ASTRONOMISCHE NACHRICHTEN.

N^o 2545.

Ueber die Bewegungen der die Haupt-Instrumente der Berliner Sternwarte tragenden Grundpfeiler und eine bei diesen Bewegungen hervortretende nahezu elfjährige Periodicität.

Von *W. Foerster*.

I.

Die Einrichtung einer Normal-Höhenmarke für die Nivellements der Preussischen Landesaufnahme hatte mir vor einigen Jahren zu eingehenden Erwägungen über den Grad der Beständigkeit der Lage der die wichtigsten Instrumente der hiesigen Sternwarte tragenden Grundpfeiler Anlass gegeben.

Hierbei hatte ich nach einem Ueberblick über die seit 1839 auf diesen Grundpfeilern angestellten Beobachtungen von Neigungen, Azimuthen und Polpunkten die Ueberzeugung ausgesprochen, dass die Grundpfeiler unserer Sternwarte ausserordentlich geeignet seien, um Träger von relativen Fixpunkten für Höhen-Messungen zu werden.

Der Ueberblick über nahezu 40000 seit etwa 42 Jahren angestellte Beobachtungen zur Controle der Drehungen der Pfeiler

1. um verticale Axen,
2. um horizontale von Nord nach Süd gerichtete Axen,
3. um horizontale von Ost nach West gerichtete Axen,

schien wenigstens die Behauptung zu gestatten, dass diese Pfeiler und besonders unser grosser westlicher Grundpfeiler, eine Backsteinmasse von etwa 30 Quadratmeter Grundfläche und 8 Meter Höhe, wovon etwa 4 Meter unter der Oberfläche des umgebenden Erdrreiches liegen, in diesem Zeitraume nur äusserst geringe Drehungsbewegungen fortschreitender Art erfahren hatten.

Da es nun sehr unwahrscheinlich ist, dass isolirt locale Hebungen oder Senkungen solcher Steinmassen ohne merkliche Drehungen derselben erfolgen, erschien es in hohem Grade verbürgt, dass in den alluvialen Erdschichten, welche unsere Pfeiler tragen, in den letzten 42 Jahren locale Hebungen oder Senkungen fortschreitender Art zu stärkeren Beträgen als Bruchtheilen des Millimeters nicht aufgelaufen sind.

Etwas anders lag die Sache mit den periodischen Bewegungen.

Drehungsbewegungen von jährlicher Periode waren in voller Deutlichkeit auf unseren Pfeilern hervorgetreten, und gerade so, wie man aus dem Fehlen fortschreitender Drehungsbewegungen auf das Nichtvorhandensein fortschreitender Hebungen oder Senkungen der Pfeiler schliessen kann, hätte man aus der Mercklichkeit jährlicher Drehungen das Vorhandensein merklicher Hebungen oder Senkungen von jährlicher Periodicität folgern können.

Hebungen oder Senkungen von solcher Periode konnten in unserem Terrain auch von vornherein als wahrscheinlich betrachtet werden, da in demselben sehr starke jährliche Schwankungen der Grundwasserstände beobachtet werden.

Gegen einen Zusammenhang der beobachteten periodischen Drehungsbewegungen der Pfeiler mit den periodischen Schwankungen des Grundwasserstandes sprach indessen die beobachtete Thatsache, dass eine durch die Anlegung des Berliner Schiffahrtskanals im Jahre 1848 verursachte Katastrophe des Grundwasserstandes, nämlich eine an den tiefsten Schichten der Grundpfeiler der Sternwarte mittelst eines Schwimmers deutlich beobachtete dauernde Senkung dieses Wasserstandes um etwa $1\frac{1}{2}$ Meter, in den Registern der sämtlichen Winkelbewegungen der Pfeiler ohne jede Spur einer Wirkung geblieben war.

Jedenfalls erschien es, nachdem auf meinen Vorschlag an zwei Grundpfeilern der Sternwarte Normal-Höhenmarken angebracht worden waren, als eine wichtige Aufgabe, die seit 1839 beobachteten Drehungsphasen der Pfeiler so vollständig als irgend thunlich in eine stetige Reihe von Mittelwerthen zu vereinigen und auf ihre Abhängigkeit von der Wasserbewegung und von der Temperatur zu untersuchen.

Im Folgenden will ich zunächst die hauptsächlichsten Ergebnisse dieser Untersuchung — die sich übrigens fast ausschliesslich auf den westlichen Grundpfeiler bezieht, auf welchem die zahlreichsten und vollständigsten Messungen dieser Art angestellt sind — summarisch zusammenfassen und später die speciellere Nachweisung derselben folgen lassen:

- 1) Die von 1839-1881 beobachteten Drehungs-Bewegungen des westlichen Grundpfeilers der Berliner Sternwarte lassen weder im fortschreitenden, noch im periodischen Sinne irgend welche Abhängigkeit von den Veränderungen der Grundwasserstände erkennen.
- 2) Diejenigen beobachteten Drehungsbewegungen, welche sich mit Sicherheit von relativen Bewegungen der die Axen-Enden der Instrumente tragenden kleineren Pfeiler oder der in dieselben eingegypsten Lagerstücke der Axen und der Microscophalter trennen und vollkommen deutlich als Bewegungen des gemeinsamen Grundpfeilers selber erkennen lassen, werden durch jährliche und durch nahezu elfjährige Perioden dargestellt, welche ihren thermischen Charakter auf

das Deutlichste auch daran erkennen lassen, dass die Wendepunkte dieser periodischen Erscheinungen den Wendepunkten der jährlichen Temperaturperiode, sowie den Wendepunkten der bekannten elfjährigen Sonnenperiode (in dreimaliger Wiederholung) sich anschliessen und gegen die Wendepunkte dieser Temperaturperioden nur in demselben Sinne etwas verspätet erscheinen, wie überhaupt die Epochen complicirter thermischer Erscheinungen hinter dem entsprechenden Verlaufe der sie verursachenden Erscheinung zurück zu bleiben pflegen, dass endlich auch die Schwankungen der Amplitude der periodischen Pfeilerbewegungen einen sehr deutlichen Zusammenhang mit den Schwankungen der Amplitude der thermischen Periode zeigen.

- 3) Die von den jährlichen Temperaturschwankungen befreiten und für die Mitte der einzelnen Jahre geltenden Phasen der beobachteten Torsionen des westlichen Grundpfeilers zeigen nicht nur bei naheem Anschluss an den Verlauf anderer tellurischer, unzweifelhaft von der elfjährigen Sonnenperiode beeinflusster Erscheinungen, von wie grosser relativer Erheblichkeit die Schwankungen der thermischen Wirkungen der Sonnenstrahlung innerhalb dieser Periode sind, sondern sie deuten auch, wenn man den Verlauf der betreffenden Wirkungen in der elfjährigen Periode mit ihrem Verlaufe in der jährlichen Periode vergleicht, mit ansehnlicher Wahrscheinlichkeit darauf hin, dass die thermischen Wirkungen, durch welche die Sonnenstrahlung Torsionen und Gestaltänderungen des betreffenden Pfeilers hervorruft, zur Zeit der Sonnenflecken-Maxima gesteigerte sind.
- 4) Die fast erschöpfende Abhängigkeit von thermischen Perioden, welche sich bei den auf unserm westlichen Grundpfeiler beobachteten Winkelbewegungen herausstellt, schliesst überhaupt einen erheblichen Antheil von Bewegungen der Bodenschichten an diesen Erscheinungen aus und lässt danach eine grosse relative Beständigkeit der Lage der an den Pfeilern angebrachten Normal-Höhenmarken um so mehr erwarten, als jene Bewegungserscheinungen offenbar nur von Ungleichheiten der Temperaturvertheilung innerhalb der Grundpfeiler herrühren und hiernach nur mit relativen Hebungen und Senkungen einzelner Schichten desselben im Betrage von kleinen Bruchtheilen des Millimeters verbunden sein können. Auch wird der Einfluss, welchen diese relativen Verschiebungen auf die Lage der Höhenmarken selber ausüben könnten, noch dadurch vermindert, dass die letzteren ausschliesslich an der Nordseite der Pfeiler angebracht sind, während die Gestaltänderungen und Verziehungen vorzugsweise von der Südseite ihren Ausgang nehmen.

Bevor ich auf die nähere Begründung der vorstehenden Ergebnisse specieller eingehe, will ich zunächst zum Verständniss der Möglichkeit des Hervortretens von Sonnenstrahlungs-Wirkungen in den Winkelbewegungen des betreffenden Grundpfeilers einige speciellere Erläuterungen geben, da es auf den ersten Blick höchst räthselhaft erscheinen muss, wie eine nicht einmal direct von der Sonnenstrahlung ge-

troffene Steinmasse solche Schwankungen der Intensität der Strahlungs-Wirkungen der Sonne anzeigen soll, welche sich in den mittleren Jahrestemperaturen der Luft und des Erdbodens und in anderen thermischen Messungsergebnissen bisher mit Sicherheit und Uebereinstimmung noch so wenig haben erkennen lassen, dass diejenigen wissenschaftlichen Deductionen, welche sich bisher mit der Aufsuchung einer der Sonnenperiode folgenden elfjährigen Periodicität thermischer Erscheinungen auf der Erde beschäftigt haben, bekanntlich noch zu keiner allgemeinen Entscheidung darüber gelangt sind, ob die Strahlungs-Intensität der Sonne zur Zeit der Flecken-Maxima oder zur Zeit der Flecken-Minima die grössere sei.

Es liegen Beobachtungsreihen von mittleren Jahrestemperaturen der Luft vor, welche das letztere zu erweisen scheinen, dagegen wieder andere Erscheinungen, welche für die erstere Annahme sprechen; endlich giebt es eine Reihe von sorgfältigen Untersuchungen, welche mehr oder weniger auf das Ergebniss hinauslaufen, dass die Jahresmittel der Lufttemperaturen sich wesentlich indifferent gegen die elfjährige Sonnenperiode verhalten.

Directe Beobachtungen der Strahlungs-Intensitäten haben auch noch keine Entscheidung zu bringen vermocht, weil dieselben bisher noch von zu geringer Zahl oder von zu kurzer Dauer gewesen, und weil sie bei mangelnder Summation der Wirkungen von den wechselnden Zuständen der Atmosphäre, insbesondere des in derselben enthaltenen Wasserdampfes noch zu wesentlich beeinflusst worden sind.

In der Torsions-Bewegung des westlichen Grundpfeilers der Berliner Sternwarte haben wir nun infolge der Besonderheiten der ganzen Einrichtung ein Phänomen vor uns, das in einer durch andere Mittel wohl nur schwer zu verwirklichenden Weise die Möglichkeit darbietet, nicht nur die Wirkungen der Strahlungs-Intensität der Sonne von den Wirkungen der Rückstrahlung und von den Temperatur-Wirkungen der umgebenden Luft zu trennen, sondern durch die natürliche Integration von Insulations-Wirkungen in längeren Perioden sogar feine Unterschiede der Strahlungs-Intensitäten zu Wirkungen von bedeutender Grösse anzuheben; denn ich will sogleich vorausschicken, dass die Amplituden der Winkelbewegungen des Pfeilers zwischen einem Maximum und einem Minimum der Sonnenperiode, in Gestalt der Differenzen von Jahresmitteln, die bis auf wenige Zehntel der Bogensekunde genau bestimmt sind, bis zu 14 Bogensekunden betragen.

Wie es aber möglich ist, dass die Wirkungen der Sonnenstrahlung auf diesen Pfeiler sich von den Wirkungen der Lufttemperatur und des gewöhnlichen Spieles der Insolation und der Ausstrahlung trennen lassen, dürfte durch folgende nähere Beschreibung der Lage und Umgebung des Pfeilers anschaulicher werden.

Der nach seinen Dimensionen im Eingang beschriebene Backsteinpfeiler, eine nahezu homogene und compacte Masse von etwa 240 Cubikmeter Raumgehalt, wird auf allen Seiten durch einen Luftraum von 20 bis 30 Centimeter Breite von den Mauerwänden des Gebäudes getrennt. Er liegt mit seiner Ostseite einer inneren Mauerwand gegenüber, mit welcher sich der Westflügel des Gebäudes an das Centrum desselben anschliesst; im Süden, Westen und Norden dagegen

umgeben ihn, mit Einhaltung des vorerwähnten Luftzwischenraums, die 70 bis 80 Centimeter dicken äusseren Mauerwände des Gebäudes, während ihn nach oben hin die Balken- und Dielen-Schichten, welche den Fussboden des Meridian-Saales bilden, von dem letzteren trennen.

Bei dieser räumlichen Anordnung ist es einleuchtend, dass die Schwankungen der Lufttemperatur überwiegend von Norden, Westen und Süden her durch die äusseren Mauern und in geringerem Maasse von oben her durch die hölzernen Fussbodenschichten des Meridian-Saales auf den Pfeiler übertragen werden. (Letztere von oben kommende Wirkungen werden, da sie nahezu gleichförmig die ganze obere Fläche treffen, keine merklichen Temperatur-Ungleichheiten innerhalb horizontaler Querschnitte und somit keine messbaren Winkelbewegungen erzeugen können.)

Im Allgemeinen werden sich ferner bei vorstehend beschriebener Anordnung diejenigen Wirkungen der Lufttemperatur, welche von Süden und von Norden her eindringen, nahezu ausgleichen, und es wird nur eine Wirkung der Lufttemperatur von Westen her übrig bleiben, welcher die von Osten her eindringenden thermischen Wirkungen nicht völlig die Wage halten, da die der Ostseite des Pfeilers gegenüber liegende Wand als eine innere, wenngleich an ungeheizte Räume grenzende, merklich geringere Temperatur-Schwankungen um das Jahresmittel erfahren wird, als die der äusseren Luft ausgesetzte westliche Mauerwand.

Wenn also bloss Wirkungen der Schwankungen der Lufttemperatur vorlägen, würden dieselben sich voraussichtlich nur in Torsions-Bewegungen des Grundpfeilers um horizontale von Nord nach Süd gerichtete Axen und zwar auch nur in sehr abgeschwächtem Betrage äussern können.

Ganz anders dagegen mit den Strahlungswirkungen der Sonne. Diese beeinflussen am stärksten die Südwand, mit etwas geringerer nur nach dem Sommer hin zunehmender Stärke die Westwand und in sehr geringem Grade, welcher noch durch die Umbauung des Horizontes unserer Sternwarte erheblich vermindert wird, sowie nur in gewissen Monaten die Nordwand.

Die örtlichen Verschiedenheiten der Abkühlungen, welche die äusseren Wände im Süden, im Westen und im Norden durch Ausstrahlungen erfahren, können natürlich im absoluten Betrage bei weitem nicht so erheblich sein, als die vorerwähnten örtlichen Verschiedenheiten der Einstrahlungen. Es entsteht also, zumal in dem inneren Pfeiler, auf welchen alle jene positiven und negativen Wirkungen nur verhältnissmässig langsam übertragen werden, mit Nothwendigkeit eine andauerndere, von den Coordinaten abhängige Ansammlung thermischer Wirkungen, welche — infolge der grossen Langsamkeit der Wärmebewegung in den bezüglichen Massen — unmittelbar in Gestaltänderungen einzelner Theile des ganzen Systems und demgemäss in Torsionen desselben zur Erscheinung kommt, die selbst bei Temperaturdifferenzen von nur wenigen Centigraden in sehr erheblichen Winkelbewegungen der obersten, die Instrumente tragenden, aus Sandsteinplatten bestehenden Schichten zu Tage treten müssen.

Wäre man früher auf die Bedeutung aufmerksam geworden, welche diese fühlbelartigen Winkelbewegungen für die Bemessung der Integrale von Strahlungswirkungen

der Sonne in längeren Zeiträumen erlangen konnten, und hätte man dem entsprechend an mehreren Stellen unseres Pfeilers Thermometer eingesenkt, um in den verschiedenen Phasen jährlicher und mehrjähriger Perioden die Temperaturvertheilung innerhalb des Pfeilers direct zu messen, so würde es vielleicht schon jetzt möglich sein, zu den zweifellosen durch Vermittelung der astronomischen Instrumente erlangten Messungen der Pfeilerbewegungen mehr als die obige physikalische Deutung, nämlich wenigstens genäherte numerische Daten physikalischen Charakters hinzuzufügen, wenn auch der Verlauf von thermischen Torsionswirkungen der in Rede stehenden Art im Einzelnen immer sehr schwer in Rechnung zu ziehen sein wird. Leider ist es mir auch seit dem vorigen Frühjahr, wo ich zuerst auf den vorstehend erörterten Sachverhalt näher einging, noch nicht möglich gewesen, längere Reihen von Temperaturmessungen an verschiedenen Stellen des Pfeilers zu erlangen, weil die zur Anbringung der betreffenden Thermometer erforderlichen Anbohrungen des Pfeilers bis in gewisse Tiefen im Interesse des Meridian-Dienstes immer hinausgeschoben werden mussten. Erst seit einigen Wochen sind, zunächst an drei verschiedenen Stellen des Pfeilers, Thermometer eingesenkt worden, aus deren Ablesungen sich bisher wenigstens das Eine mit Sicherheit ergeben hat, dass in der That die Temperatur dieses grossen inneren Steinpfeilers durch die Strahlungswirkungen der Sonne sehr erheblich beeinflusst wird. Denn selbst in der Mitte des Pfeilers, zwei Meter von seiner oberen Fläche entfernt, war im Monat August d. J. die Temperatur etwa 8 Centigrade höher als unsere mittlere Jahrestemperatur, dagegen noch ungefähr 2 Grad niedriger als die Temperatur der Steinschichten, gemessen in derselben Tiefe, aber in der Nähe der Südwestecke des Pfeilers. Dass derartige Temperaturdifferenzen auf so kleine Entfernungen hin starke Torsionen und sehr grosse Winkelbewegungen ganzer fest zusammenhängender Schichten innerhalb einer solchen Steinmasse hervorbringen können, und dass solche Wirkungen durch jahrelang anhaltende Summation von Steigerungen der Strahlungswirkungen erhebliche Vergrösserungen erleiden können, erscheint unzweifelhaft.

Dem Einwurfe gegenüber, dass doch solche Steigerungen der Strahlungswirkungen sich auch in den Jahresmitteln der Lufttemperatur am Beobachtungsorte bemerklich machen müssten, erlaube ich mir nur darauf hinzuweisen, dass die Lufttemperatur nicht bloss das Ergebniss der jeweiligen Wirkungen von Einstrahlung und Ausstrahlung am Beobachtungsorte ist, sondern bekanntlich auch in bedeutendem Maasse durch Zuführung von warmer oder kalter Luft aus anderen Regionen der Erde beeinflusst wird. Da nun die Steigerung der Strahlungswirkungen der Sonne an der Erdoberfläche zugleich die Wirkung ausüben muss, dass sie das Circulationssystem der grossen Luftströmungen modificirt, so ist es sehr wohl denkbar, dass an einem bestimmten Orte der Erde die auch diesem zu Theil werdende directe Temperaturerhöhung durch Steigerung der Einstrahlungswirkungen der Sonne gerade in Folge eines durch die gleichzeitige Veränderung des Circulations-Systems der Luft vermehrten Zuflusses kälterer Luft, welcher in irgend einer Jahreszeit eintritt, im Jahresmittel compensirt und sogar über compensirt

wird. Auch ist zu bedenken, dass die Zustände des Wasserdampfs in der Atmosphäre, da sie auch wesentlich durch das grosse Circulationssystem der Luftströmungen mit bedingt werden, durch Schwankungen der Intensität der Einstrahlung ebenfalls mittelbar sehr ansehnlich modificirt werden können, und zwar unter Umständen derartig, dass Strahlungswirkungen, welche vorzugsweise die Temperatur der Luft am Beobachtungsorte zu erhöhen geeignet sind, andauernd in stärkerem Maasse intercipirt werden, als diejenigen Elemente der Einstrahlungen, welche vorzugsweise mit temperatursteigernder Wirkung in die feste Erdoberfläche eindringen, und dass endlich durch Wolkenbedeckungen von systematischer Periodicität auch die Ausstrahlungs-

wirkungen in solcher Weise geändert werden können, dass sie ebenfalls gegenüber den Schwankungen der Einstrahlungswirkungen im Ganzen und Grossen als compensirende Elemente wirken, während sie solche partielle Anhäufungen von Einstrahlungswirkungen, wie die hier in Rede stehenden, in Folge der oben geschilderten örtlichen Umstände nicht merklich afficiren.

In einer folgenden Mittheilung werde ich nun numerisch und graphisch das speciellere Beweismaterial für die vorstehend erläuterten Zusammenhänge der Erscheinungen liefern.

Measures of the Pivots of the Repsold Meridian Circle of the Washburn Observatory.

It may be of interest to give here the results of some measures of the pivots of the Repsold Meridian Circle which were made during the last year by two of my students in Astronomy.

The steel pivots of the circle were investigated by means of a spherometer caliper of the form described by Prof. Harkness U. S. N. in Mon. Not. R. A. S. vol. 38 p. 487. The measures were made by Mr. C. M. Conradson.

In the first place the pivots were shown to be accurately cylindric by comparisons of various diameters inclined to each other. No difference was indicated in any case. The following table gives the results of measures of those diameters of the two pivots, *A* and *B*, which are at right angles to the optical axis.

They are expressed in revolutions of the spherometer. Each *A—B* is the difference of 10 measures on *A* and 10 on *B*. 200 measures were made in all.

<i>A—B</i>		
1882 Dec. 7	+	0.000006
7	—	74
8	+	01
11	—	16
11	+	12
11	—	09
12	—	67
12	—	31
12	—	14
12	+	0.000003
Mean		—0.0000017

From the theory of the caliper, this difference corresponds to a real inequality in the pivots of 0.0000007

revolutions. One revolution was 0.010017 inches. From this it follows that the pivots are perfectly equal as well as perfectly cylindric.

The two collimators I have marked X and Y. The two collimator levels are 1396 and 1399. The inequality of the pivots of each collimator was determined by levels in reversed positions.

The measures were made by one of my students in Astronomy, Miss Alice Sauborn. The results are given in the following table, where + shows the object-end pivot to be smaller than the eye-end pivot.

Coll.X,	Level 1396,	4 obs.	$p = -0.054 \pm 0.042$
» X	» 1399	4 »	$= +0.106 \pm 0.046$
» X	» 1396	4 »	$= +0.095 \pm 0.062$
» X	» 1399	4 »	$= +0.064 \pm 0.078$
16 »			$p = +0.053 \pm 0.029$

That is these pivots are equal.

Coll.Y,	Level 1396,	4 obs.	$p = +0.337 \pm 0.051$
» Y	» 1399	4 »	$= +0.139 \pm 0.048$
» Y	» 1396	4 »	$= +0.160 \pm 0.064$
» Y	» 1399	4 »	$= +0.127 \pm 0.056$
16 »			$p = +0.191 \pm 0.028$

That is the object-end pivot is smaller than the eye-end pivot by 0.19. This difference corresponds to an inequality of 0.000016 inches.

The above measures show that these pivots like all other essential parts of the instrument are practically perfect.