

6. Ueber Aenderung der Schwerkraft.

Von Herrn F. W. PFAFF in München.

Im XLVI. Bande dieser Zeitschrift habe ich eine zweite kleine Mittheilung über die Anziehungskraft der Erde, hervorgerufen durch den wechselnden Stand von Sonne und Mond, veröffentlicht und in einer Anmerkung weitere, mit einem feineren Apparate auszuführende Beobachtungen über diesen Gegenstand in Aussicht gestellt. Seitdem habe ich die mir zu freier Verfügung stehende Zeit fast ausschliesslich auf die Neuconstruction und Registrirung sowie zur möglichst genauen Ausmessung der Constanten dieses Apparates verwendet.

Wenn es auch vielleicht überflüssig scheinen möchte, jene von Sonne und Mond erzeugte Aenderung der Schwerkraft zu messen, da sich dieselbe ja sehr genau ausrechnen lässt, so schien mir doch diese experimentel zu bestimmen wünschenswerth, da sich die diesbezüglichen Angaben nicht vollständig decken. Weiter könnte aber auch mit einem Apparate, der diese Variationen angiebt, jene von v. STERNECK mit dem Barymeter gemessenen und als wahrscheinlich gemachte Aenderung der Anziehungskraft der Erde in den verschiedenen Jahreszeiten genau beobachtet werden. Liesse sich nun ein solcher Apparat hinreichend fest construiren, dass er, ohne Veränderungen zu erleiden, leicht von einem Orte an den anderen gebracht werden könnte, und dass er, ohne an seiner Genauigkeit Einbusse zu erleiden, kleinere Stösse und Schwankungen selbst während der Zeit der Messung ertrüge. so würde dies den Vortheil haben, dass damit Schweremessungen auf offener See ausgeführt werden könnten. Da nun, soweit wenigstens meine Litteraturkenntniss geht, bis jetzt noch kein Instrument construirt wurde, das auf einem Schiff die Schwere zu messen erlaubte, so könnte dadurch eine kleine Lücke im Bereiche unseres Wissens über die Gestalt der Erde ausgefüllt werden, was von HELMERT als sehr wünschenswerth bezeichnet wurde.

Da nun ferner ein Apparat, der den von Sonne und Mond bewirkten Einfluss der Schwerkraft zu messen erlaubt, doch sehr empfindlich sein muss, so könnte damit sehr genau das specifische Gewicht der Erde, dessen Angabe immer noch zwischen 5,45

und 5,69 schwankt, bestimmt werden. Letztgenannte Grösse ist aber gerade für den Geologen von grösster Wichtigkeit, da er mit ihr an der Hand der schon ausgeführten und noch auszuführenden Schweremessungen genau die Tiefe der Schwereanomalien bestimmen, und dadurch erst sich ein Bild über die Erstreckung der tektonischen Störungen u. s. w. bilden kann, was von der weitgehendsten practischen und theoretischen Bedeutung ist. Wäre es aber dem Geologen selbst möglich, an den für ihn wichtigen Punkten mit einem leicht handbaren Instrumente in kurzer Zeit die Schwere zu messen — verlangt doch eine Messung mittelst des v. STERNECK'schen Pendelapparates fast einen ganzen Tag —, so könnte dadurch das geologische Studium unserer Erdkruste ungemein bereichert und erweitert werden. Das Pendel aber, oder ein dieses ersetzender Apparat würde dann, wie schon v. HUMBOLDT äusserte, zum rein geologischen Instrumente.

Wenn nun auch der in folgenden Zeilen beschriebene Apparat noch nicht alle jene wünschenswerthen Eigenschaften besitzt, so vereinigt er doch immerhin schon einiges davon in sich und dürfte bei verschiedenen Messungen mit Vortheil anwendbar sein.

Der Grundgedanke, von dem beim Ausarbeiten dieses Apparates ausgegangen worden war, ist folgender:

Die wechselnde Anziehungskraft der Erde wird dadurch gemessen, dass die eine Hälfte eines Wagebalkens sich selbstthätig verkürzt oder verlängert; die veränderte Stellung des Wagebalkens wird mittelst Mikroskop und Fadenkreuz abgelesen. Die Normalstellung des Wagebalkens und des Mikroskopes wird durch eine feine Nivelle angegeben. Die veränderte Stellung wird durch Gewichte auf die Normalstellung zurückgebracht.

Hieraus ergab sich nun folgende Construction:

Der eine Theil des Wagebalkens besteht aus drei, zu einem rechtwinkligen Dreiecke zusammengefügtten Messigtheilen, dessen längere Cathete den Horizontalbalken mit 14,8 cm, dessen kürzere mit 6,2 cm das Verticalstück zum tragen des verkürzbaren anderen Theiles des Wagebalkens bildet. Die Enden dieser beiden Theile wurden durch ein dünneres Messingstück verbunden, um die grösstmögliche Festigkeit bei geringem Gewichte zu erlangen. Die Verbindung der beiden rechtwinkligen Theile besteht aus einem dünnen Messingstück, durch welches senkrecht zu diesen eine scharfgeschliffene und polirte harte Stahlschneide von 4,5 cm Länge eingeführt ist. Unter der Stahlschneide befindet sich ein Messingstück von cylindrischer Form, mit Hohlbohrung, in dem sich ein Laufgewicht befindet, um den Schwerpunkt des ganzen Wagebalkens in die richtige Lage bringen zu können. Die Längsaxen des letztgenannten Stückes, sowie des Verticalastes dieses Wagebalken-

theiles sind so übereinander angebracht, dass sie möglichst genau in eine Linie fallen. Durch diese Linie geht zugleich die Mittellinie der im Querschnitt gleichseitig dreieckigen Stahlschneide. Auf dem Verticalaste dieses Theiles befindet sich ein 3,2 cm langes Stahlstück aufgeschraubt. Die Schraube geht durch die Mitte dieses Stahlstückes, und in gleichen Abständen vom Mittelpunkte stehen zwei 2.1 cm hohe Säulchen parallel mit dem Verticalaste, deren Fuss- und Endpunkte in einer Linie parallel zur Stahlschneide stehen. Diese Säulchen tragen je ein Messingstück, in welches Achatlager eingekittet sind, deren scharfe Rinne möglichst genau parallel der unteren Stahlschneide laufen. Die Messingträger der Achatlager führen seitlich je ein senkrecht zur Rinne, zum Verstellen eingerichtetes Metallstück mit aufgekittetem Achatwiderlager. Auf diesen Achatlagern und zwischen den Achatwiderlagern fügt sich nun eine weitere Stahlschneide ein, an der sich senkrecht zu dieser Schneide der andere, bewegliche Theil des Wagebalkens eingesetzt befindet. Auf das obere Stahlstück des Verticalastes sind nun weiter zwei Uhrfedern mit ihrem äusseren Ende aufgeschraubt, deren innerer Theil sich um die Schneide des beweglichen Wagebalkentheiles herumlegt und mittelst verstellbarer Stücke fest aufgeschraubt ist. Die Schneide des beweglichen Theiles ist an beiden Enden zu einer feinen Spitze nach unten zu geschliffen, die genau zwischen die Achatwiderlager so hineinpassen, dass die Reibung soviel als möglich aufgehoben ist. Diese seitliche Führung wurde erst später angebracht, aber erwies sich als unumgänglich nothwendig, da sonst sich der bewegliche Theil immer etwas nach rechts oder links verschob, und dadurch niemals eine sichere Einstellung erzielt wurde. Um bei Temperaturänderungen das Einklemmen der oberen Stahlschneide zwischen den seitlichen Führungen zu verhindern, ist das untere Stahlstück, der Träger der kleinen Säulchen, aus Stahl von derselben Härte wie die Schneide hergestellt. Um ihm die nöthige Festigkeit zu geben, musste es daher ziemlich stark genommen werden, was in Anbetracht seiner hohlen Lage über der unteren Schneide den Nachtheil hatte, dass das Gegengewicht zur Regulirung des Schwerpunktes verhältnissmässig gross genommen werden musste. Die Federn, die in Anwendung gebracht wurden, sind Uhrfedern, wie sie bei einer grösseren Taschenuhr gebraucht werden; zu diesem Zwecke wurden aber Federn gewählt, die etwas härter sind, wie die sonst verwendeten. Während diese Federn bei ihrem eigentlichen Zwecke bis zu 20 Mal gedreht werden, sind sie bei diesem Apparate sehr schwach in Anspruch genommen und nur ungefähr $2\frac{1}{2}$ Mal eingerollt. Das richtige Einsetzen und Aufschrauben war mit eine der Hauptschwierigkeiten, da es sehr grosse Mühe

kostete, die Federn so zu stellen, dass sie sich auf ihrer ganzen Länge nirgends streifen und überall vollständig frei von jeder äusseren und inneren Berührung sind. Damit die Schneiden stets dieselbe Lage einnehmen, mussten die Achatlager, nachdem sie eingekitten waren, auf dem Wagebalken selbst noch nachträglich mit einer sehr scharfen Lehre, die von Zeit zu Zeit immer wieder nachgefrischt wurde, nachgeschliffen und polirt werden. An den beiden Enden tragen die Wagebalkentheile je ein Laufgewicht, das durch eine Gegenschraube festgeschraubt werden kann. Der letztbeschriebene bewegliche Wagearmtheil ist von rechteckig prismatischer Form mit abgestumpften Kanten, die Schwere seines Laufgewichtes ist so gewählt, dass er ungefähr 45° gegen die beiden senkrecht zu einander stehenden Stücken des anderen Wagebalkentheiles geneigt ist. Letztgenannter Theil trägt in $\frac{1}{3}$ seiner Länge — von der Stahlschneide an gerechnet — eine ebenfalls auf einer Schneide lagernde kleine Wagschale zum Auflegen der Gewichte. An seinem anderen Ende ist ein horizontalscharfkantiges Plättchen angebracht, hinter dem sich, um das Ablesen zu erleichtern, ein verticalstehendes Spiegelchen befindet, das unter 45° zur Längsrichtung dieses Armes in Lagern eingekittet ist und das seitlich einfallende Licht nach vorne in das Ablesemikroskop wirft. Diese beiden Wagebalkentheile sind mit Ausnahme der beiden Stahlfedern und der Schneiden stark vergoldet.

Dieser ganze Wagebalken — wenn man die Zusammensetzung zweier gegeneinander beweglichen Theile so nennen darf — wird nun mittelst seiner unteren Schneide von 2 ungefähr 8 cm langen, kräftigen Messingsäulen mit Achatlagern getragen, die ihrerseits in einem T-förmigen Gestell befestigt sind. Dieses Gestell hat drei feine Schrauben zum Horizontaleinstellen, mit Nickel überzogenen Aufsatzpunkten für die Libellen, und an seinem vorderen Ende eine einfache, jedoch festgebaute Auflage für das Mikroskop.

Das Mikroskop hat eine sehr beträchtliche Vergrösserung und trägt im Ocular einen fest eingespannten Mikrometermaassstab. Um Temperaturschwankungen möglichst unschädlich zu machen, sind alle unteren Träger ebenfalls aus Messing gefertigt. Die Haupt-Libelle ist von 3 zu 3 Secunden getheilt¹⁾. Der Vorgang, der sich nun bei der Veränderung der Schwere am Apparate abspielt, ist folgender: Nimmt z. B. die Schwerkraft zu, so sinkt der an der oberen Schneide mittelst der Feder gehaltene Theil etwas herab, dieser Armtheil wird also kürzer, in Folge dessen sinkt genau um denselben Betrag der andere Armtheil, und dieser Betrag wird, wenn er nur gering ist, am Mikrometerocular abgelesen,

¹⁾ Sie wurde von ERTEL & SOHN bezogen.

wenn er aber beträchtlicher ist, wird die Stellung durch Abnahme von den Gewichten regulirt, sodass der zum Ablesen dienende Theil fast immer horizontal liegt. Durch Verschiebung des Schwerpunktes des gesammten Wegebalkens kann die Feinheit und Empfindlichkeit des Apparates innerhalb der zulässigen Grenzen ganz beliebig gesteigert und geregelt werden.

Um den Apparat noch empfindlicher zu machen, war zuerst beabsichtigt worden, den nicht zum Ablesen dienenden Armtheil, der eigentlich nur ein Gegengewicht darstellt, kürzer aber schwerer zu machen und ihn so anzuordnen, dass sein Gewicht sehr nahe dem Schwerpunkte und Drehpunkte des ganzen Systemes zu liegen kommt. Die geringste Veränderung hätte natürlich dann einen bedeutend grösseren Ausschlag geben müssen¹⁾.

Allein verschiedene mechanische Schwierigkeiten, so die immer mehr oder weniger stumpfe Form der Schneide, nicht zu vermeidender Staub, sowie die dann allzu starke Einwirkung der Wärme und schliesslich die damit bedingte unsymmetrische Stellung der Stahlfedern, die auch viel stärker hätten genommen werden müssen, und dadurch wahrscheinlich an Empfindlichkeit verloren hätten, zuletzt der bei dem schwankenden magnetischen Zustande der Erde, in den Federn inducirte veränderliche Magnetismus liess es rätlicher erscheinen von dieser Anordnung Abstand zu nehmen. Um die magnetischen Einflüsse so gut wie möglich zu entfernen, sind bei diesem Apparate die Stahlfedern so angeordnet, dass ihre Mittelpunkte — wenn man bei einer Spiralfeder, deren Umgänge in einer Ebene liegen, von einem Mittelpunkte reden darf — genau über dem Drehpunkte des Wagebalkens zu liegen kommen. Da nun bei jeder Messung darauf gesehen wird, dass der zum Ablesen dienende Theil fast genau horizontal liegt, so ist hierbei selbst die Einwirkung einer starken Magneten fast = 0, umsomehr die doch immerhin schwachen Aenderungen im magnetischen Zustande der Erde.

Obwohl, wie schon oben beschrieben, die Federn sehr hart gewählt wurden und sich kaum mehr biegen lassen, ja bei etwas stärkerer Biegung sofort springen, ist doch die elastische Nachwirkung gross. Wird nämlich der Apparat einmal vollständig auseinander genommen, und bleiben die Federn ohne Spannung auch nur kurze Zeit liegen, so währte es im Anfange fast 3 Mo-

¹⁾ Mein Freund Herr Mathematiker STREHL, Studienlehrer in Erlangen, dem ich brieflich von dem Apparate Mittheilung machte, war ebenfalls selbständig auf diese Anordnung gekommen, und hatte sie mir in einem Briefe wärmstens empfohlen; dafür wie für später ertheilte Rathschläge und Mithilfe bei der Ausrechnung erlaube ich mir hiermit, ihm meinen wärmsten Dank auszusprechen.

nate, bis sie wieder ihre alte unveränderliche Spannkraft erhielten. Jetzt — der Apparat steht etwas über 3 Jahre — ändern sie sich überhaupt nicht mehr, nur muss, falls der Apparat aus seiner schützenden Hülle herausgenommen werden soll, er in derselben Lage auf eine Arretirungsvorrichtung verschraubt werden, damit die Federn nicht in eine zu grosse andere Spannung kommen oder gar beim etwaigen Ausspringen aus den oberen Achatlagern sich ineinander verschlingen, was beim Herausnehmen ohne Arretirvorrichtung nur zu leicht eintritt. Letztgenannter Fall verlangt ein vollständiges Auseinandernehmen des ganzen Wagebalkens. Da die Kraft dieser Federn bei grosser Beanspruchung nicht vollständig proportional ihrer Einrollung geht, so wurde für die Messung die schon angewendete Methode gewählt, nämlich, dass der zum Ablesen dienende Theil fast immer horizontal steht, der Ausschlag aber durch Abnahme oder Zulage von Gewichten bestimmt wird. In diesem Falle ist natürlich die Stellung beider Armtheile immer dieselbe, mithin auch die Einrollung der Federn die gleiche. Der ganze Apparat ist in einem mit Asbest ausgefüllten, mit Glasfenstern versehenen Holzkasten aufgestellt. Vor dem Transport wird der Wagebalken mittelst einer Arretirungsvorrichtung herausgenommen, und dann in seiner normalen Lage auf einem Brette mit Sammet ausgeschlagenen Holzklammern fest verschraubt.

Da dieser Apparat, nicht wie die früher beschriebenen, auch dazu dienen sollte, an verschiedenen Punkten Schwermessungen vornehmen zu können, so mussten, um seine Transportfähigkeit zu erhöhen, die einzelnen Dimensionen kurz genommen werden. Da an den beiden Wagebalkentheilen nichts erspart werden konnte, so war es nöthig, bei der erforderlichen Vergrösserung ein Mikroskop zu nehmen, dessen Objectiv eine kleine Focusweite hat. Dadurch wurde aber das Gesichtsfeld sehr beengt. Um nun die Temperatur- und Barometerbeeinflussung u. s. w. bestimmen zu können, war ein Gewichtssatz erforderlich, dessen einzelne Gewichtsstücke sehr genau gegen einander abgestimmt waren.

Zu diesem Zwecke bestellte ich mir bei der Firma WESTFAL in Celle einen kleinen Gewichtssatz von 0,5 bis herab zu 0,0005 gr, dessen einzelne Gewichte untereinander bis auf $\frac{1}{20}$ mgr stimmen sollten. Eine nachträglich vorgenommene Prüfung ergab eine Uebereinstimmung von $\frac{1}{23}$ — $\frac{1}{25}$ mgr, sodass diese Fehler, als nicht mehr wahrnehmbar bei diesem Apparate, so gut wie vernachlässigt werden können¹⁾

¹⁾ Ich bin Herrn Professor v. LOMMEL zu grossem Danke verpflichtet, dass er mir gestattete, im physikalischen Institut die Gewichte

Nach dieser Vorprüfung wurde die Einwirkung bei gleichbleibender Temperatur von 0,005 aus einer sehr grossen Anzahl von Ablesungen bestimmt. Zu diesem Zwecke wurde der Apparat in einem Keller an der Wand aufgestellt und mittelst einer in $\frac{1}{50}^0$ getheilten Thermometers die Temperatur an Decke im Kasten und mittelst eines $\frac{1}{10}^0$ angegebenden die am Boden des Kastens beobachtet.

Da eine selbstthätige Einrichtung für Abnehmen und Zulegen der Gewichte nicht vorhanden war, so wurde dieses mit der Hand, die vorher mit dicken Handschuhen, welche stets im Keller liegen blieben, bekleidet war, ausgeführt. Eine Temperaturerhöhung trat, da der Gewichtswechsel sehr rasch vor sich ging, fast nicht ein, es wurden natürlich zur Berechnung nur Beobachtungen bei ganz gleicher Temperatur verwandt oder solche, bei denen die Temperatur regelmässig von einer zur anderen und zur dritten Beobachtung um einen ganz gleichen Betrag gestiegen oder gefallen war. Da der Apparat meistens schon bei Gewichtswechsel nach 5—7 Minuten wieder ruhig war, so konnte die Einwirkung von Sonne und Mond unberücksichtigt bleiben.

Es möge hier noch bemerkt werden, woher es kommt, dass dieser Apparat, der die durch Sonne und Mond veränderte Anziehungskraft angiebt, und daher doch sehr empfindlich sein muss, so schnell wieder zur Ruhe kommt. Die Erklärung dafür ist darin zu suchen, dass am ganzen Wagebalken drei Theile sich befinden, die bei einem Anstoss in Schwingungen gerathen. Am langsamsten schwingt der zum Ablesen bestimmte Theil, welcher der schwerste ist, dann kommt mit etwas schnelleren Schwingungen der durch die Federn mit diesem verbundene, und am schnellsten schwingt die kleine Wagschale. Da nun die Schwingungen dieser drei Theile durchaus nicht in einfachen Verhältnissen zu einander stehen, sondern ganz beliebig sind, so hemmt eine die andere, wodurch die Ruhelage bei kleineren Anstössen schon wieder nach sehr kurzer Zeit eintritt.

A. Auswerthung des Gewichtssatzes.

Ohne längere Reihen dieser Messungen anzugeben, mögen hier einige wenige Zahlenwerthe folgen.

nachzuprüfen und sage ihm hiermit auch an dieser Stelle meinen verbindlichsten Dank. Die Nachprüfung der kleineren Gewichte erfolgte mit diesem Apparate selbst.

Tabelle 1.

Zeit 1897	Stellung des Apparates	Temperatur		Gewicht	Stellung der Libelle	Baro- meter	Differenz in Ocular- Mikrometer- Theilstrichen
		oben	unten				
18. II. 16 ^h	32,9	7,44	7,9	0,875	horizontal	702	16,3
„ „ 16 ^h 30 ^m	49,2	7,44	7,9	0,870	„	„	16,5
„ „ 17 ^h	32,7	7,44	7,9	0,875	„	„	16,7
„ „ 18 ^h	49,4	7,44	7,88	0,870	„	„	
„ „ 19 ^h	50,4	7,43	7,86	0,870	„	„	
„ „ 19 ^h 30 ^m	33,9	7,43	7,86	0,875	„	„	16,5
„ „ 20 ^h	50,4	7,43	7,86	0,870	„	„	16,5
19. III. 16 ^h	34	8,12	8,24	0,870	„	700	16,6
„ „ 16 ^h 30 ^m	17,4	8,12	8,24	0,875	„	„	16,7
„ „ 17 ^h	33,8	8,12	8,24	0,870	„	„	16,3
„ „ 17 ^h 30 ^m	17,5	8,12	8,24	0,875	„	„	16,5
„ „ 19 ^h	34	8,12	8,25	0,870	„	„	
20. III. 17 ^h	45,8	7,20	7,40	0,880	„	704	16,7
„ „ 18 ^h	29,1	7,20	7,39	0,885	„	„	

Das Mittel aus diesen Ablesungen = $16,5 \pm 0,047$.

In vorstehender Tabelle ist die Stellung des Apparates aufgezeichnet, so wie sie im Mikroskope sich am Ocularmikrometer ergibt. Die Zahlen sind so angeordnet, dass die höhere Zahl sogleich die höhere Stellung des Endes des Wagebalkens anzeigt. Die Temperatur bezieht sich auf die Temperatur im Kasten, die obere wurde am in $\frac{1}{50}^{\circ}$ getheilten Thermometer abgelesen, dessen Kugel ungefähr so hoch stand, wie die Mitte der Federn; der untere, in $\frac{1}{10}^{\circ}$ getheilt, ist so tief gesenkt, dass es nicht ganz am Boden aufsitzt. In der Reihe „Stellung der Libelle“ ist aufgezeichnet, dass der Apparat vollständig horizontal eingestellt ist. Der Barometerstand ist hier nicht mit einem Normalinstrumente verglichen, sondern ist nur angegeben, um den während der Beobachtungszeit herrschenden Druck anzugeben.

In der Zeit von 18^h—18^h 30^m war die Temperatur um $\frac{1}{50}^{\circ}$ C heruntergegangen, es wurde daher erst wieder um 19^h eine Ablesung vorgenommen. Da die Temperatur zur Zeit, wo die Beobachtungen angestellt wurden, im Freien fast so hoch war wie im Keller, kam es, dass während der doch über 4 Stunden hinziehenden Ablesungen die Wärme sich kaum änderte; überdies wurden diese mit der grössten Vorsicht, um die Wärmeausstrahlung des Lichtes zu vermeiden, und in möglichster Kürze angestellt.

Es mag vielleicht auf den ersten Blick auffallen, dass noch $\frac{1}{10}$ der Mikrometertheilung angegeben wurden, doch glaube ich, dass Jeder, der längere Zeit mit irgend einem mit Theilung ver-

sehenen Instrumente gearbeitet hat, leicht im Stande ist, genau noch diese Grösse zu schätzen. Da dieses kleine Gewicht — 5 mgr — aber sozusagen als Ausgangspunkt für alle anderen Grössen galt, so schien es dringend geboten, auch die Zehntel der Mikrometertheilung mit in Rechnung zu ziehen. Der mittlere Werth für 5 mgr meines Gewichtssatzes, d. h. der Betrag, um welchen der Wagebalken des Apparates beim Auflegen von 5 mgr sinkt, ist, im Mikroskop abgelesen,

16.53

I.

Oculartheilstriche; werden alle Beobachtungen zusammen genommen, so ergiebt sich $16,535 \pm 0,038$.

Um nun zu sehen, ob sich die Feder innerhalb des Gesichtsfeldes des Mikroskopes vollständig proportional der Belastung ausdehnte, und behufs weiterer Prüfung des Gewichtssatzes, sowie hauptsächlich zur Nachmessung der eben angeführten Grösse von 16,53 Oculartheilstrichen, wurde eine grössere Reihe von Ablesungen mittelst der drei Gewichtsstücke 0,01 gr vorgenommen. Es möge hier wieder eine kleinere Reihe angeführt werden. Diese wurde am 15. und 16. April 1897 ebenfalls zur Zeit des Vollmondes ausgeführt und zwar eine Reihe im Keller, also bei niedrigerer, die andere in meinem Zimmer, also bei etwas höherer Temperatur.

(Siehe Tabelle 2 und 3 auf p. 134).

Die Aufzeichnungen in diesen beiden Tabellen sind ebenso wie in der ersten, auch hier wurde, wenn die Temperatur sich etwas verändert hatte, einige Zeit ausgesetzt und erst, wenn sie sich constant erhielt, wieder abgelesen. In der letzten Tabelle, die aus Beobachtungen stammt, welche in meinem Zimmer im zweiten Stock ausgeführt wurden, konnte ich, obwohl das Zimmer in einer der ruhigsten Strassen Münchens sich befindet, doch die Zehntel des Mikrometers wegen der kleinen Unruhen, die eben am Tage immer vorhanden sind, nicht mehr so genau ablesen, weshalb ich mich gewöhnlich mit 0,5 oder 0,3 der einzelnen Intervalle begnügen musste. Die Uebereinstimmung dieser Ablesungen und der mit 0,005 ausgeführten ist sehr gut, auch stimmen alle anderen in einer sehr grossen Anzahl noch ausgeführten Beobachtungen damit überein, sodass als Mittel aus allen Werthen für 0,01 gr

33,07 \pm 0,14

II.

Mikrometertheilstriche genommen werden kann.

Es erübrigt jetzt noch eine weitere Beobachtungsreihe anzuführen, die mit dem doppelt so grossen Gewichte angestellt worden ist. Diese müsste, falls die Ausdehnung der Feder, oder bei diesen Federn richtiger gesprochen die Einrollung vollständig pro-

Tabelle 2.

Zeit 1897	Stellung des Apparates	Temperatur		Gewicht	Stellung der Libelle	Baro- meter	Differenz
		oben	unten				
15. IV. 4 h	20	8,26	8,5	0,77	horizontal	720	
" " 4 h 30 m	53	"	"	0,76	"	"	33,0
" " 5 h	19,9	"	"	0,77	"	"	33,1
" " 5 h 30 m	19	8,25	8,5	0,77	"	"	
" " 6 h	52,1	8,25	"	0,76	"	"	33,1
" " 6 h 30 m	55	8,24	8,48	0,76	"	"	
" " 7 h	22,1	8,24	8,48	0,77	"	"	32,9
" " 7 h 30 m	55,2	"	"	0,76	"	"	33,1
" " 8 h	54,1	8,25	8,5	0,76	"	"	
" " 8 h 30 m	21,8	"	"	0,77	"	"	32,8

Das Mittel = $33,0 \pm 0,06$.

Tabelle 3.

Zeit 1897	Stellung des Apparates	Temperatur		Gewicht	Stellung der Libelle	Baro- meter	Differenz
		oben	unten				
15. IV. 17 h	18,5	15,17	15,35	0,67	horizontal	724	
" " 17 h 30 m	52	15,17	15,35	0,66	"	"	33,5
" " 18 h	18,5	15,17	15,35	0,67	"	"	33,5
" " 18 h 30 m	17,5	15,18	15,36	0,67	"	"	
" " 19 h	50,7	15,18	15,36	0,66	"	"	33,2
16. IV. 11 h	40,5	15,28	15,55	0,66	"	"	
" " 11 h 30 m	7	15,28	15,55	0,67	"	"	33,5
" " 12 h	39,7	15,28	15,56	0,66	"	"	32,7
" " 12 h 30 m	38,5	15,29	15,60	0,66	"	"	
" " 13 h	6,0	15,29	15,60	0,67	"	"	32,5
" " 13 h 40 m	39,0	15,29	15,60	0,66	"	"	33,0
" " 17 h	64,5	16,10	16,20	0,64	"	725	
" " 17 h 30 m	31	16,10	16,20	0,65	"	"	33,5
" " 18 h	64	16,10	16,2	0,66	"	"	33,0
" " 18 h 30 m	62,5	16,12	16,24	0,65	"	"	
" " 19 h	29	16,12	16,24	0,66	"	"	33,5
" " 19 h 30 m	61,5	16,12	16,24	0,65	"	"	32,5
" " 20 h	28,7	16,12	16,24	0,66	"	"	32,8

Das Mittel aus diesen Ablesungen ist $33,07 \pm 0,04$.

portional der Belastung erfolgte, was innerhalb dieser geringen Beanspruchung als sehr wahrscheinlich vorauszusetzen ist, 66,14 Mikrometertheilstriche geben.

Tabelle 4.

Zeit	Stand des Apparates	Temperatur		Stellung der Libelle	Gewicht	Barometer	Differenz
		oben	unten				
1897							
22. IV. 17h	85	16,10	16,20	horizontal	p + 0,03	715	
" " 17h 30m	18,5	16,10	16,20	"	p + 0,05	"	66,5
" " 18h	84,8	16,10	16,20	"	p + 0,03	"	66,3
" " 18h 30m	18,8	16,10	16,20	"	p + 0,05	"	66,0
" " 19h	15	16,7	16,14	"	p + 0,05	"	
" " 19h 30m	81,5	16,7	16,14	"	p + 0,03	"	66,5
" " 20h	16	16,7	16,14	"	p + 0,05	"	65,5

Das Mittel aus diesen Beobachtungen ist $66,15 \pm 0,07$.

Tabelle 5.

17. II. 16h	78	15,40	15,8	horizontal	p + 0,05	700	66,0
" " 16h 30m	12	15,40	15,8	"	p + 0,07	"	66,2
" " 17h	78,2	15,40	15,8	"	p + 0,05	"	66,0
" " 17h 30m	12,2	15,40	15,8	"	p + 0,07	"	66,0
" " 18h	78,2	15,40	15,82	"	p + 0,05	"	
" " 19h	76	15,42	15,83	"	p + 0,05	"	
" " 19h 30m	9,5	15,42	15,83	"	p + 0,07	"	66,5
" " 20h	75,6	15,42	15,83	"	p + 0,05	"	66,1

Das Mittel hieraus = $66,13 \pm 0,05$.

Das Mittel aus beiden zusammen, wenn die Reihen als gleichwerthig betrachtet werden = $66,14$.

In den letzten beiden Tabellen ist in der Reihe Gewichte $p + 3$ oder eine andere Zahl gesetzt. Dies rührt davon her, dass mit dem Gewichtssatze bei der grossen Senkung, die das Gewicht 0,02 veranlasste, der Apparat nicht gut so einzustellen war, dass der volle Betrag noch bei Horizontalstellung des Apparates abgelesen werden konnte. Es wurde daher ein ganz beliebiges Tarirgewicht so lange zugelegt, bis eben die richtige Stellung erreicht worden war, und dann erst 0,03, 0,05 oder 0,07 aus dem Gewichtssatze hinzugegeben. Die Reihe der Beobachtungen vom 18. II. 97 wurden vorgenommen, als der Apparat nach Vergoldung des Wagebalkens wieder zusammengesetzt war und längere Zeit, um die elastische Nachwirkung zu verlieren, ruhig gestanden hatte. Die kleine Differenz zwischen 16^h und 20^h, soweit sie nicht auf Temperaturschwankung zurückgeführt werden kann, ist immer noch der elastischen Nachwirkung zuzuschreiben.

Auf jeden Fall geht aus diesen Reihen mit aller Sicherheit hervor, dass bei der angewendeten Methode innerhalb der Grösse des Mikroskopgesichtsfeldes die Elastizität vollständig proportional der Belastung ist.

Es ergab sich für 0,005 . . .	16,53,
für 0,01 . . .	33,07,
für 0,02 . . .	66,14.

Diese Zahlen verhalten sich fast ebenso wie die Gewichte 1 : 2 : 4.

Es könnte eigenthümlich erscheinen, warum diese Reihen sich nur über wenige Tage und zumeist dann über zwei folgende Tage erstrecken, während von der Zwischenzeit nichts angeführt ist. Dazu muss ich folgendes bemerken: die Messungen und Ablesungen wurden, wie schon angeführt, hauptsächlich zur Zeit des Vollmondes, zur Zeit also. in welcher die Erdanziehung am wenigsten von Sonne und Mond beeinflusst wird, vorgenommen, dann aber waren sie sehr abhängig von den Feiertagen. Glücklicherweise fielen einige von denen, wenn nicht auf den Vollmond, so doch sehr nahe an ihn heran, sodass sie immer noch als sehr störungsfrei gelten konnten. Für die anderen Tage war ausschlaggebend das Wetter. Im Laufe der Beobachtungen hatte es sich gezeigt, dass die Temperatur am gleichmässigsten, wie leicht verständlich, im Zimmer, und dann natürlich auch im Kasten des Apparates gehalten werden konnte, wenn es fast windstill und der Himmel bedeckt war. Da ich der grossen Feuchtigkeit halber den zu diesen Messungen gemietheten Keller hatte im April aufgeben müssen, so musste ich alle weiteren Messungen in meinem Zimmer ausführen. Das Angenehme war allerdings, dass ich, wenn warmes, föhniges Wetter kam, das Zimmer schon zu Früh auf die Temperatur im Freien bringen konnte. War dann die Zimmertemperatur von Früh bis gegen Abend auf der gleichen Höhe gehalten worden und trat dann kein schneller Rückschlag in der Temperatur ein, was zwar in München sehr häufig eintritt, so konnte, wie schon aus den Tabellen zu ersehen ist, die Temperatur bei vorsichtiger Handhabung der Beleuchtung u. s. w. im Innern des Kastens stundenlang auf derselben Höhe gehalten werden.

Aus diesen Tabellen ergibt sich aber eine weitere Thatsache, die ebenso wichtig ist, wie die proportional der Belastung fortschreitende Elastizität. die darin besteht, dass auch bei diesen verschiedenen Temperaturen die Elastizität genau dieselbe bleibt. Aus Tabelle 1 und 2, die bei einer Temperatur von $7,88^{\circ}$ C. und $8,5$ erhalten wurden, ergibt sich für 0,01 g 33,07 Ocularmikrometer-Theilstrich-Ausschlag; aus Tabelle 3, die bei einer Temperatur von ungefähr $15,5^{\circ}$ C. erhalten worden war, ergibt sich ebenfalls 33,07. Wenn schon diese Temperaturen durch keinen besonders grossen Zwischenraum getrennt sind, so geht wenigstens das aus ihnen hervor, dass zwischen 7° und 16° die Elastizität der Federn sich nicht ändert. Dies ist von Bedeutung,

da fast alle weiteren Messungen bei Temperaturen vorgenommen wurden, die entweder zwischen diese fallen, oder nur um wenige Grade tiefer oder höher waren.

B. Bestimmung des Temperatureinflusses.

Wenn auch bei einer gewöhnlichen Wage gleichmässig auf beide Wagebalken einwirkende Temperaturänderungen keinen Einfluss ausüben, so wirken sie bei diesem Apparate, der zwar nach dem Prinzip der Wage gebaut ist, gerade in doppelter Verstärkung. Erstens verändern die beiden Arme ihre Länge, und die beiden Verlängerungen addiren sich, und zweitens verlängern sich die Federn. Diese drei Veränderungen summiren sich, und daher kommt es, dass die Temperatur ein wesentlicher Factor bei diesem Apparate ist, und ich gestehe, obwohl die Temperatur doch sehr genau gemessen werden kann, und es bei diesen Messungen nur auf relative, nicht absolute Zahlen ankommt, dass dies sozusagen ein wunder Punkt ist. Zur Bestimmung liess ich mir daher zwei in $\frac{1}{50}^{\circ}$ getheilte Thermometer herstellen und verwendete fast die längste Zeit darauf, um diese Grössen mit möglichster Genauigkeit und Sicherheit zu bestimmen.

Aus den früher schon angeführten Tabellen ergibt sich, ganz roh geschätzt, dass ungefähr $\frac{1}{50}^{\circ}$ C. den Ablesearm um 1 Theilstrich des Ocularmikrometers hebt oder senkt. Zwei Ablesungen im Keller, die allerdings um 14 Tage von einander stehen, bei welchen aber Sonne und Mond denselben Einfluss ausüben mussten, lieferten folgende Daten:

Der Apparat stand: 32 bei 0,81 g und 9,25 (9,5) Temperatur¹⁾,
später dann: 27 „ 0,83 „ „ 8,15 (8,3) „²⁾.

Bezeichnen wir nun die Oculartheilstriche einfach mit ω und $\frac{1}{50}^{\circ}$ C. mit t.

Der Apparat sinkt also von der einen Ablesung zur anderen um 5 ω , die Temperatur um 60 t, mehr belastet musste er werden um 0,02 g, wir hätten demnach, da diese Grössen sich gegenseitig im Gleichgewichte halten:

$$66,1 \omega - 5 \omega = 60 t.$$

Hieraus folgt, wenn wir alles im ω ausdrücken:

$$1 t = 1,001 \omega.$$

Weitere in meinem Zimmer bei Vollmond ausgeführte Ablesungen ergaben zuerst:

¹⁾ Da es unnöthig erscheint, die Zeitangaben bei diesen Untersuchungen anzugeben, so sollen sie von nun an wegbleiben.

²⁾ Die () Angaben beziehen sich auf die untere Temperatur.

14 ω 0,71 g 16,1 t 724 (Barometer)
 nach stundenlangem, langsamen Erwärmen desselben fand ich:

17 "	0,83 "	8,12 "	724	"
3 ω	0,12 g	7,39 ⁰	= 389 t	

0,12 g Belastung entsprechen 396,8 ω ; es steigt also die Temperatur um 389 t, aufgelegt wurden 0,12 g = 396,8 ω ; dazu stieg der Apparat noch um weitere 3 ω , wir müssen demnach hier 396,8 ω + 3 ω = 389 t setzen. Hieraus findet sich:

$$1 \text{ t} = 1,028 \omega$$

III.

Erste Stellung:	28 ω	0,69 g	17,2 t (17,0)	723
zweite "	17 "	0,85 "	6,48 " (7)	723
	11 ω	0,16 g	10,4 ⁰ C.	—

Es muss der Apparat bei einem Sinken der Temperatur um 10,4⁰ C. um 0,16 g mehr belastet werden, dabei sinkt er aber um 11 ω zu viel, wir haben demnach:

$$\begin{aligned} 0,16 &= 529 \omega \quad 10,4^0 \text{ C.} = 504 \text{ t,} \\ 529 \omega - 11 \omega &= 504 \text{ t,} \\ 518 \omega &= 504 \text{ t,} \\ t &= 1,0279 = 1,028. \end{aligned}$$

Erste Stellung:	51 ω	15,22 (15,44)	0,79 g	710 Bar.
zweite "	46 "	7 (7)	0,93 "	710 "
Differenz:	5 ω	8,44	0,14 g	—

$$\begin{aligned} 0,14 \text{ g} &= 462 \omega \\ 462 \omega - 5 \omega &= 444 \text{ t} \\ t &= 1,029. \end{aligned}$$

Erste Stellung:	46 ω	7 (7)	0,93 g	710 Bar.
zweite "	50 "	16,28 (16,52)	0,78 "	710 "
Differenz:	4 ω	9,26 t	0,15 g	—

$$\begin{aligned} 0,15 \text{ g} &= 495 \omega \\ 495 \omega - 40 \omega &= 568 \text{ t} \\ t &= 1,027. \end{aligned}$$

Erste Stellung:	50 ω	16,28 (16,52)	0,78 g	709 Bar.
zweite "	46 "	10,11 (10,2)	0,88 "	709 "
Differenz:	4 ω	6,17	0,1 g	—

$$\begin{aligned} 0,1 \text{ g} &= 330 \omega \\ 330 \omega - 4 \omega &= 317 \text{ t} \\ t &= 1,028. \end{aligned}$$

Erste Stellung:	13 ω	3.6° C. (3.1)	0,98 g	727 Bar.
zweite "	24 "	15.7 (15.15)	0,79 "	727 "
Differenz:	11 ω	12,1° C.	0,19 g	—

$$0,19 \text{ g} = 627 \omega$$

$$627 \omega - 11 \omega = 601 t$$

$$t = 1,028.$$

Erste Stellung:	24 ω	15.7 (15.15)	0.79 g	727 Bar.
zweite "	33 "	21.20 (21.40)	0.69 "	727 "
Differenz:	9 ω	6.13° C.	0,10 g	—

$$0.1 \text{ g} = 330 \omega; 6,13^{\circ} = 313 t$$

$$330 \omega - 9 = 313 t$$

$$t = 1,028.$$

Obwohl es mir leicht wäre, unter den fast 2000 Beobachtungen noch eine grosse Zahl von Beobachtungen, bei denen der Barometerstand, und die anderen einwirkenden Kräfte ohne Wirkung sind, anzuführen, aus welchen ich die vorstehende Grösse berechnet habe, so möge diese Anzahl genügen.

Als Mittel aus allen guten Messungen ergibt sich

$$t = 1,0280 \omega \pm 0,0006 \quad \text{II.}$$

Bei höheren Temperaturen konnte ich leider keine Messungen anstellen. Ich hatte mir zwar einen Kasten von Eisenblech anfertigen lassen und denselben so gut als möglich mit Asbest u. s. w. vor Ausstrahlung zu schützen gesucht und dann langsam erwärmt, allein erstens änderte sich jedesmal die Stellung der Libelle zu stark, um eine brauchbare Ablesung anstellen zu können, und dann konnte niemals im ganzen Kasten eine gleichmässige Temperatur erzielt werden. Es musste daher jeder weitere Versuch bei höheren Temperaturen Messungen zu machen aufgegeben werden, besonders da es auch nicht gelang, im Frühjahre durch Heitzen des Zimmers eine nur einigermaassen brauchbar gleichmässige Wärme im Zimmer, geschweige denn im Schutzkasten des Apparates zu bekommen.

C. Die Einwirkung des wechselnden Luftdruckes auf den Stand des Apparates.

Bei allen bis jetzt beschriebenen Messungen war sorgfältig darauf geachtet worden, dass der Barometerstand bei Vornahme der Ablesungen genau denselben Stand hatte. Es war zwar durch genaues Messen der einzelnen Apparatheile die ungefähre Einwirkung des wechselnden Luftdruckes berechnet worden, doch mussten diese Rechnungen natürlich durch die Erfahrung be-

stätigt event. berichtet werden. Leider stand mir kein Kasten, aus dem ich mittelst Luftpumpe die Luft auf einen beliebigen Druck hätte bringen können, zur Verfügung; dagegen ergab es sich häufiger, dass der Barometerstand in wenigen Tagen um 10, ja sogar um 20 mm sank oder stieg. Bei diesen Anlässen wurden dann unter Beobachtung aller Vorsichtsmassregeln die Messungen ausgeführt und daraus der Einfluss berechnet.

Da jedoch dieser Einfluss nicht allein vom Barometerstand, sondern auch von der jeweilig herrschenden Temperatur abhängig ist, indem die den Apparat umgebende Luft der allein zu berücksichtigende Factor ist, deren Gewicht ja bei gleichem Barometerstand abhängig ist von der Temperatur, so muss zuerst das Gewicht der Luft berechnet, oder aus einer Tabelle entnommen, und dieses erst dann mit dem Ausschlag des Apparates verglichen werden.

Am 26. XI. 97 18^h Stand des Apparates:

	38 ω	15,25° C.	(15,50)	0,8 g	725 Barom.
am 28. XI. 18 ^h	35 „	15,20 „	(15,4)	0,8 „	697 „
Differenz	3 ω	5 t		0,0 g	28 Barom.

Das Luftgewicht für 697 mm Barometerstand bei 15° C. ist 0,001124 g, das bei 15° C. und 725 0,001169 g für einen Liter Luft¹⁾. Der Unterschied also 0,000045 g. Der Apparat selbst ist um 3 ω gesunken, die Temperatur aber 5 t = 5,1 ω, demnach ist, da diese beiden Grössen addirt werden müssen, der Apparat um 8,1 ω gesunken (da die Temperatur abnimmt. hätte der Apparat bei gleichbleibendem Barometerstand um 5 t = 5,1 ω steigen müssen, da er aber trotzdem herab ist, so summiren sich die beiden Werthe zu 8,1 ω). Es entspricht demnach eine durch den sinkenden Luftdruck von 28 mm oder einem Gewichtsunterschiede von 0,000045 g 8 ω. Demnach ist 0,000001 = 0,37 ω. Bezeichnen wir der Kürze halber diese Grösse 0,000001 g mit Ba, so haben wir

$$1 \text{ Ba} = 0,37 \omega.$$

III.

Vom 5. auf den 6. Mai 1897 stieg das Barometer von 700 auf 719. Es ergab sich hieraus:

38 ω	15,25° C.	(15,5)	0,8 g	700 Barometer
9,5 „	15,42 „	(15,8)	0,8 „	719 „
28,5 ω	0,17° C.	—	—	19 mm

Das Luftgewicht für 1 Liter Luft bei 700 mm

und 16° ist	0,001125
desgl. bei 719 mm	0,001155

0,000030

¹⁾ Da die Zahlen für das Gewicht der Luft nur Verhältnisszahlen sind, so hätte ebensogut das Gewicht für ein c. cnt. Luft genommen werden können, ohne an dem Endresultat etwas zu ändern.

$$\begin{aligned}
 & 17 \text{ t} = 17,3 \text{ } \omega \\
 18,5 \text{ } \omega & - 17,3 \text{ } \omega = 11,2 \text{ } \omega \\
 & 31 \text{ B} \omega = 11,2 \text{ } \omega \\
 & \text{Ba} = 0,37 \text{ } \omega.
 \end{aligned}$$

19. Mai 97	33 ω	15,32 ⁰ C. (15,6)	0,79 g	721 Bar.
11. „ „	44 „	15,14 „ (15,28)	0,79 „	707 „
Differenz	11 ω	0,18/ ₅₀ ⁰ C. —	—	14 Ba.

Das Luftgewicht nimmt von 721 auf 707 um 19 ab, indem für 721 = 0,001159

$$\begin{aligned}
 & \text{„ } 707 = 0,001140 \\
 & \hline
 & 19 \text{ Ba}
 \end{aligned}$$

$$18 \text{ t} = 18,4 \text{ } \omega$$

Da die Temperatur um 18,4 ω herunter ist, so hätte bei gleichem Barometerstand der Apparat ebenfalls um 18,4 in die Höhe gehen müssen, nun ist er aber nur um 11 in die Höhe; die Differenz ist also durch die 14 mm Barometerstand bedingt; es ist also $18 - 11 = 19 \text{ Ba}$

$$\text{Ba} = 0,36.$$

Am 4. April 1897, Mittags 12 Uhr, war der Stand:

	51,5 ω	8,23 ⁰ C. (8,45)	0,83 g	700 Bar.
am 5. IV. 12 ^h	60 „	8,23 „ (8,44)	0,83 „	714 „
Differenz	9,5 ω	0,0 ⁰ C. —	—	14 mm.

Das Luftgewicht für 714 mm ist 0,001181 bei 8^o C.

$$\begin{aligned}
 & \text{„ } \text{„ } \text{„ } 700 \text{ „ } \text{„ } \frac{0,001157}{0,000024}
 \end{aligned}$$

$$9 \text{ } \omega = 24 \text{ Ba}$$

$$\text{Ba} = 0,38 \text{ } \omega.$$

Das Mittel aus sämtlichen bis jetzt angestellten Messungen ist $\text{Ba} = 0,376 \text{ } \omega$.

Wenn schon bei diesen Messungen häufiger der Stand des Apparates kürzer oder kurz nach dem Neumond benutzt werden musste, der Zeit, in der die Erdanziehung am meisten gestört ist, so dürfte dies hier doch nicht störend wirken, indem die Ablesezeiten so gewählt wurden, dass die Einwirkung von Sonne und Mond kaum in Betracht kommen dürften. Der Unterschied von einem Mittag auf den nächstfolgenden kann hier wohl ausser Acht gelassen werden, insbesondere deswegen, weil der Einfluss des Barometers überhaupt, im Vergleich mit den anderen bis jetzt beschriebenen Grössen, als geringfügig angesehen werden kann.

D. Einfluss der Feuchtigkeit.

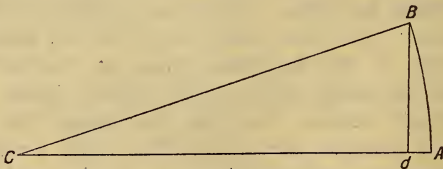
Da die Feuchtigkeit ähnlich wie die wechselnde Temperatur und der Barometerstand das Gewicht der Luft verändert, so hätte

deren Einwirkung ebenfalls empirisch bestimmt werden müssen. Da jedoch der Apparat einerseits bis jetzt nur als Standapparat benutzt wurde, und bei den Messungen die Feuchtigkeit nur sehr geringe Schwankungen aufweist, andererseits sie noch geringere Einwirkung als der Barometerstand ausübt, so wurde von genaueren dahinzielenden Untersuchungen Abstand genommen.

Bis jetzt wurden alle am Apparate vorkommenden Grössen in Theilstrichen des Ocularmikrometers bestimmt, es könnten nun, da dabei immer das g Gewicht ist, alle in der Folge zu beschreibenden Messungen auf g reducirt werden, ich ziehe jedoch der Kürze halber vor, die Grösse in ω ausgedrückt beizubehalten, und diese dann erst zuletzt in g anzugeben. Bei den folgenden Messungen wurde auch nicht, wie es sonst üblich ist, der Barometerstand auf 760 und 0^0 reducirt, sondern 716 und 15^0 gewählt, jene Zahl als mittlere Barometerhöhe von München, und diese als ungefähr mittlere Temperatur der wärmeren Jahreszeit.

E. Berechnung des numerischen Werthes von ω .

Um den Werth von ω numerisch bestimmen zu können, muss man sich zuerst klar sein, welche Beziehung zwischen ihm und dem zum Ablesen dienenden Theil des als Wagebalken gedachten Haupttheiles des Apparates besteht. Bei dieser Ueberlegung können wir vollständig von dem, an den Federn befestigten Theile absehen und nur den aus einem festen Dreieck zum Ablesen dienenden Theile betrachten. Da man bei jeder Wage, anstatt Gewichte auf die Schale zu legen, ein Laufgewicht auf dem Wagebalken selbst um eine bekannte Strecke desselben verschieben kann, um die Gewichts-Ab- oder Zunahme zu bestimmen, so können wir auch bei diesem Apparat durch das Heben oder Senken um 1ω die Ab- oder Zunahme genau erfahren.



Es sei CA der zum Ablesen dienende Wagebalkentheil, C sein Drehpunkt, bei A sei das Gewicht befestigt. Nun hebe sich der Wagebalken bis B, so kommt dies einer Zurückschiebung des Gewichtes von A nach d gleich. Der numerische Betrag dieser Gewichtserleichterung ist $\frac{A C}{A d}$. Ist nun BA und CA bekannt, so ist auch Ad bekannt.

Nun haben wir aber folgende Grössen:

1ω ist 0,0064 mm.

Die Länge des betreffenden Stückes des Wagebalkens (AC vorstehender Figur) ist 148,80 mm. Hieraus berechnet sich der

Winkel BCA zu $0^{\circ} 1' 28,3''$ und $\frac{AC}{Ad} = \frac{1}{108120000}$.

Um nun eine einigermaassen anschauliche Grösse zu haben, so rechnen wir die obenstehende Zahl in der Weise um, dass wir bestimmen, um wie viel ein Kilogramm schwerer oder leichter werden würde, falls der Apparat um 1ω herab- oder hinaufgeht. Diese Zahl ist in Milligramm ausgedrückt:

0,00925.

IV.

Nachdem nun sämtliche nothwendige Grössen bestimmt sind, gehen wir zur Hauptfrage über, welche lautet: um wieviel ändert sich die Anziehungskraft der Erde unter dem Einfluss von Sonne und Mond zur Zeit des Vollmondes zwischen Mitternacht und Mittag.

THOMSON berechnet in seinem Handbuch der theoretischen Physik diese Grösse unter der Voraussetzung, dass die Erde die Starrheit wie Glas besässe zu $\frac{1}{4000000}$. Für den Mond $\frac{1}{6000000}$, für die Sonne $\frac{1}{12000000}$.

HELMERT berechnete in seinem berühmten Werke¹⁾ dieselben Grössen, ohne die Starrheit der Erde zu berücksichtigen, und fand, dass die Schwerebeschleunigung, mithin auch die Schwerkraft, in vertikaler Richtung um $\frac{1}{178000000}$ durch den Mond und $\frac{1}{388000000}$ durch die Sonne sich änderte. Da wir aber bei unserer Frage einmal die Stellung von Sonne und Mond über dem Apparate, das andere Mal aber darunter haben, so verdoppelt sich diese Wirkung. Vereintigt man die beiden oben angeführten HELMERT'schen Werthe, so bekommt man $\frac{57}{762}$ und setzt man dafür ganz angenähert nur $\frac{1}{12}$ ($\frac{1}{18000000} + \frac{1}{39000000}$), so ist die Wirkung für die beiden Gestirne $= \frac{1}{6000000}$. Nach THOMSON $\frac{1}{2000000}$.

In den letzten beiden Jahren habe ich nun diese Grössen mittelst des vorherbeschriebenen Apparates zur Zeit des Neumondes öfters messen können, und es mögen nun die betreffenden Daten folgen. Voraussetzen will ich nur noch, dass ich diese Grössen, da nach HELMERT²⁾ die Horizontalcomponente von Sonne und Mond keinen in Betracht kommenden Einfluss hat, nicht für den Stand dieser Gestirne im Zenith umgerechnet habe.

¹⁾ Mathematische und physikalische Theorien der höheren Geodäsie, II, p. 385.

²⁾ Ebenda, p. 384.

Jede einzelne Messung der Schwerkraft besteht aus vier Ablesungen, die in möglichst kurzer Zeit nacheinander vorgenommen werden sollen: die Ablesung des Standes des Apparates, der Temperatur, des aufgelegten Gewichtes und des Barometers. Da nun das Endergebniss jeder einzelnen aus den vier Ablesungen bestehenden Messung zum Vergleichen mit anderen derartigen Messungen dienen muss, so können wir nicht in der früheren Weise verfahren, sondern müssen den Stand des Apparates und die Temperatur auf 0° reduciren, das Gewicht wird berechnet wie es aufgelegt ist, und das Barometer wird, wie schon erwähnt, auf 716 mm und 15° bezogen. Die hierbei herauskommende Grösse ist anundfürsich willkürlich, sie dient nur zum Vergleich mit anderen; es muss daher eine Grösse als Vergleichsgrösse gewählt werden, wozu ich die vom 21. Januar 1898, Mitternacht, als ersten Neumond dieses Jahres, wähle. Für die weitere Berechnung muss nun zum Stand des Apparates die Temperatur, das Gewicht und der Barometerstand unter 716 bei 15° C., ausgedrückt in ω , dazugerechnet werden. Höherer Barometerstand muss abgezogen werden.

Der Stand des Apparates am 21. Januar 1898 war folgender: Am Mikrometerocular war der Stand abzulesen 54ω , das Thermometer stand auf $11,23/50$, es waren 0,85 g aufgelegt und der Barometerstand betrug 728 mm. Der Kürze halber soll dies wie schon bisher geschrieben werden:

$$54 \omega \quad 11,46^{\circ} \text{ C.} \quad 0,85 \text{ g} \quad 728 \text{ Ba.}$$

Dabei ist am Thermometer der Grad getheilt in 50 Theile. Dies wird dem Vorhergehenden zu Folge addirt, so dass man Alles in ω umgerechnet hat:

$54 \omega + (11 \times 50 + 23) 1,02 \omega + 0,85 \times 33,7 +$ dem dem Barometerstande entsprechenden Luftgewicht, dies ist für 728 und $11^{\circ} = 0,001190$. Da das Luftgewicht auf 0° bei 716 mm bezogen wird, und dieses $= 0,001218$ ist, so haben wir noch $1218 - 1190 \times 0,37$ zu obiger Summe hinzuzufügen. Die ganze Summe ist dann 3466,8 ω .

Es mögen nun weitere, im Laufe der Zeit erhaltene Werthe folgen:

$$1. \text{ V. } 97 \text{ } 0^{\text{h}} 30^{\text{m}} \quad 70 \omega \quad 10,28^{\circ} \text{ C.} \quad 0,77 \text{ g} \quad 713 \text{ Bar.} \\ = 3177 \omega.$$

$$1. \text{ V. } 97 \text{ } 12^{\text{h}} \quad 55 \omega \quad 10,29^{\circ} \text{ C.} \quad 0,77 \text{ g} \quad 712 \text{ Bar.} \\ = 3161 \omega.$$

$$\text{Differenz zwischen Mitternacht und Mittag} = 16 \omega.$$

31. V. 97	1 ^h	31 ω	17,50 ⁰ C.	0,72 g	719 Bar.
		= 3284 ω.			
31. V. 97	12 ^h	31,5 ω	19,44 ⁰ C.	0,68 g	719 Bar.
		= 3309 ω.			
1. VI. 97	0 ^h 45 ^m	34 ω	17,74 ⁰ C.	0,7 g	718 Bar.
		= 3286 ω.			
Differenz zwischen 31. 1 ^h und 31. 12 ^h = 25 ω.					
2. IV. 97	0 ^h	31. 1 ^h „	1. VI. 0 ^h 45 ^m	= 23 ω.	
		58 ω	8,68 ⁰ C.	0,83 g	711 Bar.
		= 3266,5 ω.			
3. IV. 97	13 ^h	78,7 ω	8,56 ⁰ C.	0,83 g	709 Bar.
		= 3281,8 ω.			
Differenz = 15 ω ¹⁾ .					
24. XI. 97	0 ^h	38 ω	14,38 ⁰ C.	0,85 g	722 Bar.
		= 3618,5 ω.			
24. XI. 97	12 ^h	27 ω	15,74 ⁰ C.	0,84 g	722 Bar.
		= 3614 ω.			
Differenz = 16 ω.					
23. XII. 97	1 ^h	96 ω	14,80 ⁰ C.	0,83 g	729 Bar.
		= 3617,5 ω.			
23. XII. 97	13 ^h 25 ^m	30 ω	15,10 ⁰ C.	0,85 g	729 Bar.
		= 3635 ω.			
Differenz = 18 ω.					
21. I. 98	0 ^h 10 ^m	54 ω	11,46 ⁰ C.	0,85 g	728 Bar.
		= 3466,8 ω.			
21. I. 98	13 ^h 15 ^m	51,5 ω	11,88 ⁰ C.	0,85 g	726 Bar.
		= 3486,8 ω.			
Differenz = 20 ω.					
19. II. 98	13 ^h 15 ^m	95 ω	14,56 ⁰ C.	0,79 g	710 Bar.
		= 3481 ω.			
20. II. 98	1 ^h	73,5 ω	16,56 ⁰ C.	0,77 g	709 Bar.
		= 3500,5 ω.			
Differenz = 19 ω.					
20. II. 98	12 ^h	51 ω	15,34 ⁰ C.	0,79 g	708 Bar.
		= 3480 ω.			
22. II. 98	2 ^h	58 ω	13,60 ⁰ C.	0,82 g	705 Bar.
		= 3496 ω.			
Differenz = 16 ω.					

¹⁾ Da in den Zwischenräumen von einem Neumond zum anderen immer noch kleine Aenderungen an der Wagschale u. s. w. vorgenommen werden mussten, so können nur die Zahlen mit einander verglichen werden, die von einer Mondphase erhalten wurden.

21. II. 98	13 ^h 15 ^m	20 ω	12,12 ^o C.	0,85 g	704 Bar.
		= 3480 ω.			
25. III. 98	12 ^h	39 ω	13,98 ^o C.	0,82 g	702 Bar.
		= 3500 ω.			
26. III. 98	0 ^h 45 ^m	31 ω	13,98 ^o C.	0,82 g	698 Bar.
		= 3481 ω.			
26. III. 98	13 ^h 15 ^m	54 ω	13,62 ^o C.	0,82 g	698 Bar.
		= 2499,0 ω.			
Differenz zwischen 25. 12 ^h und 26. 13 ^h = 1 ω.					
"	"	25. 12 ^h u. 26. 13 ^h und 26. 0 ^h 45 ^m =			
		19 ω und 18 ω.			
23. IV. 98	13 ^h 20 ^m	82 ω	14,54 ^o C.	0,8 g	717 Bar.
		= 3498 ω.			
23. IV. 98	23 ^h 30 ^m	71 ω	14,38 ^o C.	0,8 g	718 Bar.
		= 3476 ω.			
22. IV. 98	23 ^h 35 ^m	69 ω	14,42 ^o C.	0,8 g	717 Bar.
		= 3477 ω.			
Differenz zwischen 23. 23 ^h und 22. 0 ^h = 1 ω.					
"	"	23. 23 ^h u. 22. 0 ^h und 23. 13 ^h = 22 u. 21 ω.			

Der Uebersicht halber mögen die verschiedenen Differenzen kurz zusammengestellt werden:

1. V. 97	0 ^h —12 ^h	. . . . .	16 ω	
31. V. 97	1 ^h —12 ^h	. . . . .	25 "	+
31. V. 97	12 ^h —1. VI. 97	0 ^h	23 "	+
2. IV. 97	0 ^h —3. IV. 97	13 ^h	15 "	
24. XI. 97	0 ^h —12 ^h	. . . . .	16 "	
23. XI. 97	1 ^h —13 ^h	. . . . .	18 "	
21. I. 98	0 ^h —13 ^h	. . . . .	20 "	+
19. II. 98	13 ^h —20. II. 98	1 ^h	19 "	+
20. II. 98	12 ^h —21. II. 98	2 ^h	16 "	
21. II. 98	2 ^h —13 ^h	. . . . .	16 "	
25. III. 98	12 ^h —26. III. 98	0 ^h	19 "	+
26. III. 98	0 ^h —12 ^h	. . . . .	18 "	+
23. IV. 98	13 ^h —23 ^h	. . . . .	22 "	+
22. IV. 98	13 ^h —23. IV. 98	13 ^h	21 "	

Wie hieraus ersichtlich ist, schwanken zwar diese Grössen immerhin noch ziemlich beträchtlich unter einander, dies mag einerseits an der durch die Schneiden verursachten Reibung liegen. andererseits aber auch seinen Grund in der fast nie bei diesen Beobachtungen, die eben an eine bestimmte Zeit gebunden sind, zu erreichenden vollständig gleichen Temperatur im Innern des Schutzkasten haben. Wie sich immermehr mit der Zeit heraus-

stellt, sind auch Temperaturdifferenzen zwischen dem Boden und der Decke des Kastens von nur $0,05^0$ sehr störend und konnte bis jetzt leider noch keine Methode gefunden werden, um diese bei der Ausrechnung eliminiren zu können. Da bei den mit + versehenen Differenzen die äusseren Umstände besonders günstig waren, so möchte ich diesen noch den Vorzug geben und berechne daraus das Mittel aus diesen Messungen zu: $19 \omega \pm 0,8$.

Da nun, wie früher erwähnt wurde, $1 \omega =$ der Vermehrung oder Verminderung eines Kilo um $0,0092$ Milligramm entspricht, so hätten wir demnach $19 \times 0,0092 = 0,181$ Milligramm als die durch Sonne und Mond hervorgerufene Vermehrung des Gewichts von 1 Kilo zwischen Neumond Mitternacht und Mittag.

HELMERT (a. a. O.) berechnet diese Grösse, wie ich oben angenähert angab, auf $\frac{1}{6000000}$, die durch diesen Apparat gefundene Grösse ist ungefähr $\frac{1}{5500000}$, stimmt also mit jener so ziemlich überein.

Da aus allen Diesem hervorgeht, dass dieser Apparat, ich möchte den schon einmal vorgeschlagenen Namen Geobarometer beibehalten, eine sehr grosse Empfindlichkeit besitzt, so liegt es nahe, um seine Genauigkeit weiter zu prüfen, zu versuchen, ob er den Unterschied der Schwere, falls man ihn um 1 m hebt oder senkt, angiebt. Ich habe daher im letztverflossenen April eine Reihe dahinzielender Versuche gemacht, und da diese die Brauchbarkeit des Instrumentes in augenscheinlichster Weise bewiesen haben, glaube ich darüber einiges mittheilen zu sollen.

F. Beobachtung über Ab- und Zunahme der Schwerkraft bei Hebung und Senkung des Apparates um 1 m.

Um den Apparat möglichst ruhig 1 m in senkrechter Richtung erheben zu können, wurde eine schlittenartige Vorrichtung hergestellt. Auf zwei Holzschienen glitt ein mit Führung versehenes Holzgestell, auf dem der Apparat aufgestellt wurde. Das Holzgestell war durch ein Gegengewicht im Gleichgewicht gehalten, sodass das Heben und Senken ziemlich ohne starkes Anstossen vorsichgehen konnte. Obwohl die Holzschienen im Verhältniss zu ihrer Beanspruchung sehr stark genommen worden waren, konnte bei diesen Untersuchungen niemals eine vollständige Ruhe erzielt werden, was eben im Federn der Holzschienen seinen Grund hat. Dadurch ist auch bedingt, dass die einzelnen Ablesungen immerhin ziemlich von einander abweichen.

Da die Ablesungszeiten, aus denen die Zahlen nachstehender Tabelle genommen wurden, leider nicht so gewählt werden konnten, dass der Mondeinfluss unberücksichtigt bleiben kann, so müssen noch die Reductionen auf gleichen Mondstand hinzugefügt werden. Da

Tag	Stunde	Apparate	Thermo- meter	Gewichte	Barometer	Stand des Apparates	Summe	Differenz
3. III.	10 ^h	82	14,08	0,81	722	gehoben	3496	
" "	12 ^h	71	15,10	0,87	722	gesenkt	3463	33
4. "	8 ^h	57	13,82	0,8	714	gehoben	3492	29
5. "	8 ^h	51	13,44	0,82	718	gesenkt	3472	20
5. "	20 ^h	70	13,52	0,8	720	gehoben	3491	21
6. "	16 ^h	89	13,28	0,8	720	gesenkt	3462	19
7. "	16 ^h	61	13,78	0,8	723	gehoben	3482	20
9. "	16 ^h	62	14,5	0,8	723	gesenkt	3470	12
" "	17 ^h	35	15,36	0,8	720	gehoben	3479	9
11. "	18 ^h	43	15,88	0,78	716	gesenkt	3463	16
12. "	17 ^h	75	15,88	0,78	711	gehoben	3497	32
13. "	18 ^h	66	14,28	0,8	715	gesenkt	3468	29
14. "	18 ^h	36	14,28	0,82	720	gehoben	3500	25

nach HELMERT¹⁾ der Mondeinfluss $\frac{1}{30800000}$ und der der Sonne $\frac{1}{17800000}$ der Erdanziehung beträgt, so nehme ich, da diese Zahlen nur die Empfindlichkeit des Apparates angeben sollen, die störende Wirkung des Mondes doppelt so gross an als die der Sonne. Wie früher gezeigt wurde, üben Sonne und Mond einen Einfluss von 19ω auf den Apparat aus. Bei dieser Reduction lege ich hier für die Sonne 6ω und den Mond 12ω zu Grunde. Daraus ergibt sich für die letztgenannten Zahlenreihen, die aus der Hebung oder Senkung des Apparates um 1 m hervorgehen, folgende Aenderung: da am 3. IV. die erste Ablesung um 10^h, die zweite um 12^h vorgenommen wurde, der Mond aber um 10^h seinen tiefsten Stand unter dem Horizont hatte, also seine grösste Anziehungskraft in negativer Weise ausübte, um 12^h aber bereits um ungefähr 30^0 diesen Stand verlassen hatte, so war seine Wirkung annähernd $\frac{1}{12}$ geringer geworden. In Folge dessen ist sein Stand um $\frac{1}{12} = 1 \omega$ um 12 gegen 10 zu hoch, wir müssen demnach die Differenz um 1ω vermehren. Diese ist $= 34 \omega$. Die Sonne kann hierbei vernachlässigt werden.

Derselbe Fall tritt vom 4. IV. 8^h bis zum 5. IV. 8^h ein, auch hier wird die Differenz um 1 grösser, also 21ω . Von 8^h bis 20^h dagegen muss ich, da der Mond um ca. 11^h seinen tiefsten Stand hat und um 20^h nahe der oberen Culmination steht, von der Differenz 8 abziehen, für die Sonne aber, da diese um 20^h schon näher der unteren Culmination sich befindet, hierbei 3ω dazurechnen. Die Differenz wird daraus 16ω . Vom 3. 12^h bis 4. 8^h heben sich Sonne und Mond ungefähr gegen-

¹⁾ Mathematische und physikalische Theorien der höheren Geodäsie, II, p. 385.

seitig auf. Derselbe Fall tritt vom 5. 20^h zum 6. 16^h ein, hier wird aus der Differenz, da hier ebenfalls wieder die Sonne ungefähr 3 ω ausmacht, zu 14 ω . Vom 6. 16^h zum 7. 10^h wird die Differenz 21 ω . Vom 9. 16^h auf 9. 17^h muss die Differenz verringert werden, sie wird 8 ω . 11. 18^h ist der Stand um 2 ω zu gross, sie wird 14 ω . 11. 18^h bis 12. 17^h ist kaum beeinflusst, dasselbe gilt von 13. 18^h und 14. 18^h. Der Mittelwerth dieser Zahlen ist 22 ω .

Wie oben gezeigt worden ist, entspricht 1 ω der Gewichts-Ab- und Zunahme eines Kilos um 0,0092 Milligramm. Wir hätten demnach einen Gewichtsverlust von $0,0092 \times 22 = 0,217$ Milligramm für die Erhebung eines Kilo um 1 m bei diesen Messungen gefunden. Dieser Betrag weicht sehr erheblich von jenen von v. JOLLY¹⁾ zu 0,29 und jenen von THIESSEN zu 0,30 Milligramm gefundenen ab. Da jedoch der Ort, wo ich diese Messungen ausführte, sich im zweiten Stock eines bewohnten Hauses befindet, und ich die darüber befindlichen Räume nicht kenne, so lege ich diesem Werthe keine Bedeutung zu, ich führte sie, wie ja schon erwähnt, nur als Beweis für die Empfindlichkeit des Apparates an.

G. Vergleich mit den Pendelmessungen.

v. ORFF²⁾ hat im Jahre 1883 in Bogenhausen die absolute Pendellänge gemessen und sie zu 998,6937 mm gefunden.

v. STERNECK³⁾ hat im Jahre 1892 seine Pendelmessungen über Berlin und München ausgedehnt und dabei für diesen Ort die Pendellänge zu 993,692 mm gefunden, woraus sich die Beschleunigung zu 9,80736 m ergibt.

Es liegt nun nahe zu untersuchen, ob diese Grösse von der Anziehungskraft des Mondes und der Sonne merklich beeinträchtigt werden. Wie früher angeführt wurde, ist der Gesamtbetrag für Sonne und Mond von Mitternacht bis Mittag bei Neumond = der Zunahme eines Kilogrammes um 0,18 Milligramm = 19 ω . Wird diese Grösse auf die Fallbeschleunigung von München bezogen, so giebt dies eine Zunahme von 0,00000101 m und es ginge diese über in 9,80736101 m. Wenn daher v. STERNECK⁴⁾ geäußert hat, dass seine Messungen von der Beeinflussung von Sonne und Mond frei seien, so stimmt dies mit meinen Messungen vollständig überein.

¹⁾ Abhandl. d. math.-phys. Classe d. k. bayr. Akad. d. Wissensch., XIV, 1883, 2. Abth.

²⁾ Ibidem.

³⁾ Mittheilungen des militärgeographischen Bureaus, Wien 1892, XII.

⁴⁾ Verhandlungen der internationalen Erdmessung, 1896, p. 42.

v. STERNECK hat durch seine Messungen am Barymeter gefunden, dass die Schwere im Laufe eines Jahres periodischen Aenderungen unterliegen, deren Maxima in den April und September, deren Minima in den Juli und Januar fallen. Aus meinen Messungen ergibt sich, dass eine Zunahme von Januar bis April und eine Abnahme von September bis Januar stattfindet, unter Berücksichtigung der am Apparate selbst noch während dieser Zeit vorgenommenen kleinen Aenderungen und des Einflusses von Sonne und Mond, deren Grösse ungefähr dem $1\frac{1}{2}$ fachen des Sonne-Mond-Einflusses entspricht. Es bestätigen demnach diese Messungen die v. STERNECK'schen Beobachtungen.

An einer früheren Stelle habe ich dem Gedanken Ausdruck gegeben, dass es vielleicht möglich sein dürfte, mit diesem Apparate Messungen auf hoher See anstellen zu können. Da es mir natürlich unmöglich war, auf einem Meeresschiffe Versuche anstellen zu können, so musste ich mich mit Vorversuchen auf dem Starnberger See begnügen. Das Endergebniss davon ist, dass bei ruhigem Wetter auf einem nicht in Fahrt befindlichen Schiffe Messungen der Schwere mit diesem Apparate ausgeführt werden können.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft](#)

Jahr/Year: 1899

Band/Volume: [51](#)

Autor(en)/Author(s):

Artikel/Article: [6. Ueber Aenderung der Schwerkraft. 125-150](#)