Ueber Aenderungen der Lage der Erdaxe.

Vortrag,

gehalten in der Naturforschenden Gesellschaft zu Görlitz am 13. März 1891

von **Dr. F. Küstner,**

Observator der Königlichen Sternwarte zu Berlin.

Hochgeehrte Versammlung!

Wenn wir von Aenderungen der Lage der Drehaxe der Erde sprechen, so müssen wir vor allem zwei Arten solcher Aenderungen streng unterscheiden: die Axe kann einmal ihre Richtung im Weltenraum ändern und sie kann andererseits ihre Richtung im Erdkörper selbst ändern. Die Aenderungen der ersten Art sind seit alter Zeit bekannt und erforscht, die der zweiten sind erst in neuerer Zeit Gegenstand der theoretischen Betrachtung und erst in den allerletzten Jahren Gegenstand der Beobachtung geworden. Ueber die letzteren, die Lagen-Aenderungen der Axe in der Erde, will ich Ihnen hier vornehmlich berichten; es wird aber zweckmässig sein, wenn wir uns zuvor in aller Kürze auch jene im Weltenraum vorsichgehenden vergegenwärtigen und dem Lauf der geschichtlichen Entwickelung dieses ganzen Forschungs-Gebietes folgen.

Die Richtung der Axe, um welche die Erde rotirt (ich werde dafür, dem gewöhnlichen Sprachgebrauch folgend, oft nur kurz Erdaxe sagen, wir werden aber später noch eine andere Axe zu unterscheiden haben), diese Richtung im Weltenraum ist gegeben durch die Lage des Himmelspoles, des Punktes also an der Sphäre, welcher bei dem täglichen scheinbaren Umschwung der Gestirne, der ja nur ein Abbild des Umschwunges der Erde ist, in Ruhe bleibt. Dieser Punkt liegt jetzt in der Nähe des Ihnen wohlbekannten Polarsternes α Ursae minoris;

Sächsische Landesbibliothek – Staats- und Universitätsbibliothek Dresden
http://digital.slub-dresden.de/id393588653-18930000/49

ich sage jetzt, denn er lag dort nicht immer und wird auch nicht dort liegen bleiben. Der Himmelspol verschiebt sich langsam gegen die Fixsterne, eine Thatsache, die im wesentlichen bereits seit Hipparch bekannt ist; die Erscheinung führt den Namen Präcession, weil mit ihr das allmähliche Vorrücken der Sternbilder des Thierkreises gegen den Frühlingspunkt zusammenhängt.

Wir wissen jetzt, dass diese Bewegung in einer grossen Periode von 25 000 Jahren (man hat dieser auch den Namen platonisches Weltjahr gegeben) sich vollzieht, in welcher der Himmelspol einen vollen Umlauf um den Pol der Ecliptik, einen Punkt, welcher in relativer Ruhe im Sternbilde des Drachen verharrt, beschreibt, indem er sich in nahe constantem Abstand von 23 $^1/_2$ Grad gleich der Schiefe der Ecliptik von ihm hält. Die Bewegung ist also zwar eine sehr langsame, ihre Wirkung am Sternenhimmel im Laufe der Zeiten aber doch sehr merklich. Unser heutiger Polarstern befand sich im klassischen Alterthum noch im Abstand von 12 Grad vom Himmelspol, verdiente diesen Namen also damals noch nicht; er nähert sich dem Pole noch bis zum Jahre 2100 unserer Zeitrechnung und wird sich dann wieder von ihm entfernen. In etwa 12 000 Jahren, nach Jahrtausenden muss man hier rechnen, wird der Stern Wega in der Leier, welcher jetzt als hellster Stern in unseren Sommernächten etwas südlich vom Scheitel am Himmel glänzt, Polarstern sein. Auch die anderen Sternbilder verschieben sich entsprechend, und so ist z. B. das Sternbild des südlichen Kreuzes, welches jetzt dem von nördlichen Breiten kommenden Reisenden erst in den Tropen sichtbar wird, vor Jahrtausenden in Deutschland sehr gut sichtbar gewesen und wird nach Jahrtausenden wieder sichtbar werden.

Die Alten hielten diese Erscheinung der Präcession für ein wirkliches Kreisen des Sternen-Firmamentes um den Pol der Ecliptik. Kopernicus zerstörte auch diese Illusion, indem er zeigte, dass vielmehr die Erdaxe ihre Richtung im Weltenraum ändert, und Newton fand später die Ursache dieser Aenderung in der allgemeinen Gravitation.

Die Erscheinung ist nämlich eine Folge der Anziehung des uns nächsten und des grössten Weltkörpers unseres Systems — des Mondes und der Sonne — auf die an den Polen abgeplattete, am Aequator angeschwellte Gestalt der Erde, in Verbindung mit der zur Ebene der Ecliptik schrägen Lage der Erdaxe. Die auf den Aequatorwulst ausgeübte Anziehung sucht beständig diese Lage in eine senkrechte zu

Sächsische Landesbibliothek – Staats- und Universitätsbibliothek Dresden http://digital.slub-dresden.de/id393588653-18930000/50

verwandeln und dies hat eben jenen Kreislauf zur Folge, wie man es ja im Kleinen ähnlich an jedem Kreisel beobachten kann. — Neben der eben beschriebenen grossen Präcessions-Periode laufen noch eine ganze Anzahl kürzerer einher, deren Ausschläge aber nur gering sind, und die man unter dem Namen Nutation oder Wanken der Erdaxe zusammenfasst; die hauptsächlichste derselben, von Bradley Mitte des vorigen Jahrhunderts entdeckt, vollzieht sich in 19 Jahren, einem Umlauf der Mondsknoten, und beträgt im Maximum 18 Bogensekunden. Alle diese Schwankungen müssen bei jeder Beobachtung am Fixsternhimmel genau in Rechnung gezogen werden (bei grösseren Reihen eine sehr mühselige Arbeit), denn unsere Messungen können sich direkt immer nur auf die veränderliche augenblickliche Lage der Erdaxe im Raume beziehen. Unser Standort, die Erde, ist im Vergleich mit dem Weltall eben nur ein wankender Kreisel.

Die Theorie dieser Erscheinungen ist durch die grossen Mathematiker der zweiten Hälfte des vorigen und der ersten dieses Jahrhunderts in grosser Vollständigkeit, man darf wohl sagen, erschöpfend behandelt worden. Sie gelangten zu dem wichtigen Ergebniss, dass unter dem Einfluss äusserer Kräfte, wie sie also in der Anziehung von Mond und Sonne auftreten, die Erdaxe zwar in den genannten periodischen Bewegungen der Präcession und Nutation ihre Richtung im Weltenraum ändert, dabei aber ihre Lage im Erdkörper selbst nicht ändert. Es ist dies eine Folge davon, dass die störenden Kräfte im Vergleich zu der gewaltigen Energie des Umschwunges des Erdballes doch nur gering sind; das Verhältniss würde anders sein, wenn z. B. der Mond, dessen Masse nur $^1/_{80}$ der Erdmasse ist, der Erde an Masse gleichkäme oder sein Abstand geringer wäre, oder wenn die Gestalt der Erde sich stärker von der kugelförmigen unterschiede. Hiernach also war, trotz des Wanderns der Pole am Himmel, kein Grund vorhanden, an der festen Lage der Pole auf der Erdoberfläche und an der Beständigkeit der geographischen Coordinaten, in erster Linie der geographischen Breiten, welche sich ja auf die Lage dieser Pole beziehen, zu zweifeln.

Das Problem der freien Drehbewegung irgend eines Körpers, wir müssen uns dabei wohl hüten, die Vorstellung einer irgendwie gelagerten Axe in uns aufkommen zu lassen, hat Leonhard Euler um 1760 zuerst von allgemeinen Gesichtspunkten ausgehend behandelt. Er fand, dass die Axe, um welche ein Körper momentan rotirt, nur dann ihre Lage in demselben dauernd beibehalten kann, falls sie mit einer der so-

Sächsische Landesbibliothek – Staats- und Universitätsbibliothek Dresden http://digital.slub-dresden.de/id393588653-18930000/51

genannten Hauptträgheits-Axen seines Schwerpunktes zusammenfällt. Die genaue mathematische Definition dieses Begriffes würde hier zu weit führen, ich will nur zur besseren Verdeutlichung bemerken, dass die Massenvertheilung des Körpers symmetrisch in Bezug auf eine solche Axe sein muss. Da nun erfahrungsmässig die Drehaxe der Erde ausserordentlich beständig war, trotz der scheinbaren ungleichen Vertheilung der Massen auf der Oberfläche — der höchste Berg, der Gaurisankar, nimmt sich freilich auf der Erde nur wie ein Sandkörnchen auf einem Schulglobus von $^1/_2$ Meter Durchmesser aus — so war die Annahme berechtigt, dass sie mit einer der Hauptträgheitsaxen zusammenfiel, und zwar musste dies, wegen der schon bekannten Abplattung der Erde an den Polen, die Axe des grössten Trägheitsmomentes sein; wir wollen sie kurz die Hauptaxe nennen, man könnte sie auch als Axe der Figur der Erde bezeichnen.

Dieses Zusammenfallen konnte auch kein zufälliges sein, sondern war als die nothwendige Folge davon anzusehen, dass die Erde sich im Anfangszustande, als sie noch in hohem Grade plastisch war, unter dem Einfluss der Rotation geformt hatte; sie hatte sich selbst gewissermassen ihre eigene Axe gedrechselt. Konnte nicht aber dieses Zusammenfallen von Drehaxe und Hauptaxe — wenn es auch in der Urzeit streng stattgefunden hatte — durch die Aenderungen, welche der seitdem immer mehr und mehr erstarrte Erdkörper erlitten, durch die Faltungen der Erdkruste, wie sie in der Gebirgsbildung zu Tage treten, durch das Heben und Senken der Continente, und dergleichen eine merkliche Störung erlitten haben? — War dies der Fall: bildeten Drehaxe und Hauptaxe einen kleinen Winkel mit einander, so ergaben die theoretischen Untersuchungen von Euler, dass dann die Drehaxe um die Hauptaxe eine kegelförmige Bewegung (beide Axen schneiden sich beständig im Schwerpunkt der Erde) ausführen musste, und zwar in regelmässigen Perioden von 10 Monaten, genauer 305 mittleren Tagen. Die Dauer dieser Periode, welche man die Euler'sche zu nennen pflegt, berechnet sich aus dem Verhältniss des grössten zum kleinsten Trägheitsmoment der Erde, oder wie wir auch sagen können, aus der Stärke ihrer Abplattung.

Denken Sie sich, um diese Bewegung besser zu übersehen, den nördlichen Pol der Drehaxe, d. h. den Punkt, in welchem sie die Erdoberfläche schneidet und welchen man schlechthin als Nordpol bezeichnet, und ebenso den nördlichen Pol der Hauptaxe auf der Erd-

Sächsische Landesbibliothek – Staats- und Universitätsbibliothek Dresden http://digital.slub-dresden.de/id393588653-18930000/52

oberfläche irgendwie markirt, so bleibt also, falls die Voraussetzung der Euler'schen Theorie zutrifft, der Hauptpol ruhend an derselben Stelle, der Nordpol aber wandert in einem Kreise um ihn herum im Verlauf von 10 Monaten. Einem Winkel der beiden Axen von einer Bogensekunde entspricht dabei ein Abstand ihrer beiden Pole auf der Erdoberfläche von fast genau hundert unserer alten Rheinischen Fuss, also ein ganz erheblicher Abstand, obgleich der Winkel von einer Sekunde so klein ist, dass er sich schwer verdeutlichen lässt. Die ausserordentlich feinen Spinnfäden z. B., welche zu den Fadennetzen im Gesichtsfeld der astronomischen Fernröhre verwandt werden (und zwar sind es Fäden aus den Cocons, in welche die Spinnen ihre Eier einhüllen, nicht etwa aus den gewöhnlichen Spinngeweben), und die nur wenige Tausendstel Millimeter dick sind, erscheinen in der deutlichsten Sehweite unter einem Winkel von fünf bis zehn Sekunden.

Die geographischen Breiten nun beziehen sich aber auf die Lage des Drehpoles, und müssen sich also, falls dieser sich nach der Euler'schen Theorie verschiebt (am Himmel weist seine Axe dabei unverändert auf denselben Punkt), gleichfalls periodisch im Verlauf von 10 Monaten ändern. Die Breite irgend eines Ortes müsste während 5 Monaten, in denen sich der Pol dem Ort nähert, zunehmen — und zwar um den doppelten Betrag des Winkels der beiden Axen; denn erst liegt ja die Drehaxe auf der einen Seite der Hauptaxe und nach 5 Monaten auf der entgegengesetzten — um dann in den folgenden 5 Monaten, in denen sich der Pol von dem Ort entfernt, wieder um eben soviel abzunehmen. Ueber die Grösse dieses Winkels, wenn überhaupt ein solcher existirte, konnte die Theorie keinen Aufschluss geben, da hierzu die genaue Kenntniss der Massenvertheilung auf und in der Erde erforderlich gewesen wäre, die man nicht besass und die wir auch nie besitzen werden. Dass er jedenfalls sehr klein sein musste, sagte sich schon Euler selbst, da ein Betrag von zwei oder drei Bogensekunden sich bereits in den damaligen Beobachtungen wohl hätte verrathen können.

Der Erste, welcher ernstlich auf Grund von Beobachtungen der hypothetischen Euler'schen Periode auf die Spur zu kommen versuchte, war der Begründer der modernen praktischen Astronomie, der grosse Königsberger Astronom Bessel. Die Messungen sind in den Jahren 1820 und 1821 an dem neuen Reichenbach'schen Meridiankreise der Königsberger Sternwarte angestellt, und zwar beobachtete Bessel nicht die

Sächsische Landesbibliothek – Staats- und Universitätsbibliothek Dresden http://digital.slub-dresden.de/id393588653-18930000/53

geographische Breite oder was dasselbe die Polhöhe, welcher Ausdruck in der Astronomie gebräuchlicher ist, sondern die Richtung nach einem Meridianzeichen. Es war dies eine Marke an einer Steinpyramide, im Abstande von mehr als 4 Kilometer von der Sternwarte thunlichst genau in der Nordrichtung errichtet. Wenn der Nordpol seinen Ort verlässt, so muss ja auch die genaue Richtung nach Norden sich ein wenig verändern; jenes Meridianzeichen musste sich bald etwas links, bald etwas rechts von derselben zu befinden scheinen. Bessel konnte trotz der grossen Schärfe seiner Beobachtungen eine derartige scheinbare Bewegung nicht konstatiren und kam zu dem Schluss, dass jener Winkel zwischen Drehaxe und Hauptaxe wahrscheinlich ein Viertel der Sekunde nicht übersteige.

Aus seinen späteren Arbeiten ergiebt sich, dass er die Nachweisbarkeit von Aenderungen der Lage der Erdaxe nach dem Euler'schen Gesetz überhaupt bezweifelte. Eine seiner letzten Arbeiten ist eine neue Bestimmung der Polhöhe von Königsberg, 1841 bis 1843 mit ganz besonderer Feinheit am Repsold'schen Meridiankreise ausgeführt, und hier ist die Polhöhe als Constante angenommen.

Am anhaltendsten aber und mit den schärfsten und grössten Instrumenten ist die Euler'sche Periode auf der grossen russischen Haupt-Sternwarte in Pulkowa bei St. Petersburg untersucht worden.*)

Hier begann Peters Anfang der vierziger Jahre an dem berühmten Ertel'schen Vertikalkreise die bezüglichen Beobachtungen, die eine bis dahin nicht erreichte Schärfe hatten; dieselben wurden dann in den sechsziger Jahren von Gyldén fortgesetzt und zuletzt in den siebziger Jahren von Nyrén. Das Resultat dieser Jahrzehnte lang fortgeführten Reihen war gleichfalls ein negatives in Bezug auf die Existenz der Euler'schen Periode. Bisweilen zeigten sich wohl Spuren einer solchen im Betrage von etwa einem Zehntel der Sekunde, aber die verschiedenen beobachteten Perioden stimmten durchaus nicht mit einander überein. Ebenso wenig gelang es den englischen Astronomen Maxwell und Downing, sie in den Beobachtungen am Greenwicher grossen Meridiankreis nachzuweisen. Die Polhöhe schien durchaus konstant zu sein, die Drehaxe der Erde musste also mit der Hauptaxe genau zusammenfallen.

*) Im Jahre 1839 mit Aufwand ausserordentlicher Mittel gegründet, hat diese Sternwarte — der man eine Menge fundamentaler Untersuchungen verdankt — erst unter Leitung des deutschen Astronomen Wilhelm Struve, dann bis vor Kurzem unter der seines Sohnes Otto Struve gestanden; es haben auch bisher vorwiegend deutsche und ausserdem schwedische Astronomen an ihr gearbeitet.

Sächsische Landesbibliothek – Staats- und Universitätsbibliothek Dresden
http://digital.slub-dresden.de/id393588653-18930000/54

Wir sagten vorhin, dass die Lage der Hauptaxe durch die Massenvertheilung in und auf der Erde bedingt ist. Nun gehen ja aber — wenn wir auch ganz absehen von etwaigen Vorgängen in dem uns unbekannten Erd-Innern — auf der Erdoberfläche vor unseren Augen beständig Ortsveränderungen von Massen vor sich. Mögen diese so gross oder so klein sein, wie sie wollen, sie müssen in der Theorie nothwendigerweise augenblicks die Lage der Hauptaxe und als Folge davon die der Drehaxe ändern. Freilich schrumpfen diese Massen sofort zu einem Nichts zusammen, sobald man sie mit der Erde als ganzem vergleicht und sich nur einigermassen die gewaltige Grösse und Wucht des Erdballes vorzustellen bemüht. Es ist dies wohl nicht so ganz leicht, und nur wer Oceane und Continente in monatelangen Reisen durchmessen, dürfte vielleicht eine schwache Vorstellung von den Dimensionen der Erde gewinnen können.

Die Wirkung solcher Massentransporte auf der Erdoberfläche auf die Lage der Hauptaxe muss dann von vornherein als eine sehr kleine angesehen werden. Dieser Gedankengang hat sich gewiss schon in früheren Zeiten Manchem aufgedrängt; der erste aber, der es doch für nicht überflüssig hielt, einmal rechnungsmässig die Grösse dieser Wirkung zu ermitteln, war gleichfalls Bessel. Die Untersuchung ist 1818 angestellt, also noch vorher, ehe er den erwähnten Versuch zur empirischen Ermittelung der Euler'schen Periode machte. Die Rechnung lässt sich, da die Grösse und die mittlere Dichte der Erde recht genau bekannt sind, für jeden gegebenen Fall, in welchem eine bestimmte Masse von einem bestimmten Ort nach einem anderen transportirt ist, ohne Schwierigkeit und streng durchführen. Bessel fand, dass die Wirkung auf die Lage der Hauptaxe am fühlbarsten wird, wenn man sich eine Masse von 45° südlicher Breite nach 45° nördlicher Breite oder umgekehrt verschoben denkt, aber auch dann mussten es noch 57 geographische Kubikmeilen einer Masse von der mittleren Dichte der Erde oder 42 Kubikmeilen aus massivem Eisen sein, um die Axe auch nur um eine Bogensekunde zu neigen. Bessel schloss deshalb mit Recht, dass alle Massentransporte, welche durch die Thätigkeit der Menschen hervorgerufen werden, selbst wenn diese nur einseitig in einer Richtung, z. B. immer von der südlichen nach der nördlichen Halbkugel erfolgten, was ja keineswegs der Fall ist, durchaus ohne jeden Einfluss bleiben müssen.

Sächsische Landesbibliothek – Staats- und Universitätsbibliothek Dresden
http://digital.slub-dresden.de/id393588653-18930000/55

Leider hat Bessel diesen Gegenstand nicht weiter verfolgt. er würde sich sonst wohl gesagt haben, dass es doch noch andere Vorgänge, ausser den durch die menschliche Cultur verursachten, auf der Erde giebt, bei welchen viel gewaltigere Massen fortbewegt werden, nämlich die meteorologischen Prozesse, diesen Begriff im weitesten Umfange verstanden.*)

Es waren verschiehene englische Gelehrte, welche in den sechsziger und siebziger Jahren, angeregt ursprünglich durch Fragen der Geologie nach der Erklärung der Eiszeit durch eine andere Lage der Pole, das Problem erörterten, inwieweit noch heutigen Tages durch meteorologische Vorgänge ein Einfluss auf die Erdaxe ausgeübt werden könne. Am anschaulichsten und durchdachtesten ist es von dem bekannten Physiker William Thomson in einer Ansprache geschehen, die er 1876 vor der British Association in Glasgow hielt.

Stellen Sie sich vor das ganze Spiel der Kräfte, welche dem unermesslichen Energie-Vorrath der Sonne entstammend, in einem grossen Rhythmus die Atmosphäre und die Hydrosphäre: die luftförmige und die flüssige Umhüllung des Erdballes, der Ocean bedeckt ja $^3/_4$ der Gesammt-Oberfläche, bewegen. Gewaltige Wassermassen verdampfen beständig in den äquatorealen Gegenden der Erde, condensiren sich in den höheren Breiten, um durch Flüsse und Meeresströmungen allmählich wieder ihrem Ursprung zugeführt zu werden. Abwechselnd alle halben Jahre bedecken sich die nördliche und die südliche Polarcalotte mit Schnee und Eis; im Sommer wieder trocknen die Continente aus. Ausgedehnte atmosphärische Wirbel, Ihnen wohlbekannt aus den täglichen Wetterkarten als barometrische Depressionen, grosse Mengen von Wasser in dampfförmiger flüssiger und fester Form mit sich führend, eilen über den Ocean und das Festland, Druckunterschiede von ganzen Centimetern Quecksilberhöhe erzeugend; erhöhen und senken dabei das Niveau der Meere. Passate und Meerestrifte verschieben sich im Kreislauf des Jahres, indem sie dem Scheitelstande der Sonne folgend von nördlicheren nach südlicheren Breiten und wieder zurück wandern. Und alle diese Vorgänge wirken nicht gleichförmig rings auf den Erdball, dann hätten wir keinen einseitigen Druck auf die Erdaxe zu befürchten,

*) Die letzte Aeusserung Bessel's über die Frage scheint in einem 1844 an Humboldt gerichteten Briefe enthalten zu sein, wo er bezugnehmend auf die vorerwähnten Beobachtungen am Repsold'schen Kreise bemerkt: „Ich habe Verdacht gegen die Unveränderlichkeit der Polhöhe . . ., ich denke dabei an innere Veränderungen des Erdkörpers, welche Einfluss auf die Richtung der Schwere erlangen." Diesem Verdacht weiter nachzugehen ist ihm wohl nicht mehr möglich gewesen; Bessel starb bereits 1846.

Sächsische Landesbibliothek – Staats- und Universitätsbibliothek Dresden http://digital.slub-dresden.de/id393588653-18930000/56

sondern ungleich, wegen der ganz ungleichen Vertheilung des Festen und Flüssigen auf der Erdoberfläche.

Ihre Gesammtwirkung auf die Lage der Hauptaxe und damit der Drehaxe auch nur angenähert zu berechnen, ist nicht möglich, weil wir sie für die ganze Erde nicht kennen; wir kennen sie nur für einen recht kleinen Theil derselben und auch da kaum mit genügender Genauigkeit. Die Wirkung einzelner Ereignisse lässt sich wohl berechnen, z. B. ergiebt sich nach P. Schwahn für den Fall, dass die ganze Fläche des europäischen und asiatischen Russlands mit Schnee bedeckt wird, entsprechend einer Durchschnitts-Regenhöhe von zehn Centimeter, dass dann der Nordpol der Hauptaxe sich um drei Hundertel der Bogensekunde, oder in linearem Maass auf der Erdoberfläche gemessen, um drei Fuss nach der Seite des Hudsonsbai hin verschiebt.

Mit solchen Berechnungen ist aber nicht viel gewonnen, weil wir nicht wissen, wie viel von der Wirkung wieder durch andere Vorgänge compensirt wird. Die Schätzungen, welche verschiedene Forscher bezüglich der Gesammtwirkung anstellten, waren deshalb auch ganz unsicher und zum Theil widersprechend. Thomson z. B. glaubte, dass meteorologische Prozesse die Hauptaxe wohl um einige Zehntel der Bogensekunde unter Umständen neigen könnten; der deutsche Geodät Helmert dagegen, der sich sehr eingehend mit diesem Gegenstand beschäftigt hat, meinte allerschlimmsten Falls höchstens zwei bis drei Hundertstel der Bogensekunde annehmen zu dürfen.

In der Praxis hielt man sich nach alledem für völlig berechtigt, die Lage der Axe und damit die geographischen Coordinaten (in erster Linie also immer die geographischen Breiten oder wie wir sagen die Polhöhen, dann aber auch die Längen und die Azimuthe) für unveränderlich anzunehmen, wie ja vor allem aus sämmtlichen noch in den letzten Jahren veröffentlichten geodätischen Operationen hervorgeht. Sie finden dort z. B. die Polhöhen der Stationen 1. Ordnung, als welche in der Nähe von Görlitz der Schwarzeberg bei Jauernick und die Schneekoppe zu nennen sind, mit einer solchen Genauigkeit angegeben, dass ihre wahrscheinlichen Fehler nur auf wenige Hundertel der Bogensekunde berechnet werden; eine Genauigkeit, die ganz illusorisch werden muss, falls die Erdaxe ihre Richtung in der Erde um mehrere Zehntel der Bogensekunde ändert. Die Polhöhe und die Dauer des Sternentages waren in der That noch die einzigen wirklichen Constanten, mit denen der Geodät und der Astronom operirten.

Sächsische Landesbibliothek – Staats- und Universitätsbibliothek Dresden http://digital.slub-dresden.de/id393588653-18930000/57

Die Sachlage änderte sich aber, als es dem Vortragenden glückte, in einer in den Jahren 1884 und 1885 auf der Königlichen Sternwarte in Berlin angestellten Beobachtungsreihe thatsächliche Aenderungen der Polhöhe von Berlin nachzuweisen. Ich möchte hierbei gleich betonen, dass ich überzeugt bin, dass dieser Schritt früher oder später gelingen musste, mit Hülfe der verfeinerten Beobachtungskunst und der verbesserten Instrumente. Erforderlich war allerdings ein gewisses Quantum Muth, um zu sagen, die Polhöhe ist thatsächlich in kürzeren Zeitabschnitten veränderlich, und hier sind die Beweise dafür.

Ich hatte diese Beobachtungen im Frühjahre 1884 begonnen an einem ganz neuen und eigenartig konstruirten Instrument (es führt den Namen Universal-Transit und ist von dem Mechaniker Bamberg in Berlin gebaut) und fortgeführt bis zum Frühjahre 1885, wo ich sie abschliessen musste, um eine andere Arbeit über Eigenbewegungen der Fixsterne, welche mich noch jetzt beschäftigt, am Grossen Meridiankreise in Angriff zu nehmen. Der Zweck, welchen ich bei jenen Beobachtungen ursprünglich verfolgte, war, aus Messungen der Scheitelabstände gewisser Sterne im Moment ihrer Culmination, welche Messungen das Universal-Transit mit einer bis dahin nicht erreichten Schärfe auszuführen erlaubte, zu verschiedenen Jahreszeiten wiederholt, die sogenannte Aberration der Fixsterne zu bestimmen.

Sie wissen, dass dies eine Ablenkung des Sternenlichtes ist, welche dadurch entsteht, dass die Geschwindigkeit des Lichtes in einem messbaren Verhältniss zu der Geschwindigkeit der Erde in ihrer Bahn steht. Die Lichtgeschwindigkeit, in irdischem Maass z. B. in Kilometern ausgedrückt, ist neuerdings durch physikalische Methoden ausserordentlich scharf bestimmt worden; kennt man entsprechend genau die Grösse jener Aberration, so erhält man sofort die Bahngeschwindigkeit der Erde in Kilometern, woraus wieder mit Hülfe der Keppler'schen Gesetze die Entfernung der Sonne sich berechnet Auf diese Weise kann man somit den Abstand Erde — Sonne, welcher unser einziger Maassstab für die Räume des Weltalls ist, in irdischem Maass bestimmen, ohne dass man sein Observatorium zu verlassen braucht und ohne alle kostspieligen Expeditionen.

Dies also war der eigentliche Zweck meiner Beobachtungen am Universal-Transit gewesen. Die Berechnung derselben konnte ich, durch die erwähnte Arbeit am Meridiankreis in Anspruch genommen,

Sächsische Landesbibliothek – Staats- und Universitätsbibliothek Dresden http://digital.slub-dresden.de/id393588653-18930000/58

erst allmählich in den Jahren 1886 und 1887 durchführen und stiess dabei auf eigenthümliche Abweichungen. Im Instrument konnten dieselben nicht ihren Ursprung haben, wie sich bald nachweisen liess. Es blieben schliesslich nur zwei Möglichkeiten der Erklärung:

entweder die Strahlenbrechung in der Atmosphäre hatte auffallende, bisher unbekannte Störungen erlitten,

oder aber die Polhöhe Berlins war veränderlich und im Sommer und Herbst 1884 um mehrere Zehntel der Bogensekunde grösser gewesen, als in den Frühjahrsmonaten von 1884 und 1885.

Ich muss gestehen, dass die erste Erklärung mir ursprünglich viel annehmbarer erschien mit Rücksicht auf die besondere Lage der Berliner Sternwarte, bei welcher eine locale Störung der atmosphärischen Schichten und damit des normalen Verlaufes der Strahlenbrechung durch die Wärme-Ausstrahlung der grossen Stadt nicht undenkbar war.

Bei näherem Zusehen verlor diese Erklärung aber doch viel an Wahrscheinlichkeit. Die Beobachtungen waren nämlich mit Absicht so angestellt, und zwar durch Verbindung von Sternen in genau gleichen und ziemlich kleinen Abständen nördlich und südlich vom Scheitel, dass die eigentliche Strahlenbrechung gar nicht in die Resultate einging; es kam schliesslich nur noch darauf an, ob ein senkrecht einfallender Lichtstrahl, also von einem Stern genau im Scheitel selbst, auch noch eine Ablenkung sollte erfahren haben.

Eine solche Zenith-Refraction, wie man sie nennen könnte, musste schon aus dem Grunde ausserordentlich klein sein, weil ihre Wirkung auf den gesetzmässigen Gang der Strahlenbrechung bei Beobachtungen in grossen Scheitel-Abständen, wo die Refraction sehr beträchtliche Werthe erlangt, eine vielfach grössere hätte sein müssen, wovon sich aber bei den Beobachtungen am Meridiankreise, bei welchen oft Sterne tief am Süd- und am Nord-Horizont mit einander verbunden werden, durchaus nichts gezeigt hatte. Sie hätte auch gewiss von der Wetterlage, ob Windstille war oder stürmische Luftbewegung, und insbesondere von der Richtung des Windes abhängen müssen; jedoch auch hiervon zeigte sich keine Spur.

Völlig überzeugt von der Unhaltbarkeit der Strahlenbrechungs-Hypothese wurde ich aber, als ich die Beobachtungen der Frühjahrs-Monate 1884 mit denen der gleichen Monate 1885 verglich. Die Störung der Strahlenbrechung hätte hier beide Male, wo unter den-

Sächsische Landesbibliothek – Staats- und Universitätsbibliothek Dresden http://digital.slub-dresden.de/id393588653-18930000/59

selben äusseren Umständen, zur selben Jahres- und Tageszeit beobachtet worden war, im Durchschnitt dieselbe sein müssen; hier hatte ausserdem auch das Instrument genau dieselbe Temperatur gehabt, sodass etwaige doch noch unbemerkt gebliebene Aenderungen desselben mit der Wärme, die ja immer am gefährlichsten sind bei allen Messungen, wo es auf die äusserste Genauigkeit ankommt, gleichen Einfluss hätten haben müssen. Aber gerade diese Beobachtungen stimmten wieder nicht mit einander, sondern zeigten einen sofort in die Augen springenden, bei allen beobachteten Sternen constanten Unterschied von über zwei Zehntel der Sekunde, ungefähr zehn Mal so gross, als die Unsicherheit der Messung zuliess.

Es blieb nichts anderes übrig als: die Polhöhe musste sich verändert haben. Nahm ich an, dass sie vom Frühjahr zum Sommer 1884 um drei Zehntel der Sekunde gewachsen war, um dann um fünf Zehntel bis zum Frühjahr 1885 abzunehmen, so kam alles in die beste Uebereinstimmung.

Es veranlasste mich dies eine frühere Beobachtungsreihe, welche ich 1881 und 1882 am Universal-Transit nach einer etwas anderen Methode angestellt hatte, und bei der mir bereits damals eine gewisse Abweichung zwischen den Messungen der beiden Jahre aufgefallen war, daraufhin anzusehen. In der That zeigte sich auch hier eine Veränderung der Polhöhe, allerdings in etwas geringerem Grade; dafür lagen aber für diese Jahre Beobachtungsreihen von den Sternwarten in Pulkowa und Gotha vor, welche zwar für andere Zwecke angestellt waren, aber auch sehr gut zur Bestimmung der Breiten dienen konnten, und ihre Discussion ergab mir fast dieselbe Aenderung der Breite von Pulkowa und ebenso von Gotha, wie die Berliner Reihe von Berlin.

Für die Hauptreihe 1884/85 konnte ich damals eine solche Vergleichung mit den Resultaten anderer Sternwarten nicht ausführen, weil Beobachtungsreihen, die hierzu hätten dienen können, noch nicht veröffentlicht waren. Inzwischen ist dies aber geschehen und es hat sich namentlich die starke, in Berlin zuerst constatirte Abnahme der Breite vom Sommer 1884 zum Frühjahr 1885 in den gleichzeitigen zu Pulkowa, Leiden und Greenwich angestellten Beobachtungen mit mehr oder minderer Sicherheit, je nach der Schärfe der bezüglichen Messungen nachweisen lassen.

Wenn nun aber auch festgestellt ist, dass die Polhöhe sich ändert, so kann dies immer noch auf zwei Weisen geschehen. Die Polhöhe

Sächsische Landesbibliothek – Staats- und Universitätsbibliothek Dresden http://digital.slub-dresden.de/id393588653-18930000/60

eines Ortes wird gemessen durch den Winkel, welchen die Richtung des Lothes an dem Ort mit einer zur Erdaxe parallel gedachten Richtung bildet; sie ist nicht dieser Winkel selbst, sondern die Ergänzung desselben zu einem Rechten. Eine Aenderung der Polhöhe kann also durch Aenderung der Richtung des einen oder auch des anderen Schenkels verursacht sein: das Loth könnte seine Richtung geändert haben oder die Erdaxe, oder auch beide.

Eine locale Ablenkung des Lothes kann aber nur durch Umsetzung ausserordentlicher Massen erfolgen; die Errichtung grosser Bauwerke hat einen kaum angebbaren Effect, selbst die grösste der ägyptischen Pyramiden lenkt ein an ihrem Fuss aufgehangenes Loth nur um einige Zehntel der Bogensekunde ab. An solchen Stellen ferner der Meeresküste, wo Ebbe und Fluth ungewöhnlich stark auftreten, verursacht die Anziehung der ab- und zuströmenden Wassermassen eine periodische Bewegung des Lothes; am Kanal von Bristol z. B., wo die Höhe der Fluth durchschnittlich mehr als 30 Fuss beträgt, tritt eine Anziehung des Lothes dicht am Ufer um eine Viertel Sekunde ein. Aehnlich könnten in vulkanischen Gebieten bewegte Massen flüssiger Lava wirken.

Irgend derartiges lag aber für Berlin nicht vor. Es war schon kein Grund vorhanden, eine locale Ablenkung des Lothes anzunehmen, und diese Erklärungsmöglichkeit wurde ganz unwahrscheinlich, durch das gleichartige Auftreten der beobachteten Erscheinung an so weit entfernten Orten, wie Gotha und gar Pulkowa bei Petersburg. Es hätten dann schon unterirdisch so enorme Massen sich hin und her bewegen müssen, dass zerstörende Erdbeben wohl unausbleiblich gewesen wären, wenigstens wenn die Anschauung, die man sich von der Erdkruste und dem Innern der Erde bilden kann, auch nur einigermassen zutrifft. Insbesonders bereitet auch die gleiche Stärke der Aenderung dieser Erklärung die grössten Schwierigkeiten, da ja die Anziehung mit dem Quadrat der Entfernung abnimmt. — Ist die Erde aber fest im Innern, wie in neuerer Zeit vielfach angenommen wird, so ist die Hypothese von der Bewegung grosser unterirdischer Massen von vornherein unmöglich.

Es konnte für mich somit kein Zweifel sein, dass nicht die Richtung des Lothes sich geändert hatte, sondern die Erdaxe: der Nordpol war im Sommer 1884 Berlin um rund 50 Fuss näher gewesen, als im Frühjahr 1885. Die Aenderung der Breite war keine locale

Sächsische Landesbibliothek – Staats- und Universitätsbibliothek Dresden
http://digital.slub-dresden.de/id393588653-18930000/61

Erscheinung, sondern eine die ganze Erde umfassende. Während die Breite gewisser Orte, denen sich der Pol gerade näherte, zunahm, musste gleichzeitig die Breite anderer Orte auf der entgegengesetzten Seite der Erde, deren Längenunterschied gegen die ersteren also 180 Grad beträgt, um ebensoviel abnehmen.

Dies näher zu untersuchen, um dadurch auch die letzten Zweifel über die Realität der Erscheinung und über ihre Ursache zu beseitigen, konnte natürlich nicht Aufgabe des Einzelnen sein. Ich schlug deshalb der damals bald nach Veröffentlichung meiner Untersuchungen über die Veränderlichkeit der Polhöhe im September 1888 in Salzburg stattfindenden Conferenz der permanenten Kommission der Internationalen Erdmessung bezw. dem deutschen Vertreter auf derselben, Herrn Prof. Foerster, in deren Arbeitsgebiet recht eigentlich die weitere Erforschung dieser Frage gehört, vor, gleichzeitige Bestimmungen der geographischen Breiten nach der von mir befolgten Methode an geeigneten Observatorien ausführen zu lassen; am besten an vier, gelegen auf zwei sich nahe rechtwinklig schneidenden Meridianen und zu beiden Seiten des Nordpoles resp. des Südpoles; natürlich nicht in hohen Breiten, wo das Klima für derartige Beobachtungen nicht günstig ist. Als solche empfahlen sich z. B. die Lick-Sternwarte auf dem Mount Hamilton in Californien und Taschkent auf dem 120. Meridian, und andererseits Rio Janeiro und Melbourne auf dem 40. Meridian.

Auf dem Salzburger Congress konnte man sich hierzu noch nicht entschliessen. Der Gedanke, dass die Breiten sich in wenigen Monaten verhältnissmässig so bedeutend ändern sollten, kam den Meisten doch zu unerwartet. Auf langsame, im Laufe von Jahrhunderten vielleicht merklich werdende Aenderungen hatte man sich wohl gefasst gemacht, aber nicht auf derartige rasche, durch welche die für völlig sicher gehaltenen Grundlagen der Messungen erschüttert werden mussten.

Es gelang aber doch dem entschiedenen Eintreten Foerster's, zu erreichen, dass man zunächst wenigstens in Mittel-Europa ein Jahr lang solche simultanen Beobachtungen auszuführen beschloss; manche der Fachgenossen hatten dabei wohl die stille Hoffnung, dass sich hierdurch die in Berlin beobachtete Schwankung als etwas rein locales herausstellen würde. Diese Beobachtungen begannen Anfang 1889 und wurden in Berlin von Dr. Marcuse wieder am Universal-Transit, in Potsdam von Dr. Schnauder und in Prag von Professor Weinek und Dr. Gruss ausgeführt; ausserdem wollte sich auch die Kaiserliche Sternwarte in

Sächsische Landesbibliothek – Staats- und Universitätsbibliothek Dresden http://digital.slub-dresden.de/id393588653-18930000/62

Strassburg betheiligen, hier erwiesen sich aber später die Beobachtungen als nicht genügend genau. In Potsdam war die Station auf einem Berge am Ufer der Havel errichtet, demselben, wo sich die Sonnenwarte befindet, rings umgeben von Wald und Wasser; absichtlich unter den denkbar verschiedensten localen Bedingungen im Vergleich mit der im Abstande von nur dreissig Kilometern befindlichen Berliner Sternwarte.

Der Erfolg schien erst den Zweiflern recht zu geben, denn auf dem nächsten Congress der Erdmessung in Paris im September 1889 konnte berichtet werden, dass die Beobachtungen an den drei Stationen noch keine irgend merkliche Aenderung ergeben hätten; man beschloss daher, die Messungen nur noch bis zum Ende des Jahres fortzuführen. Da vollzog sich im Herbst und Winter des Jahres in ganz ähnlicher Weise, wie es fünf Jahre vorher meine Beobachtungen gezeigt hatten, eine Abnahme der Breite von einer halben Sekunde, und zwar ganz gleich an allen drei Stationen. Nun wurden die Zweifler doch etwas kleinlauter, und die Anhänger der Theorie von der Veränderlichkeit der Polhöhen gewannen die Mehrheit.

Die Conferenz der Erdmessung, welche im vorigen Herbst in Freiburg stattfand, beschloss, allerdings noch immer nicht die Besetzung der vorgeschlagenen, über die Erde vertheilten vier Stationen, aber doch die ununterbrochene Fortführung der Beobachtungen in Berlin, und gleichzeitig sollte thunlichst bald ein Beobachter nach einem Ort von 180 Grad Längendifferenz gegen Berlin, als welcher Honolulu auf den Sandwich-Inseln am geeignetsten erschien, gesandt werden, um dort während eines vollen Jahres korrespondirende Beobachtungen auszuführen. Der Beobachter, Herr Dr. Marcuse, wird noch in diesem Monat von Berlin abreisen und es wird sich ihm in Washington im Auftrage der Coast Survey der Vereinigten Staaten ein amerikanischer Astronom, Mr. Preston, der schon früher Vermessungen auf den Sandwich-Inseln ausgeführt hat, anschliessen, um mit einem zweiten Instrument Kontroll-Beobachtungen in Honolulu auszuführen. Ausserdem werden auch in den Vereinigten Staaten simultane Beobachtungen angestellt werden. Man darf also wohl ein sicheres Ergebniss dieser Unternehmung erwarten.

Haben wir es nun wirklich mit Schwankungen der Erdaxe in der Erde zu thun, woran ich nicht zweifle, worin können wir dann die Ursache derselben suchen? Zur Beantwortung dieser Frage ist es von grosser Wichtigkeit, dass nunmehr auch die Theorie dieser

Sächsische Landesbibliothek – Staats- und Universitätsbibliothek Dresden http://digital.slub-dresden.de/id393588653-18930000/63

Schwankungen, welche ich mich bemüht habe, Ihnen vorhin in kurzen Umrissen zu schildern, angeregt durch die Erfolge der Beobachtung, vor kurzem einen erheblichen Schritt vorwärts gethan hat.

Erst unser in Paris lebender Landsmann Radau, dann noch eingehender Helmert in Berlin haben nämlich theoretisch nachgewiesen, dass die jährliche Schwankung der Hauptaxe, wie wir sie im Betrage von einigen Hunderteln Bogensekunde als Folge der im Laufe jeden Jahres durch die meteorologischen Vorgänge bedingten Massen-Verschiebungen sehr wohl annehmen können, sich mit der Euler'schen zehnmonatlichen Kreisbewegung der Drehaxe um die Hauptaxe zu einer grösseren Periode von fünf Jahren zusammensetzen müsse. Der Nordpol beschreibt dann nicht, wie man früher theoretisch annahm, eine einfache Kreisbewegung um den ruhenden Hauptpol, sondern eine Art von epicyklischer Bewegung um den selbst periodisch bewegten Hauptpol, in deren Verlauf seine Abstände von letzterem sich bis zum sechs- oder siebenfachen des ursprünglichen Betrages steigern können; der abgestimmte Rhythmus der beiden Perioden, es sind nämlich sechs Euler'sche Perioden genau gleich fünf Jahren, wirkt hier so ausserordentlich vergrössernd, wie es ähnlich Ihnen ja auch von anderen Erscheinungen her bekannt sein wird.

Dass man hiermit dem wahren Zusammenhang der Dinge auf der Spur sein dürfte, dafür bieten die Beobachtungen selbst einen Anhalt, indem 1884/85 eine grosse Schwankung beobachtet ist und in derselben Weise wieder 1889/90. Auch die erwähnten Beobachtungen 1881/82 scheinen sich dem anzupassen, und es ist ferner klar, dass die Jahrzehnte lang fortgesetzten Pulkowa'er Untersuchungen zu keinem Ergebniss führen konnten, weil sie auf der unrichtigen Voraussetzung beruhten, dass die Euler'sche Periode, falls sie überhaupt existire, constant sein müsse, während dieselbe in Wirklichkeit in ihrer Dauer und in ihren Ausschlägen in hohem Grade veränderlich ist, derart, dass diese Variationen sich in der grösseren Periode von fünf Jahren abspielen.

Allerdings wird man nun nicht erwarten dürfen, dass die Oscillationen der Drehaxe sich wirklich ganz regelmässig in fünf Jahren abwickeln, falls in der That die vorausgesetzte kleinere jährliche Oscillation der Hauptaxe durch meteorologische Vorgänge bedingt ist, denn diese letzteren erleiden bekanntlich ganz erhebliche Schwankungen von Jahr zu Jahr.

Sächsische Landesbibliothek – Staats- und Universitätsbibliothek Dresden
http://digital.slub-dresden.de/id393588653-18930000/64

Es dürfte demnach, falls es die im Gange befindlichen Untersuchungen bestätigen, dass die beobachteten Veränderungen der Polhöhen durch Lagenänderungen der Erdaxe verursacht werden, kaum etwas anderes übrig bleiben, als eine Art von Ueberwachungsdienst der Erdaxe durch internationale Vereinigung einzurichten.

Bei allen fundamentalen astronomischen und geodätischen Messungen ist schliesslich die Erdaxe als der letzte und wichtigste Bestandtheil unseres ganzen Messapparates anzusehen; bin ich ihrer Lage nicht völlig sicher, so müssen meine Beobachtungen dadurch unsicher werden, gleichwie wenn die Axe am Meridiankreis oder am Aequatoreal ein wenig schlotterte. Wir müssen also entweder auf eine weitere Verfeinerung unserer Messungen verzichten, was doch dem Geist der Wissenschaft widerspricht, oder aber die Schwankungen beobachten und in Rechnung stellen.

Erwägt man, dass jetzt jährlich wohl an Hunderten von Orten auf der ganzen Erde Beobachtungen angestellt werden, bei denen man das Zehntel der Bogensekunde sicher haben will, und welche Kosten diese im einzelnen verursachen (die Festlegung eines Punktes erster Ordnung in einem geodätischen Netz kostet schon einige Zehntausend Mark), so muss man sich doch sagen, dass ein solcher international organisirter Ueberwachungsdienst sich sehr wohl bezahlt machen wird. Am einfachsten könnte derselbe natürlich auf ständigen Observatorien ausgeführt werden, und zwar würden es am besten eben vier sein, zu beiden Seiten der Pole und auf ungefähr rechtwinkling sich schneidenden Meridianen gelegen.

Regelmässige Bestimmungen der Polhöhen von solchen vier Punkten würden nicht nur genügen, der Lage der Erdaxe jederzeit sicher zu sein, sondern sie würden auch gewisse gegenseitige Kontrollen erlauben. Längere Zeit hindurch fortgesetzt, oder auch wiederholt in grösseren Intervallen würden sie auch Aufschluss über die wichtige Frage geben können, ob die Pole ausser den periodischen, in sich zurückkehrenden Bewegungen noch eine sehr langsame, erst in Jahrhunderten merklich werdende fortschreitende Bewegung besitzen, wie man dies schon lange vermuthet und wofür gewisse Anzeichen in den Beobachtungen zu sprechen scheinen; eine Frage, die mit der Constanz der Klimate in Verbindung steht.

Die periodischen Schwankungen der Erdaxe, welche wir als die wahrscheinliche Ursache der beobachteten Polhöhen-Aenderungen

Sächsische Landesbibliothek – Staats- und Universitätsbibliothek Dresden http://digital.slub-dresden.de/id393588653-18930000/65

ansehen müssen, sind zwar von hohem wissenschaftlichem Interesse, aber zum Glück doch so gering, dass sie durchaus keinen Einfluss auf das Klima oder auf das Niveau des Meeres, welch' letzteres für unsere flachen Küsten sehr leicht verhängnissvoll werden könnte, auszuüben vermögen. Grund zu irgend welchen Befürchtungen liegt deshalb also nicht vor, und wenn wir nun auch erfahren müssen, dass unsere Mutter Erde ein wenig schwankt, so ist dies wohl nur noch der letzte Ueberrest des Reigens, in dessen Wirbel sie sich in ihrer Jugend vor undenklichen Zeiten geschwungen.

Sächsische Landesbibliothek – Staats- und Universitätsbibliothek Dresden
http://digital.slub-dresden.de/id393588653-18930000/66

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Abhandlungen der Naturforschenden Gesellschaft zu Görlitz

Jahr/Year: 1893

Band/Volume: 20

Autor(en)/Author(s): Küstner F.

Artikel/Article: Ueber Aenderungen der lage der Erdaxe 39-56