ 24''0$ Sternzeit oder $= 32^h\ 30'\ 3'',708$ mittlerer Zeit.

Endlich habe ich zur Vergleichung der scheinbaren Abweichung der Schwingungsebene hier und an einigen andern wichtigen Orten der Erdoberfläche noch folgende Tabelle zusammengestellt.

Tabelle

über die scheinbare Abweichung für einige wichtige Orte auf verschiedenen Parallelkreisen.

Beobachtungs-orte.	Geographische Breite in Graden.	Sinus der geographischen Breite.	Scheinbare Abweichung in Graden in 24 Sternstunden	Scheinbare Abweichung in Graden in 1 Sternstunde	Stundenzahl, die der scheinbaren Abweichung eines vollen Kreises entspricht.
Pol	+ 90°	1,00000	360,000	15,000	24,000
Nordkünn*)	„ 71° 6′	0,94609	340,590	14,191	25,368
Petersburg	„ 59° 56′	0,86544	311,56	12,982	27,731
Königsberg	„ 54° 42′	0,81614	293,81	12,242	29,407
Dublin	„ 53° 23′	0,80264	288,95	12,040 **)	29,901
Berlin	„ 52° 31′	0,79353	285,67	11,903	30,245
London	„ 51° 31′	0,78279	281,80	11,756	30,624
Köln	„ 50° 56′ 29″	0,77650	279,54	11,6473	30,908
Paris	„ 48° 50′	0,75280	271,01	11,292	31,881
Wien	„ 48° 12′	0,74548	268,37	11,182	32,194
St. Gallen	„ 47° 25′ 39″	0,7364218	265,1116	11,046327	32,59008
Genf	„ 46° 12′	0,72176	259,83	10,826	33,252
Rom	„ 41° 54′	0,66783	240,42	10,017	35,937
New-York	„ 40° 42′	0,65210	234,76	9,7815	36,804
Madrid	„ 40° 24′	0,64812	233,32	9,7218	37,030
Rio-Janeiro	— 22° 54′	0,38912	140,08	5,8368	61,677
Mexico	+ 19° 25′	0,33244	119,68	4,9865	72,194
Ceylon	„ 6° 56′	0,12071	43,468	1,8107	198,820
Cayenne	„ 4° 56′	0,085997	30,959	1,2900	279,080
Aequator	0°	0	0	0	∞

*) Nördlichste Spitze des europäischen Festlandes.

**) Zur Vergleichung der Theorie mit der Praxis mögen hier

Ganz auf dieselbe Weise, wie wir im Vorhergehenden die scheinbare Abweichung der Schwingungsebene oder ihre Winkelbewegung um die Vertikale CG des Aufhängepunktes bestimmt haben, können wir auch die *andere* Componente oder *die drehende Bewegung der Schwingungsebene um die Mittagslinie* CU, Fig. 4, Taf. 2, bestimmen. Und man wird finden, *dass diese Bewegung der Schwingungsebene, welche sie durch die Schwere erlangt, um stets durch den Mittelpunkt der Erde gehen zu können, sich zur Erddrehung in derselben Zeit ebenso verhält, wie der Cosinus der geographischen Breite zur Einheit.*

---

einige mir bekannt gewordene Versuchs-Resultate beigefügt werden.

Beobachtungs-orte.	Beobachter.	Stündliche Abweichung in Graden beobachtet.	berechnet.
Dublin	Galbraith und Haughton	11,90	12,040
Köln	Dr. Garthe	11,642	11,6473
Genf	Dufour, Wartmann u. Marignac	10,18	11,826
Rom	Secchi	9,90	10,017
New-York	Lyman	9,73	9,7815
Rio-Janeiro	d'Oliveira	5,17	5,8368
Ceylon	Lamprey und Shaw	1,87	1,8107

Hieraus sieht man, dass die sich auf Köln beziehenden Zahlenwerthe die grösste Uebereinstimmung zeigen; denn der Unterschied der Rechnung und Beobachtung beträgt nur: $0^{0},0053$ oder $19'',08$, also nicht einmal ganz $\frac{1}{3}$ Minute. Zu diesem sehr genauen Resultat hat wohl die zu einem solchen Versuch sehr gut passende Localität, wie sie der Kölner Dom darbot, wesentlich beigetragen; indessen ist rühmlichst anzuerkennen, dass Dr. Garthe beim Versuche selbst, wie aus allen Mittheilungen darüber hervorgeht, mit äusserster Sorgfalt zu Wege gegangen ist.

Denkt man sich nämlich an die Kegelfläche CFMNP, Fig. 4, eine sie nach CG berührende Ebene gelegt, so würde diese die Schwingungsebene des Punktes H nach HT, parallel zu GC, schneiden, wenn letztere anders mit ihrer anfänglichen Lage parallel bliebe. Da die Schwingungsebene aber in Folge der Einwirkung der Schwere genöthigt wird, durch den Mittelpunkt der Erde, also durch die Vertikale CH zu gehen, so versinnlicht CHT den Winkel, um welchen die Schwingungsebene durch die Schwere um die Mittagslinie in der *unendlich kleinen* Zeit dt, in welcher die Erde sich um den Winkel $d\alpha$ dreht, gedreht worden ist. Dieser Winkel ist aber, da das unendlich kleine Kegelflächenelement GCH als ein ebenes Flächenelement angesehen werden kann, gleich dem Winkel GCH, also kann auch dieser Winkel als Mass der genannten Winkelbewegung der Schwingungsebene um die Mittagslinie CU während der Zeit dt angesehen werden. Dasselbe gilt aber für alle andern Elemente, wie HCQ etc. etc., und folglich auch für die Summe derselben oder die ganze Kegelfläche CFMNP. Der Winkel an der Spitze C dieses Kegels drückt demnach die Totaländerung aus, welche die Schwingungsebene in Folge der Schwere in ihrer Lage um die Mittagslinie CU erfährt.

Durch Planificirung dieses Kegels verwandelt sich jener Winkel in den erhabenen Centriwinkel $FSF' = \psi$ des entstandenen Sektors FMNPF', Fig. 8, Taf. 3, und auf gleiche Weise, wie oben, erhält man für eine ganze Umdrehung in Bogentheilen:

$$\psi = \frac{\widehat{FMNPF'}}{SF} = \frac{2\pi\, r \cos\beta}{r} = 2\pi \cos\beta,$$

oder in Graden:

$$\psi = 360 \cos \beta \ldots . (\mathrm{II_a}),$$

und für einen beliebigen Drehungswinkel GOR $= \alpha$:

$$\psi = \alpha \cos \beta \ldots . (\mathrm{II\,b}).$$

Für St. Gallen beträgt demnach diese Winkelbewegung der Schwingungsebene des Pendels, da $\beta = 47^0\ 25'\ 39''$ und $\cos \beta = \cos 47^0\ 25'\ 39'' = 0{,}6765226$, während einer ganzen Erdrotation: $\psi = 360 .\ 0{,}6765226 = 243^0{,}5482 = 243^0\ 32'\ 53'',52$; nach Verfluss von einer Sternstunde: $\psi = 15 .\ 0{,}6765226 = 10^0{,}14784$ und nach Verfluss von einer Stunde mittlerer Zeit: $\psi = \frac{360 .\ 60 .\ 60}{86164{,}09} .\ 0{,}6765226 = 15{,}04107 .\ 0{,}6765226 = 10^0{,}17562$.

Für den Pol wird sie dagegen, da $\cos \beta = \cos 90^0 = 0$, $\psi = 360 .\ 0 = 0$, und für den Aequator, da $\cos \beta = \cos 0^0 = 1$, $\psi = 360 .\ 1 = 360^0$. —

Diese Bewegung der Schwingungsebene um die Mittagslinie wächst also gerade im *umgekehrten* Verhältniss, wie jene um die Vertikale des Aufhängepunktes, und zwar findet für beide dieser Winkelbewegungen für irgend einen Punkt der Erdoberfläche die Relation statt, *dass*, da die beiden Drehungsachsen rechtwinklich zu einander sind, *die Summe der Quadrate derselben gleich ist dem Quadrat der Erdrotation*. Für den Drehungswinkel α ist demnach: $\varphi^2 + \psi^2 = \alpha^2$, und in der That erhält man, wenn man für φ und ψ aus I(b) und II(b) die Werthe substituirt: $(\alpha \sin \beta)^2 + (\alpha \cos \beta)^2 = \alpha^2$; denn wenn man entwickelt, so ist $(\alpha \sin \beta)^2 + (\alpha \cos \beta)^2 = \alpha^2 \sin \beta^2 + \alpha^2 \cos \beta^2 = \alpha^2 (\sin \beta^2 + \cos \beta^2) = \alpha^2$, weil bekanntlich: $\sin \beta^2 + \cos \beta^2 = 1$.

Diese beiden Componenten der Erddrehung, welche, wie wir gesehen haben, die Winkelbewegung der Schwingungsebene des Pendels um die *Vertikale* des Aufhängepunktes und um die wahre *Mittagslinie* des Beobachtungsortes bestimmen, können übrigens auch auf *graphischem Wege* erhalten werden. Um diess an einer Figur wirklich zu zeigen, wollen wir annehmen, die Erdkugel ADBE, Fig. 9, Taf. 3, habe sich um ihre Achse AB um den beliebigen Winkel ICK von West nach Ost gedreht, so dass der Punkt I nach K, G nach H und überhaupt jeder Punkt des Meridians AGIUB nach einem entsprechenden Punkte des Meridians AHKV zu liegen komme. Zu dem gleichen Resultate können wir nun auch gelangen, wenn wir uns vorstellen, die Erde drehe sich zuerst um die mit der Vertikalen CG des Beobachtungsortes G zusammenfallenden Achse GX bis die einzelnen Punkte des Meridians AGIUB auf entsprechende Punkte des um die Achse GX sich drehenden grössten Kreises SGVTXY, wie z. B. U nach V, zu liegen kommen, und hierauf um die im Horizont gelegene Mittagslinie, welche im Anfang der Drehung mit der im Horizont QVR liegenden CV zusammenfiel und sich nach Verfluss derselben nach CV' in den neuen Horizont Q'V'R' reduzirt,*) um einen gleich grossen Drehungswinkel, so dass die Punkte des grössten Kreises SGVTXY auf entsprechende Punkte des Meridians AHKVBY, wie z. B. G nach H, zu liegen kommen. Denn die Drehung, welche die Erde auf diese Weise erlangt, ist, wie man sieht, genau dieselbe, als wenn sie sich um einen gleich grossen Winkel um ihre eigene Achse dreht.

Zur Vervollständigung des Gegenstandes würde es nun am Platze sein, wenn es anders die Zeit zuliesse,

---

*) Für diese Reduktion gilt dasselbe, was in der Anmerkung auf Seite 125 gesagt worden ist.

hier auch noch die verschiedenen Modifikationen zu besprechen, welche zur Erreichung desselben Zweckes mittelst anderer Apparate, als das zuerst von Foucault angewendete Fadenpendel, vorgeschlagen worden sind.*)

---

*) Solche Apparate sind angegeben worden von: Sylvester (s. Compt. rend. XXXIII. 40), Wheatstone (s. Phil. Mag. [4] I. 572 und Pogg. Ann. Bd. 83. 306), Baudrimont und Marx (s. Compt. rend. XXXII. 307 und Pogg. Ann. Bd. 83, 302), Poinsot und Tessan (s. Compt. rend. XXXII. 206 und 504), Krüger (s. Pogg. Ann. Bd. 84, 151), Kabisch und Dr. Garthe (in des letztern Schrift: „Foucaults Versuch etc."), Sire (s. Compt. rend. XXXV. 431), Porro (s. Compt. rend. XXXV. 855), Hamann (s. Pogg. Ann. Bd. 87, 614), Lamarle (s. Institut 1852, 388), Roberts (Report of the 21st brit. Assoc.), Foucault selbst (s. Compt. rend. XXXV).

Zudem sind von Poggendorf und Person Vorschläge gemacht worden, zum Ersatz des Fadenpendels das bekannte Bohnenbergersche Maschinchen anzuwenden.

Die neueste Modifikation des Versuchs zum Beweise der Achsendrehung der Erde, die, wenn ich nicht irre, zuerst in der Zeitschrift „die Natur" vorgeschlagen worden ist, beruht darauf, dass sich bei der Rotation der Erde in Folge des Beharrungsvermögens jeder *freie* Körper, also auch z. B. das in einem ruhigen, feststehenden Gefäss eingeschlossene *Wasser*, wie das Pendel, scheinbar von Osten nach Westen, also der Drehung der Erde gerade entgegengesetzt, dreht.

Für Diejenigen, die vielleicht diesen Versuch gerne anstellen möchten, möge hier noch bemerkt werden, wie derselbe am leichtesten und sichersten anzustellen ist.

Man nehme ein grosses, offenes Gefäss, z. B. eine weite Glasschale, fülle dasselbe beinahe bis oben mit Wasser und setze es an einem ganz ruhigen Orte auf den Boden eines Zimmers im Erdgeschoss, wo weder Luftströmungen noch andere Erschütterungen stattfinden. Nachdem daselbst die Oberfläche des Wassers scheinbar vollkommen ruhig geworden, pudere man auf dieselbe mittelst eines Läppchens eine dünne Schicht Bärlappsamen, jedoch so, dass sie nicht ganz den Rand der Schale erreicht. Hierauf streue man, etwa mit einer zusammengefalteten Karte, einen Strich von Kohlenpulver über die Mitte der Bärlappenschicht, und endlich mache man am Rand des Gefässes in der Richtung der schwarzen Linie ein Zeichen, oder lege über und parallel mit ihr ein Stäbchen diametral auf den obern Rand desselben, um zu sehen, ob und wie dieselbe ihre Lage ändere. (S. Nr. 11 des Unterhaltungsblattes zur Zeitung „der Deutsche" von 1854.)

Da diess mich jedoch viel zu weit führen würde und die meisten derselben ohnehin nicht das grösste Zutrauen bezüglich des Gelingens einflössen, so werde ich dieselben, bei der mir kurz zugemessenen Zeit, nicht weiter betrachten. Dagegen werden Sie mir erlauben, bevor ich zum Pendelversuch selbst übergehe, demselben noch einige besondere Bemerkungen über die Einrichtung der hiezu nöthigen Apparate und die Methode des hiebei befolgten Verfahrens vorauszuschicken.

II.

Von der Einrichtung der zum Foucault'schen Pendelversuch benöthigten Apparate und der Methode des hiebei befolgten Verfahrens.

> Es gibt eine zarte Empirie, die sich mit dem Gegenstand innigst vertraut macht, und dadurch zur eigentlichen Theorie wird.
>
> *Göthe.*

Durch besonders günstiges Zusammentreffen wurde es mir möglich, für das Pendel einen festen Aufhängepunkt zu erhalten, ohne an dem Gebäude selbst die geringste Veränderung vornehmen zu müssen. Es befindet sich nämlich fast im Centrum*) der Hauptkuppel ACB

Nach einiger Zeit wird man alsdann wahrnehmen, dass der schwarze Strich der Lycopodiumschicht sich scheinbar von Rechts nach Links herumbewegt, woraus man aus denselben Gründen, die ich früher entwickelt habe, zu schliessen berechtigt ist, dass die Erde sich um ihre Achse und zwar gerade umgekehrt von Links nach Rechts, oder von Westen nach Osten, dreht.

Der Winkel, welchen die horizontale Projektion des aufgelegten Stäbchens nach und nach mit dem schwarzen Strich bildet, wird am hiesigen Orte auch dieselben Werthe erlangen, wie ich sie oben für's Pendel angegeben.

*) Wegen dem *Schluss* des Kuppelgewölbes ist diese Oeffnung ein wenig excentrisch plazirt. Ihre Horizontalprojektion fällt da-

des Mittelschiffes der Kirche eine runde, circa 2' weite Oeffnung o, Fig. 10, Taf. 4, und gerade darüber ein Hauptbund des äusserst soliden Dachstuhls, an welchem ich nun am Balken d den *Stützpunkt* für den Pendelfaden, ohne Weiteres anbringen konnte.

Was die *Aufhängung* selbst betrifft, welche in Fig. 12 und 13, Taf. 4, in bedeutend grösserm Massstab dargestellt ist, so, hoffe ich, wird sie den Beweis liefern, dass ich bestrebt war, dieselbe möglichst einfach herzustellen.*) Sie besteht nämlich bloss aus einem schmiedeisernen Träger a, der mittelst des Winkeleisens b und der Schrauben c an den Balken d befestigt ist, und aus der kleinen Halbkugel e aus gehärtetem Stahl, die mit der abgerundeten Fläche auf jenen zu ruhen kömmt. Zur Aufnahme des Pendelfadens f besitzt der Träger a ein kleines, nach unten etwas konisch erweitertes Loch und das sphärische Stück e eine überall gleich weite, zylindrische Oeffnung, deren Durchmesser genau mit der Dicke des Drahtes übereinstimmt; und über dem Stück e ist der Draht f einfach geknüpft, so dass sich dieser mit der Halbkugel beliebig drehen kann.

Diese höchst einfache Aufhängevorrichtung, welche, wie man sieht, die Schwingungen des Pendels nach allen Seiten gleich gut zulässt, hat sich während meinen Versuchen so vortrefflich bewährt, dass sie, wie ich glaube, allen übrigen Vorrichtungen, die meines Wissens bis jetzt angewendet oder vorgeschlagen worden sind, die viel zusammengesetztere, sogenannte centrifugale oder carda-

---

her ebenfalls nicht genau in die Mitte des darunter befindlichen Kreuzganges XY und ZZ, Fig. 11, Taf. 4.

*) Dieselbe wurde mir von Hrn. *Kirchhofer*, Schlosser und Mechaniker dahier, zu meiner vollen Zufriedenheit angefertigt.

nische Aufhängung nicht ausgenommen, vorzuziehen ist, und daher Allen, die den Versuch etwa noch anzustellen gedenken, oder eine solche Aufhängung zu einem andern ähnlichen Zwecke nöthig haben, aufs Beste empfohlen werden kann.*)

Der zum Pendelfaden benützte *Draht* ist harter *Messingdraht* von etwa $\frac{1}{3}''$ oder 1 ^{mm} Durchmesser, der sich ebenfalls sowohl in Bezug auf Festigkeit als auf Ausdehnung vollkommen zweckmässig erwiesen. Denn selbst bei einem Pendelgewicht von 60 ℔ oder 30 $^{Kil.}$ und einer Pendellänge von 100' oder 30 ^{m} hat er sich, nachdem er einmal hinreichend gestreckt war, nur unmerklich verlängert, was mir natürlich, um die Länge desselben nicht immer wieder berichtigen zu müssen, sehr erwünscht war.

Das *Pendelgewicht*, bestehend in einer genau centrirten und die bekannte Quecksilberprobe gut bestandenen *Messingkugel*,**) wurde mir mit noch verschiedenen andern auserlesenen Kanonenkugeln zum Behufe des Versuchs mit anerkennungswerther Bereitwilligkeit von dem Zeughausverwalter, Hrn. Hauptmann *Kirchhofer*, zur Disposition gestellt — erstere allerdings nur unter der Bedingung, dass keinerlei Veränderungen mit derselben vorgenommen

*) Zu den Vorversuchen benützte ich eine mir von Hrn. Uhrenmacher *Täschler* dahier zur Disposition gestellte Aufhängung mit *Schneide*, wie sie häufig bei Regulator-Uhren in Anwendung ist, die sich für den vorliegenden Fall, wo der Aufhängepunkt der Winkelbewegung der Schwingungsebene des Pendels soll möglichst frei folgen können, jedoch nicht zweckmässig erwies.

**) Diese Kugel wird von der hiesigen Militärbehörde zur Pulverprobe benützt, indem sie nämlich von 5 Unzen guten Pulvers 600 alte franz. Fuss weit geworfen werden soll.

werden. Glücklicherweise liess aber gerade diese Kugel in Bezug auf die genaue runde Gestalt und die gleichmässige Dichtigkeit der Masse Nichts zu wünschen übrig. Ich hatte darum auch gar nicht nöthig, Aenderungen daran vorzunehmen, und war gegentheils froh, der Schwierigkeit, welche die Bedingung des genauen Zusammenfallens des Schwerpunktes mit dem geometrischen Mittelpunkte der Neuanfertigung einer Kugel immerhin entgegensetzt, überhoben zu sein.

Die *Art* und *Weise*, wie ich diese Kugel, die auf einer Seite mit einer Schraubenöffnung versehen ist, mit dem Pendeldraht in Verbindung setzte, mag aus Fig. 14 und 15, Taf. 4, entnommen werden. In die genannte Oeffnung liess ich nämlich einen passenden Holzzapfen i und in diesen einen eisernen Schraubenbolzen h mit Ring eintreiben und mittels eines Sförmigen Hakens g, der einerseits eben in diesen Ring und anderseits in die durch Umbiegung erhaltene Schlinge des Drahtes f eingreift, wurde dann die Verbindung der Kugel mit letzterm hergestellt.

Zur deutlichen Wahrnehmung des Abweichungswinkels liess ich auf der entgegengesetzten Seite der Kugel mittelst eines leichten Gerippes aus 4 dünnen Messingblättchen l, die oben durch einen Draht und kleine Holzkeile m ihre Befestigung erhalten, einen feinen, etwa $3\frac{1}{2}''$ langen Stift n n anbringen.

Um mich zu überzeugen, ob dieser Stift, oder doch wenigstens die unterste Spitze desselben *genau* in die Schwerlinie oder die Vertikale des Aufhängepunktes falle, was zum genauen Experimentiren durchaus der Fall sein muss, wendete ich, von einem Gehülfen unterstützt, zur Controle folgende Berichtigungsmethode an.

Ich nahm ein kleines Pendel, Fig. 16, Taf. 4, hing es mittelst eines Drahtes c an einen festen Stab a, der durch die beiden Hölzer b, b unterstützt wird, und stellte damit, nachdem es zur Ruhe gekommen, den auf ein verschiebbares Brettchen f g h i gezeichneten Kreuzungspunkt o ein. Darauf liess ich das Senkblei wegnehmen und dafür, während ich die Aufhängung c und das Brettchen f g h i festhielt, die Kugel k mit dem Stifte einhängen, wie diess Fig. 17 zeigt. Traf nun, nachdem diese zur Ruhe gekommen, die Coïncidenz des untersten Punktes am Stift und des Kreuzungspunktes auf dem Brettchen ein, so hatte die Spitze ihre Richtigkeit. Im Gegentheil musste sie aber so lange adjustirt werden, bis die genannten beiden Punkte coïncidirten. —

Von besonderm Einfluss auf das Gelingen des Versuchs ist endlich auch die *genaue Eintheilung* und *Einrichtung der Theilkreisplatte*, über welche das Pendel in's Schwingen versetzt wird.

Da die scheinbare Abweichung der Schwingungsebene hier in St. Gallen nach einem Zeitraum von 5 Stunden erst 55°,231635 beträgt, so liess ich dieselbe nicht im vollen Kreis, sondern nur nach Sektoren von etwa 60° bei einem Radius von 5 Fuss und in der Form, wie die Fig. 18 und 19, Taf. 4, zeigen, anfertigen.

Damit die Spitze des Stiftes, der beim Schwingen der Kugel den untersten Schwingungsbogen beschreibt, überall gleich weit von der Platte a abstehe,*) liess ich diese zudem an der obern Fläche entsprechend aushöhlen. Die

*) Bei der geringen Ausdehnbarkeit des Drahtes konnte ich diesen Abstand so weit herunterbringen, dass er, nach gehöriger Streckung und Adjustirung, kaum eine halbe Linie betrug.

Höhe B E = h dieser Aushöhlung, siehe Fig. 20, Taf. 4, oder also der Pfeil des Schwingungsbogens C B D, berechnet sich bei den angegebenen Dimensionen zu: $h = \overline{BE} = \frac{\overline{BC}^2}{2\,\overline{BA}} = \frac{5^2}{2\,.\,100} = \frac{25}{2\,.\,100} = 0{,}125$ Fuss oder $1^1/_4$ Zoll.

Um diese Platte a vor dem Verziehen zu bewahren, so wie auch, um sie etwas über den Boden zu erheben, ist sie mit starken, etwa 4 Zoll hohen Leisten b verbunden und um sie beliebig leicht beweglich zu machen, ist die Mittelleiste überdiess mit einem eisernen, etwa 3''' dicken und 1'' weit vorstehenden Zapfen c versehen, der sein Lager in einem vom Steinmetzen genau ausgearbeiteten Loch der steinernen Bodenplatte d erhält, dessen Lage ich zum Voraus durch sorgfältige Absenkelung vom Aufhängepunkt aus bestimmte.

Die auf der Oberfläche angedeuteten radialen Linien geben die einzelnen Grade an, von denen die Theilungslinien von 5 zu 5 Grad mit stärkern rothen Strichen gezeichnet sind. Die concentrischen Kreise haben weiter keine andere Bedeutung, als dass sie anzeigen sollen, wie die Schwingungen nach und nach (beiläufig in den aufeinanderfolgenden Stunden) abnehmen.

Die Schwingungszeit berechnet sich bei dem kleinen Ausschlagwinkel hinreichend genau nach der bekannten Formel: $t = \pi\sqrt{\frac{l}{g}}$, worin $\pi = 3{,}1415926$ die Ludolphine, $l = 100$ die Pendellänge und $g = 32{,}696$ die Beschleunigung der Schwere, zu: $t = 5'',494176$ oder circa $5^1/_2$ Sekunden. Die Zeit einer Hin- und Herschwingung oder einer Doppelschwingung beträgt demnach: $2t = 10'',988352$ oder circa 11 Sekunden. Auf eine Zeitstunde kommen also $n = \frac{3600}{5{,}494176} = 655{,}2393$ oder circa 655 einfache oder

327,6196 oder circa 327½ Doppelschwingungen und auf eine Minute Zeit $\frac{655,2393}{60} = 10,92065$ oder circa 11 einfache und 5,46032 oder circa 5½ Doppelschwingungen.

Da nun, wie oben angegeben worden ist, die Zeit, welche hier einer Abweichung von 1° entspricht, $0^h\ 5'\ 25'',9 = 325,9002$ Sternzeit beträgt, so kommen auf den Abweichungswinkel von $1^\circ : \frac{325,9002}{5,46032} = 59,699$ oder circa 60 einfache oder 29,8495 oder circa 30 Doppelschwingungen; und damit ist man nun auch im Stande, bei dem wirklichen Versuch die Abweichung zu bestimmen, ohne die Uhr beobachten zu müssen. Denn, anstatt an der Uhr die Zeit abzulesen, hat man jetzt nur die Schwingungen des Pendels zu zählen und man wird finden, dass nach je 60 einfachen oder 30 Doppelschwingungen die Abweichung der Schwingungsebene hier wieder um 1° zugenommen haben wird.*)

Den Ausschlagwinkel $BAC = \gamma$, Fig. 20, findet man mittelst der Gleichung: $\cos\gamma = \frac{\overline{EA}}{\overline{AC}} = \frac{\overline{BA} - \overline{BE}}{\overline{AC}} = \frac{100 - 0,125}{100} = \frac{99,875}{100} = 0,99875$ zu: $\gamma = 2^\circ\ 51'\ 54''$. Das Pendel kann daher jedenfalls noch als *isochron* angesehen werden. Wegen dem Widerstand der Luft und der Reibung am Aufhängepunkt werden die Schwingungen nach und nach zwar immer kleiner, aber die Schwingungszeit bleibt sich gleich.

Im Anfang der Bewegung ist die *Geschwindigkeit*, mit welcher die Kugel im tiefsten Punkt ankömmt, v =

---

*) Bei den Versuchen, die ich mit dem Pendel wirklich anstellte, habe ich diese, wie die übrigen Rechnungsresultate vollkommen bestätigt gefunden.

$\sqrt{2gh} = \sqrt{2 \,.\, 32{,}696 \,.\, 0{,}125} = 2',85902$. Die *lebendige Kraft* oder *Wirkungsfähigkeit,* die in ihr während des Herabschwingens entwickelt wird, ist demnach, da die Masse $M = \frac{G}{g}$ und das Pendelgewicht $G = 60$ ℔, $W = \frac{1}{2} M v^2 = \frac{1}{2} \frac{G}{g} v^2 = Gh = 60 \,.\, 0{,}125 = 7{,}5$ Fuss-Pfund.

Nachdem die Kugel ihre Schwingungen eine Stunde lang fortgesetzt, beobachtete ich die Weite der Schwingungen nur noch zu circa 7 Fuss, welcher die Pfeilhöhe $BE = h = \frac{\overline{3{,}5}^2}{100} = 0',1225$, also die Geschwindigkeit: $v = \sqrt{2gh} = \sqrt{2 \,.\, 32{,}696 \,.\, 0{,}1225} = 2',830286$ und die Wirkungsfähigkeit einer Herabschwingung: $W = Gh = 60 \,.\, 0{,}1225 = 7{,}35$ Fuss-Pfund entspricht.

Der *Unterschied* von $7{,}5 - 7{,}35 = 0{,}15$ Fuss-Pfund der Wirkungsfähigkeit wurde also während einer Stunde oder 655 einfachen Schwingungen durch die *Reibung am Aufhängepunkt* und den *Widerstand der Luft* aufgezehrt. Auf eine Schwingung kömmt demnach durchschnittlich: $\frac{0{,}15}{655} = 0{,}000229008$, oder circa $\frac{1}{4367}$ Fuss-Pfund *Verlust an Wirkung,* welche, die mittlere Geschwindigkeit zu: $v = 2{,}844653$ angenommen, einem auf die Kugel *reducirten Widerstand* von: $R = \frac{0{,}000229008}{2{,}844653} = 0{,}000080505$ oder circa $\frac{1}{12500}$ Pfund oder etwa $\frac{1}{100}$ Quentchen entspricht.

Die Abweichung s der Schwingungsebene nach einer Hin- und Herschwingung, in Bogentheilen des äussersten, 10 Fuss weiten Theilkreises der Skalenplatte ausgedrückt, findet man, da die Sehne des Bogens von 1° die Länge von $\frac{2 r \pi}{360} = \frac{2 \,.\, 5 \,.\, \pi}{360} = 0',087266$ oder $8''',7266$ beträgt und die Anzahl der zugehörigen Doppelschwingungen nach Obigem $= 29{,}84462$ ist, zu: $s = \frac{8{,}7266}{29{,}84462} = 0''',29240$ oder nicht ganz $\frac{1}{3}$ Linie (genauer $\frac{2}{7}$ Linie) oder 1 mm, also noch eine deutlich wahrnehmbare Grösse — und in der That kann man an meinem Apparate bei scharfer Beobachtung die Abweichung der Schwingungsebene schon nach der ersten Doppelschwingung wahrnehmen.

Was endlich das *Verfahren* betrifft, welches ich bei der wirklichen Ausführung des Versuches einhalte, so kann ich füglich auf das nachfolgende Experiment verweisen und erlaube mir daher nur noch, eine Bemerkung über die Manipulationen beizufügen, die ich anwende, um die Kugel beim Beginne der Schwingungen von jeder *seitlichen* Bewegung möglichst zu bewahren.

Nachdem nämlich die Skalenplatte mit dem Zapfen in das genau abgesenkelte und ausgemeiselte Zapfenloch eingesetzt, die Kugel an den Draht gehängt ist und ich mich nach erfolgter Ruhelage der letztern überzeugt habe, dass die Spitze des Stiftes noch exakt über dem Centrum C der Platte (Fig. 11) einspielt, bringe ich die Kugel sachte in eine Seitenstellung und zwar nach derjenigen Richtung,*) nach welcher dieselbe hierauf zu schwingen

*) Ich wählte hiezu aus lokalen Gründen die Längenrichtung des gegen Osten gekehrten Mittelgangs XY (Fig. 11), experimentirte übrigens auch nach der Querrichtung des Kreuzganges ZZ und fand das Resultat der scheinbaren Abweichung für beide Richtungen dasselbe, wenigstens konnte ich durchaus keinen Unterschied wahrnehmen.

Die Beobachtungen einiger Experimentatoren, welche, wie Dufour, Wartmann und Marignac (s. Compt. rend. XXXIII. 13), sowie Morren (s. Compt. rend. XXXIII. 62), in der Richtung des Meridians eine stärkere Azimuthalbewegung der beginnen soll, und so weit seitlich als die Schwingungen anfangs werden sollen, und lasse sie in dieser erhobenen Lage mittelst eines umschlungenen, gut gedrehten, starken Seidenfadens*) TU (Fig. 10 und 11), welchen ich an einem entgegengesetzten, in der Ebene des Pendelfadens ff und des als Ausgangslinie angenommenen Durchmessers AB des Theilkreises (Fig. 11) liegenden festen Punkt (im vorliegenden Fall an einem Punkt U des Mittelgitters P Q, welches das Langhaus V und Chor W von einander trennt) von einem Gehülfen befestigen lasse, wieder zur Ruhe kommen. Ist diese vollkommen eingetreten und die Skalenplatte mit dem mittlern Durchmesser A B in die Ebene des Pendeldrahtes ff und Seidenfadens TU richtig eingestellt, was von Aug mittelst Deckung hinreichend genau zu erlangen ist, so brenne ich, wie es auch Foucault gethan, den Seidenfaden bei α (in der Nähe der Schlinge T) behutsam durch, so dass die Kugel, einzig von der Erdschwere in Anspruch genommen, genau längs dem mit Null bezeichneten Durchmesser AB zu schwingen beginnt.

Gelingt es, alle Seitenbewegungen, die etwa beim Abbrennen des Seidenfadens und durch ungleiche Luftströmungen in der Umgebung des Pendels entstehen

---

Schwingungsebene als in der darauf senkrechten Richtung gefunden haben wollen, oder die, wie Zantedeschi (s. Inst. 1852. 169), das Gegentheil berichten, oder die, wie Oliveira (s. Compt. rend. XXXIII. 582) von mittlern Schwingungsrichtungen, in welchen das Pendel beharre, sprechen, müssen daher wohl in unbeachtet gebliebenen zufälligen Störungen ihre Erklärung finden.

*) Dieser Faden muss wenigstens so stark sein, dass er eine Kraft von $K = G \sin \gamma = 60 . \sin 2^0 51' 54'' = 2{,}9990$ ℔ also circa 3 ℔ auszuhalten im Stande ist. Ich wählte zur Sicherheit einen Faden, der gut 5 ℔ aushält.

könnten, zu beseitigen, so werden auch die nachfolgenden Schwingungen des Pendels sich genau *diametral* auf dem unterlegten Theilkreis projiciren und die Spitze der Kugel wird somit fortwährend auf ihren Excursionen durch das Centrum C des Theilkreises gehen, und die Grösse der Winkel ACA', ACA'' etc. etc. (Fig. 11), welche die horizontale Projektion der Schwingungsebene in den aufeinanderfolgenden Zeitpunkten mit dem Durchmesser AB, der anfangs mit ihr zusammenfiel, nach und nach bildet, wird genau mit dem oben berechneten Werthe des Abweichungswinkels übereinstimmen. Gelingt diess aber nicht, so wird die Schwingungsrichtung, anstatt diametral zu bleiben, nach und nach *elliptisch* werden und zwar wird die Ellipticität um so grösser ausfallen, je grösser die erwähnten störenden Einflüsse und je weiter die anfänglichen Schwingungen sind. Die Beobachtung wird dann um so unzuverlässiger, als die scheinbare Abweichung überhaupt nicht mehr scharf wahrgenommen werden kann und die grosse Axe der Ellipse zudem im Sinne der schwingenden Bewegung mit herumgeführt wird.

Mehrere englische Mathematiker, zuerst Galbraith und Haugthon, dann Airy und Combe und Thäcker*) haben *diesen* störenden Einfluss auszumitteln gesucht und gefunden, dass, wenn l die Länge des Pendels, a die grosse und b die kleine Achse der elliptischen Bahn, die Anzahl n von Graden, welche die Absidenlinie im Sinne der schwingenden Bewegung in einer Stunde zurücklegt, ausgedrückt wird durch die Formel:

$$n = \frac{135 \cdot 1800}{\pi} \cdot \frac{a\,b}{l^2} \sqrt{\frac{g}{l}}.$$

*) S. Philos. Mag. [4] II.

Hiernach erhalte ich für das Pendel, mit dem ich experimentire, bei einer Ellipse, deren grosse Achse a = 10′ und deren kleine Achse b = 1‴, n = 0°,25290 oder etwas über ¼ Grad, und die entsprechende Sehne s des äussersten Theilkreises, da dieselbe nach Früherm für 1° des Abweichungswinkels 8‴,7266 beträgt, s = 0,2529 . 8,7266 = 2‴,206957 oder circa 2⅕ Linien. Bei derselben grossen Achse, aber bei einer 10mal grössern kleinen Achse, d. h. für b = 1″, werden diese Werthe ebenfalls 10mal grösser und zwar: n = 2,529 oder circa 2½ Grad und s = 2″,206957 oder circa 2⅕ Zoll.

Uebrigens haben Marignac und Lyman darauf aufmerksam gemacht, dass die Schwingungen, auch abgesehen von allen zufälligen Störungen, die freilich *nie* ganz beseitigt werden können, nach und nach in elliptische übergehen müssen. Der Grund davon liegt in der Umdrehung der Erde selbst. Denn hebt man das Pendel in der Richtung des Meridians, so nimmt es, in dieser Lage festgehalten, bei der Rotation der Erde eine Geschwindigkeit an, die mit derjenigen des unter der Ruhelage befindlichen Mittelpunktes des Theilkreises parallel, aber grösser oder kleiner als diese ist, je nachdem das Pendel südlich oder nördlich gehoben wurde. Hebt man das Pendel dagegen in einer darauf senkrechten Richtung, so hat es wohl anfangs dieselbe Geschwindigkeit mit dem Mittelpunkt des Theilkreises, allein die Richtung derselben weicht, wie wir gesehen haben, bei der Rotation in Folge der Schwere aus derjenigen des Vertikals ab.

Der daherige Einfluss ist jedoch so gering, dass er für sich allein kaum bemerkbar ist und daher füglich vernachlässigt werden kann.

Lyman theilt zur Berechnung der kleinen Achse b einer auf diese Weise entstehenden Ellipse eine von Stanley entwickelte Formel mit,*) wornach:

$$b = \frac{a\,t}{216000} \cdot \sin \beta,$$

wenn a die halbe Sehne des Schwingungsbogens, t die Zeit einer Halbschwingung und β die geographische Breite des Orts ausdrückt. Für die oben angegebenen Daten des in der hiesigen Domkirche angebrachten Pendels finde ich hiernach:

$$b = \frac{5 \,.\, 5{,}494176 \,.\, 0{,}7364218}{216000} = 0',0000936646$$

oder nicht ganz $^1/_{100}$ *Linie.* **)

Damit glaube ich den *ersten* Theil meiner Aufgabe als erledigt ansehen zu dürfen und indem ich, zum *praktischen* Theile desselben mich wendend, Ihre Nachsicht

---

*) Sillim. Am. J. [2] XII. 406.

**) Bei dieser Gelegenheit mag zugleich auf einen Fehler aufmerksam gemacht werden, der in verschiedenen Schriften, welche diesen Gegenstand behandeln, zu treffen ist.

Es wird nämlich daselbst angegeben, dass für das Pendel, das zur Zeit im Pantheon in Paris mit einer Pendellänge von 220' und einer Schwingungsweite von 20' angebracht war, die kleine Achse b nicht ganz $^1/_{29}$ *Zoll* betragen habe, während sie, genau berechnet, nur circa $^1/_{25}$ *Linie* beträgt.

Ich finde nämlich, da für Paris $\beta = 48^0\, 50'\, 13''$, also $\sin \beta = 0{,}75284$ und $t = \pi \sqrt{\frac{220}{32{,}696}} = 8'',1498$, $b = \frac{10 \,.\, 12 \,.\, 12 \,.\, 8{,}1498 \,.\, 0{,}75284}{216000}$ $= 0''',040903$, also etwas über $^1/_{25}$ Linie. Nimmt man aber 10theiliges Mass, so erhält man bloss: $b = 0''',028405$ oder circa $^1/_{35}$ Linie; und, angenommen, a bedeute nicht die halbe, sondern die ganze Sehne des Schwingungsbogens, so wird b doch erst circa $^1/_{12}$ Linie.

nochmals für mich in Anspruch nehme, lade ich Sie, Tit.! nun ein, sich mit mir in die Kathedralkirche zu begeben, wo ich den Versuch wirklich ausführen werde und Sie sich von der Wahrheit des Vorgetragenen durch eigene Anschauung überzeugen mögen. —

III.

Wirkliche Ausführung des Foucault'schen Pendelversuchs in der Domkirche zu St. Gallen.

Wenn ich's recht betrachten will,
Und es ernst gewahre,
Steht vielleicht das Alles still,
Und ich selber fahre.

Göthe.

Da im vorigen Abschnitt Alles, was sich auf die wirkliche Ausführung des in Rede stehenden Versuchs bezieht, bereits angegeben worden ist, so mag hier nur noch beigefügt werden, dass das Resultat des in der Domkirche dahier in Anwesenheit der verehrlichen Mitglieder der schweizerischen naturforschenden Gesellschaft und anderer ehrenwerther Gäste*) unmittelbar nach dem vorausgegangenen Vortrag wirklich ausgeführten Pendelversuches ganz befriedigend ausfiel. Die zum Voraus berechnete, oben angegebene Zeit, sowie die Anzahl der Schwingungen, welche der scheinbaren Abweichung von je einem Grad

*) Im Ganzen mögen dem Versuch etwa 150 Personen beigewohnt haben.

des Theilkreises entsprechen, traf mit der beobachteten ganz genau überein, wenigstens konnte man keinen bemerkbaren Unterschied wahrnehmen, sowie auch die Schwingungen des Pendels im Anfang schön diametral erfolgten, und erst nach Verfluss von etwa einer halben Stunde, als Einzelne der Anwesenden sich zurückzuziehen anfingen, wodurch der Gleichgewichtszustand der Luft natürlich gestört wurde, begannen dieselben schwach elliptisch zu werden. —

Bei einigen andern Versuchen, welche ich später für die Schüler der Kantonsschule und des städtischen Gymnasiums, der Industrie- und Realschule vornahm, konnte man sogar nach einer Stunde noch kaum elliptische Bewegungen bemerken. Freilich habe ich dabei auch alle nur mögliche Vorsicht beim Abbrennen des Seidenfadens sowohl als in Bezug auf die Luftströmungen während des Versuchs angewendet. —

Diese Versuche dürfen daher wohl den gelungensten Versuchen, welche bis jetzt über diesen höchst interessanten Gegenstand angestellt worden sind,*) beigezählt werden und können mit als Beleg für die Richtigkeit des zuerst von Foucault auf diesem Wege gelieferten Beweises von der Achsendrehung der Erde gelten. Denn ich glaube mich nicht zu täuschen, wenn ich sage, dass sich wohl Alle, welche die Versuche in der St. Gallus-Kirche mitansahen, nicht nur von der dadurch constatirten Thatsache der täglichen Bewegung der Erde um ihre Achse aus eigener Anschauung überzeugt haben werden, sondern dass auch schwerlich Je-

---

*) Siehe die zweite Anmerkung auf S. 131.

mand aus ihnen dieselbe verlassen haben wird, ohne von der Grösse und Allmacht des Schöpfers und Erhalters dieser bewunderungswürdigen Naturerscheinung wie der ganzen Weltordnung ergriffen worden zu sein.

X. BEILAGE.

Dei Fossili del terreno triassico

nei dintorni del Lago di Lugano.

L'Abbate Giuseppe Stabile,
membro della Soc. Elvet. di Sc. natur.

È sul *terreno triassico* dei dintorni del lago di Lugano che sono lieto di avere fissate la mia attenzione! Quando recentemente il sig. Prof. C. Brunner publicava il suo interessante *Aperçu géologique des environs du lac de Lugano etc.*, faceva menzione di una sola specie fin allora trovata *(Gervillia salvata Brunner)*; *) estimai adunque prezzo dell' opera il fissare le mie osservazioni e dirigere le mie ricerche a questa, che fra le altre geologiche formazioni, è una delle più interessanti, e in pari tempo (almeno nel nostro paese) la fin qui meno esplorata anche dal lato paleontologico. A rendere più fruttuose le mie fatiche scientifiche, mi giovarono d'assai, oltre a mio fratello Filippo il

---

*) Trovata dal Prof. Lavizzari di Mendrisio.

quale sebbene versato specialmente nelle preparazioni zoologiche (tassidermiche ed anatomiche), coltiva eziandio con zelo la Entomologìa e la Geologìa; anche i due giovani fratelli Viglezzi i quali danno fin d'ora speranza di vederli illustrare più tardi le scienze naturali nella patria nostra.

Avrei bene desiderato non passare senza presentare una carta e spaccati geologici per quella parte almeno che spetta più da vicino il deposito *triassico* nel nostro paese; ma dopo i già pubblicati dal sig. Brunner, credo essere inutile il qui riprodurne; il perchè parlando ora della località dove ho fissate le prime mie osservazioni, dirò soltanto:

Al *micaschisto* il quale forma una corona di colline all'intorno del lago di Lugano, nella direzione di S. a N. sulla strada che da Lugano conduce a Melide, si apoggia *l'arenaria rossa, o grès rosso superiore* (Bunter Sandstein), il quale, come osserva saggiamente anche Brunner, partecipa al *bouleversement della dolomite* che vi posa sopra immediatamente. La struttura di questo *grès*, è a grana fina qualche volta grossolana, e contiene ciottoletti di vario colore, bianco, rosso-cupo, brunastro, (felspato, quarzo etc.). Il colore più costante di questo *grès* è il rossastro, il rosso-bruno, qualche volta il verdastro. Pare indubitato che *esso rappresenti una parte del riverano, o littorale dell' antico mare che occupava già un tempo queste contrade, all' epoca* cioè, *del deposito triassico*; se poi questo *grès* sia o nò, fossilifero, dopo mature investigazioni la sentenza; frattanto deve dirsi che la sua durezza è un ostacolo difficile a superarsi e che sarà per istancare probabilmente la pazienza a chi vorrà affaticarvisi in ricerche paleontologiche. *L'estensione di questo grès è piccola nel nostro paese;* al st. Salvatore, per esempio, la sua possanza totale non è maggiore di metri 78; gli strati poi variano in grossezza da metri 1,80 a 1,04.

Immediatamente al *grès rosso,* poco prima della capella di st. Martino, appoggiasi la *dolomite,* la quale è disposta in strai inclinati di 70 gradi circa verso il sud, decrescendo sino ai 60, e prolongandosi nel lago, appena a 20 gradi.*) La grossezza o possanza dei singoli strati varia da metri 0,6940; a 0,5950; a 0,4460; a 2075; la possanza totale della *dolomite stratificata* è di metri 112 circa. Cessa poi la stratificazione per dar luogo ad un'alta montagna (2860 piedi sopra il livello del mare; 2000 circa sul lago) di *dolomite saccaroide e cristallina* più o meno compatta. L'identità della *dolomite cristallina e saccaroide* colla *stratificata,* è provata dall' analisi e da altri argomenti che non è nel mio assunto di qui addurre.

Nella *dolomite stratificata* non rinvenni fin ora fossili, nè perciò puossi dedurre esserne priva; ripetute indagini darebbero forse opposti risultati. È alla *dolomia cristallina e saccaroide* (parlo soltanto della località dove ho specialmente fissate le mie osservazioni) del st. Salvatore che appartengono i fossili qui sotto enumerati. Alcuni altri generi e specie o dubbj o indeterminabili qui non sono compresi; imperciocchè, come non ho voluto indugiare nell' interesse della scienza, a far note le poche mie scoperte; così non sarei forse scusato se volessi aggiungere generi o specie di dubbia determinazione; le quali cose, al dire dell' illustre d'Orbigny, non che arrecare maggior luce a progredire nel le vie del sapere, nuocono piuttosto, apprestando confusione ed incertezza. Tali sareb-

*) De Buch. *Sur quelques phénomènes geognostiques etc. du lac de Lugano.* Ann. Sc. natur. 1827. t. X. pag. 201.

bero alcune *Chemnitzie* (liscie); una specie del genere *Astarte* e del genere *Nucula*, un *Ammonites*, un *Turbo* o *Trochus*, e delle *Gervillie* appartenenti per le forme complessive alla *Gerv. socialis*, e le quali sembrano essere una sola specie, ma di grandezza assai maggiore che non la *Gerv. socialis*, e con ali molto più sviluppate; finalmente una bella specie di corralli la di mi grande scarsità nel *Muschelkalk tedesco* è così caratteristica. Pare che nella *dolomia cristallina compatta o di aspetto sublamellare* si rinvengano di preferenza le *Chemnitzie* liscie, le *Terebratule*, la *Natica incerta*; nella *saccaroide e più friabile* gli *Ammonites*, le *Lime*, i *Pecten*; in generale la *dolomite più compatta* sembra la *più fossilifera* (benchè non vi sieno fossili numerosi) presentando qualche volta alcuni pezzi l'aspetto di una lumachella grigiastra; ma è assai difficile l'estrarne fossili integri o ravvisarne i caratteri distintivi delle specie e qualche volta anche dei generi. Non sono questi che dati di pochissima importanza, ma in pari tempo non sono mai soverchie o inutili nella scienza qualunquesiensi osservazioni!

Gregarie pare si trovino le *Chemnitzie*, contandosi frammenti di due, o tre individui riuniti (non sono però comuni) *gregarj* anche i *Pecten inæquistriatus* e la *Terebratula vulgaris*. Quanto al genere *Avicula* bastantemente distinto dal genere *Gervillia*, finora non mi fu dato rinvenirne; parmi però di aver ravvisato il genere *Scyphia*, e assai probabilmente, la *Scyphia capitata* Münst. Rarissimi finora ponno dirsi gli *Ammonites* e le *Chemnitzie* costulose; più frequenti, non però vulgate, le *Ch.* liscie. Nella dolomite del monte St. Giorgio, nella stessa direzione del St. Salvatore, trovava recentemente il prof. Lavizzari la *Chemnitzia scalata*.

Dai generi ed anche dalle specie, sebbene in piccolo numero finora trovati, ci sono somministrati dei caratteri paleontologici sufficienti per collocare nel *terreno triassico* il St. Salvatore, e perciò anche gli altri luoghi intorno al lago analoghi; del *triassico* poi, la regione del *Grès rosso superiore* che comprende il gruppo del *Grès bigaré*, del *Muschelkalk* e delle *Marnes irisées*, o *Keuper*; non trovandosi da noi, per quanto pare, la regione inferiore, o del *Grès rosso* (gruppo del *Rothe todtliegende*, e dello *Zechstein*, ossia *calcarea alpina*). E in quanto ai caratteri negativi desunti dai generi non abbiamo finora alcuno dei generi appartenenti allo *Zechstein* o *deposito Permio*; quali sarebbero, fra i molluschi gasteropodi, il genere *Murchisonia*; fra i brachiopodi, i generi *Orthis, Atrypa* e *Chonetes*; fra i bryozoarj, i generi *Penniretepora, Ichthyorachis* e *Keratophytes* etc.

I caratteri positivi ci sono desunti dai generi che non vivevano ancora all' epoca del deposito *Permio*, e per la prima volta appariscono nel *Muschelkalk*; quali sarebbero, nei molluschi gasteropodi, il genere *Chemnitzia*; nei lamellibranchi, i generi *Myophoria* e *Lima*; negli echinodermi (crinoidi), il genere *Encrinus*.

Quanto alle specie, abbiamo come caratteri positivi a *Myophoria Goldfussii*, le *Lime*, le *Gervillie*, l'*Encrinites liliiformis*.

E ciò per quanto alla *nostra formazione come superiore al deposito permio o dello Zechstein*.

Per ciò poi che riguarderebbe la sua posizione, se nel *Muschelkalk* propriamente, o fra le *Marnes irisées* (o *Keuper*) pare che il deposito in discorso debba abbracciare e l'uno e le altre, e probabilmente comprendere *la parte del Muschelkalk più superiore che inferiore*; i generi *Cera-*

tites, *Myophoria*, *Gervillia*, p. es. appartengono ai due depositi *Muschelkalk* e *Keuper;* e può essere altresì, come osserva anche il prof. Merian,*) che *il deposito delle Marnes irisées* (o del *Keuper*) *nel nostro paese, sia allo stato dolomitico,* il che impedisce di così facilmente trovare il passaggio od il limite dal *Muschelkalk* al *Keuper*. Nondimeno quale caratteristico del *Muschelkalk* abbiamo l'*Encrinites liliiformis*. Meraviglia poi non devono arrecare le *nuove forme* nei fossili qui trovati, le quali *diversificano il Muschelkalk* nostro *italiano da quello* di *Allemagna,* perchè con ragione si può indurne che in quelle epoche remote, come anche a dì nostri, *contemporaneamente esistesse una fauna diversa nelle diversa parti del globo*. Considerando poi come le forme del Muschelkalk italiano nel paese in discorso, non sieno sole, da poter costituire una fauna propria, ma associate alle forme del Muschelkalk tedesco, dovremo dire *essere stata nelle diverse parti della superficie del globo la fauna antica meno varia della fauna attuale.*

Pregato il chiarissimo sig. prof. Merian perchè si compiacesse portare il suo saggio giudizio sui fossili in discorso, e determinare specialmente le specie dubbie o sconosciute; egli soddisfaceva con zelo e sollecitudine á miei desiderj; e però mi è dolce di qui attestargli publicamente la mia gratitudine.

---

*) Vedi anche le memoria del prof. Merian, in: Verhandlungen der naturforsch. Gesellschaft in Basel. Erstes Heft, 1854, pag. 84.

Fossili triassici

del St. Salvatore e del St. Giorgio, presso Lugano.

Cefalopodi.

Ammonites (*Ceratites?*) Luganensis *Merian.* n. sp. (*Am. binodoso* Hauer affinis, sed species nostra carinâ dorsali aliisque characteribus et nodorum distributione satis distincta.)	Mte. St. Salvatore.
Ammonites (*Arietes?*) Pemphix, *Merian.* n. sp. (*Amm. denario* Sow. affinis.)	Idem.

Gasteropodi.

Chemnitzia Viglezzii *Stabile.* n. sp. (Quamdam formam cum *Turbonilla nodulifera* Dunk. præ se ferens.)	Mte. St. Salvatore.
Chemnitzia scalata (*Strombus scalatus*) *Schlot.*	Mte. St. Giorgio.
Natica incerta *Dunk.* (*Turbo helicites* Goldfuss.)	Mte. St. Salvatore.

Lamellibranchi.

Venus ventricosa *Dunk.?*	Mte. St. Salvatore.
Myophoria elegans *Dunk.* (*Lyriodon curvirostre.* Goldf., non Schl.)	Idem.
Myophoria Goldfussii *Alberti.*	Idem.
Lima Lavizzarii *Stabile.* (*L. longissimæ* Voltz affinis.)	Idem.

Lima Stabilei *Merian*. n. sp.	Mte. St. Salvatore.
Lima striata? *Schloter*.	Idem.
Posidonomya Meriani *Stabile*. n. sp.	Idem.
Avicula salvata *Brunner*. n. sp.	Idem.
Pecten vestitus *Goldfuss*. (*P. laevigatus* Schlot.)	Idem.
Pecten inæquistriatus *Münster*. (*Monotis Alberti* Goldf.)	Idem.
Ostrea difformis *Goldf*.	Idem.
Ostrea spondyloides *Schlot*.	Idem.

Brachiopodi.

Spirifer fragilis *Schlot*.	Mte. St. Salvatore.
Terebratula angusta *Schlot*.	Idem.
Terebratula vulgaris *Schlot*.	Idem.

Zoofiti (radiarj).

Encrinus liliiformis *Schlot*. (*Encrinites moniliformis* Miller.)	Idem.

XI. BEILAGE.

Ueber die quaternären Gebilde des Rhonegebiets.

Von

A. Morlot.

Den Genfersee umgürtet eine Zone von Diluvialterrassen in drei Abstufungen von beiläufig 50, 100 und 150 Fuss Höhe über dem gegenwärtigen Seespiegel. Die oberen und unteren Terrassen sind oft wenig bemerklich, oder fehlen ganz; hingegen zeigt die mittlere Terrasse von 100 Fuss Höhe über dem Seespiegel eine bedeutende Entwicklung. In dem Schutt derselben ist es auch, dass man voriges Jahr bei Morsee einen schönen Backenzahn von *Elephas primigenius* gefunden hat.

Der Wildbach von Clarens hat auf seinem linken Ufer, als Ueberbleibsel seines ehemaligen Schuttkegels, eine prachtvolle Diluvialterrasse, auf deren äusserem Rande der Friedhof steht, nach barometrischer Messung, 105 Fuss über dem See. Auf seinem rechten Ufer hat der Wildbach seine alten Anschwemmungen fast ganz weggefressen, es bleibt hier von der mittlern Terrasse nur ein schmaler Streif übrig, den Molassefelsen angelehnt, übrigens aber durchaus in normaler Lage. Hier sieht man, 400 Schritt unterhalb der Brücke von Tavel, am jähen Absturz, frisch entblösst, also deutlich und unzweideutig, unter einer obern horizontalen, 7 bis 9 Fuss mächtigen Schichte von dem gegenwärtigen Bachschutt ganz ähnlichem Diluvialschutt, erratisches Gebilde gelagert, und zwar von über 40 Fuss Mächtigkeit, bis in das jetzige Bachbett hinunter. Es besteht dieses Erraticum aus blaugrauem, dichtem und festem Lehm, ohne Spur von Schichtung, aber vollgespickt mit Blöcken und Geröll, meist aus Kalk, aber auch aus krystallinischen Wallisgesteinen, mehr oder weniger abgerundet, die kalkigen fast alle polirt und gestreift.

Hier haben wir also einen Gletscher *vor* der Diluvialzeit.

Die Herren Necker und Favre haben umgekehrt die Ueberlagerung des Diluviums durch erratisches Gebilde bei Genf längst genau beschrieben. Ein kürzlich auf dem Plateau bei Lancy, linkes Rhoneufer, abgeteufter Brunnenschacht gibt kostbare Aufschlüsse. Man hat hier, genau vom Seespiegel an bis 107 Fuss (32,1 Meter) über demselben die Geschiebeablagerung der mittlern Diluvialterrasse, dann darüber 43 Fuss Erraticum, bestehend aus gelblichem, hellem, ungeschichtetem Lehm, mit meist kleineren Blöcken und Geröllen aus alpinischen Gesteinen, die kalkigen polirt und gestreift.

Hier haben wir also einen Gletscher *nach* der Diluvialzeit, wie es übrigens wohl bekannt war.

Durch diese einfachen, aber fundamentalen Ueberlagerungserscheinungen gelangen wir zum Schluss, dass es zwei Gletscherzeiten, getrennt durch die lange dauernde Diluvialzeit, gegeben hat; und zwar müssen während dieser die Gletscher nicht nur aus dem Tiefland, sondern auch aus allen Hauptalpenthälern verschwunden sein, da sich die Diluvialterrassen bis weit in dieselben hinauf verfolgen lassen.

Weitere Untersuchungen, über die man im Bülletin der waadtländischen naturforschenden Gesellschaft Näheres lesen kann, zeigen, dass die erste Gletscherzeit diejenige ihrer grössten Ausdehnung war; damals geschah es, dass der Rhonegletscher fast die Hälfte der Molasseschweiz einnahm und den Jura beinah überstieg. Diese erste Gletscherzeit kann nicht sehr lange gedauert haben, denn der Rhonegletscher z. B. scheint keine derselben angehörenden Moränen zu besitzen; die vorkommenden, so weit sie wenigstens bekannt sind, gehören der zweiten Gletscherzeit an, während welcher der Rhonegletscher bloss das Becken des Genfersees eingenommen und den Jurten nicht überschritten zu haben scheint. Ganz ähnlich verhält es sich im Aargebiet, denn die grossen Moränen in der Umgegend von Bern gehören der zweiten Gletscherzeit an; sie sind dem Diluvium aufgelagert, aber in demselben eingebettet hat Hr. Ischer erratische Blöcke beobachtet, welche darauf hindeuten, dass der Diluvialzeit eine erste Gletscherzeit vorangegangen ist. Hart am Murtenthor Freiburgs sieht man auch erratische Blöcke im Diluvium, sie bestehen aus weissem Gneissgranit und messen bis über 5 Fuss in der Länge; die grossen haben bloss die Kanten abgerundet, kleinere sind ganz abgerundet. Die zweite Gletscherzeit muss hingegen, nach den ihr angehörenden mächtigen Ablagerungen zu urtheilen, von langer Dauer gewesen sein.

Endlich ist zu bemerken, dass im Allgemeinen als zur ersten Gletscherzeit gehörend der dunkle, blau-graue, feste, ungeschichtete Lehm mit eingekneteten, gestreiften

Blöcken und Geröllen, wahrer *Gletschergrundschutt,* sich erweist, während der bräunlich-gelbe, mehr sandige und lose, in Löss übergehende, theilweis Spuren von Schichtung zeigende Lehm, ebenfalls mit gestreiften Blöcken und Geröllen, mehr *Gletscherrandbildung,* als bezeichnend für die zweite Gletscherzeit gelten kann. Die Bildung von *Alluvions glaciaires* (Charpentier) hat überhaupt zur zweiten Gletscherzeit in grossartigem Maasstab stattgefunden.

Dass übrigens die aufgestellten Unterscheidungen nichts Neues sind, geht unter Anderm aus den Arbeiten von Trimmer in England, Chambers in Schottland, Desor in Schweden, Puggaard in Dänemark hervor und würde sich, wie es scheint, auch aus den Beobachtungen und Folgerungen von H. Venetz ergeben, wenn dieselben zur Zeit das Licht der Presse erblickt hätten.

XII. BEILAGE.

Ueber einige Berührungswirkungen.

Von

C. F. Schönbein.

Der freie Sauerstoff sowohl als der chemisch gebundene kann, nach meiner Annahme wenigstens, in zwei verschiedenen Zuständen existiren: im gewöhnlichen und ozonisirten, als O und O^o und ist Thatsache, dass freies und gebundenes O^o mit Hülfe der Wärme in O sich überführen lässt. Auch unterliegt es keinem Zweifel, dass gewisse gewichtige Materien gerade so wie die Wärme, das Licht und die Elektricität allotrozisirend auf mehrere Substanzen, namentlich auf den Sauerstoff einwirken, wie diess z. B. der Phosphor thut, welcher durch blosse Berührung den gewöhnlichen Sauerstoff eben so gut ozonisirt, als diess der elektrische Funken thut.

Es stand desshalb zu vermuthen, dass es auch Materien gebe, welche umgekehrt wirken, d. h. wie die Wärme z. B. den freien und gebundenen ozonisirten Sauerstoff in gewöhnlichen verwandeln oder desozonisiren.

Für mich ist das Thenard'sche Wasserstoffsuperoxid H O + O° und jeder Chemiker weiss, dass dasselbe nicht nur unter dem Einflusse der Wärme, sondern auch mittelst einer Anzahl einfacher und zusammengesetzter Körper schon bei gewöhnlicher Temperatur in HO und O zerlegt wird, ohne dass sie selbst Sauerstoff aufnehmen.

Liegt nun, wie ich diess neulich in einer eigenen Arbeit darzuthun versucht habe, diese Zersetzung zunächst in der durch die erwähnten Stoffe bewerkstelligten Ueberführung des gebundenen O° in O begründet, so muss es als möglich erscheinen, dass auch das freie O° unter dem Berührungseinflusse besagter Stoffe allotrozisirt, d. h. in O verwandelt wird.

Unter den zusammengesetzten Substanzen, welche schon in der Kälte das Wasserstoffsuperoxid in gewöhnlichen Sauerstoff und Wasser zerfällen, befinden sich solche oxidirte Materien, deren Sauerstoffgehalt selbst entweder gänzlich oder theilweise im O° Zustande existirt und ein Metall zum Radikal haben. Zu den erstern gehören die sämmtlichen Oxide der edlen Metalle, zu den letztern die Superoxide des Mangans, Bleies, Kobaltes, Nickels u. s. w., wie auch die Oxide des Eisens und Kupfers.

Schüttelt man Luft, die so stark ozonisirt ist, dass ein in sie gehaltener Streifen feuchten Jodkaliumsstärkepapieres augenblicklich sich schwarzblau färbt, mit verhältnissmässig kleinen Mengen der genannten Oxide und Superoxide, so verschwindet der ozonisirte Sauerstoff beinahe augenblicklich, wie sowohl aus der Geruchlosigkeit der so behandelten Luft, als auch aus deren Wirkungslosigkeit auf das erwähnte Reagenspapier erhellt.

Dieses Verschwinden des ozonisirten Sauerstoffes lässt sich nicht aus der Annahme erklären, dass derselbe mit den fraglichen Oxiden und Superoxiden sich verbunden habe; denn das Silbersuperoxid (in dem beschriebenen Versuche von grösster Wirksamkeit), Bleisuperoxid, Eisenoxid u. s. w. vermögen keinen weitern Sauerstoff aufzunehmen, wesshalb wir kaum umhin können, anzunehmen, dass dieselben einen allotrozisirenden Einfluss auf O^o ausüben, d. h. dasselbe in O überführen, wie sie auch das O^o des Wasserstoffsuperoxides in gewöhnlichen Sauerstoff verwandeln.

Von der Kohle haben meine früheren Versuche dargethan, dass sie ein ausgezeichnetes desozonisirendes Vermögen besitzt; denn leitet man einen Strom möglichst stark ozonisirter Luft durch eine mit reinstem (aus krystallisirtem Zucker bereiteten) Kohlenpulver gefüllte Röhre, so tritt er geruch- und wirkungslos gegen das Reagenspapier aus, ohne dass hierbei eine nachweisbare Menge von Kohlensäure entstünde. Bekannt ist, dass die gleiche Kohle das Wasserstoffsuperoxid ebenfalls ohne Kohlensäurebildung in Wasser und O zerlegt.

Wie die vegetabilische Kohle verhält sich auch der Graphit. Verhältnissmässig kleine Mengen dieser sorgfältigst gereinigten und fein gepulverten Materie mit stark ozonisirter Luft geschüttelt, zerstören rasch das in ihr enthaltene O^o und da unter diesen Umständen von Oxidation des Graphites ebenfalls keine Rede ist, so dürfen wir wohl schliessen, dass auch diese Art von Kohle einen desozonisirenden Einfluss auf O^o ausübe.

Das chlorsaure Kali betrachte ich als salzsaures Kali (Chlorkalium) mit ozonisirtem Sauerstoff vergesellschaftet, und wie wohl bekannt zerfällt jenes Salz unter dem Einflusse der Wärme in salzsaures Kali und gewöhnlichen Sauerstoff wie das Wasserstoffsuperoxid in HO und O.

Wenn nun die vorhin erwähnten Oxide und Superoxide das freie und das an HO gebundene O^o gerade so desozonisiren, wie diess die Wärme für sich allein thut, so könnte es nicht auffallen, wenn sie die gleiche Wirkung auch auf den ozonisirten Sauerstoff des geschmolzenen Chlorates hervorbrächten, d. h. dieses Salz in salzsaures Kali und gewöhnlichen Sauerstoff zerlegten.

Meines Wissens hat der treffliche Döbereiner, dem die Wissenschaft so manche feine Beobachtungen verdankt, zuerst die Thatsache ermittelt, dass die Anwesenheit von Braunstein in dem geschmolzenen Kalichlorat die Zersetzung dieses Salzes sehr wesentlich beschleunige und Hr. Mitscherlich machte später auf die Aehnlichkeit der Umstände aufmerksam, unter welchen das Wasserstoffsuperoxid und das geschmolzene Kalichlorat, das Eine in Wasser und O, das Andere in salzsaures Kali und ebenfalls in O zerfalle.

Ich habe mich durch eigene Versuche überzeugt, dass alle die oben genannten Oxide und Superoxide in einem auffallenden Grade die Zersetzung des Chlorates begünstigen, wobei es sich von selbst versteht, dass die so leicht reducirbaren Oxide des Goldes, Silbers u. s. w. selbst zerlegt werden, während diess mit dem Braunstein, Eisenoxid und Kupferoxid nicht der Fall ist. Auch braucht kaum bemerkt zu werden, dass unter diesen Umständen kein Perchlorat sich bildet und das chlorsaure Salz unmittelbar in salzsaures Kali und Sauerstoff zerfällt.

Von ganz ausserordentlicher Wirksamkeit ist das Eisenoxid, wie daraus erhellt, dass schon ein Tausendstel desselben dem geschmolzenen Chlorat beigemengt, beim Schmelzpunkte des Salzes, wobei sich bekanntlich noch kein Sauerstoff entbindet, eine merklich starke Gasentwicklung verursacht, wesshalb ich auch bei der Sauerstoffbereitung mittelst chlorsauren Kalis das angegebene Verhältniss als das zweckmässigste gefunden habe.

Unter den gleichen Umständen, d. h. eben beim Schmelzpunkt des Chlorates bewirkt $1/_{200}$ Eisenoxides eine schon stürmische Gasentwicklung, wobei man bald die ganze Masse zum Erglühen gelangen sieht, und welche Erscheinung immer der Beendigung der Zersetzung vorausgeht. Nicht unerwähnt darf ich lassen, dass ein solches Erglühen, obwohl in schwächerm Grade, selbst dann noch stattfindet, wenn nur $1/_{1000}$ des Oxides dem Chlorat beigemengt ist.

Wird ein sehr inniges Gemeng aus einem Theile Eisenoxides und dreissig Theilen Chlorates bestehend nur an einer (mässig grossen) Stelle bis zum Schmelzpunkte des Salzes erhitzt, so setzt sich von ihr aus die Zersetzung desselben beinahe von selbst durch die ganze Masse hindurch fort und zwar unter so heftiger Gasentwicklung, dass dieselbe an Explosion grenzt, und erfolgt die Zerlegung des Salzes so rasch, dass dasselbe kaum Zeit zum Schmelzen hat, wobei natürlich die Masse ebenfalls zum starken Erglühen kommt. Bemerkenswerth ist die Thatsache, dass bei diesen raschen Zersetzungen des Chlorates dem entbundenen Sauerstoff merkliche Mengen von Chlor beigemengt sind.

Es ist kaum nöthig zu sagen, dass unter sonst gleichen Umständen das Eisenoxid die Zersetzung des Chlorates um so rascher bewerkstelliget, je feiner zertheilt jenes ist, woher es kommt, dass noch so fein gepulvertes krystallisirtes Eisenoxid (Eisenglanz oder rother Glaskopf) merklich weniger lebhaft wirkt, als solches, welches durch Fällung aus einer Eisenoxidsalzlösung bereitet worden, und ebenso versteht es sich von selbst, dass das Eisenoxid sein Zersetzungsvermögen nicht einbüsst, wie oft man es auch zur Zerlegung von Kalichlorat anwenden mag.

Wie wohl bekannt, bleibt die gewöhnliche Kohle nicht unoxidirt, wenn sie in geschmolzenes Kalichlorat gebracht wird und findet unter diesen Umständen eine bis zur Explosion gehende rasche Kohlensäurebildung statt. Anders jedoch verhält sich der Graphit. Derselbe kann mit eben geschmolzenem Chlorat vermengt werden, ohne dass er eine Explosion verursachte, und auffallend begünstiget er unter diesen Umständen das Zerfallen des Salzes in Chlorkalium und Sauerstoff. Zehn Theile Chlorates mit einem Theil Graphites bis zum Schmelzen erhitzt, entwickeln mit stürmischer Lebhaftigkeit Sauerstoff, ja selbst $\frac{1}{50}$ Graphit bringt noch eine merkliche Wirkung hervor; ich darf jedoch nicht unerwähnt lassen, dass diesem Gase immer eine merkliche Menge Kohlensäure beigemengt ist und bei einer den Schmelzpunkt des Chlorates merklich überschreitenden Temperatur plötzlich ein heftiges Erglühen der Masse eintritt. In welchem Verhältniss ich auch Chlorat und Graphit bis zum Schmelzen erhitzte und wie lebhaft die dabei stattfindende Gasentwicklung sein mochte, nie hat eine Explosion stattgefunden. Aus den gemachten Angaben erhellt somit, dass die Graphitkohle auf das chlorsaure Kali wie auf das Wasserstoffsuperoxid wirkt.

Aus der Gesammtheit der mitgetheilten Thatsachen bin ich geneigt den Schluss zu ziehen, dass die durch die erwähnten Substanzen bewerkstelligte Zersetzung des Wasserstoffsuperoxides und Kalichlorates in Wasser, salzsaures Kali und gewöhnlichen Sauerstoff zunächst auf einer Allotropie oder Ueberführung des darin enthaltenen O^o in O beruht, gerade so wie durch die gleichen Materien bewirkte Desozonisation des freien O^o.

XIII. BEILAGE.

Einige Bemerkungen
über
die Veränderung der Rotationsgeschwindigkeit der Himmelskörper.

Von
Dr. **Emil Schinz,**
Professor in Aarau.

I.

1) Eine Kraft wird durch die Geschwindigkeit gemessen, die sie, während einer Sekunde allein auf einen Körper wirkend, diesem zu ertheilen vermag.

Die Kraft der Schwere an unserer Erdoberfläche ertheilt — proportional mit der zu bewegenden trägen Masse wachsend — allen Körpern in der Sekunde eine gleich grosse Geschwindigkeit, deren Werth g (am Aequator $= 9^m,78$ am Pol $= 9^m,83$) die mittlere Grösse von $9^m,81$ (Meter) hat.

2) Die Arbeit, welche diese constante Kraft aufwendet, um einem Körper von G Kilogrammen Gewicht die Geschwindigkeit von v (Metres) zu ertheilen, wird gemessen durch: $G \cdot \frac{v^2}{2g}$, d. h. durch das Produkt der darauf

wirkenden Schwerkraft G in den Weg oder die Höhe $h = \frac{v^2}{2g}$, durch welchen dieselbe thätig sein musste, um dem Körper die Geschwindigkeit v zu ertheilen.

Es ist diese Arbeit gleich derjenigen, die wir anwenden müssen, um dem Körper seine Geschwindigkeit wieder zu nehmen, oder die er leisten kann, indem er seine Geschwindigkeit dagegen einsetzt.

3) Bewegt sich ein auf einen Punkt concentrirtes Gewicht G_k in einem Kreis vom Radius r_k herum in der Zeit von T Sekunden, so ist seine Geschwindigkeit $v_k = \frac{2\pi r_k}{T}$. Es hat daher erhalten, besitzt, und kann nun abgeben die Arbeit $G_k \frac{v_k^2}{2g}$ oder $\frac{2\pi^2}{gT^2} G_k r_k^2$. — Für n solche beliebige Gewichte, in verschiedenen Entfernungen von einer festen Rotationsachse concentrirt, wird, wenn sie fest miteinander verbunden sind, die Umlaufzeit T gemeinschaftlich, und sie besitzen daher zusammen die Arbeit $A = \frac{2\pi^2}{gT^2} \Sigma G_k r_k^2$. — Der Faktor $\Sigma G_k r_k^2$ — ist nur von der Gestalt des rotirenden Körpers abhängig, wenn er homogen ist und kann auf die Form $G . \lambda^2$ gebracht werden, wo G das Gewicht des ganzen Körpers und λ die Entfernung desjenigen Punktes von der Drehungsachse bedeutet, in dem wir das ganze Gewicht G concentrirt denken müssen, damit es, in derselben Zeit T um sie herum bewegt, dieselbe Arbeit A besitze wie der Körper selbst, nämlich $A = G \frac{2\pi^2 \lambda^2}{gT^2}$.

4) Ist in einem frühern Momente der Drehbewegung die Umlaufzeit T um τ Sekunden kleiner gewesen, so war die Geschwindigkeit aller Theile, und somit die Arbeit, die der Körper damals besass, grösser. — Er hat daher von seiner früher besessenen Arbeitsfähigkeit die Arbeit

$$B = G\,\frac{2\pi^2\lambda^2}{g}\left\{\frac{1}{(T-\tau)^2} - \frac{1}{T^2}\right\}$$

verloren, d. h. zur Ueberwindung von Reibungen oder andern entgegenwirkenden Kräften verwendet. — Wenn τ ein sehr kleiner Theil ist von T, so ist

$$B = G\,\frac{4\pi^2\,\lambda^2}{g}\,\frac{2\tau}{T^3} = A\,\frac{2\tau}{T}$$

II.

5) Um die hier angewendeten Begriffe zu veranschaulichen, habe ich den vorliegenden Kreisel anfertigen lassen, dessen Scheibe einen 4 Kilogramm schweren Bleirand enthält. Sein mittlerer Radius ist $r = 0^m,06$, seine Breite $b = 0^m,04$. — Für diesen ist

$$\Sigma\, G_k\, r_k^{\,2} = G\,\lambda^2 = G\left(r^2 + \frac{b^2}{4}\right) = G\,.\,0^m,004,$$

so dass man für λ den Werth $\lambda = 0^m,0632$ findet. — Wir wollen den aus Holz verfertigten, innern Theil der Scheibe, so wie die stählerne Kreiselachse hier unberücksichtigt lassen. Macht der Kreisel n Umdrehungen in einer Sekunde, so ist für ihn $n\,.\,T = 1$, und somit $A = G\,\frac{2\pi^2}{g}\,n^2\,\lambda^2$ die Arbeit, die er abgeben muss, um seine Geschwindigkeit ganz zu verlieren.

6) Um ihm diese Drehungsgeschwindigkeit zu geben, lehne ich die Kreiselachse in vertikaler Stellung unter und über der Scheibe an zwei temporäre Lager an, um die auf die Achse aufgewickelte Schnur mit einem kräftigen und beschleunigten Zuge davon abzuziehen. Sowie die Schnur abgezogen ist, ziehe ich die Lager rasch zurück, und der Kreisel ist sich selbst überlassen. — In diesem Zustand würde er bei unveränderter Geschwindigkeit verharren, wenn es möglich wäre, den Widerstand der stets mit fortgerissenen, umgebenden Luft, und besonders die Reibung der Achse auf ihrer Unterlage ganz zu entfernen. Der um seine Achse symmetrische Bau des Kreisels sichert übrigens den Parallelismus der verschiedenen Lagen der Kreiselachse, in welche sie durch Gleiten oder Fortrollen auf der die Unterlage bildenden Spiegelglasfläche successive gelangt.

7) Um die Arbeit A dieses rotirenden Kreisels zu berechnen, fehlt uns jetzt nur noch die Kenntniss der Zahl n der in Einer Sekunde von ihm vollendeten Umläufe. Um dieselbe in irgend einem Zeitpunkte zu bestimmen, befestige ich auf der Scheibe des Kreisels eine dünne kreisrunde Pappscheibe, deren über jene hervorragender Rand in gleichen Abständen 24 kreisrunde Löcher trägt von 7 Millimeter Durchmesser. — Bläst man nun mit einer Röhre von etwas geringerer Oeffnung gegen die sich unter ihr wegbewegenden Löcher, so hört man einen leicht bestimmbaren Ton, aus dem sich die Zahl der Löcher ergibt, die in Einer Sekunde unter der Oeffnung der Röhre vorbeigehen. Ein jedes derselben erzeugt nämlich eine doppelte Luftschwingung (Verdichtung und Verdünnung).

Der Diapason normal von Marloye in Paris ist eine Stimmgabel, welche das c von 512 einfachen Schwingungen gibt. — Bei einem Versuche gab mein Kreisel gleich nachdem die Schnur von der Achse abgezogen war, den Ton h über jenem c, dessen Schwingungszahl sonach $\frac{15}{8} \cdot 512 = 960$ beträgt. Um also 480 doppelte Schwingungen hervorzubringen, mussten in Einer Sekunde eben so viele Löcher, d. h. jedes der 24 Löcher 20mal unter der Oeffnung der Glasröhre vorbeigehen.

8) Es ergibt sich also für jenen Versuch die Zahl der in einer Sekunde erfolgten Umläufe $n = 20$, und die in jenem Moment vom Kreisel besessene Arbeitsfähigkeit ist $A = 12{,}5$ Kgm (Kilogrammeter), d. h. gleich der Fähigkeit, 12,5 Kgr oder 25 Pfund, um 1 Meter, oder auch $^1/_4$ Pfund, um 100 Meter zu heben.

Eine eben so grosse Arbeit müssen daher Reibung und Luftwiderstand auf den Kreisel verwenden, um ihm seine Geschwindigkeit ganz zu nehmen. — Es gelingt auf dem angedeuteten Wege, diese Kräfte so klein zu machen, dass sie über $^1/_2$ Stunde lang wirken müssen, ehe sie den Kreisel zur Ruhe bringen, d. h. ehe sie die Arbeit von 12,5 Kgm verrichtet haben.

9) Es kann dieser Kreisel indess auch noch auf anderem Wege die Arbeit, die er zu verrichten im Stande ist, an den Tag legen. — Steckt man z. B. die Spule eines Nähfadens von 100^m Länge auf einen Nagel, so braucht es, um denselben abzuwickeln, eine gewisse Zugkraft. Betrüge dieselbe $^1/_4$ Pfund, so wäre der in Bewegung gesetzte Kreisel (ohne Reibung und Luftwiderstand) fähig, den Faden von der Spule ab- und um sich aufzuwickeln, in einer beliebigen Zeit, die nur von der Peripherie seiner Achse oder der zum Aufnehmen des Fadens auf sie gesteckten Trommel abhängt. — Ich habe denselben Kreisel

einen 100 Yard langen Faden von seiner Spule auf dessen Achse aufwickeln lassen, was in etwa 3 Minuten erfolgt war; die Reibung hatte also etwa den 10ten Theil der Arbeit des Kreisels verzehrt.

10) Viel sicherer würde sich übrigens auf diesem Wege der Ausdruck für B an unserm Kreisel verificiren lassen, indem man einen Faden von gegebener Länge, durch ein Gewicht gespannt, auf den Kreisel aufwickeln liesse, und durch den Ton zu Anfang und zu Ende die Umlaufszeit bestimmen würde. Die während der bekannten Zahl von Umdrehungen von der Reibung (und dem Luftwiderstand) absorbirte Arbeit würde sich leicht angeben lassen.

III.

11) Gehen wir nun auf den Fall einer rotirenden Kugel über, so ist für dieselbe, wenn sie *homogen* ist,

$$\Sigma G_k r_k{}^2 = G\,\lambda^2 = G\,\frac{2}{5}\,R^2,$$

wo R (Metres) den Radius der Kugel bedeutet, so dass für sie $\lambda \doteq 0{,}632 \,.\, R$ wird. — Heisst δ ihre Dichte, oder das in Kilogrammen ausgedrückte Gewicht der Volumen-Einheit (1 Kubikmeter), so ist:

$$G = \frac{4\,\pi\,R^3}{3} \,.\, \delta \quad \text{(Kgr)},$$

somit:

$$A = \frac{16 \,.\, \pi^3 \,.\, R^5}{15 \,.\, g \,.\, T^2}\,\delta = P \,.\, \delta \quad \text{(Kilogrammeter)}.$$

12) Betrachten wir die Erde als eine rotirende Kugel, deren grösster Kreis den Umfang von 40 Millionen

Metres hat, so ist für sie $R = 6366170^m$, während die Umlaufszeit $T = 86164$ mittlere Zeitsekunden beträgt.

Die mittlere Dichte der Erdrinde ergibt sich durch angenäherte Schätzung zu $\delta_0 = 2770$. — Durch die sorgfältigen Messungen von Francis Baily wurde nach der Methode von Cavendish die mittlere Dichte der Erde $\delta_m = 5680$ gefunden. — Die Erde ist sonach keine homogene Kugel; die von ihr besessene Arbeit ist offenbar grösser als $P \, . \, d_0$, aber kleiner als $P \, . \, \delta_m$, weil $\Sigma G_k \, r_k^{\,2}$ grösser ausfällt, wenn wir die in Wirklichkeit unter dem enormen Druck in der Erdmitte angehäufte Masse behufs gleichmässiger Vertheilung gegen die Erdoberfläche gebracht denken.

13) Nehmen wir an, die Dichte der Erde wachse proportional mit der Tiefe unter der Oberfläche, so ist ihr Werth in der Entfernung R vom Erdmittelpunkt $\delta = \delta_0 + K \, (R_0 - R)$, wo δ_0 wieder ihr Werth an der Erdoberfläche (in der Entfernung R_0 vom Mittelpunkt) bedeutet, und die Constante K sich aus der Bedingung ableiten lässt, dass die Summe der Gewichte der einzelnen concentrischen Schalen von der Dicke dR gleich sein müsse dem bekannten Gesammtgewichte der Erde, nämlich:

$$\int_0^{R_0} 4\pi \, R^2 \, dR \, [\delta_0 + K \, (R_0 - R)] = \frac{4\pi \, R^3_0}{3} \, . \, \delta_m,$$

oder:

$$\delta_0 + K \frac{R_0}{4} = \delta_m,$$

woraus folgt:

$$\delta = \delta_0 + 4 \, \frac{\delta_m - \delta_0}{R_0} \, (R_0 - R),$$

oder:

$$\delta = (4\,\delta_m - 3\,\delta_o) - \frac{4\,(\delta_m - \delta_o)}{R_o} \,.\, R.$$

Es ergibt sich also die Dichte für den Erdmittelpunkt $\delta_i = 4\,\delta_m - 3\,\delta_o = 14410$, etwa gleich der Dichte des festen Quecksilbers, zwischen $5\,\delta_o = 14550$ und $\frac{5\,\delta_m}{2} = 14200$.

---

14) Diese Dichte δ kömmt der Kugelschale vom Radius R und der Dicke dR zu; diese besitzt die Arbeit:

$$\frac{16\,.\,\pi^3\,.\,\delta}{15\,.\,g\,.\,T^2}\,[(R + dR)^5 - R^5],$$

oder:

$$\frac{16\,.\,\pi^3}{15\,.\,g\,.\,T^2}\,5\,R^4\,dR\left[\delta_i - 4\,R\,\frac{\delta_m - \delta_o}{R_o}\right];$$

die Arbeit der ganzen Kugel ist demnach

$$A = \frac{16\,.\,\pi^3}{15\,.\,g\,.\,T^2}\left\{R^5_0\,\delta_i - \frac{4\,.\,5}{6}\,R^5_0\,(\delta_m - \delta_o)\right\} = P\,.\,\frac{2\delta_m + \delta_o}{3},$$

d. h.:

$A = P\,.\,4710 = 22368$ Quadrillionen Kilogrammeter.

15) Diese Arbeit $A = 22368$ Quadrillionen Kgm müsste also die rotirende Erdkugel abgeben, ehe ihre Rotationsgeschwindigkeit erschöpft wäre, oder es müsste eine so grosse Arbeit der Rotationsbewegung der Erde entgegenwirken, um ihr diese ganz zu nehmen. — Die Tageslänge der ohne Rotationsbewegung um die Sonne kreisenden Erde würde dann gleich der Dauer eines siderischen Jahres. — Wäre hingegen die Dauer einer Erdrotation noch einem unserer tropischen Jahre gleich, so würde stets dieselbe Erdhälfte der Sonne zugekehrt sein, und der Wechsel von Tag und Nacht hätte ganz aufgehört.

16) Wenn alle Erdbewohner, 1000 Millionen an der Zahl, arbeitsfähige Männer wären, die in täglich 8 Stunden die strenge Arbeit von 288 Billionen Kgm (à 10 Kgm per Mann in 1 Sekunde) verrichteten, so müssten sie diese 212640 Millionen Jahre lang fortsetzen, um eine Arbeit zu leisten, welche der Arbeit A der rotirenden Erdkugel gleich käme.*)

17) Da selbst auf diese Weise die Grösse der Arbeit A keineswegs zur Anschauung gebracht werden kann, so wollen wir zur Bestimmung derjenigen Arbeit B übergehen, die man der Rotationsbewegung der Erde entgegenwirken lassen müsste, um ihre Umlaufszeit von 86164 Sekunden nur um die sehr kleine Grösse τ von $\frac{1}{100}$ Sekunde zu vergrössern, und somit die Rotationsgeschwindigkeit um $\frac{1}{8616400}$ ihres Werthes zu verringern. Wir finden:

$$B = A \frac{2\tau}{T} = \frac{A}{4308200} = 5192 \text{ Trillionen Kgm.}$$

18) Eine Dampfpferdekraft zu 75 Kgm pr. Sekunde leistet in 2000 Jahren, = 63114 Millionen Sekunden, die Arbeit von 4733550 Millionen Kgm; da sie die 24 Stunden im Tag ohne Unterbrechung fortarbeitet, so leistet sie per Tag 22,5mal so viel, als die oben angenommene Tagarbeit eines starken Mannes. — Zur Leistung der Arbeit B sind aber 1096,8 Millionen Dampfpferdekräfte erforderlich, welche während 2000 Jahren unaufhörlich fortarbeiten.

---

*) Vergl. Buch Josua X. 13.

Eine Million jener kolossalsten Dampfmaschinen, wie sie zur Propulsion der grössten Dampfschiffe dienen, würde also noch nicht hinreichen, die Länge eines Tages um 0,01 Sekunde zu vermehren, selbst wenn sie ohne Unterbrechung 2000 Jahre lang auf die vortheilhafteste Weise der Erdrotation entgegenarbeiteten.

IV.

19) Es bedarf kaum der Erinnerung, dass eine auf der Erde selbst stehende Kraftmaschine keineswegs der Erdrotation entgegenzuarbeiten im Stande wäre, da jeder Druck, welchen die beweglichen Maschinentheile z. B. von Ost nach West gegen die Peripherie des Erdäquators ausübten, von einem entgegengesetzten Drucke aufgehoben werden müsste, den die mit der Erde fest verbundenen Träger der Maschine erleiden, und auf die Erde übertragen würden.

20) Eine zur Veränderung der Rotationsgeschwindigkeit der Erde wirkende Kraft muss daher ihren Stützpunkt ausser der Erde haben. — Der Mond wird zwar von der Erde selbst in seiner Bahn erhalten, und beide, Erde und Mond, können durch ihre gegenseitige Einwirkung aufeinander weder ihre mittlere Umlaufszeit um ihren gemeinschaftlichen Schwerpunkt, noch auch die Lage dieses letztern verändern; allein mit der Bewegung dieser Himmelskörper um ihre eigenen Schwerpunkte verhält es sich anders.

Die Einwirkung eines Körpers auf den andern kann nicht nur die sonst unveränderliche, parallele Lage der

Rotationsachse verändern in Folge der Nicht-Sphäricität von dessen Gestalt (Präcession und Nutation), sondern selbst die Grösse der Rotationsgeschwindigkeit um diese Achse in der Folge der Jahrtausende modifiziren.

21) Um den Effekt der hierbei wirkenden Kräfte zu schätzen, denken wir uns vorerst die kugelförmige Erde ganz von einem Meere bedeckt, dessen gleichförmige Tiefe nur einen kleinen Theil des Erdradius ausmacht. — Die Anziehung von Sonne und Mond wirkt nicht auf alle Theile dieser Wasserhülle gleichmässig, wegen der ungleichen Entfernung ihrer Schwerpunkte von denselben.

22) Von dem Schwerpunkt der Sonne z. B. denken wir uns zur Zeit der Aequinoctien eine gerade Linie durch den Erdmittelpunkt gelegt, welche die Erdoberfläche in zwei Punkten des Aequators, z und n, schneidet, für welche die Sonne respective im Zenith und im Nadir steht. Der darauf senkrechte Meridian schneidet den Aequator in zwei Punkten m und $m_,$; seine Punkte sind nahe gleich weit von dem Schwerpunkte der Sonne entfernt als der Erdmittelpunkt.

Die Anziehung der Sonne auf die im Meridian $m m_,$ liegenden Massen heisse K_m, diejenige auf die Massen in z und n heisse K_z und K_n; ferner sei K die Anziehung der Sonne auf irgend einen Punkt p der Erdoberfläche, dessen Entfernung von der Sonnenmitte um r kleiner ist als die des Erdmittelpunkts.

23) Heissen ferner M, M' und m respective die Massen (Gewicht) der Sonne, des Mondes und der Erde, ebenso D, D' und R die mittlere Entfernung der Sonnen-, der Mondmitte und der Erdoberfläche vom Erdmittelpunkt, so hat man: $M = 354986 \,.\, m$, $M' = \frac{m}{83}$, ferner (hin-

reichend genau) $D = 400\,D'$, $D' = 60\,R$. — Es ist alsdann die Anziehung der Erde auf einen Punkt ihrer Oberfläche g, die Anziehung der Erde auf den Mittelpunkt der Sonne $\frac{R^2}{D^2} \cdot g$, folglich die Anziehung der Sonne auf den Erdmittelpunkt

$$K_m = g\frac{M}{m}\frac{R^2}{D^2},\ \text{auf } z:\ K_z = g\frac{M}{m}\frac{R^2}{(D-R)^2},$$

$$\text{auf } p:\ K = g\frac{M}{m}\frac{R^2}{(D-r)^2}\ \text{und auf } n:\ K_n = g\frac{M}{m}\frac{R^2}{(D+R)^2}.$$

24) Damit die Erde in ihrer unveränderten Kugelgestalt ihren Kreislauf um die Sonne vollführe, d. h. damit alle ihre Theile mit der gleichen Geschwindigkeit sich aus der geradlinigen Bewegungsrichtung gegen die Sonne hin bewegen, müssen alle Punkte von einer gleichen mittleren Kraft K_m gezogen sein. — Es werden also, wenn wir von dieser Bewegung absehen wollen, zur Veränderung der Gestalt der flüssigen Erdoberfläche Kräfte übrig bleiben, welche z. B. in den Punkten p und z mit der Intensität $k = K - K_m$ und $k_z = K_z - K_m$ gegen die Sonne hin; im Punkte n aber mit der Intensität:

$k_n = K_n - K_m$ von der Sonne weg ziehen.

Wir erhalten also:

$$k = g\frac{M}{m}\frac{R^2}{D^2}\frac{2Dr - r^2}{(D-r)^2}$$

oder, indem wir nach der kleinen Grösse $\frac{r}{D}$ entwickeln:

$$k = g\frac{M}{m}\frac{R^2}{D^2}\frac{r}{D}\left(2 + 3\frac{r}{D}\right),$$

ebenso

$$k_z = g\frac{M}{m}\frac{R^3}{D^3}\left(2 + 3\frac{R}{D}\right)$$

und

$$k_n = g \frac{M}{m} \frac{R^3}{D^3} \left(2 - 3 \frac{R}{D}\right).$$

Für die Wirkung des Mondes erhalten wir die analogen Ausdrücke:

$$k' = g \frac{M'}{m} \frac{R^2}{D'^2} \frac{r}{D'} \left(2 + 3 \frac{r}{D'}\right)$$

und

$$\left.\begin{matrix} k'_z \\ k'_n \end{matrix}\right\} = g \frac{M'}{m} \frac{R^3}{D'^3} \left(2 \pm 3 \frac{R}{D'}\right).$$

25) Wir sehen hieraus, dass k_z grösser ist als k_n, und k'_z grösser als k'_n, dass sich aber die Werthe von k_z und k_n nur um eine kleine Grösse von einander unterscheiden, welche zu jenen Werthen in dem Verhältniss von $3 \frac{R}{D}$ zu 1 steht. — Dieses Verhältniss ist für den Mond $\frac{3R}{D'}$ zu 1, also $\frac{D}{D'}$ = 400mal grösser als für die Sonnenwirkung.

26) Sehen wir von der kleinen Differenz ab, so ist das Verhältniss der Sonnenwirkung zu derjenigen des Mondes: $\frac{k}{k'} = \frac{M}{M'} \frac{D'^3}{D^3} = 0{,}46$, überdiess

$$k_z = k_n = 0{,}00000005135 \,.\, g = 0{,}^m0000005037$$
$$k'_z = k'_n = 0{,}00000011156 \,.\, g = 0{,}^m0000010942.$$

27) In Beziehung auf die Kraft

$$k = 2g \frac{M}{m} \frac{R^3}{D^3} \frac{r}{R} = k_z \,.\, \frac{r}{R}$$

sieht man, dass sie für die Punkte verschwindet, welche im Meridian $m\,m_\prime$ liegen (da für sie $r = 0$ ist), und dann zunimmt proportional mit der Entfernung r der angezogenen Punkte von der Ebene jenes Meridians.

28) Die Gleichgewichtsbedingung für die, unsere Erde bedeckende Wasserhülle verlangt nun, dass irgend ein isolirter Theil derselben für sich im Gleichgewicht sei. Denken wir uns einen Kanal, der auf dem Grunde dieser Wasserschicht, auf einem grössten Kreis unserer festen Erdkugel fortlaufend, zwei zur Oberfläche normale Wassersäulen von der Tiefe a der Wasserhülle mit einander verbindet, so muss die durch die beiden Wassersäulen als Schenkel und den bogenförmigen Verbindungskanal gebildete communicirende Röhre für sich im Gleichgewicht sein, wie wenn sie zwischen festen Röhrenwänden eingeschlossen wäre. Wir können ihren Querschnitt als überall der Flächeneinheit gleich annehmen.

Wenn die Flüssigkeit durch die mit k analogen Kräfte einen Zug von dem zweiten Schenkel zum ersten erleidet, so wird sie im ersten höher stehen müssen (um die Höhe h) als im zweiten. Der Druck der gehobenen Flüssigkeitssäule auf ihre Basis: g h, den die Schwerkraft erzeugt, wird also der Summe aller von den Kräften k erzeugten Drucke, welche sich nach derselben Basis fortpflanzen, gleich sein müssen.

29) Befindet sich nun der erste Schenkel unter dem Punkte z, der zweite unter irgend einem Punkte des Meridians m m,, so wirkt auf letztern keine Anziehung k des Gestirnes; auf erstern dagegen wirkt eine Kraft, die wir für alle Punkte der vielleicht nicht über $6000^m = a$ tiefen Wassersäule als constant und gleich k_z annehmen dürfen; $(a + h)\, k_z$ oder $a \,.\, k_z$ ist also der von ihr herrührende Theil der Drucksumme. — Der Verbindungskanal erstreckt sich über einen Quadranten der Erdperipherie am Meeresgrunde, seine Länge ist daher $\frac{\pi}{2}\,(R - a)$. Ein

Stück desselben, das von dem ersten Schenkel um die Bogenlänge $\varphi \,.\, (R - a)$ entfernt ist, und die Länge $d\varphi\,(R - a)$ hat, wird von der Kraft k nach der Sonne gezogen, welche wir gleich: $kz\,\frac{r}{R}$, d. h.: $kz\,\frac{(R-a)\cos\varphi}{R}$ gefunden haben, und deren in der Richtung des Kanals wirkende Componente sonach $kz\,\frac{(R-a)\cos\varphi\,\sin\varphi}{R}$ ist. Der Druck, den dieses Stück vom Volumen $(R - a)\,d\varphi$ in der Richtung des Kanals ausübt und fortpflanzt, ist also:

$$kz\,\frac{(R-a)^2}{R}\,\sin\varphi\,\cos\varphi\,d\varphi,$$

und die Summe aller Drucke, welche der Kraft $g\,.\,h$ Gleichgewicht halten müssen:

$$kz\,.\,a + kz\,\frac{(R-a)^2}{R}\int_0^{\frac{\pi}{2}}\sin\varphi\cos\varphi\,d\varphi = kz\left\{a + \frac{(R-a)^2}{2R}\right\}.$$

Man hat daher, weil a^2 gegen R^2 verschwindet:

$$gh = kz\,.\,\frac{R}{2},\ \text{oder: } h = \frac{M}{m}\,\frac{R^4}{D^3} = 0{,}^{m}1635;$$

und ebenso für die Wirkung des Mondes:

$$h' = \frac{M'}{m}\,\frac{R^4}{D'^3} = 0{,}^{m}3551.$$

30) Die gemeinsame Wirkung von Sonne und Mond würde also eine Totalfluth von der Höhe $h + h' = 0{,}^{m}52$ erzeugen im Zustande des Gleichgewichts.

31) Wie bei allen Oscillationsbewegungen steigt aber das Wasser beträchtlich über die Gleichgewichtslage hinauf, und man darf mit Bessel (popul. Vorles. p. 166) die wirkliche mittlere Aequatorialfluthhöhe zu 3 pr. Fuss oder $0{,}^{m}93 = H$ annehmen.

32) Auch den übrigen Punkten der Oberfläche der Wasserhülle wird eine um so grössere Erhebung über die durch den Meridian $m\, m_1$ gelegte Kugeloberfläche zukommen, je weiter sie von diesem Meridian entfernt liegen. Die Oberfläche der Wasserhülle bildet sonach eine Art Sphäroid, dessen längere Rotationsachse $z\, n$ ist.

33) In einem Viertelstag ist dieses aus seiner ersten Lage um $\frac{1}{4}$ Peripherie in seine zweite fortgerückt, so dass seine längere Achse, noch immer durch den Erdäquator gehend, mit deren früherer Lage einen rechten Winkel bildet. Die erste und zweite Lage des Sphäroids werden sich in zwei Meridianen schneiden, deren Ebenen mit derjenigen des Meridians von $m\, m_1$ Winkel von 45^{0} bilden.

34) Derjenige Theil der vom ersten Sphäroid begrenzten Wasserhülle, der vom zweiten Sphäroid abgeschnitten wird, d. h. ausser dem zweiten Sphäroide liegt, habe das Volum W.

Er wird begrenzt von den zwei Schnittmeridianen, und hat in den Punkten z und n die grösste Höhe H. Nehmen wir an, dass auf dem durch z und n gelegten Meridian seine Höhe von den Polen zum Aequator proportional mit der Poldistanz Θ wachse, so wird sie in der Poldistanz Θ den Werth $H \frac{2\Theta}{\pi}$ haben; jeder der beiden Wasserberge, aus denen jener abgeschnittene Theil besteht, hat zwei Streifen, deren sämmtliche Punkte die Poldistanz Θ haben; die Hälfte eines solchen Streifens hat die Länge $\frac{\pi}{4}$ R $\sin \Theta$, die Breite $R\, d\Theta$, und, wie wir annehmen, eine von Θ bis $H \frac{2\Theta}{\pi}$ gleichmässig zunehmende Höhe; ihr achtfaches Volum ist daher

$$w = 8 \cdot \frac{\pi}{4} R \sin \Theta \cdot H \frac{\Theta}{\pi} \cdot R \, d\Theta = 2 R^2 H \cdot \Theta \cdot \sin \Theta \cdot d\Theta;$$

und wir erhalten das Volum der beiden Wasserberge

$$W = 2 R^2 H \int_0^{\frac{\pi}{2}} \Theta \sin \Theta \, d\Theta = 2 R^2 H.$$

35) Dieses Wasservolum W wird in einem Viertelstag aus den zwei gegenüberliegenden Quadranten der Erdoberfläche in die beiden zwischenliegenden herübergeführt. — Würde alles übrige Wasser unbeweglich bleiben, so hätten die verschiedenen Theile der so transportirten Wassermasse verschiedene und sehr beträchtliche Geschwindigkeiten; diejenigen im Aequator würden in der Zeit $T + t$, in welcher der Mond zum Meridian zurückkehrt, den Weg $2 \pi R$ zurücklegen, folglich sich mit der Geschwindigkeit $V = \frac{2 \pi R}{T + t}$ bewegen; während die Theile in der Poldistanz Θ, deren Volumen w ist, nur die Geschwindigkeit $\frac{2 \pi R \sin \Theta}{T + t} = V \sin \Theta$ besässen.

36) Die Arbeit, welche für die gemachte Annahme das Wassergewicht $\gamma \cdot w$ (mit der Geschwindigkeit $V \cdot \sin \Theta$) besitzt, ist $\gamma \cdot w \frac{V^2 \sin^2 \Theta}{2 g}$, wo γ das Gewicht der Volumeneinheit Wasser = 1000 Kgr bedeutet.

Die ganze bewegte Wassermasse hat demnach das Arbeitsvermögen

$$X = \frac{\gamma V^2}{2 g} 2 R^2 H \int_0^{\frac{\pi}{2}} \Theta \sin^3 \Theta \, d\Theta = \frac{\gamma \cdot W \cdot V^2}{2 g} \cdot \frac{7}{9}.$$

Die numerische Berechnung ergibt: $\gamma \cdot W = 75382$ Billionen Kgr, $V = 447{,}^{m}42$, sonach: $X = 598{,}3$ Trillionen Kgm, wenn man für T + t den Werth von 89400 Sekunden ($= 24^h\ 50'$) annimmt, in welcher Zeit der Mond in den Zenith zurückkehrt.

37) Diese Arbeit würde in der That nicht wesentlich verändert, wenn die Fluthen der Sonne und des Mondes getrennt, und in etwas verschiedenen Perioden ihren Kreislauf um die Erde vollendeten, wie sie das in der Wirklichkeit thun.

38) Eine ganz grosse Modifikation ihres Werthes wird aber dadurch herbeigeführt, dass ausser der Wassermasse W noch eine vielmal grössere an der Bewegung Theil nimmt.

Denken wir uns einen Kanal wie den oben betrachteten zwischen den Punkten z und p von der Länge L Metres. Damit eine in z gehobene Wassersäule von l Metres Höhe vom Punkte z nach dem Punkte p gelange, kann man sie entweder selbst von z nach p bewegen durch einen Weg, dessen Länge nahezu L^m beträgt, oder man kann in der gleichen Zeit die ganze Wassermasse des Kanals von L Kubikmetres Inhalt durch den viel kleinern Weg l fortbewegen. — Das Produkt des bewegten Wassergewichtes in seine Geschwindigkeit bleibt dabei in beiden Fällen dasselbe.

Wenn wir daher annehmen, das bewegte Wassergewicht steige von $\gamma . W$ auf $q . \gamma W$, so darf man annehmen, dass die Geschwindigkeit V durchschnittlich auf $\frac{1}{9}$ V erniedrigt werde. Die Arbeit $X = \frac{7\gamma}{18g} W . V^2$ würde dadurch auf den Werth $\frac{7\gamma}{18g}\, q\, W \left(\frac{V}{q}\right)^2 = \frac{X}{q}$ reduzirt.

39) Versuchen wir eine Schätzung des Werthes von q, obschon hier in der That die nöthigen Anhaltspunkte fehlen. — Nehmen wir an, dass auf irgend einem Parallelkreis die bewegte Wassermasse in dessen ganzer Ausdehnung die Tiefe $s \, . \, H \frac{2\Theta}{\pi}$ habe, wo $H \frac{2\Theta}{\pi}$ die der Poldistanz Θ jenes Parallelkreises entsprechende, grösste Fluthhöhe ist (§ 34); dass also die Bewegung s mal tiefer in die Wasserschicht eindringe, als bei der früheren Annahme, und in dieser Tiefe fortdauere auch wenn die Fluth über der entsprechenden Stelle schon der Ebbe Platz gemacht hat. — Das ganze an der Bewegung theilnehmende Wasservolum q . W ist dann

$$2\int_0^{\frac{\pi}{2}} 2\pi R \sin\Theta \, . \, R\, d\Theta \, . \, s\, H \frac{2\Theta}{\pi} = 8\, s\, R^2 H, \text{somit: } q = 4\, s.$$

Nehmen wir daher s = 1000 an, so reduzirt sich dadurch X auf $\frac{X}{4000}$.

Für diese Annahme wird die ganze bewegte Wassermasse $4000 \, \gamma W = 301{,}5$ Trillionen Kgr, ihre mittlere Geschwindigkeit am Aequator $\frac{V}{4000} = 0{,}^{m}112$, und ihr Arbeitsvermögen: $\frac{X}{4000} = 149580$ Billionen Kgm.

40) Der Umstand, dass wir in den Aequatorialströmungen sehr ausgedehnte, breite und tiefe, Wassermassen finden, deren von Ost nach West gerichtete Geschwindigkeit die hier angenommene mittlere wohl um das 10- bis 15fache übertrifft, scheint mir die Ansicht zu rechtfertigen, dass der Werth von q hier wohl kaum zu niedrig dürfte angenommen worden sein, dass also auch die

Arbeit $\frac{X}{q}$ kaum geringer angeschlagen werden könne. Dass übrigens die vorherrschende Ursache jener Hauptströmungen des Meeres in der Wirkung der flutherregenden Gestirne auf die rotirende Erde zu suchen sei, ist eine Ansicht, der auch Bessel a. a. O. beipflichtet.

41) Noch eine Reduktion jener Arbeit erfordert der Umstand, dass unsere Erdoberfläche nicht, wie wir vorerst angenommen, mit einem gleichförmig tiefen Meere ganz bedeckt ist, sondern mehr als ein Viertheil derselben vom Festlande eingenommen wird. Dadurch wird nicht nur die Masse des in Bewegung befindlichen Wassers verkleinert, sondern auch in dem übrig bleibenden die erlangte Geschwindigkeit geringer. Um diesem Rechnung zu tragen, wollen wir die Arbeit $\frac{X}{q}$ noch mit dem Faktor $\frac{2}{3}$ multipliziren, und somit auf $\frac{X}{6000}$ reduziren.

Die bewegte Wassermasse wird nämlich durch das Auftreten des Festlandes um viel weniger als $^1/_3$, wohl kaum um mehr als $^1/_6$ verkleinert, da zwischen den Wendekreisen, wo weitaus die tiefste und am stärksten bewegte Wassermasse sich befindet, das Festland kaum mehr als den sechsten Theil der Erdfläche ausmacht.*)

42) Wir können daher $Y = \frac{X}{6000} = 99700$ Billionen Kgm oder 100000 Billionen Kgm als eine ziemlich wahrscheinliche Schätzung des Arbeitsvermögens betrach-

*) Ich berechne nach Berghaus' Angaben in der heissen Zone das Verhältniss des Festlandes zum ganzen Areal auf 0,1689.

ten, den das — relativ gegen die ruhend gedachte Erde — in Bewegung befindliche Meer besitzt.

43) Diese enorme Wirkung, der zufolge unaufhörlich eine Wassermasse von 2 bis 300 Trillionen Kgr Wassers mit einer mittleren Geschwindigkeit von mehr als einem Decimeter fortgeführt wird, steht in einem auffallenden Gegensatz zu der Kleinheit der Ursache — einer Kraft, die, wo sie am stärksten wirkt, einem isolirten Massentheile nach einer Sekunde nur eine Geschwindigkeit von etwa 0,0015 Millimeter zu ertheilen vermag, und die also zur Erzeugung der Geschwindigkeit von einem Decimeter die Zeit von $\frac{100}{0,0015}$ Sekunden oder 18,5 Stunden bedarf.

44) Nehmen wir an, es könnte diese Geschwindigkeit, wenn sie einmal ganz zerstört worden wäre, in der Zeit einer Rotationsdauer neu erzeugt werden; so darf man auch die Annahme zulassen, dass diese Geschwindigkeit während der Zeit $T + t$, in welcher der Mond zu demselben Meridian zurückkehrt, — an drei Barrieren sechsmal sich brechend, — zum grössten Theil zerstört werden müsse, und dass also alle $24^h\ 50',5 = 89430$ Sekunden eine Arbeit Y von nahe 100000 Billionen Kgm auf die Erde dergestalt übertragen werde, dass sie ihrer Rotationsbewegung gerade entgegenwirkt. —

Diese Barrieren werden von den Ostküsten der Amerikanischen, Afrikanischen und Asiatisch-Australischen Continente gebildet.

45) In 2000 Jahren ($= 63114$ Millionen $= 2\,\mathfrak{T}$ Sekunden) würde also die solcherweise continuirlich auf die Erde übertragene Arbeit: $\frac{2\,\mathfrak{T}}{T + t} \cdot Y = 2\,Z$ betragen.

Die Arbeit B, die zur Verlängerung des Tages um 0,01 Sekunde erforderlich gewesen wäre, ist aber in 2 . Z etwa 13,5mal enthalten. Die in 2000 Jahren von der Erde aufgenommene Arbeit 2 . Z würde also hingereicht haben, die Dauer eines Tages um 0,135 Sekunden zu verlängern.

Die Zahl von Sekunden, um welche sich die Tageslänge in einem Jahrtausend durch den Einfluss der Erdfluth vergrössert, $\varrho = 0,067$, kann als das Mass ihrer retardirenden Wirkung betrachtet werden.

46) Wenn wir die gewonnenen Resultate hier zusammenstellen, so haben wir (laut § 11, 14, 17) einerseits:

$$B = A \frac{2\tau}{T} = \frac{16 . \pi^3 R^5 \Delta}{15 . g . T^2} \frac{2\tau}{T} \text{ wo } \Delta = \frac{2\delta_m + \delta_0}{3} = 4710,$$

$\tau = 0,01$ Sekunde, und $T = 86164$ Sekunden;
anderseits ist (laut § 24 bis 31):

$$H = b . \left\{ \frac{M}{m} \frac{R^3}{D^3} + \frac{M'}{m} \frac{R^3}{D'^3} \right\} R = 0^m . 93,$$

woraus $b = \frac{93}{52} = 1,788$ folgt;

ferner (laut § 34 bis 36):

$$W = 2 R^2 H, X = \gamma . W . \frac{7}{9} \frac{V^2}{2g}, V = \frac{2 \pi R}{T + t},$$

wo $\gamma = 1000$ und $T + t = 89430$ Sekunden
und (laut § 38 bis 45):

$$Y = \frac{2}{3} \frac{X}{q} = \frac{X}{6000}, Z = \frac{\mathfrak{T}}{T + t} . Y = \frac{7 . \pi^2 . 2 H R^4 . \mathfrak{T}}{27 . g (T + t)^3},$$

wo $\mathfrak{T}$ die in einem Jahrtausend enthaltene Zahl von Sekunden bedeutet.

Es ergibt sich hieraus:

$$\varrho = \frac{Z}{100\,B} = \frac{70 \,.\, 2\mathfrak{T}}{576 \,.\, \pi \,.\, \varDelta} \frac{H}{R} \left(\frac{T}{T+t}\right)^2 = 0{,}067 \text{ Sekunden,}$$

und man sieht aus diesem Endausdruck für ϱ, dass sein Werth von T beinahe unabhängig ist, so lange t eine, gegen T kleine, Zahl ist.

47) So unsicher und selbst willkührlich die hier angewendeten Schätzungen ihrer Natur nach sein müssen, so scheint mir aus diesen Betrachtungen dennoch hervorzugehen, dass die von der Fluth herrührende Wirkung auf die Veränderung der Rotationsgeschwindigkeit der Erde, welche bisher ganz unbeachtet geblieben ist, mit derjenigen wenigstens auf gleiche Linie gestellt werden muss, welche von einer allfälligen Temperaturänderung unsers Erdkörpers herrührt.

V.

48) Die mittelst der Theorie der Störungen angestellte Berechnung der mittleren Dauer einer Mondrevolution, wie sie vor 2000 Jahren stattfinden musste, ausgedrückt durch unsere jetzige Tageslänge, wurde von Laplace mit dem Werthe dieser Revolutionsdauer verglichen, wie er, — durch die vor 2000 Jahren vorhandene Tageslänge ausgedrückt — sich aus den Beobachtungen der Alexandrinischen Astronomen ergibt. — Diese Vergleichung hat zu dem Resultat geführt, dass die Tageslänge seit 2000 Jahren sich nicht um 0,01 Sekunde verändert hat.

49) Laplace hat dieses Resultat benutzt, um die Unveränderlichkeit der Länge des Erdradius während

dieser Zeit, und daraus diejenige der mittleren Temperatur desselben zu beweisen.

Wird nämlich der Radius einer rotirenden Kugel kleiner, so vermindert sich dadurch auch die Dauer einer Rotation, oder es vergrössert sich die Rotationsgeschwindigkeit.

50) Es ist nämlich der von einem Punkt der Kugel bei jeder Rotation um die Achse beschriebene Flächenraum proportional mit der dazu erforderlichen Zeit.

51) War daher T die Rotationsdauer der Erde, d. h. irgend eines ihrer Punkte, der um die Länge r von der Rotationsachse entfernt ist, so beschrieb sein Radius r in der Zeit T die Fläche πr^2. — Hat sich aber die Erde — in Folge einer kleinen Temperaturerniedrigung von Θ Celsius'schen Graden — gleichmässig zusammengezogen, und ist α der lineare Ausdehnungs-Coefficient der sie bildenden Substanzen, so ist jede Dimension r auf den Werth $r(1 - \alpha\Theta)$ verkleinert worden. Die nunmehr von jenem Punkt während einer Rotation, deren Dauer jetzt $T - \tau$ heissen mag, beschriebene Kreisperipherie umschliesst die Fläche $\pi r^2 (1 - \alpha\Theta)^2$. — Es ist daher: $(1 - \alpha\Theta)^2 = \frac{T - \tau}{T}$, oder: $2\alpha\Theta = \frac{\tau}{T}$.

52) Nimmt man mit Laplace $\alpha = 0{,}00001$ (gleich dem Mittel aus dem Dilatations-Coefficienten des Glases und demjenigen des Eisens), so ist für $\tau = 0{,}01$ Sekunden, wenn $T = 86164$ war: $\Theta = \frac{1}{172}$ °C.

Wenn aber in 2000 Jahren die Tageslänge sich nicht um 0,01 Sekunden vermindert hat, so folgt daraus, dass die mittlere Temperatur des Erdradius sich auch nicht um $\frac{1}{172}$ Grad vermindert haben konnte, vorausgesetzt, dass keine anderen Ursachen auf die Veränderung der Tageslänge eingewirkt haben.

In der That wird die Temperaturänderung nicht in allen Theilen eines Erdradius dieselbe sein, und es könnte dieselbe an der Erdoberfläche ziemlich beträchtlich sein, ohne für die Zusammenziehung des ganzen Radius merklich zu werden.

53) Die Wirkung der Fluth auf die Veränderung der Tageslänge und diejenige der Temperaturabnahme des Erdradius sind aber einander entgegengesetzt, und daher können sie sich compensiren.

Wollte man also das oben (§ 19 bis 45) wahrscheinlich gemachte Resultat, als ein der Wahrheit nahekommendes zulassen, „dass die Fluthwirkung, für sich betrachtet, seit 2000 Jahren die Tageslänge um $2\varrho =$ 0,135 Sekunden vergrössert haben würde“: so müsste auf der andern Seite die mittlere Temperatur des Erdradius um $\frac{13,5}{172} = 0,08$ eines Celsius'schen Grades in derselben Zeit abgenommen haben, um, für sich betrachtet, eine compensirende Verkürzung der Tageslänge zu bewirken.

Es kann begreiflicherweise weder diese Temperaturabnahme nachgewiesen, noch auch der Beweis geleistet werden, dass sie nicht stattgefunden habe.

VI.

54) Die im Vorhergehenden veranschaulichte ungeheure Arbeit der Fluthwirkung konnte nun aber von den festen Theilen der Erdoberfläche nicht aufgenommen werden, ohne auch bedeutende Veränderung in ihrer Vertheilung hervorzurufen.

Ich finde hierin die erste und wichtigste Ursache für die jetzige Gestaltung der Continente.

55) Wir finden das Festland der Erde in verschiedene Ländermassen abgetheilt, die sich in vorherrschend meridionaler Richtung ausdehnen. In dieser nähern sie sich dem Nordpole ungleich mehr als dem Südpol. Ihre Südenden sind zugespitzt und felsig, die Nordenden breit und niedrig; daher wir die Meere südlich vom Aequator sehr ausgedehnt und unmittelbar mit einander verbunden, diejenigen auf der nördlichen Halbkugel hingegen viel kleiner, buchtenartig von Land umgeben, und nur durch enge Strassen mit einander zusammenhängend finden.

56) Die jetzige Gestaltung der Meere wirkt darauf hin, den hier bezeichneten Charakter unserer Continente fortan noch schärfer auszuprägen.

57) Die Grösse der fluthherregenden *Kraft* hängt zwar von der Stellung der sie erzeugenden Gestirne ab. Wir haben oben gesehen (§ 25), dass die Kraft, welche die Zenithalfluthen erzeugt, k_z, stets etwas grösser ist, als diejenige, k_n, welche zur Erregung der Nadirfluthen dient. — Dieser Unterschied ist sehr klein für die Wirkung der Sonne, beträchtlich grösser für diejenige des Mondes.

58) Dagegen ist noch eines andern Umstandes zu erwähnen, welcher bei der Sonne für die Zenithalfluthen ein merkliches Uebergewicht bedingt. Die, namentlich unter den Tropen — dem Hauptschauplatz der Flutherregung — beträchtlichen, regelmässigen Oscillationen des Barometers zeigen nämlich bald nach der Culmination der Sonne den tiefsten Stand der Quecksilbersäule.

Dieses Sinken des Barometers, wohl zum grössten Theil durch das Aufsteigen der erwärmten Luftsäule erzeugt, welche hierauf oben zur Seite abfliesst, muss ein Steigen des Wassers zur Folge haben, und dadurch die Zenithalfluth der Sonne, gegenüber ihrer Nadirfluth, vergrössern.

59) Im Neumonde fallen die Zenithalfluthen der Sonne und des Mondes zusammen, und erzeugen daher eine höhere Gesammtfluth als zur Zeit des Vollmondes, wo die kleinere Nadirfluth der Sonne mit der Zenithalfluth des Mondes zusammentrifft. Dieser Unterschied zwischen den Fluthen des Voll- und Neumonds ist von Laplace in den Beobachtungen von Brest nachgewiesen worden. (Expos. du Syst. du monde II pag. 200, Ed. in 8°.)

60) Die flutherregenden Gestirne befinden sich nun entweder 1) im Aequator, oder sie haben 2) südliche, oder aber 3) nördliche Declination. — Befindet sich ein solches im Aequator, so wird es auf beide Hemisphären im Norden und Süden des Aequators eine gleiche flutherregende Kraft ausüben. — Hat das flutherregende Gestirn dagegen südliche Declination, so befindet sich die von ihm herrührende Zenithalfluth auf der südlichen, seine Nadirfluth auf der nördlichen Halbkugel. Seine flutherregende Kraft wird daher auf der südlichen Halb-

kugel überwiegen. — Für eine nördliche Declination endlich des flutherregenden Gestirns werden die Zenithalfluthen der nördlichen, die Nadirfluthen der südlichen Halbkugel zukommen, und daher die flutherregenden Kräfte auf der nördlichen Halbkugel vorherrschen.

61) Während aber solcherweise die flutherregenden *Kräfte* je nach der Stellung der sie erzeugenden Gestirne bald auf der nördlichen, bald auf der südlichen Halbkugel vorherrschen, ist dieses nicht auch mit ihren *Wirkungen* der Fall.

In Folge der Beschaffenheit der beiden Meereshälften ist der *Effect* der flutherregenden Kräfte auf der südlichen Halbkugel stets der grössere. Die entstehende Fluth ist nämlich um so mächtiger, je tiefer und ausgedehnter die zu bewegenden Meere sind, und je unmittelbarer sie miteinander zusammenhängen.

Daher wird selbst dann, wenn die flutherregende *Kraft* auf der nördlichen Halbkugel vorherrscht, die *Wirkung* der etwas geringeren Kraft, welche die Südfluth erzeugt, auf die südlichen Meere überwiegen. Wir werden also auch bei nördlicher Declination des Mondes vorherrschende Südfluthen haben.

Dagegen werden diese kleiner ausfallen als diejenigen Südfluthen, welche der Mond bei südlicher Declination erzeugt.

62) Die zu verschiedenen Zeiten in der Erhebung der Südfluthen stattfindende Differenz ist aber auch in der nördlichen Halbkugel wahrnehmbar. — Je höher nämlich die Südfluth ansteigt, desto höher ist auch die sekundäre Fluthwelle, welche sie zwischen den meridional gerichteten Küsten der Continente hindurch nach

Norden entsendet. Es wird daher auch die nach der Nordhalbkugel gelangende Partialfluth bei südlicher Declination des Mondes höher als bei nördlicher, was auch die Beobachtungen von Brest wirklich bestätigt haben. (S. Laplace a. a. O.)

63) Da nun für nördliche wie für südliche Declination der Gestirne stets die Südfluth überwiegt, so wird sie auch stets jene nach Norden strömende Partialfluth erzeugen, durch welche uns die Wirkung in die europäischen Gewässer gebracht wird erst lange, nachdem deren Ursache zu wirken aufgehört hat.

64) Das bewegte Wasser nimmt nun aber von dem Bette, in dem es strömt, Sandtheile auf, die es wieder fallen lässt da, wo es seine Geschwindigkeit verliert.

Die endliche Wirkung dieser Partialfluthen muss daher in der Folge der Jahrtausende eine Vertiefung der südlichen Meere, Zuspitzung und Abnagung der in sie hineinragenden Länder, und Ablagerung der hier entführten Sandmassen auf dem Grunde und an den Küsten der nördlichen Meere sein.

---

65) Wenn ich im Vorhergehenden gezeigt habe, wie durch die jetzige Configuration des Festlandes unserer Erdoberfläche die in § 55 näher bezeichnete Gestaltung ihrer Continente immer weiter ausgebildet werde, so will ich jetzt die Aufmerksamkeit auf die allfälligen Ursachen lenken, welche aus dem Urzustande die jetzige Configuration der Erdoberfläche herbeiführen konnten.

66) Denken wir uns im Urzustand das Meer gleichförmig über die ganze Erdoberfläche, daher symmetrisch in Beziehung auf den Aequator vertheilt. — In diesem Zustande wird der Einfluss der flutherregenden Kräfte abwechselnd bald die Südfluthen, bald wieder die Nordfluthen überwiegen machen in regelmässig wiederkehrenden Perioden. — Diese Perioden sind aber von sehr ungleicher Dauer.

67) Würde der Mond mit gleichförmiger Bewegung in einem Kreise um die Erde als Mittelpunkt seine Revolution in einem Monat vollenden, so hätten wir in der einen Hälfte dieser Zeit südliche, in der andern nördliche Declination des Mondes, und jede würde eine, gleichstark überwiegende, entsprechende Fluth erst in der südlichen, dann in der nördlichen Halbkugel erzeugen, deren Wirkung sich innerhalb eines Monats ausgleichen müsste.

68) Bewegt sich dagegen der Mond in einer Ellipse um die, im einen Brennpunkt befindliche, Erde, mit der ihm zukommenden ungleichförmigen Bewegung, und hat er z. B. in seinem Perigäum die grösste südliche Declination, so hat er in seinem nächsten Apogäum die grösste nördliche. — Es ist dann die Zeit, während welcher er südliche Declination hat, zwar etwas kürzer als diejenige, in der seine Declination eine nördliche ist. Allein die flutherregende Wirkung im Perigäum, zur Zeit der grössten südlichen Declination, ist merklich grösser als diejenige im Apogäum bei der grössten nördlichen Declination. — Es ist demnach für diese Revolution die Wirkung zur Erhebung der Südfluthen im Ganzen grösser. Heisst nämlich e die Excentricität der Mondbahn, so ist

das Verhältniss der beiden Zeiten, in denen der Mond erst südliche dann nördliche Declination hat $\frac{1 - \frac{4e}{\pi}}{1 + \frac{4e}{\pi}} = 1 - \frac{8e}{\pi}$, während dasjenige der beiden flutherregenden Kräfte im Perigäum und im Apogäum $\frac{1 + 3e}{1 - 3e} = 1 + 6e$ ist. —

69) Das gleiche Vorherrschen der Südfluthen wird stattfinden, so lange die Erdachse und die Apsidenlinie der Mondbahn dieselbe Lage haben. — Allein während erstere ihre Lage nahezu unverändert erhält, bewegt sich letztere in 8,85 Jahren einmal im Kreise herum, so dass schon nach etwa $4\frac{1}{2}$ Jahren die grösste südliche Declination des Mondes mit seinem Apogäum zusammenfällt: für welche Stellung während eines Umlaufes umgekehrt ein kleines Vorherrschen der Nordfluthen eintritt. Es wird daher innerhalb eines Umlaufes der Apsidenlinie, d. h. in 8,85 Jahren das Vorherrschen der Nordfluthen des Mondes das vorangegangene Vorherrschen seiner Südfluthen ausgleichen.

70) Auf analoge Weise werden die Sonnenfluthen auf der Südhalbkugel vorherrschen, so oft die Sonne südliche Declination hat, und umgekehrt. Für eine kreisförmige Sonnenbahn mit gleichförmiger Bewegung würden sich ihre Wirkungen je nach einem Jahre ausgleichen.

71) Für die Bewegung der Sonne in elliptischer Bahn um die im einen Brennpunkt befindliche Erde wird dagegen, so oft und so lange die Sonnennähe mit ihrer

südlichen Declination zusammenfällt, im Durchschnitte jedes Jahres ein kleines Vorherrschen der Südfluthen stattfinden, welches erst dann einem durchschnittlichen Vorherrschen der Nordfluthen wiederum Platz machen könnte, wenn die Sonnennähe mit ihrer südlichen Declination zusammenfiele.

72) Da die Excentricität der Sonnenbahn $e = 0{,}0167$ beträgt, so ist das Verhältniss der flutherregenden Kraft der Sonne in der Sonnennähe zu derjenigen in der Sonnenferne $= \frac{1 + 3e}{1 - 3e} = \frac{1{,}05}{0{,}95} = \frac{21}{19}$.

73) Gegenwärtig fällt die Sonnennähe beinahe mit dem kürzesten Tag (der grössten südlichen Declination der Sonne) zusammen. Es würde daher gegenwärtig jedes Jahr ein durchschnittliches Vorherrschen der Südfluthen stattfinden, auch wenn die Gewässer in Bezug auf den Aequator symmetrisch vertheilt wären.

74) Allein es sind zwei Ursachen vorhanden, welche nach langer Zeit diesen gegenwärtigen Zustand ändern:

Die erste ist eine, der obigen analoge, Bewegung der Apsidenlinie der Sonnenbahn, vermöge der sich das Perigäum der Sonne, im Sinne der Sonnenbewegung selbst, jährlich um 11,79 Bogensekunden fortbewegt, so dass es in 110 Jahrtausenden einmal seinen Kreislauf vollenden würde.

75) Die zweite Ursache ist die Bewegung des Nordpols unserer Erdachse um den Pol der Ecliptik, um welchen jener, der Sonnenbewegung entgegen, jährlich einen Winkel von 50,10 Sekunden beschreibt, und somit in 25868 Jahren wiederum seiner ersten Stellung parallel sein würde.

76) Ist u die Zahl von Jahren, nach welchen Sonnennähe und kürzester Tag, nachdem sie sich allmählig von einander entfernt, wiederum zusammenfallen, so werden: $11'',79 \cdot u$ und $50'',10 \cdot u$ die Winkel sein, um welche sich die Absidenlinie und die Projection des Nordpols auf der Ecliptik während dieser Zeit bewegt haben. Da ihre Bewegungen entgegengesetzte Richtung haben, so muss die Summe dieser Winkel einer Kreisperipherie, d. h. 1296000 Bogensekunden gleichkommen. Man hat daher $u = \frac{1296000}{61,89} = 20940$ Jahren.

77) Es würde also während 10 Jahrtausenden jedes Jahr ein durchschnittliches Vorherrschen der Südfluthen stattfinden, während in den darauf folgenden 10000 Jahren ein durchschnittliches Vorherrschen derjenigen Kräfte eintreten müsste, welche die Nordfluthen den Südfluthen überwiegen machen im Falle symmetrischer Vertheilung der Gewässer.

78) Nehmen wir nun an, es hätte in irgend einer Epoche der Vorzeit die symmetrische Vertheilung der Gewässer, die wir als Urzustand bezeichnet haben, wirklich existirt, vielleicht zur Zeit des ersten Niederschlags der Gewässer auf die hinreichend erkaltete Erdrinde; so ist von zweien Eines das Wahre: Die Epoche dieses Urzustandes muss in die erste oder aber in die zweite Hälfte einer solchen Periode von 2 Myriaden Jahren gefallen sein. Konnte die erste Myriade zuerst ihre Wirkung auf die in jenem Urzustande befindlichen Gewässer ausüben, so war sie ohne Zweifel genügend, um durch die vorherrschende Erregung der Südfluthen die Südmeere etwas zu vertiefen, und den hier weggeschwemmten Schlamm des viel-

leicht noch nicht sehr festen Meerbodens auf der Nordhalbkugel abzusetzen.

79) Diese Gestaltveränderung des Meerbodens war vielleicht hinreichend, um schon in der zweiten Myriade das Vorwalten der Nordfluthen unmöglich zu machen, wenn die Gestaltung des Meerbodens bereits die Bildung der Südfluthen hinreichend unterstützte; oder sie bewirkte wenigstens eine solche Verminderung des Effectes der noch vorwaltenden Nordfluthen, dass er die bodengestaltenden Wirkungen der ersten Myriade nicht mehr verwischen konnte.

So musste die, im Sinne der ersten wirkende, dritte Myriade eine um so stärkere Wirkung ausüben, und jede spätere ungrade Myriade die ihr vorangehende ungrade übertreffen in dem Erfolg des Bestrebens, die jetzt vorhandene Vertheilung des Festlandes anzubahnen. Es musste hierauf jedes, auch nur temporäre, Vorherrschen der Nordfluthen durch die Erweiterung der Südmeere und das Seichterwerden der Nordmeere unmöglich werden, und zuletzt durch ein beständig gewordenes Vorherrschen der Südfluthen deren Wirkung den Meeresboden mit immer rascheren Schritten seiner jetzigen Gestaltung entgegenführen.

80) Um also die jetzige Oberflächengestalt der Erde in ihren Grundzügen als ein unmittelbares Resultat cosmischer Wirkungen darzustellen, habe ich nur von zweien Eines anzunehmen: dass nämlich der ersten Bildung der Meere über der regelmässig gerundeten Erdrinde die erste Hälfte jener genannten Periode von zwei Myriaden gefolgt sei.

VII.

81) Betrachten wir zum Schlusse den Einfluss, den die durch die Attraction der Erde erzeugte Fluth eines ehemaligen Mondmeeres auf die Verzögerung der Rotation des Mondes haben musste.

82) Der Mond besitzt bei seiner gegenwärtigen Rotationsdauer $T_{,} = 2360580$ Sekunden, die Arbeit $A_{,} = \frac{16 \cdot \pi^3 \cdot R_{,}^5 \cdot \Delta_{,}}{15 \cdot g \cdot T_{,}^2}$. (Vergl. § 14 und 46.)

83) Die Grösse $\Delta_{,}$ ist uns unbekannt, da wir die Dichte der Mondrinde nicht kennen. — Um zu einem wahrscheinlichen Werthe von $\Delta_{,}$ zu gelangen, setzen wir $\Delta_{,} = 0{,}619\ \Delta$, wo 0,619 das Verhältniss der mittleren Monddichte zur mittleren Erddichte ist. Es ist dann $\Delta_{,} = 2915$.

84) Besass der Mond in einer frühern Epoche bei derselben Revolutionsdauer $T_{,}$ die kürzere Rotationsdauer T', so war, wenn wir seine Dimensionen als unverändert betrachten, die von ihm damals besessene Arbeit $A' = A_{,} \frac{T_{,}^2}{T'^2}$, und die Arbeit, die ihm genommen werden musste, damit seine Rotationsdauer T' um $\tau = 0{,}01$ Sekunden verlängert werde: $B' = A' \frac{2\tau}{T'}$.

85) Die Zeit, welche in jener Epoche die Erde gebrauchte, um in denselben Meridian des Mondes zurückzukehren, war $T' + t'$, wo t' die Zeit ist, die der Meridian des Mondes, nachdem er eine siderische Rotation vom Winkel 2π in der Zeit T' vollendet hat, gebraucht, um einen Winkel ε zu durchlaufen, der demjenigen gleich ist, den der Mond selbst in seiner Bahn um die Erde durch-

läuft während der ganzen Zeit $T' + t'$. — Es verhält sich daher: $\frac{\varepsilon}{2\pi} = \frac{t'}{T'} = \frac{T' + t'}{T_{,}}$, woraus: $T' + t' = \frac{T_{,} T'}{T_{,} - T'}$ folgt.

86) Diese Zeit der Rückkehr der Erde zum gleichen Meridian des Mondes, $T' + t'$, wird um so grösser, je kleiner $T_{,} - T'$ wird, und vergrössert sich daher in einem stärkeren Verhältnisse als T'; denn so wie T' sich dem Werthe $T_{,}$ nähert, so wird $T' + t'$ unendlich gross. In diesem, beim Monde gegenwärtig eingetretenen, Falle bleibt die Erde stets in demselben Meridian des Mondes, und die von der Erde erzeugte Fluth eines supponirten Mondmeeres würde stehend, sie hätte also keine Bewegung relativ zum Monde selbst. — Nehmen wir die Rotationsdauer des Mondes in jener früheren Epoche T' gleich der jetzigen unserer Erde $T = 86164''$ an, so wird $T_{,} - T' = 2274416''$ und $T' + t' = 89430''$.

87) Ein Punkt des Mondäquators hatte dannzumal, wenn er dem flutherregenden Gestirn, der Erde, folgte, die Geschwindigkeit $V' = \frac{2\pi R_{,}}{T' + t'}$ relativ zum festen Monde. Ist $H_{,}$ die Aequatorialhöhe der auf dem Mondmeere entstehenden Fluth, welche die Anziehung der Erde erzeugt, und $\gamma_{,}$ das Gewicht von ein Cubikmeter der Flüssigkeit des Mondmeeres, so ist $X' = \frac{2 H_{,} R_{,}^2 \gamma_{,}}{2g} \frac{7}{9} \left(\frac{2\pi R_{,}}{T' + t'}\right)^2$ die Arbeit, welche die, in der Zeit $T' + t'$ den Kreislauf um den Mond vollendende, Flüssigkeitsmasse $2 H_{,} R_{,}^2 \gamma_{,}$ besass, wenn die Bewegung auf diese Masse beschränkt blieb. (Vergl. § 34 — 36.)

88) Theilte sich aber auch hier die Bewegung einer 4000mal grösseren Flüssigkeitsmasse mit, und denkt man

sich die vom Mondmeere besessene Arbeit durch schon erstarrte oder aufgewühlte Massen festen Landes ebenfalls auf ²/₃ ihres Werthes reducirt, so erhält man das dem Mondmeere zukommende Arbeitsvermögen $Y' = \frac{X'}{6000}$ (Vergl. § 38 — 42).

89) Nehmen wir (analog wie in § 44) an, dass in der Zeit $T' + t'$ der Flüssigkeit des Mondmeeres ihre Geschwindigkeit ganz wäre genommen worden durch die festen Barrieren, gegen die sie sich bewegte, so wie, dass in dieser gleichen Zeit die zerstörte Geschwindigkeit neuerdings erzeugt werden könnte (§ 43); so darf man auch annehmen, dass in jeder Zeit von der Länge $T' + t'$ die Gewässer des Mondes wirklich die ganze Arbeit Y' an den rotirenden Mond abgaben. Die in einem Jahrtausend, oder $\mathfrak{T}$ Sekunden gegen die Rotation des Mondes verwendete Arbeit ist alsdann: $Z' = Y' \frac{\mathfrak{T}}{T' + t'}$.

90) Es ist aber $100\, B' = 2 \frac{A'}{T'}$ die Arbeit, die der Mond abgeben müsste, um seine Rotationsdauer T' um eine Sekunde zu vergrössern.

91) Die retardirende Wirkung der von der Erde erzeugten Mondfluth, d. h. die während eines Jahrtausends von ihr zu Stande gebrachte Verlängerung der Rotationsdauer von $T' = 86164$ Sekunden, war daher $\varrho' = \frac{Z'\, T'}{2 A'} = \frac{35\, \mathfrak{T}}{144\, \pi\, \varDelta_{,}} \left(\frac{T'}{T' + t'}\right)^3 \frac{H_{,}}{R_{,}}$ Sekunden, wo $\gamma_{,} = \gamma = 1000$ gesetzt ist.

92) Die von der Erde erzeugte Aequatorialfluthhöhe $H_{,}$ des Mondmeeres war aber beträchtlich grösser als auf der Erde die vom Mond herrührende ist.

Die Erde übt auf den Mittelpunkt des Mondes die Anziehung $g\,\frac{R^2}{D'^2}$ aus, auf den der Erde nächsten Punkt der Mondoberfläche aber die Anziehung: $g\,\frac{R^2}{(D' - R_,)^2}$; die Kraft, welche die Gestaltveränderung der flüssigen Hülle des Mondes bewirkte, wird daher: $k_, = 2\,g\,\frac{R^2 R_,}{D'^3}$.

93) Die Fluthhöhe des Mondmeeres hängt aber auch von dem Radius des Mondes ab. Wir finden dieselbe nach § 29 für den Fall des Gleichgewichts:

$$h_, = \frac{k_,}{2\,g}\,R_, = \frac{R^2 R_,^2}{D'^3}.$$

94) Für den Bewegungszustand ist sie höher und gleich $H_, = b_, h_,$ (vergl. § 31 und 46), wo $b_, = b = 1.788$ angenommen werden mag.

95) Man hat also $\frac{H_,}{R_,} = b_,\left(\frac{R}{D'}\right)^3 \frac{R_,}{R}$, woraus sich:

$$\varrho' = \frac{35 \,.\, b_,\, \mathfrak{T}}{144 \,.\, \pi \,.\, \varDelta_,} \left(\frac{R}{D'}\right)^3 \frac{R_,}{R} \left(\frac{T'}{T' + t'}\right)^3 \text{ ergibt.}$$

Da $\frac{R_,}{R} = 0{,}264$, so erhält man für $T' = 86164$ Sekunden, wenn $\gamma_, = \gamma$, $b_, = b$ und $\varDelta_, = 0{,}619\ \varDelta$ gesetzt wird, da $\mathfrak{T} = 31557$ Millionen Sekunden ist: $H_, = 3^m{,}674$ und: $\varrho' = 1{,}637$ Sekunden.

96) Die retardirende Wirkung der von der Erde herrührenden Fluth des früheren Mondmeeres auf die Rotation des Mondes war daher 24mal grösser als diejenige, welche das Meer der Erde gegenwärtig auf die Rotation der Erde ausübt.

Wir haben nämlich: $\frac{\varrho'}{\varrho} = \frac{\Delta}{\Delta_{\prime}} \frac{R}{R_{\prime}} \frac{H_{\prime}}{H}$, wo

$\frac{\Delta}{\Delta_{\prime}} = 1{,}615$, $\frac{R}{R_{\prime}} = 3{,}788$, $\frac{H_{\prime}}{H} = 3{,}95$, also $\frac{\varrho'}{\varrho} = 24{,}17$.

97) Der Ausdruck: $\varrho' = \frac{35\,\mathfrak{T}}{144\,\pi\,\Delta_{\prime}} \frac{H_{\prime}}{R_{\prime}} \left(\frac{T_{\prime} - T'}{T_{\prime}}\right)^3$ (vergl. § 86) zeigt uns, dass die, die Rotation des Mondes retardirende, Wirkung der Erde ϱ' immer kleiner wird, wenn T' allmälig bis $T_{\prime}$ wächst, und verschwindet für $T' = T_{\prime}$. — Der Mond wird also um so länger bei einer bestimmten Rotationsdauer verweilen, je näher sie dem Werthe von $T_{\prime}$ gekommen ist. — Es hat daher die Annahme grosse Wahrscheinlichkeit, dass seine Oberfläche, oder das ihn bedeckende Flüssigkeitsmeer zu einer Zeit erstarrt sei, in der seine Rotationsdauer bereits nicht mehr ferne war von $T_{\prime}$.

98) Wenn die Fluth des Mondmeeres sich im erstarrten Zustande befand, als seine Rotationsdauer dem Werthe $T_{\prime}$ schon nahe gekommen war, so wurden bei dieser geringen relativen Geschwindigkeit die erstarrten, nunmehr fest mit dem Mondkörper verbundenen, Fluthberge selber ein Mittel, durch welches die Rotationsdauer dem Werthe $T_{\prime}$ gleich wurde.

99) Man muss nämlich auch jetzt wieder die Attractionskraft, welche die Erde auf jeden Punkt des, auch an der Oberfläche erstarrten, Mondes ausübt, um diejenige verringern, mit der sie auf seinen Schwerpunkt wirkt. Man erhält dadurch mit $k_{\prime}$ (§ 92) analoge Kräfte, welche für den festgewordenen Mond nicht mehr formverändernd sein können, dagegen nunmehr *zur Bewegung um seinen Schwerpunkt* dienen müssen. — Wir können statt aller

derjenigen analogen Kräfte, welche gegen die Erde hinziehen, eine Resultirende gesetzt denken, die ihren Angriffspunkt in einem Punkte Z der zur Erde gekehrten Mondhälfte hat; und ebenso den Kräften, welche in entgegengesetzter Richtung auf die von der Erde abgewendete Mondhälfte wirken, eine Resultirende substituiren, deren Angriffspunkt N in diese Mondhälfte fällt, und welche darauf einen von der Erde weg gerichteten Zug ausübt.

100) Diese beiden, auf Z und N entgegengesetzt wirkenden, resultirenden Kräfte bilden ein eigentliches Couple, d. h. sie sind einander stets gleich und parallel. In der That würde jede Abweichung von ihrer Gleichheit oder von ihrem Parallelismus eine resultirende Kraft erzeugen, welche nicht mehr eine Bewegung des Mondes um seinen Schwerpunkt, sondern vielmehr eine Verrückung dieses Schwerpunktes selbst zur Folge hätte, die ihn aus derjenigen Bahn heraustreiben würde, welche die auf alle Punkte des Mondes gleichstark wirkenden Kräfte ihm anweisen.

101) Die beiden Mittelpunkte paralleler Kräfte, die wir Z und N genannt haben, werden auf einer durch den Schwerpunkt M des Mondes gelegten Geraden liegen, welche dann, wenn diese Kräfte sich Gleichgewicht halten, gegen den Erdmittelpunkt E gerichtet ist.

102) Hat die Rotationsdauer des Mondes T' noch nicht den Werth $T_{,}$ erreicht, so bewegt sich die Linie ZN desselben gegen die Linie ME, indem sie, sich um ihren Mittelpunkt M drehend, den Winkel, den sie mit ME bildet, in der Zeit $\frac{T_{,}\, T'}{T_{,} - T'}$ um 360 Grade vergrössert. Diese „*relative*“ Bewegung von ZN gegen ME hört auf, sobald $T' = T_{,}$ geworden ist.

103) Bewegt sich nun ZN, relativ zu ME, aus der zu ME parallelen Lage heraus, so fängt das Couple sogleich an, zu wirken, indem es den Mond rückwärts zu drehen sucht, so dass sich die Gerade ZN wieder der Richtung ME nähert. Es wird dadurch die Rotation des Mondes retardirt, bis die Linie ZN senkrecht auf ME steht. In diesem Augenblick ist das Couple selbst wieder gleich Null geworden, indem zwar sein Hebelarm ein Maximum, die Kräfte selbst aber verschwindend klein geworden sind. — So wie nun die Linie ZN die zu ME senkrechte Lage überschritten hat, und sich nun von der andern Seite der, mit ME parallelen, Lage nähert, so wächst neuerdings das Drehungsmoment des Couples, welches jedoch in einem dem vorigem entgegengesetzten Sinne wirkt, und nun ebenso sehr die Rotation des Mondes accelerirt, als es sie vorher verzögert hatte. — Der gleiche sich compensirende Wechsel von Retardation und Acceleration der Rotationsgeschwindigkeit findet in der zweiten Hälfte der relativen Rotationsbewegung der Linie ZN statt.

Es würde also die mittlere Rotationsgeschwindigkeit des Mondes relativ zur Linie ME durch dieses Couple nicht geändert, so lange noch eine hinreichend schnelle Rotation diesen unveränderten Wechsel der Wirkungen möglich macht.

104) Wenn aber durch andere Ursachen die Dauer der relativen Rotation dermassen verlängert worden ist, dass während demjenigen Viertel derselben, in welchem die Linie ZN aus der mit ME parallelen in die dazu senkrechte Lage übergeht, die Wirkung des Couples hinreicht, dem Monde seine ganze *relative* Rotationsgeschwindigkeit zu nehmen, noch ehe diese Viertelum-

drehung vollendet ist, so wird es auch dazu dienen, die relative Bewegung von ZN gegen ME rückgängig zu machen. — Die absolute Rotationsbewegung des Mondes fährt in Folge dessen fort, retardirt zu werden, wird jedoch keineswegs selbst rückgängig. — Mit Bezug auf die Linie ME hingegen beginnt die Linie ZN, von nun an, eine pendelnde Bewegung. So wie nämlich ZN wieder über ME zurückgegangen ist, so wirkt das Couple, indem es von Neuem die Linie ZN nach ME zurückzuziehen strebt, wiederum zur Beschleunigung der Rotation. — So wird auch jetzt noch deren Acceleration mit der Retardation abwechseln, und die mittlere Rotationsdauer, welche nunmehr auf $T_{,}$ gestiegen ist, bleibt unabänderlich auf diesem Werthe, so lange die Revolutionsdauer ihren Werth nicht ändert.

105) Die pendelnde Bewegung um die stets wechselnde Ruhelage kann in dieser Weise fortdauern, so dass man die Mitte der Mondscheibe bald zur Linken bald wieder zur Rechten oscilliren sehen würde. — Die Dauer einer Oscillation ist um so länger, je kleiner das Drehungsmoment unsers Couples ist.

Die Untersuchungen von Wichmann haben gezeigt, dass sich diese pendelnde Bewegung am Monde wenigstens bis jetzt noch nicht nachweisen lasse.

106) Zwar sehen wir allerdings den Mittelpunkt der Mondscheibe innerhalb einer Revolutionszeit kleine Bewegungen zur Rechten und zur Linken machen; allein diese sind vielmehr die Folge seiner constanten Rotationsgeschwindigkeit in Combination mit der nicht constanten Revolutionsbewegung in der elliptischen Bahn.

Da nämlich, wenigstens innerhalb einer Revolutionsdauer des Mondes, seine Rotationsbewegung constant bleibt, die Winkelbewegung des von der Erde zum Monde gezogenen Radius vector dagegen sich sehr merklich ändert (sie ist im Perigäum 1 + 4 . e = 1,22mal grösser als im Apogäum); so macht ein abwechselndes relatives Vorherrschen bald der Rotations- bald der Revolutionsbewegung, dass auch respective bald der linke (östliche), bald der rechte (westliche) Rand des Mondes etwas Weniges der Mitte sich nähert, so dass auch kleine Theile der Mondoberfläche für uns sichtbar werden, die jenseits der mittleren Sichtbarkeitsgrenze liegen. — Diese Schwankungen rühren also nicht von einer veränderten Rotationsgeschwindigkeit des Mondes her, sondern sind nur die Folge der ungleichförmigen fortschreitenden Bewegung desselben um die Erde. Diese bewirkt zwar ebenfalls, dass das besprochene Couple wieder zu wirken beginnt, indem seine Kräfte aus der Gleichgewichtslage heraustreten. Allein das Couple, dessen Drehungsmoment ohnehin stets sehr klein bleibt, vermag in der kurzen Zeit einer halben Revolution keinen wahrnehmbaren Effect hervorzubringen.

107) Die Revolutionsdauer des Mondes erleidet nun aber ihrerseits eine säculäre, d. h. sehr langsame Veränderung und zwar gegenwärtig eine allmählige Verkürzung. — Würde der Mond seine Rotationsdauer unverändert beibehalten, so müsste hiernach zuletzt wieder eine relative Bewegung eintreten, und die Erdbewohner würden nach sehr langer Zeit auch einmal die andere Seite der Mondoberfläche zu sehen bekommen. — Allein hier würde auch gleich jenes Couple wieder wirksam werden, und bei der langen Dauer seiner Wirkung kann der Erfolg nicht ausbleiben, demzufolge die Rotationsdauer stets der Revolutionsdauer gleich bleiben muss,

und wir Erdbewohner auch in der Folge der Jahrtausende nie die Rückseite des Mondes sehen werden.

108) Es ist also, nach Lagrange's schöner Conception, wie wir gesehen haben, die besondere, von der des Rotationsellipsoids abweichende Gestalt des festen Mondes, welche diese Bewegungsverhältnisse bedingt, die man unter dem Namen der Libration begreift, zusammen mit dem beständigen Zusammentreffen zweier Linien, nämlich der Schnittlinie des Mondäquators mit der Ebene der Mondbahn, und der Linie, in welcher die Mondbahnebene die Ecliptik schneidet.

Diese Gestalt des Mondes kommt derjenigen eines dreiachsigen Ellipsoids nahe. Der Aequator des Mondes ist kein Kreis, sondern nähert sich einer Ellipse, deren grössere Achse der Erde zugekehrt ist, während die kleinere selbst wieder grösser ist, als die Rotationsachse des Mondes um eine Grösse, welche man die Abplattung nennt, und welche wegen der sehr geringen Rotationsgeschwindigkeit des Mondes nur wenige Fuss beträgt, während der Ueberschuss der grossen Achse des Mondäquators über die kleine Achse desselben das Vierfache beträgt.

109) Wir finden nämlich die Centrifugalkraft am Aequator des Mondes $p_{,} = \frac{4\pi^2}{T_{,}^2} R_{,}$, während § 92 die Kraft $k_{,} = 2g \left(\frac{R}{D'}\right)^3 \frac{R_{,}}{R}$ gefunden wurde. Es ist sonach letztere $\frac{k_{,}}{p_{,}} = \frac{2g}{4\pi^2} \left(\frac{R}{D'}\right)^3 \frac{T_{,}^2}{R} = 2{,}014$mal grösser als erstere.

Wenn wir daher der Kraft k, die nur halb so grosse Centrifugalkraft am Mondäquator p, substituirt denken, die vorerst ebenfalls gegen einen bestimmten Meridian hin bis auf Null abnehmen soll, so würde die grösste Erhebung der noch flüssig gedachten Mondoberfläche über der durch die Pole gelegten Kugelfläche nur $\frac{H_{\prime}}{2}$ betragen. — Wirkt aber diese Kraft rundum auf alle Punkte des Aequators gleichmässig, so wird der Wellenberg (§ 32) auf allen Punkten des Aequators gleiche Höhe haben, und nur noch gegen die Pole hin abfallen. Seine Höhe über der durch die Pole gelegten Kugeloberfläche, welche vorher von Null bis $\frac{H_{\prime}}{2}$ gleichmässig anstieg, wird daher auf dem ganzen Aequator nunmehr den Werth $\frac{H_{\prime}}{4}$ bekommen, und dieses würde, unserer elementaren Betrachtung gemäss, der Werth der von der Centrifugalkraft herrührenden Abplattung.

110) Für die hier erläuterten Bewegungsverhältnisse der Rotation des Mondes finde ich keine passendere Analogie als diejenige einer Magnetnadel, die unter dem Einfluss des Erdmagnetismus um eine vertikale Achse rotirt. — Würde sie ohne Reibung und Luftwiderstand ihre Rotationen vollenden, so müsste sie innerhalb jeder Rotation ein periodisches Abnehmen und Wachsen ihrer Geschwindigkeit zeigen, ohne die Dauer einer Rotation zu verändern. Vermindern aber Achsenreibung und Luftwiderstand die mittlere Rotationsgeschwindigkeit, so wird zuletzt eine halbe Rotation so lange dauern, dass während dieser Zeit das Couple der

erdmagnetischen Kräfte die Nadel ganz zur Ruhe bringt, und dann rückwärts ihrer Ruhelage entgegenführt; worauf die gewöhnlichen Pendelschwingungen der Nadel eintreten, und ebenfalls nur in Folge von Reibung und Luftwiderstand — zuletzt das Stillestehen in der Ruhelage erfolgen müsste.

111) Wollte man dem Schwerpunkte der Magnetnadel selbst eine Revolutionsbewegung und der Gleichgewichtslage derselben eine stets wechselnde Lage geben, so könnte man leicht die Achse der Nadel in einer darauf senkrechten Ebene um den festen Pol eines starken Magneten rotiren lassen, neben dessen anziehender und abstossender Wirkung die Richtkraft des Erdmagnetismus verschwindend klein würde.

112) Ich habe einen Apparat*) construiren lassen, der diese Bewegungserscheinungen ebenfalls darzustellen geeignet ist.

Eine cylindrische Holzscheibe dreht sich mittelst Spitzen, die in einem Rahmen laufen, um ihre vertikale Achse. Dieser Rahmen ist auf dem einen Ende eines horizontalen Balkens befestigt, dessen anderes Ende ein Gegengewicht trägt. Durch den Schwerpunkt dieses Systems geht eine vertikale, conisch zugespitzte, Achse, deren unteres Ende auf dem Fuss des ganzen Apparates befestigt ist, und um welche man nun jenes System drehen kann mit Hülfe eines kleinen Griffes, den der Balken trägt. — Die Achse der Holzscheibe trägt einen kleinen Stift, auf dem man die Schlinge eines auf ihr

*) Dieser Apparat wurde in der Sitzung der physikalisch-chemischen Sektion vorgezeigt.

aufzuwickelnden Fadens befestigt. Hält man nun den Balken fest, so kann man durch Abziehen des Fadens der Scheibe eine rasche Rotation ertheilen, und hierauf den Balken um die Achse des Systems rotiren machen.

In die Holzscheibe wurde ein kleines Bleigewicht ausser der Achse befestigt. Dieses veranlasst einen kleinen Ueberschuss der Centrifugalkraft, welcher, die Stelle der Kräfte $k_{\prime}$ (oder ihrer Resultirenden) (§ 99) beim Monde, oder des Magnetismus bei der Magnetnadel vertretend, die Rotation der Scheibe abwechselnd einmal beschleunigt und verzögert in einer Periode, deren Dauer

$\frac{T_{\prime} T'}{T_{\prime} - T'}$ ist, wenn wir, analog § 86, $T_{\prime}$ die Rotationsdauer des Balkens, T' aber diejenige der Scheibe nennen.

113) Ist $T_{\prime}$ constant, und wirken Luftwiderstand und Achsenreibung, der Fluthwirkung des Mondes analog, zur Verlängerung von T', so wird diese Periode zuletzt gross genug, und das Arbeitsvermögen der rotirenden Scheibe hat sich hinlänglich vermindert, dass der Ueberschuss der Centrifugalkraft während der Zeit

$\frac{1}{2}\frac{T_{\prime} T'}{T_{\prime} - T'}$ die, zur Balkenrichtung relative, Geschwindigkeit der Rotation gänzlich zerstört, und die vom Bleigewicht zur Scheibenachse geführte Senkrechte um eine Linie zu oscilliren beginnt, die fortwährend parallel ist mit der Richtung des Balkens. — Nach einiger Zeit haben diese Oscillationen, deren Amplitude durch Reibung und Luftwiderstand allmählig vermindert wurde, auch aufgehört, und die Scheibe hat mit Bezug auf den Balken keine relative Rotation mehr, d. h. sie vollendet ihren Umlauf in derselben Zeit, in welcher der Balken einmal umläuft. — Hält man plötzlich den Balken an, so fährt die Scheibe mit dieser Umlaufszeit zu rotiren fort. *) — Eine blosse Verlangsamerung der Rotationsgeschwindigkeit des Balkens erzeugt ein relatives Voreilen in der Rotation der Scheibe, wodurch neuerdings eine pendelnde Bewegung oder gar eine relative Rotation entsteht. Einen ähnlichen Erfolg in umgekehrter Weise hat die Beschleunigung der Revolutionsbewegung der Scheibe. — Versetzt man dann, wenn Balken und Scheibe zur Ruhe gekommen sind, plötzlich den Balken in Rotation, so zeigt die Scheibe eine gleiche und entgegengesetzte relative Rotation, indem sie eben ohne absolute Rotation verharrt.

114) Zur Erklärung der wunderbaren Uebereinstimmung der Rotations- und Revolutionsdauer des Mondes, welche die Ursache — nicht die Folge — seiner im Vorhergehenden auseinandergesetzten Librationserscheinungen ist, hat man angenommen, dass der ursprünglich sich ellipsoidisch gestaltende Mond von Anfang an eine Rotation gehabt habe, deren Dauer der Revolutionszeit des Mondes *nahe gleich* gewesen sei.

Die Wirkung unsers Couples konnte dann die genaue Uebereinstimmung beider Perioden herbeiführen, indem es eine oscillirende Bewegung erzeugte. — An die Stelle einer Annahme, deren Wahrscheinlichkeit unendlich klein war, welcher zufolge die beiden Perioden *im Urzustande vollkommen übereinstimmend* gewesen wären, hatte man so die Annahme einer *ursprünglich nahen Ueber-*

---

*) Dieser Versuch dürfte sich besonders zur Belehrung derjenigen eignen, welche meinen, der Mond besitze gar keine Rotation, indem sie die absolute mit der relativen Rotation verwechseln.

einstimmung gesetzt, deren Wahrscheinlichkeit immer noch eine sehr kleine ist, und in der That noch kleiner geworden ist, seit man es wahrscheinlich gemacht hat, dass die Uebereinstimmung der beiden Perioden ein, allen Satelliten gemeinsames, Phänomen ist.

Ich glaube ihr die *gewisse* Annahme *eines beliebigen ursprünglichen Verhältnisses zwischen den beiden Perioden* substituiren zu dürfen. Die Wirkung einer, auf der flüssigen Oberfläche des Satelliten entstehenden Fluth musste jene nahe Uebereinstimmung allmählig in der Folge der Myriaden herbeiführen.

115) Es scheint mir sogar wahrscheinlich, dass man als eine nothwendige Folge der Fluthen eine allmählige Verzögerung der Rotation aller, einen Centralkörper umkreisenden, Himmelskörper annehmen müsse. Die Wirkung des Centralkörpers muss um so grösser angenommen werden, je näher der rotirende Körper ihn umkreist. Auf der andern Seite muss die Grösse der Dimensionen und der Masse eines rotirenden Körpers, mit denen das aufzuzehrende Arbeitsvermögen desselben zunimmt, jene Wirkung vermindern. Die Planeten unsers Sonnensystems stehen mit dieser Betrachtung in merkwürdiger Uebereinstimmung, auf die ich zum Schlusse aufmerksam machen will. Die Rotationen der Planeten, soweit uns dieselben bekannt geworden sind, werden nämlich im Allgemeinen um so langsamer, je näher der Sonne sie kreisen; so haben Merkur, Venus, Erde und Mars auffallend kleinere Rotationsgeschwindigkeiten als Jupiter und Saturn. Von den letztern beiden hat zwar der, der Sonne nähere, Jupiter eine Rotationsgeschwindigkeit, die noch grösser ist, als die des ferneren Saturn; allein sein zu

zerstörendes Arbeitsvermögen ist auch ungleich grösser als das des Saturn.

Ebenso ist bei Mars die Rotationsgeschwindigkeit nicht nur nicht grösser, als bei der nähern Erde, wie man erwarten sollte, sondern selbst etwas kleiner. Aber auch diess zeigt sich unsern Betrachtungen entsprechend, da die Masse des Mars mehr als siebenmal kleiner ist als diejenige der Erde, wesshalb die retardirende Wirkung der von der Sonne erzeugten Fluthen des Mars-Meeres in gleicher Zeit einen grössern Effect hervorbringen konnte.

XIV. BEILAGE.

BERICHT
über
die Cretinen-Angelegenheit.

Herr Präsident!
Hochgeachtete Herren!

Die schweizerische naturforschende Gesellschaft hat mich bei ihrer Versammlung in Solothurn im Jahr 1848 beauftragt, die Angelegenheit der Cretinenstatistik neuerdings an die Hand zu nehmen. Indem ich Ihrem Auftrage Folge leistete, ist es mir gelungen, zu den bereits früher eingeforderten Materialien noch so viele neue Berichte einzusammeln, dass das verlangte statistische Material nun nahezu als vollständig betrachtet werden kann, indem nur noch die Berichte aus einem Theile des Kantons Schwyz, dem Kanton Appenzell A. Rh., dem Kanton Tessin, einem Theile des Kanton Wallis und dem Kanton Genf fehlen. Ich glaubte daher mit der vorläufigen systematisch wissenschaftlichen Zusammenstellung des vorhandenen Materiales nicht säumen zu sollen, nicht wissend, ob mir meine Verhältnisse solches späterhin noch gestatten würden, und legte diese Zusammenstellung in der Jedermann leicht zugänglichen schweizerischen Zeitschrift für Medizin, Chirurgie und Geburtshülfe nieder. — Es wurde jedoch eine kleine Anzahl Separatabdrücke davon angefertigt, von denen ich Ihnen hiemit 6 Exemplare mitzutheilen die Ehre habe.

Ob es mir vergönnt sein wird, Ihnen später noch einen vollständigeren Bericht vorlegen zu können, in dem dann namentlich der Aetiologie eine ausführlichere Betrachtung zu widmen wäre, das wird theils davon abhängen, ob noch mehr Material eingehen wird, theils davon, ob meine Privatverhältnisse mir gestatten werden, einer solchen Arbeit die dazu nöthige Zeit zu widmen. Einstweilen ersuche ich Sie, sich mit dieser Arbeit, die ich Ihnen hiemit übersende, begnügen zu wollen.

Genehmigen Sie schliesslich, Herr Präsident! Hochgeachtete Herren! die Versicherung meiner ausgezeichneten Hochachtung.

Zürich, den 30. Juni 1854.

Ihr Ergebenster
Dr. *Meyer-Ahrens.*

XV. BEILAGE.

BERICHT

über

die Bearbeitung der schweizerischen Insekten-Fauna.

Hochgeehrter Herr Präsident!
Hochgeachtete Herren!

Zum vierten Mal nehme ich mir die Ehre, einige berichtende Worte über den Fortgang meines Unternehmens Ihnen vorzulegen, und zwar diesmal nicht sowohl, um Sie zu versichern, dass ich immerfort mit Lust und Muth mein Ziel anstrebe, als vielmehr mich darüber zu erklären, warum ich nicht Thatsachen, sondern nur Berichte für mich sprechen lasse; ja nicht einmal die voriges Jahr der Versammlung in Pruntrut in Aussicht gestellten einfachen Kataloge der Coleopteren und Lepidopteren erschienen sind.

Dieselben Verhältnisse sind sowohl für die Hauptarbeit als für die ebengenannten Vorarbeiten die Ursache der Verzögerung.

Es hat erstens die systematische Bearbeitung der schweizerischen Insekten-Fauna seit einer Reihe von Jahren geruht, während sie in Deutschland, Frankreich und England in ausserordentlicher Entwickelung fortgeschritten ist; es sind desshalb über eine bedeutende Anzahl schweizerischer Insekten-Species neue Untersuchungen und Verständigungen unumgänglich nothwendig geworden, die um so zeitraubender werden, weil ich sie grösstentheils im Auslande suchen muss, da ich im Vaterlande nur wenige Unterstützung darin finde.

Es hat sich zweitens die Gährung einer wesentlichen Umgestaltung in den Systemen noch nicht gesetzt, die nothwendige Verständigung der deutschen mit den beiden andern grossen wissenschaftlichen Mächten ist noch nicht ganz durchgeführt, aber ihrem Abschlusse nahe.

Beziehungsweise auf dies Verhältniss muss ich drittens durchaus den Abschluss neuer monographischer Arbeiten abwarten, wie z. B. die über die Lepidopteren von Herrich-Schäffer in Regensberg, und über die Neuropteren von Dr. Hagen in Königsberg, da ich diesen Autoren die betreffenden Theile der Schweizer-Fauna zur Benutzung stellte, und mich bei meinen Arbeiten auf jene zu berufen habe.

Ich gestehe, dass ich selbst durch die lange Verzögerung der Veröffentlichung, auch nur eines Anfangs meiner Arbeit, mich gedrückt fühle; aber die Ueberzeugung, dass diese dadurch an Brauchbarkeit gewinnen wird, verbunden mit dem Bewusstsein der Gewissenhaftigkeit, beruhigt mich wiederum, und ermuntert mich, Sie, Hochgeachtete Herren, zu bitten, nicht müde zu werden, mir Ihre wohlwollende Unterstützung zu erhalten.

Zugleich sehe ich mich veranlasst, auf einen Druckfehler aufmerksam zu machen, der sich in den Actes de la Société Helvétique des sciences naturelles à Porrentruy 1853 eingeschlichen, es muss nämlich daselbst pag. 223 unterste Zeile heissen: 2000 Species statt 100.

J. J. Bremi-Wolf.