

Ueber das Rotations-Gesetz der Sonne und der grossen Planeten. Von Herrn Professor F. Zöllner.

Auf den Wunsch des Herrn Verfassers aus den Berichten der Königlich Sächsischen Gesellschaft der Wissenschaften, Sitzung der mathematisch-physischen Classe am 11. Februar 1871, abgedruckt.

## 1.

Scheiner hat zuerst darauf aufmerksam gemacht, dass sich die Sonnenflecken in verschiedenen heliographischen Breiten öfter mit einer verschiedenen Geschwindigkeit bewegen und zwar so, dass die südlich gelegenen Flecken eine schnellere Bewegung im Sinne der Rotation der Sonne besitzen als die nördlichen.<sup>1)</sup> Diese später auch von *Giovanni Cassini*, *Schröter*, *Laugier* u. A. bestätigte Thatsache ist jedoch erst in unseren Tagen durch die umfassenden und mit vollkommeneren Hilfsmitteln angestellten Beobachtungen von *Carrington*<sup>2)</sup> und *Spörer*<sup>3)</sup> zu einem allgemeinen Gesetz erhoben worden, nach welchem die Rotationsgeschwindigkeit der einzelnen Zonen der Sonnenoberfläche mit zunehmender Breite stetig abnimmt. Auf Grund dieser merkwürdigen Thatsache hat bekanntlich *Faye* die Hypothese von der durchgängig gasförmigen Beschaffenheit des Sonnenkörpers entwickelt, eine Hypothese, deren Priorität gegenwärtig *Secchi* mit folgenden Worten für sich in Anspruch nimmt:

„Dès le mois de janvier 1864, nous annonçons que le Soleil pourrait bien être gazeux.<sup>4)</sup> (Voir: *Bulletin météorologique de l'Observatoire du Collège Romain*, 1<sup>er</sup> janvier 1864, p. 4, col. 1, lig. 34.)

„M. Faye a adopté, après nous cette idée que le Soleil est complètement gazeux; il est même communément regardé en France comme l'auteur de cette

*théorie, car il l'a développée dans les Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences.*“<sup>1)</sup>

Allein *Secchi* führt noch einen andern Grund für die Nothwendigkeit seiner Hypothese an, nämlich die hohe Temperatur des Sonnenkörpers.<sup>2)</sup>

Für die untere Grenze dieser Temperatur findet er 5 bis 6 Millionen Grade (Celsius) und bemerkt hierzu:

„en fixant comme limite inférieure 5 ou 6 millions de degrés, nous sommes certain qu'on ne peut pas nous accuser d'exagération: mais, en réalité, sa valeur ne peut être inférieure à 10 millions de degrés.“ (*Ibid.* p. 271.)

Ueber die Theorie und Methode der angewandten Temperaturbestimmung bemerkt *Secchi* Folgendes:

„La radiation d'un corps est proportionnelle à sa température ou à la force vive moléculaire de ses radiations thermiques. On la mesure en déterminant la température à laquelle parvient un corps exposé au Soleil, et en comparant cette radiation avec celles que lui communiquent d'autres corps portés à une température connue.“ (*Ibid.* p. 265.)

„Cette théorie une fois admise, on pourra facilement déterminer la température du Soleil, et l'exprimer en prenant pour unité les degrés conventionnels du thermomètre. Pour cela, on exposera un thermomètre au Soleil dans une enceinte de température connue, on lira l'indication  $t^{\circ}$  donnée par la colonne mercurelle, et on multipliera ce nombre par le rapport qui existe entre la surface de la sphère et la surface apparente du Soleil.“ (*Ibid.* p. 266.)

<sup>1)</sup> *Ibid.* p. 106.

<sup>2)</sup> *Ibid.* p. 100 u. 101. „... existe-t-il dans l'intérieur du Soleil un noyau solide? Ce noyau n'est-il pas le siège d'actions physiques, dont les taches ne seraient que les manifestations? On a pendant longtemps admis cette hypothèse, mais différentes considérations nous ont depuis longtemps convaincu qu'elle est insoutenable, car elle est incompatible avec la température élevée que possède le Soleil, comme nous le verrons bientôt.“

<sup>1)</sup> Rosa Ursina etc. Liber III. p. 260. *Maculae australes breviori tempore majus in Sole spatium decurrunt quam septentrionales.* Indem sich Scheiner auf eine Zeichnung der Sonnenscheibe bezieht, welche die Bewegung zweier nahe dem Aequator gelegenen Fleckengruppen vom 13. September bis 26. September des Jahres 1625 darstellt, bemerkt er bezüglich des fraglichen Phänomens: *hoc non tantum hic, sed et alibi saepius deprehendens.*

<sup>2)</sup> Observations of the spots on the Sun from Nov. 9.. 1853 to March 24, 1861 made at Redhill, by Richard Christopher Carrington, F. R. S. London 1863.

<sup>3)</sup> Monatsberichte der Berliner Academie 1865. Juli und November. Ausserdem zahlreiche Abhandlungen in den Astronomischen Nachrichten.

<sup>4)</sup> *Secchi*, Le Soleil. Paris 1870. p. 101.

Abgesehen davon, dass die in dem ersten Satze enthaltenen Worte „*sa température*“ und „*force vive moléculaire de ses radiations thermiques*“ zwei wesentlich verschiedene Begriffe bezeichnen und daher logisch hier nicht durch „*ou*“ verbunden werden können, widerspricht der Inhalt des ganzen Satzes der allgemein bekannten Thatsache, dass die Wärmeausstrahlung eines Körpers nicht nur von seiner Temperatur, sondern auch von seiner Qualität und der Beschaffenheit seiner Oberfläche abhängt.

*Leslie* hat bekanntlich zuerst quantitative Bestimmungen über das verschiedene Emissionsvermögen verschiedener Substanzen bei derselben Temperatur gemacht,<sup>1)</sup> indem er die Flächen eines mit kochendem Wasser gefüllten Metallwürfels mit verschiedenen Substanzen überzog. Die späteren Versuche von *Melloni*, *Knoblauch* u. A., welche theils diese Beobachtungen bestätigten, theils auch die Abhängigkeit der ausgesandten Strahlenmenge von der Wellenlänge bewiesen, sind den Physikern allzubekannt, um hier noch besonders erwähnt zu werden.

Dass aber auch für ein und denselben Körper die Quantität der ausgestrahlten Wärme nicht der Temperatur des Körpers proportional, sondern schneller als diese wächst, sobald dieselbe nur einigermassen erheblich wird und z. B. 80° übersteigt, hat schon *de la Roche* gezeigt.<sup>2)</sup> Endlich folgt aus den Untersuchungen *Kirchhoff's* „Ueber das Verhältniss zwischen dem Emissionsvermögen und dem Absorptionsvermögen der Körper für Wärme und Licht“<sup>3)</sup> ganz allgemein, dass die Emission der Wärme- und Lichtstrahlen eine Function der Temperatur, der Wellenlänge und der Qualität des Körpers sein muss. Diese Function ist demgemäss für jeden Körper eine andere und kann nur empirisch ermittelt werden, ihre Gültigkeit erstreckt sich alsdann nur innerhalb derjenigen Grenzen, für welche sie bestimmt ist.

## 2.

Die Hypothese von der gasförmigen Beschaffenheit des ganzen Sonnenkörpers leistet offenbar für das vorliegende Problem zunächst nichts Anderes, als dass sie eine grössere Verschiebbarkeit der einzelnen Zonen der Sonnenoberfläche begreiflich macht. Wie gross aber diese Verschiebbarkeit

oder wie gering die sogenannte innere Reibung einer ihren eigenen Kräften überlassenen Kugel sein mag, die Rotationsverschiedenheit ihrer einzelnen Zonen — mag dieselbe ursprünglich durch irgendwelche Ursache erzeugt worden sein — muss mit der Zeit stetig kleiner werden und schliesslich ganz verschwinden. Die Atmosphäre unserer Erde, welche die Rotationsgeschwindigkeit des festen Erdkörpers angenommen hat, liefert ein Beispiel für diese Behauptung und widerlegt zugleich die Annahme *Gautier's*, nach welcher der flüssige Kern der Sonne bezüglich der Reibung an ihrer atmosphärischen Umhüllung sich ähnlich verhalte, wie eine innerhalb einer ruhenden Flüssigkeit rotirende Kugel.<sup>1)</sup>

Betrachtet man jedoch die Sonnenflecken nach der von mir vertheidigten Theorie als schlackenartige Abkühlungsproducte, welche auf der glühendflüssigen Sonnenoberfläche schwimmen, so müssen in dieser Flüssigkeit oberflächliche Strömungen stattfinden, welche den in ihnen schwimmenden Schlackenmassen die dem Rotationsgesetz entsprechende Geschwindigkeit ertheilen. Die Ursache, welche diese Strömungen erzeugt, muss gegenwärtig noch vorhanden und wirksam sein.

In meiner letzten Abhandlung „über die Periodicität und heliographische Verbreitung der Sonnenflecken“ habe ich gezeigt, dass sich in der Atmosphäre einer Wärme ausstrahlenden und rotirenden Kugel Strömungen entwickeln müssen, welche an der Oberfläche der Kugel von den Polen nach dem Aequator gerichtet sind.

Die von *Secchi* beobachtete Temperaturvertheilung an der Sonnenoberfläche ist ebendasselbst als das nothwendige Resultat einer thermischen Reaction jener Strömungen auf die Sonnenoberfläche erklärt worden.<sup>2)</sup>

In der vorliegenden Abhandlung soll das allgemeine Rotationsgesetz der Sonne als das nothwendige Resultat einer mechanischen Reaction jener Strömungen auf die flüssige Sonnenoberfläche erklärt werden.

<sup>1)</sup> *Emile Gautier*, De la constitution du Soleil. Vgl. Bibliothèque universelle etc. Archives T. XIX. (März 1864). In dieser Abhandlung betrachtet auch *Gautier* die Sonnenflecken als Schlacken („*solidifications partielles à la surface du soleil*“ „*croûtes surnageants sur le disque solaire en fusion*“). Indessen trotz der vollkommen richtigen Argumente giebt *Gautier* in einer späteren Abhandlung (ebendas. August 1869) diese Anschauung zu Gunsten einer mehr wolkenförmigen Natur der Sonnenflecken wieder auf. Es heisst dort: *Nous avons à retirer les termes de: „solidification, de croûte solide“ qui, dans le temps, ne nous satisfaisaient qu'à moitié, n'ayant jamais eu l'intention d'assimiler ces phénomènes à une espèce de congélation qu'ils avaient l'air de sous-entendre.*

<sup>2)</sup> Berichte der königl. sächsischen Gesellschaft der Wissenschaften. Sitzung vom 12. December 1870, p. 348.

<sup>1)</sup> *Leslie*. Inquiry into the nature and propagation of heat. London 1804.

<sup>2)</sup> Journal de physique T. LXXV. p. 201.

*De la Provostaye* und *Desains* bewiesen ferner, dass die Aenderung der Wärmeausstrahlung bei steigender Temperatur bei verschiedenen Körpern nach ganz verschiedenen Gesetzen erfolgt. Vergl. Comptes Rendus T. XXXVIII.

<sup>3)</sup> Poggendorff's Annalen CIX. p. 291 ff.

## 3.

Zu diesem Zwecke mag zunächst das folgende vereinfachte Problem untersucht werden:

Es sei eine feste, homogene und rotirende Kugel gegeben, über deren Oberfläche sich von den Polen herab eine tropfbarflüssige Masse in sehr dünner Schicht mit constanter Geschwindigkeit nach dem Aequator bewegt. Die in dieser Weise sich allseitig ausbreitende Flüssigkeit steht unter dem Einfluss der Schwere und der Reibung an der Oberfläche der Kugel. Es soll die Geschwindigkeitscomponente eines Flüssigkeitstheilchens in der Ebene eines Parallelkreises als Function der Breite des bewegten Theilchens ausgedrückt werden.

Es bezeichne:

- $r$  den Radius der Kugel,
- $\varphi$  die Breite eines Punctes an der Oberfläche,
- $v$  die Componente der Lineargeschwindigkeit,
- $\xi$  die Componente der Winkelgeschwindigkeit eines Flüssigkeitstheilchens in der Ebene eines Parallelkreises von der Breite  $\varphi$ ,
- $h$  die im Verhältniss zum Radius sehr kleine Dicke oder senkrechte Höhe der strömenden Flüssigkeit in der Breite  $\varphi$ .

Das Grundgesetz aller strömenden Bewegungen erfordert, dass nach Eintritt eines stationären Bewegungszustandes durch jeden Querschnitt der strömenden Masse in gleichen Zeiten gleiche Quantitäten der Flüssigkeit gehen. Die Grösse eines solchen senkrecht zur Strömung geführten Querschnittes  $q$  wird im vorliegenden Fall für eine bestimmte Breite  $\varphi$  ausgedrückt durch:

$$q = 2r\pi h \cos \varphi.$$

Da aber unserer Annahme gemäss die Geschwindigkeit der Strömung eine constante sein soll, so muss, um dem obigen Gesetze zu genügen, auch  $q$  eine Constante sein und es ergibt sich daher für das Gesetz, nach welchem sich die Dicke der strömenden Flüssigkeit mit der Breite ändert, der Ausdruck:

$$h = \frac{q}{2r\pi \cos \varphi}$$

Bezeichnet daher  $\rho$  die Dichtigkeit der strömenden Masse,  $d\varphi$  den sehr kleinen Abstand zweier Querschnitte, so ist die in dem hierdurch bestimmten Volumen enthaltene Masse  $m$

ebenfalls für alle Breiten constant und wird ausgedrückt durch:

$$m = 2\rho r\pi h \cos \varphi d\varphi.$$

Die Grösse der Reibungsfläche  $f$  oder der Fläche, mit welcher diese constante Masse die rotirende Kugeloberfläche berührt, ist folglich:

$$f = 2r\pi \cos \varphi d\varphi \dots \dots \dots (1)$$

und wir erhalten den Satz, dass unter den gemachten Annahmen die Grösse der Reibungsfläche der strömenden Flüssigkeit für die Einheit der Masse proportional dem Cosinus der Breite wächst.

## 4.

Ein Massenelement der strömenden Flüssigkeit erhält nun bei Verminderung seiner Breite um die Grösse  $d\varphi$  vermöge seiner äusseren Reibung an der Oberfläche der rotirenden Kugel einen gewissen Impuls und in Folge dessen einen Zuwachs an Geschwindigkeit im Sinne der Rotation. Diesen Geschwindigkeitszuwachs bezeichne ich mit  $dv$  und setze ihn proportional den folgenden drei Grössen:

1. der Geschwindigkeitsdifferenz zweier Puncte an der Oberfläche der festen Kugel, deren Breitendifferenz gleich  $d\varphi$  ist;
2. der Grösse der Reibungsfläche der Masseneinheit;
3. dem Coefficienten der äusseren Reibung zwischen der Kugeloberfläche und der Flüssigkeit.<sup>1)</sup>

Die beiden ersten Grössen sind Functionen von  $\varphi$ , die letzte soll zunächst als constant betrachtet und mit  $A$  bezeichnet werden.

Bezeichnet ferner  $v_1$  die lineare Rotationsgeschwindigkeit eines Punctes am Aequator der festen Kugel, so ist diese Geschwindigkeit für einen Punct in der Breite  $\varphi$  gleich  $v_1 \cos \varphi$ , folglich die Veränderung dieser Grösse bei Aenderung der Breite um  $d\varphi$  gleich:

$$-v_1 \sin \varphi d\varphi.$$

Bezeichnet man endlich noch mit  $A$  einen Proportionalitätsfactor, so ergibt sich mit Berücksichtigung des oben für die Vergrösserung der Reibungsfläche gefundenen Gesetzes der folgende Ausdruck für den Geschwindigkeitszuwachs  $dv$  eines Flüssigkeitselementes durch Veränderung seiner Breite um  $d\varphi$ :

$$dv = -Av_1 \sin \varphi \cos \varphi d\varphi \dots \dots \dots (2)$$

<sup>1)</sup> Da unserer Annahme gemäss die Dicke der strömenden Schicht nur eine im Verhältniss zum Radius der Kugel sehr geringe sein soll, so kann hier von der sogenannten inneren Reibung, d. h. derjenigen Kraft, mit welcher sich zwei Flüssigkeitsschichten gegeneinander verschieben, abgesehen werden.

Beim Uebergang vom Pole zu der Breite  $\varphi$  gewinnt folglich das Massenelement der Flüssigkeit eine Geschwindigkeit  $v$ , die ausgedrückt ist durch:

$$v = Aav_1 \int_{\varphi}^{\frac{\pi}{2}} \sin \varphi \cos \varphi d\varphi.$$

Hat sich die hierbei vorausgesetzte Polarströmung nicht am Pole, sondern erst in der etwas geringeren Breite  $\varphi_1$  entwickelt, so hat das betrachtete Element beim Beginn seiner Bewegung schon diejenige lineare Rotationsgeschwindigkeit besessen, welche für jene Breite einem Punkte der festen Kugeloberfläche zugehört. Diese Geschwindigkeit ist aber nach dem Obigen einfach gleich  $v_1 \cos \varphi_1$ , so dass man für den betrachteten und offenbar allgemeineren Fall, den folgenden Ausdruck für die lineare Rotationsgeschwindigkeit  $v$  eines Flüssigkeitselementes in der Breite  $\varphi$  erhält:

$$v = Aav_1 \int_{\varphi}^{\varphi_1} \sin \varphi \cos \varphi d\varphi + v_1 \cos \varphi_1$$

oder:

$$v = \frac{Aav_1}{2} (\sin^2 \varphi_1 - \sin^2 \varphi) + v_1 \cos \varphi_1 \dots (3)$$

Der Ausdruck für die angulare Rotationsgeschwindigkeit ergibt sich hieraus unmittelbar durch Berücksichtigung der Proportion:

$$v : r\pi \cos \varphi = \xi : 180^\circ$$

folglich:

$$\xi = \frac{180}{r\pi} \cdot \frac{v}{\cos \varphi}$$

Setzt man daher:

$$\frac{180}{r\pi} = C,$$

so erhält man:

$$\xi = \frac{CAav_1}{2 \cos \varphi} \cdot (\sin^2 \varphi_1 - \sin^2 \varphi) + \frac{Cv_1 \cos \varphi_1}{\cos \varphi} \dots (4)$$

oder, wenn gesetzt wird:

$$\begin{aligned} \frac{1}{2} CAav_1 \sin^2 \varphi_1 + Cv_1 \cos \varphi_1 &= M \\ \frac{1}{2} CAav_1 &= N \end{aligned}$$

so folgt:

$$\xi = \frac{M - N \sin^2 \varphi}{\cos \varphi} \dots (5)$$

Dies ist der allgemeine Ausdruck des unter den gemachten Annahmen gefundenen Rotationsgesetzes.  $M$  und  $N$  sind zwei aus den Beobachtungen zu bestimmende Constanten.

Dieses Gesetz wird auch noch für den Fall seine Gültigkeit bewahren, in welchem an Stelle der strömenden tropfbar-flüssigen eine elastisch-flüssige Masse gesetzt wird, da einer solchen Masse für die vorliegende Betrachtung und innerhalb der angenommenen Beschränkungen dieselben wesentlichen Eigenschaften beigelegt werden können wie der tropfbar-flüssigen Masse.

## 5.

Es mag jetzt die folgende Modification des vorstehend behandelten Problems betrachtet werden:

Die Oberfläche der festen rotirenden Kugel sei gleichförmig mit einer im Verhältniss zu ihren Dimensionen sehr dünnen Schicht einer tropfbarflüssigen Masse bedeckt, deren Theilchen nur in den Ebenen der Parallelkreise mit einer gewissen Reibung verschiebbar sind. Ueber dieser Schicht strömt ganz in der oben betrachteten Weise von den Polen zum Aequator eine Gasmasse  $L$ , welche vermöge ihrer Reibung mit der beweglichen Flüssigkeitsschicht  $F$  in Verbindung steht. Es soll die Rotationsgeschwindigkeit eines Theilchens dieser letzteren Schicht  $F$  als Function seiner Breite ermittelt werden.

Wie man sieht, ist hier das Gesetz des relativen Geschwindigkeitszuwaches, nach welchem die Theilchen der strömenden Gasmasse von der darunter befindlichen Flüssigkeitsschicht  $F$  Bewegungsimpulse erhalten, ein unbekanntes. Man erkennt jedoch sofort, dass das gesuchte Rotationsgesetz zwischen zwei Grenzfällen liegen muss, von denen der eine stattfindet, wenn die Verschiebbarkeit zwischen der strömenden Gasmasse  $L$  und der Flüssigkeit  $F$  eine so geringe wird, dass der Unterschied ihrer Geschwindigkeitscomponenten in der Ebene eines Breitenkreises verschwindet. In diesem Falle kann die Flüssigkeitsschicht bezüglich ihrer Verschiebung in der gedachten Ebene, als zur strömenden Gasmasse gehörig betrachtet werden, für welche das oben gefundene Rotationsgesetz gilt.

Der andere Fall tritt ein, wenn die Verschiebbarkeit zwischen der Flüssigkeitsschicht und festen Kugeloberfläche eine so geringe ist, dass der Unterschied ihrer Rotationsgeschwindigkeiten verschwindet. Alsdann verhält sich die betrachtete Flüssigkeitsschicht wie eine Schicht der festen Kugeloberfläche und besitzt folglich für alle Punkte eine von der Breite unabhängige angulare Rotationsgeschwindigkeit.

Man kann folglich das gesuchte Rotationsgesetz der flüssigen Schicht auf folgende Form bringen

$$\xi = p \cdot \left( \frac{M - N \sin^2 \varphi}{\cos \varphi} \right) + q \cdot \xi_1 \dots \dots \dots (6)$$

worin  $\xi_1$  die angulare Rotationsgeschwindigkeit der festen Kugel und  $p$  und  $q$  zwei Factoren bedeuten, die Functionen sind von  $\varphi$  und den beiden Reibungscoëfficienten der flüssigen Schicht, nämlich gegen die feste Kugeloberfläche von innen und gegen die strömende Gasmasse von aussen. Diese beiden Functionen stehen in einer solchen Beziehung, dass, wenn das Verhältniss des innern zum äusseren Reibungscoëfficienten sehr gross wird, der Werth von  $p$  für alle Werthe von  $\varphi$  verschwindet und  $q$  sich in eine Constante verwandelt. Nähert sich dagegen das Verhältniss der beiden Reibungscoëfficienten der Einheit, so muss  $q$  für alle Werthe von  $\varphi$  verschwinden und  $p$  sich in eine Constante verwandeln.

Die allgemeine Form dieses Gesetzes bleibt aber auch dann noch erhalten, wenn man von der festen Kugel ganz absieht und an ihrer Stelle eine homogene tropfbarflüssige Kugel setzt, deren Oberfläche in der oben angenommenen Weise beweglich gedacht wird. Dann verwandelt sich die früher betrachtete Flüssigkeitsschicht in die Grenzschicht der flüssigen Kugel und ihre Verschiebbarkeit wird abhängig von dem Coëfficienten der sogenannten inneren Reibung der Flüssigkeit, wogegen die Einwirkung der polaren Luftströme auf die Grenzschicht — abgesehen von ihrer Geschwindigkeit — durch den Coëfficienten der äusseren Reibung bezüglich der Gasmasse bedingt ist. Es besitzen alsdann die durch Einwirkung der Luftströme oberflächlich erregten Strömungen in der Flüssigkeit den Character sogenannter Driftströmungen.

Dass derartige Strömungen eine verhältnissmässig sehr geringe Tiefe haben und deshalb die tieferen Schichten der Flüssigkeit diesen Strömungen gegenüber wie zu einem starren Körper gehörige Schichten betrachtet werden können, beweisen einerseits die Driftströmungen an der Oberfläche des Meeres, andererseits die experimentellen und theoretischen Untersuchungen von *O. E. Meyer* <sup>1)</sup> und *C. J. H. Lampe* über die Reibung der Flüssigkeiten. Es würde demgemäss auch in diesem Falle die bewegliche Schicht als unendlich dünn den Dimensionen der Kugel gegenüber betrachtet und folglich von den Unterschieden der Geschwindigkeit in verschiedenen Tiefen dieser Schicht (durch Substitution einer mittleren Geschwindigkeit an der Oberfläche) abgesehen werden können.

1) *Crelle's Journal*. Bd. 59, p. 229 und *Poggendorf's Ann.* Bd. 113, p. 55 ff.

## 6.

Wie man sieht, sind die in der angegebenen Weise modificirten Verhältnisse des ursprünglich untersuchten Problems gegenwärtig mit den Verhältnissen auf der Sonnenoberfläche vergleichbar, wenn dieselbe als eine tropfbarflüssige betrachtet wird, über welcher sich die Polarströme der Atmosphäre ergiessen. Um aber die entwickelte Theorie unter diesen Voraussetzungen auf die Sonne übertragen zu können, bedarf es zunächst noch der Erörterung einer Eigenschaft der flüssigen Kugeloberfläche, welche oben bei der Modification des Problems vorausgesetzt wurde.

Diese Voraussetzung bestand darin, dass die Theilchen der flüssigen Oberfläche nur in den Ebenen der Parallelkreise, d. h. nur in Länge, nicht in Breite verschiebbar sein sollten. Es müsste also durch irgend eine Kraft die meridionale Componente der durch die darüber hinfließende Polarströmung erzeugten Bewegung aufgehoben werden, was z. B. der Fall wäre, wenn die Flüssigkeit an der Oberfläche sich nur in Canälen bewegen könnte, die parallel den Breitenkreisen gerichtet wären.

Betrachtet man indessen die Beschaffenheit der gesammten flüssigen Kugeloberfläche unter dem Einflusse der Polarströmungen auf beiden Hemisphären, so ergibt sich in der That bezüglich der Entwicklungsfähigkeit der erwähnten beiden Bewegungscomponenten in Länge und Breite ein sehr wesentlicher Unterschied.

Auf dem Umfange eines Meridiankreises vertheilen sich nämlich die Bewegungscomponenten bezüglich ihrer Richtung derartig, dass in je zwei benachbarten Quadranten diese Richtung eine entgegengesetzte ist, wogegen die Bewegungscomponenten auf dem Umfange eines Breitenkreises sämmtlich in demselben Sinne wirken. Es kann sich folglich in der Ebene eines Breitenkreises die Driftströmung ohne irgend eine andere als die durch die Reibung bedingte Hemmung vollständig entwickeln, während die in beiden Hemisphären nach dem Aequator gerichteten meridionalen Componenten dort eine Aufstauung von Flüssigkeit erzeugen, welche durch den hiermit verbundenen Druck in entgegengesetzter Richtung die nach dem Aequator gerichtete Componente der Driftströmung abschwächt oder aufhebt.

Man ersieht aus dieser Betrachtung, dass in der That die Verschiebbarkeit der Theilchen an der flüssigen Oberfläche der rotirenden Kugel bezüglich ihrer Länge und Breite eine verschiedene sein muss, und dass die oben hierüber gemachte Annahme eine den Verhältnissen in der Natur entsprechende war.

Man könnte bei der Sonne zu dieser Ursache der Aufhebung der meridionalen Componente der Driftströmungen

noch eine andere hinzufügen, sobald man annimmt, dass in Folge einer Temperaturzunahme nach dem Innern der rotirenden Kugel an der flüssigen Oberfläche ähnliche Strömungen auftreten wie in der darüber befindlichen Atmosphäre. Die Richtung dieser Strömungen wird alsdann an der Oberfläche der Flüssigkeit eine vom Aequator nach den Polen gerichtete sein und demgemäss eine der meridionalen Componente der Driftströmung entgegengesetzte Componente erzeugen. Je nachdem die eine oder andere dieser beiden Componenten prävalirt, würde ein auf der flüssigen Oberfläche schwimmender Sonnenfleck eine Bewegung nach den Polen oder nach dem Aequator besitzen, ohne hierdurch aufzuhören, der Bewegung der viel stärker entwickelten lateralen Driftströmungen Folge zu leisten.

## 7.

Es soll nun die vorstehend entwickelte Theorie der Rotation einer flüssigen Kugeloberfläche, die unter dem Einflusse von Polarströmungen einer sie umgebenden Atmosphäre steht, mit den Beobachtungen verglichen werden, welche über die Bewegungen der Sonnenflecken in verschiedenen heliographischen Breiten von *Carrington* und *Spörer* gesammelt worden sind.

Es kann sich bei dieser Vergleichung von Theorie und Beobachtung offenbar nur darum handeln, zu untersuchen, ob durch passende Bestimmung der in dem Ausdruck vorkommenden Constanten die analytische Form des letzteren zur Darstellung der Beobachtungen ausreichend ist.

In dem oben für das Rotationsgesetz gefundenen Ausdruck (6):

$$\xi = p \cdot \left( \frac{M - N \sin^2 \varphi}{\cos \varphi} \right) + q \cdot \xi_1$$

enthalten im Allgemeinen die beiden Grössen  $p$  und  $q$  noch unbekannte Functionen von  $\varphi$ , deren Beziehungen oben angegeben wurden. Für die praktische Anwendung kommt es daher zunächst darauf an, zu untersuchen, welches der beiden Glieder in obiger Formel der Wahrscheinlichkeit nach bei der Sonne prävaliren wird.

Das Verschwinden des zweiten Gliedes ist nach dem Obigen an die Bedingung geknüpft, dass der Coefficient der inneren Reibung der Flüssigkeit nicht wesentlich von dem Coefficienten der äusseren Reibung gegen die Atmosphäre verschieden ist. Für diesen Fall verwandelte sich aber auch  $p$  in eine Constante und der Ausdruck des Rotationsgesetzes reducirt sich einfach auf die folgende Form:

$$\xi = \frac{A - B \sin^2 \varphi}{\cos \varphi} \dots \dots \dots (7)$$

worin  $A$  und  $B$  zwei aus den Beobachtungen zu bestimmende Constanten sind. Dass diese Formel nicht auf höhere Breiten als diejenige angewandt werden darf, in welcher sich die betrachteten Polarströme entwickeln, ist aus ihrer Ableitung selbstverständlich. Die oben für die Constanten  $M$  und  $N$  gefundenen Werthe zeigen aber gleichzeitig, dass, wenn  $\varphi$  jenen Werth  $\varphi_1$  erreicht, der Rotationswinkel  $\xi$  sich auf denjenigen eines Punctes der angenommenen festen Kugeloberfläche reducirt.

So unvollständig gegenwärtig auch noch unsere Kenntnisse über die innere und äussere Reibung der Flüssigkeiten, namentlich den Gasen gegenüber, sein mögen, so sind doch bereits durch die theoretischen und experimentellen Untersuchungen von *Maxwell*, *O. E. Meyer*, *Graham*, *Helmholtz*, *Piotrowski*, *Hagenbach* u. A. gewisse Thatsachen festgestellt welche uns als Stützpunkte für die Entscheidung der vorliegenden Frage dienen können, der Frage nämlich, ob der Coefficient der inneren Reibung der glühenden Flüssigkeit an der Sonnenoberfläche von dem Coefficienten der äusseren Reibung an der Atmosphäre wesentlich verschieden ist.

Versuche über die äussere Reibung von Flüssigkeiten gegenüber gasförmigen Körpern, oder über den „Gleitungscoefficienten“<sup>1)</sup> zwischen diesen Körpern sind mir nicht bekannt. Dagegen liegen zahlreiche Versuche vor, welche ein Urtheil über diesen Coefficienten zwischen festen und gasförmigen Körpern gestatten.<sup>2)</sup> Diese Versuche beweisen, dass die Luft an der Oberfläche aller untersuchten festen Körper sehr fest haftet, meistens so sehr, dass ein Gleiten derselben an der Oberfläche nicht stattfindet. Dieses Resultat hat bereits *Stokes*<sup>3)</sup> aus *Baily's* Beobachtungen hergeleitet und die Beobachtungen *O. E. Meyer's*<sup>4)</sup> bestätigen dasselbe. Ist es daher gestattet, diese Eigenschaft auch zwischen flüssigen und gasförmigen Körpern vorauszusetzen, so kann in diesem Falle von einer äusseren Reibung keine Rede sein, und es reducirt sich die obige Frage auf diejenige nach dem Verhältniss der inneren Reibung der Atmosphäre zur inneren Reibung der glühenden Flüssigkeit an der Oberfläche der Sonne.

Von den Thatsachen, welche mir die geringe Verschiedenheit beider Coefficienten auf der Sonne wahrscheinlich machen und daher a priori die Anwendbarkeit der einfachen Form (7) des Rotationsgesetzes zulässig erscheinen lassen, führe ich folgende Resultate aus den Untersuchungen *O. E. Meyer's* an. Am Schlusse seiner ausführlichen Abhandlung

1) *Helmholtz*, Wiener Sitzungsberichte. Bd. 40, S. 656.

2) *Magnus*, Pogg. Ann. Bd. CXXI, p. 174.

3) *Cambr. Tr.* 9. part. 2, p. 18.

4) *Pogg. Ann.* Bd. CXXV. p. 189.

„über die Reibung der Flüssigkeiten“ wird hervorgehoben, „dass die innere Reibung tropfbarer Flüssigkeiten mit steigender Temperatur abnimmt“. Ferner: „Atmosphärische Luft hat eine bedeutendere (innere) Reibung, als man nach ihrer geringen Dichtigkeit erwarten sollte. Dieselbe ist nur etwa 40 mal so klein wie die des Wassers, obschon die Dichtigkeit 770 mal so gering ist.“<sup>1)</sup> In einer späteren Abhandlung<sup>2)</sup> reproducirt *Meyer* die theoretischen Resultate *Maxwell's*.<sup>3)</sup> Nach dieser Theorie ist der Reibungscoefficient eines vollkommenen Gases von der Dichtigkeit desselben unabhängig, dagegen proportional der Quadratwurzel aus seiner absoluten Temperatur. Die Beobachtungen *Meyer's* sind mit diesen Forderungen der mechanischen Theorie der Gase in genügender Uebereinstimmung.<sup>4)</sup> In meiner Abhandlung „über die Temperatur und physische Beschaffenheit der Sonne“<sup>5)</sup> habe ich für die absolute Temperatur an der Oberfläche der Sonne einen Näherungswerth von

$$t = 27700^{\circ} \text{ C.}$$

gefunden. Bezeichnet daher  $\eta_0$  den inneren Reibungscoefficienten eines absoluten Gases bei  $10^{\circ} \text{ C.}$  über dem Gefrierpunkte des Wassers, also bei einer absoluten Temperatur von  $283^{\circ} \text{ C.}$  und ebenso  $\eta$  den Werth dieses Coefficienten bei der absoluten Temperatur von  $27700^{\circ}$ , so hat man zur Berechnung von  $\eta$  nach dem erwähnten Gesetze *Maxwell's* einfach die folgende Relation:

$$\frac{\eta}{\eta_0} = \sqrt{\frac{27700}{283}}$$

woraus sich ergibt:

$$\eta = 9.9 \eta_0.$$

Es brauchte demgemäss (nach dem oben erwähnten Verhältniss der inneren Reibung von Wasser und Luft) für die glühende Flüssigkeit an der Sonnenoberfläche nur ein etwa viermal kleinerer Reibungscoefficient als der des reinen Wassers angenommen zu werden, um das zweite Glied des allgemeinen Ausdrucks für das Rotationsgesetz vernachlässigen zu können. Eine solche Annahme der grösseren Verschiebbarkeit jener Flüssigkeit würde aber bei der hohen Temperatur eine sehr begründete sein, da die oben erwähnte Abnahme der inneren Reibung der Flüssigkeiten bei steigender

Temperatur nach den Beobachtungen *Meyer's* beträchtlich schneller erfolgt, als die Zunahme dieser Reibung bei Gasen.<sup>1)</sup> Ausserdem haben wir in den strömenden Gasmassen an der Oberfläche der Sonne noch Dämpfe von schwerer flüchtigen Stoffen anzunehmen, welche den Reibungscoefficienten der im absoluten Gaszustande befindlichen Massen beträchtlich vergrössern müssen, eine Thatsache, die sich ebenfalls aus den Beobachtungen *Meyer's* bezüglich des in der Atmosphäre vorhandenen Wasserdampfes ergeben hat. Durch alle diese Betrachtungen glaube ich die Vernachlässigung des zweiten Gliedes der allgemeinen Formel und die damit verbundene Vereinfachung des theoretischen Ausdruckes des Rotationsgesetzes der Sonne zur Genüge gerechtfertigt zu haben.

## 8.

Die Beobachtungen *Carrington's*, auf welche zunächst die entwickelte Theorie angewandt werden soll, erstrecken sich auf die Zeit vom 9. November 1853 bis zum 24. März 1861, und enthalten demgemäss sowohl ein Minimum der Sonnenflecken, welches nach der Tabelle von *R. Wolf* 1856,2 stattfand, als auch ein Maximum im Jahre 1860,2.

Die folgende Tabelle, welche die reducirten Resultate aller Beobachtungen enthält, ist dem bereits oben citirten, umfangreichen Werke *Carrington's* „*Observations of the spots on the Sun*“ p. 220 entnommen.

Die erste Columne in jeder Hemisphäre giebt die heliographische Breite an, die zweite enthält die mittlere tägliche Bewegung der in dieser Breite beobachteten Flecken in Länge, die dritte diese Bewegung für denselben Zeitraum in Breite. Beide Coordinaten sind in heliocentrischen Bogenminuten ausgedrückt. Die vierte Columne endlich enthält die Anzahl der Fleckenbeobachtungen, aus denen die betreffenden Werthe abgeleitet worden sind und gestattet hierdurch eine Beurtheilung der relativen Gewichte, welche den einzelnen Werthen beizulegen sind. Gleichzeitig gewähren diese Zahlen aber auch einen unmittelbaren Einblick in die Beziehung, in welcher die Häufigkeit der Fleckenerscheinungen zur heliographischen Breite steht.

Die Beobachtung des einen Fleckes in  $50^{\circ}$  nördlicher Breite, die höchste Breite, in welcher bisjetzt überhaupt das Vorkommen eines Fleckes constatirt ist, rührt von *Peters* in Hamilton College, Clinton, New-York, her. Der Werth ist aus den Beobachtungen zweier Tage zu Neapel am 8. und 13. Juni des Jahres 1846 abgeleitet worden.

<sup>1)</sup> Pogg. Ann. Bd. CXXVII. p. 253. — Auch *Hagenbach* hebt als besonderes Resultat seiner Untersuchung den Satz hervor, dass die Zähigkeit oder innere Reibung der Flüssigkeiten „sehr bedeutend“ mit steigender Temperatur abnimmt. (Pogg. Ann. Bd. CLX. p. 425.)

<sup>1)</sup> Pogg. Ann. Bd. CXIII, p. 424.

<sup>2)</sup> Pogg. Ann. Bd. CXXV, p. 586.

<sup>3)</sup> Phil. mag. 4<sup>th</sup> ser. Vol. 19, p. 31.

<sup>4)</sup> Pogg. Ann. Bd. CXXVII, p. 254.

<sup>5)</sup> Berichte der königl. sächsischen Gesellschaft der Wissenschaften. Sitzung vom 2. Juni 1870.

Tabelle I.

Carrington's Beobachtungen von Sonnenflecken.

Nördliche Breite	Tägl. Länge	Bewegung in Breite	Zahl d. beob. Flecken	Südliche Breite	Tägl. Länge	Bewegung in Breite	Zahl d. beob. Flecken
+50°	-64'	+11'	1	-45°	-92'	-8'	2
—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—
37	-66	-17'	2	—	—	—	—
36	—	—	—	36	-50	+6	2
35	—	—	—	35	—	—	—
34	-43	+4	12	34	-44	-1	15
33	-33	+7	4	33	-36	+10	2
32	-30	-2	2	32	-52	-5	2
31	-21	+5	15	31	—	—	—
30	-20	-1	12	30	-33	+4	12
29	-36	+6	5	29	-34	+1	35
28	-28	+8	25	28	-35	+1	18
27	-27	+2	12	27	-40	+0	10
26	-21	-1	43	26	-27	+0	17
25	-12	+3	4	25	-20	+3	27
24	-16	+2	23	24	-23	+4	14
23	-19	+1	34	23	-17	+3	7
22	-12	-1	33	22	-14	-0	72
21	-14	+0	34	21	-18	+5	27
20	-9	+1	31	20	-12	+2	28
19	-11	-0	47	19	-13	+1	18
18	-6	-1	6	18	-6	-0	45
17	-9	-1	15	17	-10	+1	32
16	-5	+2	17	16	-6	+0	9
15	-0	+2	41	15	-10	-0	27
14	-4	-1	30	14	-4	-1	28
13	-2	-2	24	13	+1	0	2
12	+16	-4	18	12	+1	-0	97
11	+5	-0	38	11	+6	-1	18
10	+2	-1	22	10	+3	+1	22
9	+8	-8	13	9	+12	+1	43
8	+10	-0	71	8	+6	+3	38
7	+8	-1	53	7	+21	+0	16
6	+11	-2	19	6	—	—	—
5	+31	+10	5	5	+24	-12	1
4	+15	+2	6	4	+18	-4	3
3	+38	-2	2	3	0	-1	11
2	—	—	—	2	-17	+9	2
1	—	—	—	1	-4	0	2
0°	—	—	—	0°	+10'	-6'	1

Zu dieser Tabelle bemerkt Carrington, auf eine andere Zusammenstellung seiner Resultate Bezug nehmend, bei welcher eine grössere Anzahl von Beobachtungen ausgeschlossen wurde, Folgendes:

„In the above table it will be remarked that there is more distinctly a trace of motion in latitude, the signs being on the whole + for latitudes higher N. or S. than 20°, though the daily polar motion between 20° and 40° of latitude on an average does not exceed 2',

a quantity which could only be deduced from the totality of a large number of single results. Between the parallels of 10° to 20° the motion in latitude is evidently very small; but the signs are generally negative and a feeble tendency towards the Equator of about 1' per diem is indicated. Within 10° of the Equator on either side no reliable motion in latitude appears to exist, the signs varying much and the mean results being of less weight. It may however be inferred from these conclusions that elements of rotation will be best based on observed differences of latitude between about 8 and 18 degrees of latitude in either hemisphere, pairing them together in sets of two, one North and one South.“

Bezüglich der geringen Bewegung der Flecke in Breite und der Ursache dieser Erscheinung verweise ich auf das oben (p. 60) hierüber Bemerkte. Aus den Veränderungen in Länge leitet Carrington die Rotationswinkel verschiedener Breitenkreise der Sonnenoberfläche innerhalb eines mittleren Tages ab, und stellt die erhaltenen Resultate in folgender Tabelle zusammen. Ich habe derselben in der dritten Columnne noch die mittleren Werthe der täglichen Bewegung in Breite beigelegt, wie sie sich als Mittel aus je fünf der in Tabelle I. enthaltenen Werthe ergeben. <sup>1)</sup>

Tabelle II.

Rotationswinkel der Sonnenoberfläche in verschiedenen Breiten während eines mittleren Tages.

Breite	Täglicher Rotationswinkel	Tägliche Bewegung in Breite	Zahl der beob. Flecken
+50°	787'	+11'	1
+45	—	—	—
+40	—	—	—
+35	806	—	18
+30	824	+3,5	59
+25	831	+3,0	116
+20	840	+1,0	151
+15	851	+0,2	127
+10	859	-1,0	142
+5	863	-2,4	85
0	867	+3,3	5
-5	865	-1,6	31
-10	856	+1,0	218
-15	845	-0,4	98
-20	839	+0,8	200
-25	827	+3,0	75
-30	814	+1,2	67
-35	805	-5,3	19
-40	—	—	—
-45	759	-8	2
-50	—	—	—

<sup>1)</sup> Seechi reproducirt auf p. 90 seines bereits oben citirten Werkes „Le Soleil“ ebenfalls die folgende Tabelle von Carrington

## 9.

Carrington hat versucht, die in vorstehender Tabelle ausgedrückte Abhängigkeit des täglichen Rotationswinkels von der heliographischen Breite durch eine empirische Formel auszudrücken und giebt hierfür die folgende an, in welcher, wie oben,  $\xi$  den täglichen Rotationswinkel in heliocentrischen Minuten und  $\varphi$  die heliographische Breite bezeichnet:

$$\xi = 865' - 165' \sin^{\frac{7}{4}} \varphi.$$

Eine weitere Modification dieser Formel, welche darin besteht, dass  $\varphi$  um  $1^\circ$  verkleinert wird, schliesst sich den Beobachtungen noch etwas besser an. Indessen mag diese Formel, die dann nicht weniger als 4 empirische Constanten besässe, hier unberücksichtigt bleiben; es sollen nur die Werthe der obigen Formel mit denen verglichen werden, welche die theoretisch abgeleitete Formel mit nur zwei Constanten liefert, wenn die letzteren nach der Methode der kleinsten Quadrate aus den Beobachtungen bestimmt werden.

Faye hat versucht, die Formel von Carrington im Zusammenhange mit seinen Anschauungen über die gasförmige Natur des ganzen Sonnenkörpers durch eine andere zu ersetzen. Indem Faye die Sonnenflecken als Oeffnungen in der Photosphäre betrachtet, welche durch verticale, aus tieferen Schichten emporsteigende Gasströme erzeugt werden, begründet er seine Formel in folgender Weise: <sup>1)</sup>

„De l'échange continu qui s'opère entre les couches profondes et la surface, au moyen de courants verticaux, il faut conclure que les lois ordinaires de la rotation dans une masse fluide en équilibre doivent être singulièrement altérées, puisque cet équilibre est constamment troublé dans le sens vertical. <sup>2)</sup> Les masses ascendantes, parties d'une grande profondeur, arrivent en haut avec une vitesse linéaire de rotation moindre que celle de la surface, parce que les couches d'où elles partent ont un moindre rayon. De là un ralentissement général dans le mouvement de la pho-

und fügt derselben eine dritte Columnne als „extraite du même Ouvrage pour les mouvements en latitude“ bei, deren Werthe indessen durchschnittlich etwa 5 mal grösser als die unten folgenden sind. Man überzeugt sich jedoch leicht, dass dieser Unterschied auf ein Versehen in der Berechnung dieser Werthe zurückzuführen ist, indem Secchi einfach nur die algebraischen Summen der, für verschiedene Flecken innerhalb je  $5^\circ$  beobachteten, täglichen Bewegungen in Breite angiebt, ohne diese Summen durch die Anzahl der Beobachtungen zu dividiren, deren Mittelwerthe sie darstellen sollen.

<sup>1)</sup> Comptes rendus T. 60. p. 146 ff. Séance du 23. Janv. 1865.

<sup>2)</sup> Néanmoins la direction de l'axe peut rester invariable pendant toutes les phases que nous aurons à considérer.

tosphère, bien que ce retard doive être compensé, pour la masse totale, par les courants descendants, de manière que la loi fondamentale des aires soit satisfaite. De même notre atmosphère ne suit pas exactement les lois de la rotation d'une masse en équilibre, mais les effets sont tout différents parce qu'elle repose sur un globe solide ou liquide.

„Si la photosphère est en retard sur la rotation générale, les couches profondes devront par compensation se trouver en avance sur ce mouvement. De cette opposition il résulte que, tandis que la photosphère aura une faible tendance à se rapprocher de l'axe de rotation, en coulant superficiellement vers les pôles, la tendance contraire se manifestera dans les couches inférieures qui se porteront vers l'équateur. Les choses se passeront comme si les points de départ des courants verticaux se trouvaient sur une surface interne plus éloignée des pôles que de l'équateur; et si cette surface idéale d'émission était sphéroïdale, par exemple, sa profondeur, et par suite le retard des zones successives de la photosphère, varierait à peu près comme le carré du sinus de la latitude. Or c'est ce que donnerait la formule empirique de M. Carrington si on la corrigeait du défaut de continuité qui lui a été objecté avec raison par M. Babinet, en remplaçant la puissance  $\frac{7}{4}$  du sinus par la puissance paire  $\frac{8}{4}$  ou 2. <sup>1)</sup> Je trouve en effet que les observations sont aussi bien représentées par la formule

$$\text{Mouvement diurne} = 862' - 186' \sin^2 l.$$

„Mais ici les faits cessent de nous guider; au fond la loi de ces variations n'est pas réellement connue, la rareté des taches dans les 5 premiers degrés de la zone équatoriale et dans la zone polaire qui commence au  $35^\circ$  degré ne permet pas encore de déterminer la forme algébrique de cette variation.“ <sup>2)</sup>

Um eine übersichtliche Vergleichung der obigen Formel von Faye mit der empirischen von Carrington und der theoretischen von mir bezüglich ihrer Leistungsfähigkeit zu gestatten, habe ich in der folgenden Tabelle die beobachteten Werthe der Rotationswinkel und ihre Abweichungen von den berechneten (Rechnung — Beobachtung) zusammengestellt.

<sup>1)</sup> Comptes rendus, 12. Sept. 1865. p. 481.

<sup>2)</sup> Les observations faites vers le  $45^\circ$  et le  $50^\circ$  degré sembleraient indiquer un minimum de vitesse angulaire vers  $45^\circ$  degrés et non vers les pôles, mais la faiblesse des poids montre qu'il n'y a pas beaucoup à compter sur elles.

Für die zu diesem Zwecke zunächst aus den Beobachtungen beider Hemisphären nach der Methode der kleinsten Quadrate abgeleiteten Constanten  $A$  und  $B$  meiner Formel haben sich die folgenden Werthe ergeben:

$$A = 863.4$$

$$B = 619.5$$

Zur Berechnung wurden alle Beobachtungen zwischen  $5^\circ$  und  $35^\circ$  nördlicher und südlicher Breite mit gleichen Gewichten benutzt. Die Formeln von *Carrington*, *Faye* und mir sind mit  $C$ ,  $F$ . und  $Z$ . bezeichnet.

Tabelle III.

$\varphi$	$\xi$ (beob.)	$C$ .		$F$ .		$Z$ .	
		Fehler	Quadrate	Fehler	Quadrate	Fehler	Quadrate
$+50^\circ$	(787')	(-25)	(625)	(-34)	(1156)	(-9)	(81)
$+45$	—	—	—	—	—	—	—
$+40$	—	—	—	—	—	—	—
$+35$	806	— 3	9	— 5	25	— 1	1
$+30$	824	— 8	64	— 9	81	— 6	36
$+25$	831	— 2	4	— 2	4	0	0
$+20$	840	0	0	0	0	+ 2	4
$+15$	851	— 2	4	— 2	4	0	0
$+10$	859	— 2	4	— 2	4	— 1	1
$+5$	863	— 1	1	— 1	1	— 1	1
0	867	— 2	4	— 5	25	— 4	16
— 5	865	— 2	4	— 3	9	— 3	9
— 10	856	+ 1	1	+ 1	1	+ 2	4
— 15	845	+ 5	25	+ 4	16	+ 6	36
— 20	839	+ 0	0	+ 1	1	+ 3	9
— 25	827	+ 2	4	+ 2	4	+ 4	16
— 30	814	+ 2	4	+ 1	1	+ 4	16
— 35	805	+ 2	4	— 4	16	0	0
— 40	—	—	—	—	—	—	—
$-45^\circ$	(759')	(+19)	(361)	(+10)	(100)	(+24)	(576)

Mit Berücksichtigung aller Beobachtungen ergibt sich hieraus als Summe der Fehlerquadrate für die drei Formeln:

$$C. = 1118$$

$$F. = 1448$$

$$Z. = 806$$

Schliesst man jedoch die beiden äussersten Beobachtungen in beiden Hemisphären, wegen ihres geringen Gewichtes aus, so erhält man:

$$C. = 132$$

$$F. = 192$$

$$Z. = 149.$$

Es folgt hieraus, dass im ersten Falle meine theoretische Formel einen entschiedenen Vorzug vor den Formeln von *Carrington* und *Faye* besitzt, dass dagegen im zweiten Falle die Beobachtungen durch sie nicht wesentlich schlechter dargestellt werden, als durch die empirische Formel von *Carrington*.

## 10.

Betrachtet man die Vertheilung der Vorzeichen der Fehler, so zeigt sich bei allen drei Formeln übereinstimmend, dass für die nördliche Hemisphäre die negativen, für die südliche die positiven Zeichen in sehr entschiedener Weise überwiegen. Es folgt hieraus, dass das Rotationsgesetz für beide Hemisphären nicht genau dasselbe sein kann, und in der That, vergegenwärtigt man sich die theoretische Ableitung unserer Formel, so hängen die in derselben vorkommenden Constanten  $A$  und  $B$  lediglich von der physikalischen Beschaffenheit, also der Temperatur, den Reibungscoefficienten u. dgl. m. an der Oberfläche einer jeden Hemisphäre ab.

Bezüglich der Temperatur folgert *Secchi* aus seinen thermoskopischen Beobachtungen, dass dieselbe in der nördlichen Hemisphäre etwas höher als in der südlichen sei und am Aequator ein Maximum besitze.<sup>1)</sup> Ebenso wird die Anzahl und Vertheilung der Flecken in beiden Hemisphären, wie unten ausführlicher erörtert werden soll, im Allgemeinen nicht ohne Einfluss auf die Reibungsverhältnisse der bewegten Massen sein können. Will man demgemäss bei der Vergleichung eines theoretischen Ausdruckes des Rotationsgesetzes mit den Beobachtungen rationell verfahren, so müssen die beiden Constanten der Formel für jede Hemisphäre besonders bestimmt werden.

Die nach der Methode der kleinsten Quadrate abgeleiteten Constanten  $A$  und  $B$  erhalten für meine Formel die folgenden Werthe:

Nördl. Hemisphäre

$$A = 863.8$$

$$B = 613.2$$

Südl. Hemisphäre

$$A = 861.8$$

$$B = 620.5$$

Tabelle IV.

Nördliche Hemisphäre				Südliche Hemisphäre			
$\varphi$	$\xi$ beob.	$\xi$ berechn.	Differenz	$\varphi$	$\xi$ beob.	$\xi$ berechn.	Differenz
$+0^\circ$	867	863.8	—3.2	$-0^\circ$	867	861.8	—5.2
5	863	862.6	—0.4	5	865	860.4	—4.6
10	859	858.4	—0.6	10	856	856.2	+0.2
15	851	851.7	+0.7	15	845	849.2	+4.2
20	840	843.0	+3.0	20	839	839.8	+0.8
25	831	832.1	+1.1	25	827	828.5	+1.5
30	824	820.6	—3.4	30	814	816.0	+2.0
35	806	807.6	+1.6	35	805	801.7	—3.3
40	—	797.1	—	40	—	790.5	—
45	—	788.7	—	45	759	780.0	+21.0
50	787	783.8	—3.2	50	—	774.1	—

<sup>1)</sup> Le Soleil p. 133. Ausserdem: Nuova ricerche sulla distribuzione del calore alla superficie solare. (Tortolini, Annal. sc. mat. e fis. IV. 1853.)

Wie man sieht, ist die Uebereinstimmung zwischen Rechnung und Beobachtung für die nördliche Hemisphäre eine überraschende und so vollkommen, wie dies bei der Unsicherheit der einzelnen Beobachtungen kaum besser von irgend einer Formel verlangt werden kann. Es wird selbst die Beobachtung von *Peters* in der Breite von  $50^\circ$  ebenso gut wie die andern Werthe dargestellt. Für die südliche Hemisphäre dagegen ist der Anschluss der Formel an die Beobachtungen weniger gut.

Indessen lässt sich auch hier noch eine bessere Uebereinstimmung bezüglich der äussersten Beobachtung erzielen, wenn man die aus den Beobachtungen der nördlichen Hemisphäre abgeleitete Rotationsgeschwindigkeit am Aequator, also den Werth der Constanten

$$A = 863.8$$

auch für die südliche Hemisphäre annimmt. Es erhält dann nur die Constante  $B$  für jede Hemisphäre einen besonderen Werth und zwar:

für die nördliche Hemisphäre  $B = 613.2$

für die südliche Hemisphäre  $B = 631.1$

Mit Hülfe dieser Werthe ist die folgende Tabelle berechnet:

Tabelle V.

$\varphi$	$\xi$ beob.	$\xi$ berechn.	Differenz	Quadrato	Zahl der beob. Flecken
+50 <sup>0</sup>	787	783.8	— 3.2	10.2	1
+45	—	788.7	—	—	0
+40	—	797.4	—	—	0
+35	806	807.6	+ 1.6	2.6	18
+30	824	820.6	— 3.4	11.5	58
+25	831	832.1	+ 1.1	1.2	116
+20	840	843.0	+ 3.0	9.0	151
+15	851	851.7	+ 0.7	0.5	127
+10	859	858.4	— 0.6	0.4	142
+ 5	863	862.6	— 0.4	0.2	85
0	867	863.8	— 3.2	10.2	5
— 5	865	862.4	— 2.6	6.8	31
—10	856	857.9	+ 1.9	3.6	218
—15	845	850.6	+ 5.6	31.4	98
—20	839	840.6	+ 1.6	2.6	200
—25	827	828.7	+ 1.7	2.9	75
—30	814	815.3	+ 1.3	1.7	67
—35	805	801.0	— 4.0	16.0	19
—40	—	787.5	—	—	0
—45	759	775.2	—16.4	262.4	2
—50	—	766.3	—	—	0

Für die Summe der Fehlerquadrate ergibt sich hieraus die Zahl 373, ein Werth der um mehr als die Hälfte kleiner als der oben p. 70 unter Annahme eines für beide Hemisphären gleichen Werthes der Constante  $B$  erhalten wurde. Schliesst man aber nur die einzige Beobachtung bei  $-45^\circ$

aus, so reducirt sich die Summe der Fehlerquadrate auf die Zahl 111, ein Werth, welcher nach dem Obigen kleiner als der mit *Carrington's* empirischer Formel erhaltene Werth (132) ist, zu dessen Erlangung jedoch nicht nur eine, sondern zwei Beobachtungen in den höchsten Breiten ausgeschlossen werden müssen.

Ich glaube durch die vorstehend mitgetheilten Resultate zur Genüge bewiesen zu haben, dass die von mir auf Grund bekannter physikalischer Gesetze abgeleitete Formel die Beobachtungen *Carrington's* besser darstellt, als irgend eine der bisher bekannten Formeln.

Indem ich in der vorliegenden Abhandlung zunächst auf eine approximative Grenzbestimmung der in den Grössen  $A$  und  $B$  enthaltenen physikalischen Constanten der Sonnenoberfläche verzichte, zweifle ich nicht, dass dies bei späteren Untersuchungen, die sich auf ein grösseres und detaillirter behandeltes Beobachtungsmaterial stützen, gelingen wird. Wir werden auf diese Weise im Stande sein, jene Constanten ähnlich der Lichtemission, der Temperatur u. dgl. m. auf irdische Masseneinheiten zu reduciren und dadurch diese Grössen mit den analogen uns bekannter Körper zu vergleichen.

Die folgenden Betrachtungen sollen nun zeigen, wie diese Theorie auch von den Modificationen des Rotationsgesetzes Rechenschaft zu geben im Stande ist, welche dasselbe sowohl in verschiedenen Zeiten der Sonnenfleckenperiode als auch bei einzelnen Flecken in verschiedenen Stadien ihrer Entwicklung den Beobachtungen entsprechend erleidet.

## 11.

Die oben p. 55 erhaltene Differentialgleichung für die Componente der linearen Rotationsgeschwindigkeit eines strömenden Massenelementes war folgende:

$$dv = -Aav_1 \sin \varphi \cos \varphi d\varphi$$

Hierin bedeutete:

$A$  einen Proportionalitätsfactor,

$a$  den Reibungscoefficienten zwischen der Oberfläche der festen Kugel und der strömenden Flüssigkeit,

$v_1$  die lineare Rotationsgeschwindigkeit eines Punctes auf dem Aequator der festen Kugel,

$\varphi$  die Breite eines strömenden Theilchens.

Im Laufe der fernerer Betrachtungen hatte sich die feste Kugel in eine flüssige verwandelt, und demgemäss  $a$  die Bedeutung des Coefficienten der inneren Reibung der Flüssigkeit erlangt;  $v_1$  bedeutet alsdann die lineare Rotationsgeschwindigkeit eines Theilchens am Aequator des flüssigen Kerns, welcher dem gewöhnlichen Rotationsgesetze einer starren Kugel folgt.

Es wurde hierbei angenommen, dass die Tiefe, in welcher die Theilchen der flüssigen Kugel sich dem normalen Rotationsgesetz entsprechend verhalten, eine im Verhältniss zu den Dimensionen der Kugel verschwindend kleine sei, oder mit andern Worten, dass die Tiefe der an der Oberfläche der flüssigen Kugel erzeugten Driftströmungen unendlich klein sei.

Betrachtet man nun die Geschwindigkeiten, welche in verschiedenen Tiefen dieser dünnen Schicht stattfinden, einer Schicht, die bei den gewaltigen Dimensionen der Sonne wahrscheinlich nach Meilen gemessen werden muss, so ist klar, dass zwischen diesen Geschwindigkeiten ein continuirlicher Uebergang existiren wird. Es soll jetzt untersucht werden, in welchem Sinne dieser Uebergang stattfindet, d. h. ob mit wachsender Tiefe innerhalb der betrachteten Schicht die lineare Geschwindigkeit der Rotation wächst oder abnimmt. Zu diesem Zwecke ist nur erforderlich, die Geschwindigkeit  $v_a$  eines Punctes an der Oberfläche der Flüssigkeit mit der Geschwindigkeit  $v_i$  eines Punctes im Innern derselben in derjenigen Tiefe zu vergleichen, in welcher das Rotationsgesetz einer starren Kugeloberfläche zu gelten beginnt.

Bezeichnet  $v_1$  die lineare Rotationsgeschwindigkeit eines Punctes am Aequator der inneren Kugeloberfläche, also auf dem Grunde der dünnen Schicht, und  $\varphi_1$ , wie oben, diejenige Breite, in welcher sich die Polarströmung entwickelt, so hat man mit Rücksicht auf das Frühere:

$$\begin{aligned} v_a &= v_1 [\tfrac{1}{2} Aa (\sin^2 \varphi_1 - \sin^2 \varphi) + \cos \varphi_1] \\ v_i &= v_1 \cos \varphi \end{aligned}$$

folglich:

$$\frac{v_a}{v_i} = \frac{\tfrac{1}{2} Aa (\sin^2 \varphi_1 - \sin^2 \varphi) + \cos \varphi_1}{\cos \varphi} \dots (8)$$

Es handelt sich also nur darum, zu untersuchen, ob und unter welchen Bedingungen dieser Ausdruck grösser oder kleiner als Eins ist.

Zunächst sieht man, dass unter allen Umständen  $\varphi = \varphi_1$

$$\frac{v_a}{v_i} = 1$$

sein muss, entsprechend der Annahme, dass die Geschwindigkeit der strömenden Masse beim Beginn ihrer Bewegung die normale Rotationsgeschwindigkeit der dem Ausgangspunkte zugehörigen Breite besitzt. Differentiirt man die obige Gleichung nach  $\varphi$  und setzt den erhaltenen Ausdruck gleich Null, so ergibt sich:

$$[\cos \varphi_1 - \tfrac{1}{2} Aa (\cos^2 \varphi_1 + \cos^2 \varphi)] \frac{\tan \varphi}{\cos \varphi} = 0$$

Dieser Gleichung genügt, abgesehen von Specialfällen, allgemein der Werth  $\varphi = 0$  und es erlangt, wie man sich leicht überzeugt, der Werth von  $\frac{v_a}{v_i}$  am Aequator ein Minimum. Hieraus folgt, dass das Verhältniss der beiden Geschwindigkeiten mit abnehmender Breite bis zum Aequator stetig kleiner wird und demgemäss, mit Rücksicht auf den obigen Werth in der Breite  $\varphi_1$ , im Allgemeinen stets kleiner als Eins sein muss.

Man gelangt also zu dem wichtigen Resultate, dass innerhalb der betrachteten, relativ sehr dünnen Schicht an der Oberfläche der flüssigen rotirenden Kugel die Rotationsgeschwindigkeit mit zunehmender Tiefe wächst, so dass die tiefer gelegenen Schichten den darüber liegenden im Sinne der Rotation vorausseilen.

Da sich offenbar dieselbe Betrachtung auch auf die dünne atmosphärische Schicht anwenden lässt, welche als Polarstrom die Driftströmung auf der Oberfläche der Flüssigkeit hervorruft, und nach dem Früheren ein continuirlicher Uebergang zwischen den Geschwindigkeiten der einzelnen Schichten der Atmosphäre und der Flüssigkeit angenommen werden muss, so folgt hieraus, dass, mit Ausnahme der Polarregionen, in denen die Ströme ihren Ursprung haben, auf der ganzen Sonnenoberfläche östliche <sup>1)</sup> Winde wehen, deren Geschwindigkeit mit abnehmender Breite stetig wächst und am Aequator ein Maximum erreicht.

Demgemäss sind die betrachteten Driftströmungen an der glühend flüssigen Sonnenoberfläche dem inneren, normal rotirenden, Kerne gegenüber im Allgemeinen von Osten nach Westen gerichtet und das Rotationsgesetz nur eine Folge der Verzögerung oder Hemmung, welche die Rotationsbewegung der oberflächlichen Schichten der rotirenden Kugel an den Polarströmungen der Atmosphäre erleidet.

## 12.

Untersuchen wir jetzt die Bewegungen von Körpern etwas näher, welche wie die Sonnenflecken auf der Oberfläche der glühenden Flüssigkeit schwimmen, und ganz wie die letztere vermöge der Reibung dem retardirenden Einfluss der Polarströme unterworfen sind.

Nimmt man zunächst die Dicke eines Sonnenfleckes im Verhältniss zur Tiefe der ganzen Driftströmung sehr klein an und setzt sein specifisches Gewicht nicht wesentlich kleiner als das der glühenden Flüssigkeit voraus, so wird der Fleck

<sup>1)</sup> Die Bezeichnung der Himmelsrichtung ist hier und an allen andern Orten stets heliocentrisch zu nehmen, so dass unter einem östlichen Wind ein solcher verstanden wird, der eine der Rotationsbewegung entgegengesetzte Componente besitzt.

so lange dieselbe Geschwindigkeit wie die ihn umgebende Driftströmung besitzen, als die Reibung zwischen seiner Oberfläche und der Atmosphäre nicht grösser als diejenige zwischen der Flüssigkeit und dieser Atmosphäre ist. Ist dagegen diese Reibung grösser, so erleidet der Fleck eine stärkere Hemmung seiner Rotationsbewegung und bewegt sich folglich langsamer im Sinne der letzteren als der Driftstrom.

Wie ich glaube bedarf die Annahme, dass die Reibung oder der Widerstand der strömenden Atmosphäre an der Oberfläche eines Sonnenfleckes, wenn derselbe als eine Schlackennasse betrachtet wird, eine grössere als an der flüssigen Oberfläche sei, keiner besonderen Begründung.

Man vergegenwärtige sich z. B. die felsartig zerklüftete Oberfläche einer viele Meilen umfassenden Eisscholle in unseren Polarmeen und vergleiche sie mit der Oberfläche des sturmbewegten Meeres, in welchem sie schwimmt, so gewinnt man vielleicht einige, wenn auch nur schwache, Anhaltspunkte für diejenigen Vorstellungen, welche mit den bisher theoretisch angewandten Begriffen, wie Reibung, Verschiebbarkeit u. dgl. m. verknüpft werden müssen. Wir dürfen uns aber von der Anwendung allgemeiner physikalischer Begriffe auch auf solche Naturphänomene nicht abhalten lassen, bei welchen die Discontinuität der constituirenden Elemente durch die Grösse der Dimensionen für unsere Sinne eine auffälligere ist. — Die Oberfläche eines glatten Sandsteins erscheint im Mikroskop als rauhe und zerklüftete Felswand.

Die Dimensionen der Sonne sind so ungeheure, dass diejenigen Grössen, welche man hier im physikalischen Sinne als unendlich klein zu betrachten berechtigt ist, bei Anwendung irdischer Masse nach Meilen gemessen werden müssen.

Nimmt man also die Reibung der Atmosphäre an der Oberfläche der Sonnenflecken grösser als an der Oberfläche der sie umgebenden Flüssigkeit an, so folgt, dass die Rotationsgeschwindigkeit eines Flüssigkeitstheilchens grösser als diejenige eines in gleicher Breite beobachteten Sonnenfleckes sein muss. Diese Verschiedenheit wird offenbar für die Ableitung der allgemeinen Form des Rotationsgesetzes aus den Bewegungen der Sonnenflecken so lange ohne Einfluss sein, als die verringerte Geschwindigkeit des Sonnenfleckes für alle Breiten proportional der Geschwindigkeit des Driftstromes gesetzt werden kann. Ausserdem darf aber die Anzahl der in einer bestimmten Breite befindlichen Flecken nicht so gross sein, dass hierdurch die Geschwindigkeit des Driftstromes in seiner ganzen Ausdehnung gehemmt wird. Dass dies bei einer grossen Anzahl von Flecken, die gleichzeitig oder nach kürzeren Intervallen in derselben Breite auftreten, nothwendig der Fall sein muss, ist leicht ersichtlich, da alsdann die Flecken sich dem Driftstrom gegenüber wie Inseln in der Mitte eines Stromes verhalten würden.

Da nun aber die Vertheilung der Flecken auf der Sonnenoberfläche keine gleichmässige, sondern eine auf zwei Zonen beschränkte ist, welche sich im Mittel vom 5<sup>ten</sup> bis zum 30<sup>ten</sup> Grad nördlicher und südlicher Breite ausdehnt, so könnte dieser zuletzt erwähnte Einfluss nur innerhalb dieser beiden Zonen ungefähr bei 17°5 ein Maximum erreichen. Ferner ist klar, dass dieser Einfluss zu denjenigen Zeiten am stärksten hervortreten muss, in welchen sich die angedeutete Vertheilung der Flecken und die dadurch bedingte Verschiedenheit der Sonnenoberfläche am deutlichsten ausspricht. Es wird dies offenbar in solchen Zeiten der Fall sein, wo die Anzahl der überhaupt auf der Sonne befindlichen Flecken am grössten ist, d. h. zur Zeit der Maxima der Sonnenflecken.

### 13.

Dieser Einfluss ist bisher bei der theoretischen Ableitung des Rotationsgesetzes nicht berücksichtigt worden, vielmehr wurde hierbei bezüglich der physikalischen Constanten die Annahme einer vollkommenen Homogenität der Sonnenoberfläche gemacht. Indessen ist bereits aus dem Obigen ersichtlich, dass die Beschaffenheit der hierdurch bedingten Aenderung des Rotationsgesetzes im Allgemeinen leicht anzugeben ist. Es muss nämlich die nach der früheren Formel berechnete Rotationsgeschwindigkeit um eine gewisse Grösse verkleinert werden, die sich mit der Breite ändert und für einen Werth von ungefähr 17°5 ein Maximum erreicht. Demgemäss würde der Ausdruck des Rotationsgesetzes mit Berücksichtigung dieses Einflusses die folgende Gestalt annehmen.

$$\xi = \frac{A - B \sin^2 \varphi}{\cos \varphi} - C \cdot f(\varphi) \dots\dots$$

wo  $f(\varphi)$  die soeben erwähnte Function mit dem Maximum für  $\varphi = 17^\circ 5$  wäre.

Sind die hier angestellten Betrachtungen in der Natur begründet und liegt die Grösse des fraglichen Einflusses nicht innerhalb der Unsicherheit der Beobachtungswerthe, so muss sich in den oben erhaltenen Differenzen zwischen den berechneten und beobachteten Werthen ein gewisser Gang erkennen lassen, in der Weise, dass die Abweichungen im positiven Sinne zwischen 15° und 20° ein Maximum erreichen.

Ein Blick auf die letzte Tabelle V. zeigt, dass dies für die Abweichungen beider Hemisphären in der That der Fall ist, obschon in viel stärkerer Weise für die südliche als für die nördliche Hemisphäre. In der ersteren fällt die grösste Abweichung +3.0 auf die Breite +20°, in der letzteren die Abweichung +5.6 auf die Breite —15°. Vergleicht man aber mit Rücksicht auf die in Tabelle I. gegebenen Zahlen der beobachteten Flecken die Vertheilung derselben, so fallen

in der nördlichen Hemisphäre auf die Zone zwischen  $+10^\circ$  und  $+20^\circ$  etwa 40 Procent, in der südlichen Hemisphäre aber auf dieselbe Breitenzone nahe 47 Procent, der in jeder Hemisphäre überhaupt beobachteten Flecken.<sup>1)</sup> Ausserdem ist die Vertheilung der Flecken in der nördlichen Hemisphäre eine viel gleichförmigere, während in der südlichen die beiden Maxima bei  $-10^\circ$  und  $-20^\circ$  schroff hervortreten.

Es erklärt sich also auf diese Weise mit Hülfe der entwickelten Theorie ganz ungezwungen, sowohl weshalb die Beobachtungen der südlichen Hemisphäre durch die zur Berechnung angewandte Form des Rotationsgesetzes nicht ebenso gut dargestellt werden können wie die Beobachtungen der nördlichen Hemisphäre, als auch der Sinn, in welchem die übrig bleibenden Abweichungen liegen.

## 14.

Noch stärker aber muss, wie schon oben bemerkt wurde, dieser Einfluss um die Zeit der Fleckenmaxima hervortreten. Eine solche Beobachtungsreihe liefern uns die Beobachtungen *Spörer's*, welche in den Jahren 1861 bis 1864 angestellt wurden, also kurz nach einem Maximum (1860.2) beginnen und kein Minimum (1867.1) enthalten. Ich bemerke hierbei, dass sehr wahrscheinlich das Maximum der Rotationsverzögerung der Driftströme nicht genau mit der Zeit des Fleckenmaximums zusammenfallen, sondern, wie alle derartigen Summationswirkungen, etwas später als das Maximum der Ursache eintreten wird.

Dass die Frequenz der Flecken einen sehr merklichen Einfluss auf das Rotationsgesetz der Sonne ausübt, hebt *Spörer* mit folgenden Worten in seiner Abhandlung vom 30. Sept. 1866 in den Astronomischen Nachrichten hervor:

„Indem aus mancherlei Ursachen die Rotationswinkel erheblich differiren, hatte ich mich zunächst nach Abschluss des Jahres 1861 damit begnügt, das erwähnte Gesetz nur durch eine für die arithmetischen Mittel aufgestellte Tabelle und noch nicht durch eine Formel ersichtlich zu machen. Erst nach Verlauf eines Zeitraums von vier Jahren wurde die Formel aufgestellt, wobei ich (Astr. Nachr. № 1542) aussprach, dass ich im Jahre 1866 auch die Resultate des fünften Jahrganges mit den früheren vereinigen wollte. Letzteres ist nun bisher nicht geschehen, und zwar deshalb nicht, weil sich eine Aenderung der Verhältnisse deutlich herausstellte, also für die Zeit verminderten Fleckenstandes eine getrennte Behandlung erforderlich ist.“

<sup>1)</sup> Zählt man die Flecken nach der in der Tabelle I. gegebenen Uebersicht, so findet man für die nördliche Hemisphäre 719, wovon 287 auf die Zone zwischen  $10-20$  fallen, für die südliche 715, von denen 336 auf diese Zone fallen.

*Spörer* giebt a. a. O. eine empirische Formel zur Darstellung seiner Beobachtungen. Verwandelt man die dort auf Grade bezogenen Constanten in Minuten, so ist diese Formel:

$$\xi = 1011'0 - 202.8 \sin(\varphi + 41^\circ 13')$$

Die folgende Tabells, in welcher die beobachteten Werthe einer Abhandlung *Spörer's* in *Poggendorff's Annalen* Bd. 128 (1866) p. 269 entnommen sind, enthält dagegen die mittelst der früheren theoretischen Formel berechneten Werthe von  $\xi$ , nachdem die Constanten  $A$  und  $B$  nach der Methode der kleinsten Quadrate unter Anschluss der beiden ersten Beobachtungen<sup>1)</sup> in unmittelbarer Nähe des Aequators bestimmt wurden. Es ergab sich:

$$A = 858.6$$

$$B = 550.9$$

## Tabelle VI.

Die Rotation der Sonnenoberfläche nach *Spörer's* Beobachtungen.

Breite	$\xi$ beobachtet	$\xi$ berechnet	Differenz
$0^\circ 54'$	881' 4	858' 6	-22.8
1 55	874.2	858.4	-15.8
5 4	860.4	857.7	- 2.7
7 2	858.6	856.9	- 1.7
9 20	853.8	855.4	+ 1.7
11 56	852.0	853.5	+ 1.5
14 7	843.6	851.5	+ 7.9
15 49	837.6	850.0	+12.4
18 23	832.8	847.1	+14.3
21 18	832.2	843.5	+11.3
24 38	826.8	839.3	+12.5
30 22	823.8	832.9	+ 8.2

Der Gang und die bedeutend grössere Stärke der Abweichungen entspricht, wie man sieht, vollkommen der Theorie. Das Maximum derselben fällt auf die Breite von  $18^\circ 23'$ , also ziemlich genau in die Mitte derjenigen Zone ( $5^\circ - 30^\circ$ ), in welcher die Frequenz der Flecken ein Maximum erreicht.

Es mag jedoch hier noch eines Umstandes gedacht werden, welcher auf die Geschwindigkeit in unmittelbarer Nähe des Aequators von wesentlichem Einfluss sein muss.

Die aus *Carrington's* Beobachtungen abgeleitete Rotationsgeschwindigkeit des Aequators betrug  $867'$ , war also um  $14'4$  kleiner als die von *Spörer* beobachtete. Es erklärt sich dieser Unterschied sehr leicht, wenn man die Abhängigkeit der retardirenden Kraft der Polarströme von ihrer Geschwindigkeit berücksichtigt. Den Ausdruck dieser Kraft findet man

<sup>1)</sup> Mit Berücksichtigung derselben erhält man:  $A = 857.4$   
 $B = 550.8$

für die Einheit der bewegten Masse aus der ursprünglichen Gleichung für  $dv$  einfach durch Division mit  $dt$  und erhält:

$$\frac{dv}{dt} = -Aav_1 \sin \varphi \cos \varphi \cdot \frac{d\varphi}{dt}$$

Da  $\frac{d\varphi}{dt}$  aber nichts anders als die meridionale Componente des Polarstroms ist, so folgt, dass die retardirende Kraft der Ströme proportional jener Geschwindigkeitscomponente ist.

Da nun die oberflächlichen Schichten, in denen die Sonnenflecken schwimmen, von unten stets der beschleunigenden Wirkung der schneller rotirenden tiefern Schichten unterworfen sind, so ist klar, dass eine Abnahme in der Geschwindigkeit der Polarströme eine Zunahme der Rotationsgeschwindigkeit der Sonnenflecken zur Folge haben muss.

Am Aequator, wo ihrer Natur nach die horizontale Bewegung der Ströme sich in eine vertical aufsteigende verwandelt, verschwindet demgemäss die retardirende Wirkung an der Oberfläche der Flüssigkeit und es bleibt nur die beschleunigende Wirkung der tieferen Schichten und möglicherweise noch die seitlich retardirende der benachbarten Zonen übrig. Da jedoch die Dicke der in Betracht kommenden Schicht zur Breite der Aequatorialzone, in welcher sich die aufsteigenden Ströme entwickeln, im Allgemeinen eine geringe sein wird, so muss für die Aequatorialzone eine grössere Geschwindigkeit der Rotation stattfinden, als aus dem theoretischen Rotationsgesetz resultirt.

Zur Zeit eines Fleckenmaximums werden aber die Polarströme vermöge des grösseren Reibungswiderstandes an der Oberfläche der Sonnenflecken beträchtlich verzögert und gelangen daher mit weit geringerer Geschwindigkeit nach den Aequatorialgegenden als zur Zeit eines Fleckenminimums. Daher muss während der Maxima der Fleckenperiode die beschleunigende Wirkung der tieferen Schichten an der Sonnenoberfläche bedeutend stärker als zur Zeit der Minima sein, und demgemäss die beobachtete Rotationsgeschwindigkeit am Aequator zur Zeit der Maxima weit stärker als zur Zeit der Minima im Sinne einer grösseren Rotationsgeschwindigkeit ausfallen, ganz wie dies die Beobachtungen von *Spörer* zeigen.

Dass übrigens der erwähnte Einfluss auch bei den *Carington'schen* Beobachtungen, wenn auch in weit geringerem Maasse hervortritt, zeigen die relativ starken Abweichungen am Aequator, in demselben Sinne wie bei den *Spörer'schen* Beobachtungen.

Hiermit wäre die Abweichung der von beiden Beobachtern erhaltenen Resultate als eine nothwendige Consequenz der entwickelten Theorie erklärt, auch ohne den Einfluss der von *Faye* eingeführten Tiefenparallaxe der Flecken zur Hülfe zu nehmen.

15.

Es soll jetzt das oben erwähnte Glied  $C \cdot f(\varphi)$  näher bestimmt werden, um eine auch für die Zeit der Fleckenmaxima gültige Formel zu erhalten.

Die Beschaffenheit der Function  $f(\varphi)$  muss nach dem Früheren von der heliographischen Vertheilung der Sonnenflecken abhängen und kann daher nur einer empirischen Bestimmung fähig sein.

Wie verschieden aber auch diese Beschaffenheit in einzelnen Fällen sein mag, sie muss doch stets der Bedingung genügen, dass die Function für einen innerhalb der Zone von  $5^\circ$  bis  $30^\circ$  liegenden Werth  $\alpha$  ein Maximum erreicht. Je kleiner nun der Factor  $C$  ist und je geringer demgemäss der betrachtete Einfluss der Fleckenvertheilung auf die ursprüngliche Form des Rotationsgesetzes ist, desto weniger wird es hierbei auf die besondere Gestalt des Gesetzes, nach welchem die Function für den Werth  $\varphi = \alpha$  ihr Maximum erreicht, ankommen, so dass alsdann durch eine jede Function, welche nur der erwähnten allgemeinen Bedingung Genüge leistet, eine bessere Darstellung der Rotation der Sonnenoberfläche zur Zeit eines Fleckenmaximums erreicht wird, als dies durch die einfachere Grundform des Rotationsgesetzes möglich ist.

Diese Betrachtungen veranlassten mich, für  $f(\varphi)$  eine Kreisfunction anzunehmen und einfach zu setzen:

$$f(\varphi) = \cos(\varphi - \alpha)$$

worin  $\alpha$  die erwähnte Bedeutung hat. Der Ausdruck für das Rotationsgesetz zur Zeit des Fleckenmaximums nähme alsdann folgende Gestalt an:

$$\xi = \frac{A - B \sin^2 \varphi}{\cos \varphi} - C \cos(\varphi - \alpha)$$

oder durch weitere Entwicklung:

$$\xi = \frac{[A - C \cos \alpha] - [B - C \cos \alpha] \cos^2 \varphi}{\cos \varphi} - C \sin \alpha \cdot \sin \varphi$$

Setzt man hierin die Constanten:

$$\begin{aligned} A - C \cos \alpha &= A' \\ B - C \cos \alpha &= B' \\ C \sin \alpha &= C \end{aligned}$$

so erhält man:

$$\xi = \frac{A' - B' \sin^2 \varphi}{\cos \varphi} - C \sin \varphi \dots \dots \dots (9)$$

Bestimmt man aus den Beobachtungen *Spörer's*, mit Ausschluss der beiden ersten in unmittelbarer Nähe des Aequators, die wahrscheinlichsten Werthe der drei Constanten, so findet man:

$$A' = 877.07$$

$$B' = 387.07$$

$$C' = 154.39$$

In der folgenden Uebersicht sind die mit Anwendung dieser Constanten noch übrig bleibenden Unterschiede zwischen Rechnung und Beobachtung mit den Unterschieden der empirischen Formel von *Spörer* zusammengestellt. Die Abweichungen der *Spörer'schen* Formel sind unter *S.*, die der meinigen unter *Z.* aufgeführt. Alle Werthe sind auf Minuten reducirt.

Tabelle VII.

$\varphi$	$\xi$ beobachtet	<i>S.</i> Fehler	<i>S.</i> Quadrate	<i>Z.</i> Fehler	<i>Z.</i> Quadrate
0° 54'	881.4	-6.7	44.9	-6.9	47.6
1 55	874.2	-2.1	4.4	-2.3	5.3
5 4	860.4	+3.6	13.0	+3.2	10.2
7 2	858.6	+0.9	0.8	+0.4	0.2
9 20	853.8	+0.6	0.4	-0.1	0.0
11 56	851.9	-3.4	11.6	-4.2	17.6
14 7	843.6	+0.4	0.2	-0.5	0.3
15 49	837.6	+3.5	12.2	+2.1	4.4
18 23	832.8	+2.9	8.4	+2.0	4.0
21 18	832.2	-1.5	2.2	-1.6	2.6
24 38	826.8	-1.3	1.7	-0.4	0.2
30 22	823.8	-5.5	30.2	0.0	0.0
Summe = 130.1		Summe = 92.4			

Wie man sieht, lassen sich alle Beobachtungen *Spörer's* durch die oben theoretisch abgeleitete Formel weit besser als durch die von *Spörer* gegebene empirische Formel darstellen. Schliesst man aber die Beobachtung in unmittelbarer Nähe des Aequators aus, so reducirt sich die Summe der Fehlerquadrate für die *Spörer'sche* Formel auf 85.2, für die meinige auf 44.8, also fast auf die Hälfte des *Spörer'schen* Werthes.

Es hat sich demnach auch für die *Spörer'schen* Beobachtungen in der Nähe eines Fleckenmaximums die entwickelte Theorie des Rotationsgesetzes vollständig bewährt, und man wird in Zukunft die obige Formel ganz allgemein als den modificirten Ausdruck jenes Gesetzes zur Zeit der Fleckenmaxima zu betrachten haben.

## 16.

Es sind jedoch die bisher betrachteten Bewegungen der Sonnenflecken nicht die einzigen, denen ein starrer, in der glühenden Flüssigkeit schwimmender Körper innerhalb der Driftströmungen unterworfen ist.

Denken wir uns z. B. eine feste Kugel von geringerem Durchmesser als die Dicke der bewegten Schicht und von nur wenig geringerem specifischen Gewicht als die Flüssigkeit, in welcher sie schwimmt. Da die unteren Theile der Kugel in tiefere Schichten der Flüssigkeit hinabreichen, und diese Schichten nach dem Früheren eine grössere Geschwindigkeit im Sinne der Rotation besitzen als die oberen, so wird ein Drehungsmoment erzeugt, vermöge dessen die Kugel um eine horizontale, in der Meridianebene liegende, Axe in Rotation versetzt wird, deren Richtung der Rotation der grossen Kugel entgegengesetzt ist.

Ein zweites Drehungsmoment wird aber noch um die normal zur flüssigen Oberfläche stehende Axe der Kugel erzeugt, da die vom Aequator entfernteren Theile der Kugel, zufolge der Rotationsverschiedenheit der Breitenzonen, einen geringeren Bewegungsantrieb als die dem Aequator näheren Theile erleiden. Die Richtung der hierdurch erzeugten Rotation muss in beiden Hemisphären eine entgegengesetzte sein, indem für einen auf dem Pole stehenden Beobachter die Rotation der schwimmenden Kugel um ihre normale Axe stets im Sinne der Rotation der grossen Kugel erfolgt.

Da für einen Beobachter auf der nördlichen Hemisphäre der Erde die Rotation auf der Sonnenscheibe von links nach rechts, also bei der Culmination vom Ostrande nach dem Westrande erfolgt, so muss der Sinn der betrachteten Rotationsbewegung für einen Körper auf der südlichen Hemisphäre von links nach rechts — also im Sinne eines Uhrzeigers — auf der nördlichen Hemisphäre im entgegengesetzten Sinne erfolgen.

Vergleicht man die Geschwindigkeit der beiden Rotationsbewegungen der schwimmenden Kugel, so wird diejenige um die horizontale Axe eine beträchtlich viel grössere als diejenige um die verticale Axe sein müssen, da die Aenderungen der Geschwindigkeit der strömenden Schichten nach der Tiefe bei Weitem schneller wachsen müssen als nach der Breite. Es folgt dies unmittelbar aus der oben begründeten Annahme einer relativ sehr geringen Tiefe der Driftströme und den Ausdrücken für die linearen Geschwindigkeiten an der Oberfläche und auf dem Grunde dieser Ströme.

Indessen wird dieses Verhältniss ein anderes, sobald man an Stelle der schwimmenden Kugel einen platten Körper, also einen solchen von geringeren verticalen als horizontalen Dimensionen voraussetzt. Das erwähnte Drehungsmoment wird in diesem Falle nur dann eine Rotation um die horizontale Axe zu erzeugen im Stande sein, wenn es stark genug ist, um den Gegendruck zu überwinden, welcher bei einem so gestalteten Körper durch das theilweise Heraustreten der vorangehenden Theile aus der Flüssigkeit d. h. durch Ablenkung seines Schwerpunktes aus der Normalen erzeugt

wird. Ist die Grösse des Drehungsmomentes hierzu nicht ausreichend, so wird sich seine Wirkung auf eine permanente Lagenveränderung des schwimmenden Körpers reduciren, die darin besteht, dass der in der Bewegung vorangehende Theil gehoben, der nachgehende gesenkt wird, so dass der hierdurch erzeugte Gegendruck dem Drehungsmomente stets das Gleichgewicht hält. Die Oberfläche solcher Körper wird demgemäss nicht eine horizontale, sondern eine etwas schräge, im Sinne der Rotation aufsteigende Lage erhalten. Die Grösse des hierdurch erzeugten Neigungswinkels hängt einerseits von dem Verhältniss der Dicke zur Oberfläche der schwimmenden Körper, andererseits von der Tiefe des Eintauchens und der in verschiedenen Tiefen herrschenden Geschwindigkeitsdifferenz der strömenden Schichten ab. Aendern sich diese Verhältnisse bei demselben Körper, so müssen dieselben sowohl von Aenderungen der rotatorischen als auch translatorischen Bewegungen begleitet sein. So müsste z. B. eine schnelle Zunahme der Tiefe des Eintauchens auch mit einer schnellen Vergrösserung der Bewegung im Sinne der Rotation verbunden sein, da in diesem Falle die tieferen, schneller rotirenden Schichten einen grösseren Einfluss auf die Fortbewegung der schwimmenden Masse gewinnen würden. Würde der Körper durch eine plötzliche Veränderung seines Gleichgewichts untergetaucht, so müsste er an einer anderen Stelle wieder emporsteigen, welche der ursprünglichen im Sinne der Rotation voraus liegt.

## 17.

Alle diese Betrachtungen sind unmittelbar auf die Sonnenflecke anwendbar, sobald man dieselben als starre, auf der flüssigen Sonnenoberfläche schwimmende Körper betrachtet. Ist dies der Fall, so müssen sich die oben abgeleiteten Bewegungen auch bei den Sonnenflecken wiederfinden. Diese Folgerung wird durch die Beobachtungen in überraschender Weise bestätigt.

Carrington bespricht am Schlusse seines Werkes p. 245 die Tendenz der Flecke zu divergiren, eine Erscheinung, die nach meiner Theorie durch die an den Küsten der Schlackeninseln erzeugten heftigen Winde, welche in ihrem unteren Theile, also an der Oberfläche der Inseln analog den Landwinden an den Küsten des Meeres centrifugale Richtung haben müssen, ihre einfache Erklärung findet.

Carrington erklärt diese Erscheinung in folgender Weise:

*„It appears to me only explicable by the tendency of spots to break out two and two or to subdivide, coupled with a gyratory motion of their parts, which for every spot in the same hemisphere will take place in the direction of rotation around the pole of that hemisphere, or what is*

*called right-handed in the South and left-handed in the North Hemisphere. The outer portions of two contiguous spots will therefore have opposed motions producing mutual centrifugal pressure.“*

Beispiele von Rotation der Flecken sind von verschiedenen Beobachtern angeführt worden, obschon ich nicht weiss, in wie weit die Richtung dieser Rotation im Durchschnitt mit der oben angegebenen übereinstimmt.

Die von Carrington erwähnte Tendenz der Flecke zu zerbrechen und sich zu theilen, würde sich durch den oben erwähnten Druck erklären, welcher durch das Drehungsmoment um die horizontale Axe erzeugt wird. Dieser Druck kann nur vermöge der Cohäsion der Schlackenmasse bestehen, und muss daher, bei hinreichender Stärke, die Cohäsion überwinden und hierdurch ein Zerbrechen der Masse herbeiführen.

Dieses Zerbrechen wie überhaupt alle plötzlichen Gestaltsveränderungen der Flecken müssen nothwendig mit Veränderungen in der Tiefe des Eintauchens der einzelnen Schlackenstücke verbunden sein, und hierdurch, bei der Verschiedenheit der Geschwindigkeit der einzelnen Schichten der Flüssigkeit, grosse und plötzlich eintretende Bewegungsdifferenzen der Fleckenstücke erzeugen. Man kann ganz allgemein behaupten, dass zu denjenigen Zeiten, in welchen starke Veränderungen in der Tiefe des Eintauchens der Flecken eintreten, auch starke Aenderungen in der Bewegung derselben eintreten müssen. Solche Aenderungen werden aber, wie leicht ersichtlich, am stärksten in der Phase der Entwicklung und Auflösung der Flecken vorhanden sein. Im ersten Falle nimmt die Dicke der sich bildenden Schlacke zu, im zweiten wieder ab, und nur zwischen beiden Phasen wird ein Zustand von relativ constanter Dicke und demgemäss auch von constanter Tiefe des Eintauchens vorausgesetzt werden können.

In der oben citirten Abhandlung <sup>1)</sup> bemerkt Spörer bezüglich der Gültigkeit des Rotationsgesetzes Folgendes:

„Die Formel gilt nicht für die erste Phase in der Entwicklung der Gruppen, indem alsdann sehr beträchtliche, verschiedene und einander entgegengesetzte Bewegungen beobachtet werden. Nachdem meist der östliche Theil der Gruppe verschwunden ist, verbleibt im westlichen Theile ein Hauptkern und dieser zeigt annähernd die nach der Tabelle seiner heliographischen Breite entsprechende Bewegung.“

Die Bezeichnungen „östlich“ und „westlich“ sind hier geocentrisch bezüglich des Sonnenrandes zu verstehen. Ersteres bezeichnet also den nachfolgenden, letzteres den im Sinne der Rotation vorausgehenden Rand des Fleckes. Auch für das erwähnte frühere Verschwinden des nachfolgenden Randes

<sup>1)</sup> Pogg. Ann. Bd. 128. p. 270.

giebt die entwickelte Theorie eine Erklärung. Berücksichtigt man nämlich einerseits die durch das Drehungsmoment bewirkte schräge Stellung der Oberfläche eines Fleckes (nach der vorangehenden Seite aufsteigend), andererseits die Bewegung der Flecken innerhalb der Driftströme im entgegengesetzten Sinne derselben, so wird auf der nachfolgenden Seite des Fleckes stets ein grösserer Theil von der glühenden Flüssigkeit umspült und daher schneller aufgelöst als auf der vorausgehenden, wo der Fleck, vermöge des Drehungsmomentes mehr aus der Flüssigkeit hervorrät.

Es wurde oben theoretisch für die ganze Sonnenoberfläche die Existenz von östlichen (heliocentrisch) Winden abgeleitet. Hieraus erklärt sich die von den englischen Beobachtern und auch von Spörer hervorgehobene Thatsache, dass sich die sogenannten Fackeln in der Nähe der Flecken in der überwiegenden Mehrzahl der Fälle auf der nachfolgenden Seite der Flecken befinden.

Diese Fackeln sind nach meiner Theorie der Sonnenflecken nichts anderes als Theile der Sonnenatmosphäre, welche durch die an der Grenze der Flecken aufsteigenden Luftströme aus der Tiefe emporgerissen werden und daher auch wirkliche Erhebungen der glühenden Atmosphäre über ihr gewöhnliches Niveau erzeugen. Die grössere Helligkeit dieser Gebilde ist wesentlich durch drei Umstände bedingt, nämlich erstens durch die höhere Temperatur der tieferen Schichten der Atmosphäre, zweitens durch die grössere Dicke der strahlenden Schicht, auf welche wir blicken, und drittens durch die Verminderung der Dicke derjenigen kälteren Schichten der Sonnenatmosphäre, welche vorzugsweise eine absorbirende Wirkung auf die Lichtemission des Sonnenkernes ausüben.

#### 18.

Es wurde oben bei Erörterung der Wirkungen des Drehungsmomentes um die horizontale Axe der Einfluss hervor gehoben, welchen hierbei das Verhältniss der Dimensionen der schwimmenden Körper in horizontaler und verticaler Ausdehnung ausübt. Je mehr sich dieses Verhältniss der Einheit nähert, desto leichter wird das Drehungsmoment eine wirkliche Drehung an Stelle der schiefen Stellung des Körpers hervorbringen können. Untersucht man die Aenderungen dieses Verhältnisses bei einem Sonnenfleck in den verschiedenen Stadien seiner Entwicklung, so ist offenbar im Beginn der Entwicklung die Dicke der Schlackenschicht im Verhältniss zu ihrer Ausdehnung eine sehr geringe. Die Dicke wächst jedoch im Laufe der weiteren Entwicklung und wird namentlich durch das oben erwähnte Abschmelzen auf der nachfolgenden Seite des Fleckes im Verhältniss zu den horizontalen Dimensionen desselben bis zu seinem Verschwinden stetig wachsen. Gewinnt nun hierbei das Drehungsmoment

das Uebergewicht über den durch die schräge Stellung erzeugten Druck, so wird der ganze Fleck eine Wälzung erleiden, ähnlich wie man dies an schwimmenden Körpern beobachtet, die in einem schnell fliessenden Strome mit verschiedenen Theilen ihrer Oberfläche auch die tieferen, hier aber langsamer fliessenden Schichten berühren.

Wie man sieht, wird ein solches Phänomen nur in der letzten Entwicklungsphase eines Sonnenfleckes wahrscheinlich sein. Derselbe wird hierbei untertauchen, von den tieferen Schichten fortgeführt werden und an einer im Sinne der Rotation entfernteren andern Stelle wieder empor tauchen müssen.

Solche Erscheinungen werden nun in der That öfter beobachtet. Carrington führt auf p. 246 seines Werkes unter der Ueberschrift „*On recurrence in the same neighbourhood*“ etwa zwanzig Fälle auf, in denen ein solches Wiedererscheinen verschwundener Flecke beobachtet wurde.

Secchi<sup>1)</sup> stellt sogar ganz bestimmt den folgenden Satz auf:

„*Les grandes taches, après s'être dissoutes, reparaissent souvent à une petite distance de leur position primitive, mais toujours vers la partie antérieure. Ainsi, la tache no. 43, après avoir disparu, se reproduisit une trentaine de degrés plus loin, sous la même latitude.*“

Ebenso ist der folgende Satz (ibid. p. 93) bezüglich der vorher betrachteten Erscheinungen bemerkenswerth:

„*Toutes les fois qu'une tache se divise, ou qu'elle subit un changement considérable dans sa forme, on observe toujours un mouvement brusque, une espèce de saut qui se fait invariablement vers la partie antérieure, c'est-à-dire dans le sens où croissent les longitudes.*“

Die vorstehend behandelten Veränderungen der Sonnenflecken sind die hauptsächlichsten der bis jetzt bekannten allgemeinen Erscheinungen und konnten daher auch nur solche Ursachen haben, welche in der allgemeinen physischen Beschaffenheit des Sonnenkörpers begründet sind.

#### 19.

Eine wesentliche und durchaus nothwendige Voraussetzung bei der Theorie dieser Bewegungsphänomene ist, wie man sieht, der feste Aggregatzustand der Sonnenflecken. Wären dieselben wolkenartige, in der Sonnenatmosphäre schwimmende Massen, welche an den Bewegungen der Atmosphäre, nach Analogie der irdischen Wolken, Theil nehmen, so müssten dieselben, mit Rücksicht auf das Rotationsgesetz, schon im Verlaufe weniger Tage Veränderungen erleiden, deren allgemeine Beschaffenheit sich leicht angeben lässt.

<sup>1)</sup> Le Soleil p. 94.

Im Durchschnitt beträgt nach den Beobachtungen *Carvington's* der Unterschied der täglichen Rotationsgeschwindigkeiten zweier Punkte der Sonnenoberfläche, deren heliographische Breiten um  $1^\circ$  verschieden sind, etwa  $1''6$ . Nach Verlauf von  $n$  Tagen müssten sich diese beiden Punkte offenbar um  $1.6 n$  Grade von einander entfernt haben und das ursprüngliche Wolkengebilde von  $1^\circ$  Durchmesser würde zu einem Streifen von  $1.6 n$  Grade ausgedehnt worden sein, welcher mit zunehmender Entfernung der beiden Punkte immer mehr eine dem Aequator parallele Richtung annähme.

Die Breite des Streifens wäre in der Mitte am grössten und nähme nach beiden Seiten bis zum Verschwinden ab. Gesetzt also, wir beobachteten das Entstehen eines nach allen Richtungen ziemlich gleich entwickelten Fleckes von  $1^\circ$  Durchmesser und verfolgten diesen Fleck nur während der Zeit einer halben Rotationsdauer der Sonne, also etwa 12.5 Tage, so müsste sich dieser Fleck, — falls er aus einer in der Sonnenatmosphäre schwimmenden Wolke bestünde, — in einen Streifen von  $20^\circ$  Länge verwandelt haben. Bei grösseren Flecken muss diese Veränderung natürlich eine verhältnissmässig viel stärkere sein und ein Fleck von z. B.  $3^\circ$  Durchmesser würde nach nur einmaliger Rotation bei seiner Wiederkehr einen Streifen von  $120^\circ$  Länge bilden, sich also fast über den ganzen uns zugewendeten Theil des betreffenden Parallelkreises ausgedehnt haben. Derartige Erscheinungen werden aber bei den Sonnenflecken, bis auf die nun leicht erklärliche Tendenz der Gruppen sich den Breitenkreisen parallel zu stellen, nicht beobachtet, trotzdem ihre Dimensionen die oben angenommenen oft weit übertreffen. Ich betrachte daher die Abwesenheit dieser Streifenbildung auf der Sonne als einen der schlagendsten Beweise gegen die wolkenartige Natur der Sonnenflecken.

## 20.

Diese Betrachtungen führen nun unmittelbar auf die Frage, ob nicht die merkwürdigen und so charakteristischen Streifen, welche wir auf den Oberflächen der beiden grössten Planeten unseres Systems, des Jupiter und Saturn beobachten, den so eben entwickelten Verhältnissen ihre Entstehung verdanken. Als wesentliche Bedingung zu dieser Entstehung müsste für die Atmosphären beider Planeten ein dem Rotationsgesetz der Sonne analoges Gesetz angenommen werden, alsq eine Verschiedenheit der Rotationsgeschwindigkeit der einzelnen Breitenzonen.

Bereits vor 6 Jahren habe ich meinen „photometrischen Untersuchungen“ p. 303 ff. die Gründe entwickelt, welche zur Annahme einer relativ noch sehr hohen Temperatur der Oberflächen beider Planeten nöthigen. Der wesentlichste dieser

Gründe war die durch Beobachtungen erwiesene starke Veränderlichkeit der Gebilde an den Oberflächen jener Planeten. Sind diese Gebilde atmosphärischer Natur und ihre Bewegungen durch Gleichgewichtsstörungen in Folge von Temperaturdifferenzen, wie in der irdischen Atmosphäre, erzeugt, so können diese Temperaturunterschiede nicht durch Insolation hervorgerufen sein, da die Intensität der Wärmestrahlung der Sonne auf dem Jupiter nur  $\frac{1}{25}$ , auf dem Saturn aber nur  $\frac{1}{100}$  von derjenigen auf der Erde beträgt. Folglich muss die Quelle der auf den Oberflächen Jupiters und Saturns beobachteten gewaltigen Bewegungen, die meistens unsere heftigsten Stürme weit übertreffen, in einer sehr hohen eigenen Temperatur dieser Planeten gesucht werden.

In meiner letzten Abhandlung „über die Periodicität und heliographische Verbreitung der Sonnenflecken“<sup>1)</sup> habe ich die Entwicklung der Polarströmungen in den flüssigen Umhüllungen einer Kugel lediglich als die Folge zweier Ursachen, der Rotation und der höheren Temperatur der Kugel, mechanisch zu begründen versucht. Bei dieser Begründung hatte ich die gleichmässig erwärmte Kugel zunächst als ruhend vorausgesetzt und gezeigt, wie durch den Beginn der Rotation das labile Gleichgewicht der übereinander liegenden Flüssigkeitsschichten gestört und eine Circulation im Sinne eines Emporsteigens der erwärmten Massen am Aequator erzeugt werden muss. Man könnte indessen vielleicht die Beweiskraft dieser Betrachtungsweise deswegen beanstanden, weil in der Natur die beiden Ursachen nicht in der angedeuteten Weise getrennt, sondern von Anfang an gleichzeitig aufgetreten sind. Berücksichtigt man indessen, dass die angulare Rotationsgeschwindigkeit eines sich abkühlenden und in Folge dessen sich contrahirenden Weltkörpers stets wachsen muss, so würde hierdurch in der That die in der erwähnten Betrachtung angenommene Reihenfolge der wirkenden Ursachen motivirt sein. So geringfügig auch diese Veränderungen sein mögen, bei der Störung des labilen Gleichgewichtes ist zur Erzeugung jener Circulation nur die Richtung nicht die Stärke wesentlich, in welcher diese Störung erfolgt.

Man sieht also, dass nur die Annahme einer noch hinreichend hohen Temperatur an der Oberfläche der beiden Planeten erforderlich ist, um für sie ganz in derselben Weise wie für die Sonne ein analoges Rotationsgesetz ihrer Atmosphäre zu begründen.

## 21.

Es ist mir nun in der That gelungen, für die Oberfläche Jupiters direct die Existenz des erwähnten Rotationsgesetzes

<sup>1)</sup> Sitzung der königl. sächsischen Gesellschaft der Wissenschaften am 12. December 1870, p. 347.

durch ältere und neuere Beobachtungen unwiderleglich zu beweisen und hierbei gleichzeitig die Richtigkeit der oben entwickelten Theorie der Streifenbildung über jeden Zweifel zu erheben.

Von älteren Beobachtern haben sich *Cassini* und *Schröter* am sorgfältigsten mit den Erscheinungen auf der Oberfläche des Jupiter beschäftigt.

Ersterer theilt nun in einer Abhandlung <sup>1)</sup> vom 31. Januar 1692, welche betitelt ist: „*Nouvelles découvertes de diverses périodes de mouvement dans la Planete de Jupiter, depuis le mois de Janvier 1691 jusqu'au commencement de l'année 1692*“ folgende Beobachtungen mit, welche sowohl die allmähliche Umbildung von ursprünglich nach allen Richtungen gleich ausgedehnten Flecken in Streifen beweisen, als auch direct die schnellere Rotation von Flecken in der Nähe des Aequators bestätigen.

Auf p. 8 der erwähnten Abhandlung werden diese beiden Erscheinungen mit folgenden Worten beschrieben:

„*Il (Cassini) a remarqué que certaines taches qui au commencement étaient rondes, se sont peu à peu allongées suivant la direction des bandes. Il en observa quatre de cette nature depuis le mois de Février de l'année dernière jusqu'à ce que Jupiter fût trop proche du Soleil pour les pouvoir distinguer.*“

Einige Zeilen weiter heisst es:

„*Et généralement toutes les taches qui passent plus près du centre apparent de Jupiter, ont un mouvement plus vite que celles qui en passent plus loin.*“

In einer späteren Abhandlung <sup>2)</sup> wird dieselbe Erscheinung von zwei andern Flecken beschrieben, indem es heisst:

„*La révolution de ces deux taches est égale à celle de quelques autres taches qui avaient paru au mois de Decembre 1690 et au mois de Janvier 1691 que nous trouvâmes de 9<sup>h</sup> 5', plus courte de cinq minutes, que celle que nous avions observée l'an 1665, qui était plus éloignée du centre de Jupiter, ce qui confirme que nous avons remarqué dans les Mémoires du 31. Janvier 1692, que les taches qui passent plus proches du centre apparent de Jupiter, ont un mouvement plus vite que celles qui en sont plus éloignées.*“

Ebenso bemerkt *Schröter* bei der Discussion der Bewegung eines Fleckes: <sup>3)</sup>

„Dass hingegen in einer grösseren Entfernung vom Aequator eine grössere Geschwindigkeit in der Be-

wegung entdeckt worden, widerlegt die Allgemeinheit desjenigen, was sowohl aus den *Cassini'schen* Beobachtungen als den meinigen dahin wahrscheinlich wurde, dass die Flecken, welche näher bei dem Aequator befindlich, eine geschwindere Bewegung zeigten.“

Indessen habe ich auf p. 121 derselben Schrift noch ein anderes allgemeines Resultat gefunden, welches von *Schröter* mit folgenden Worten ausgesprochen wird:

„Alle von mir beobachteten Flecken zeigten gewöhnlich eine in Ansehung der Rotationsperiode beschleunigte Bewegung von Ost nach West und folglich nach der Richtung des Rotationsschwunges.“

Diese Thatsache würde unter Voraussetzung einer schnelleren Rotation für die dem Aequator näheren Zonen die nothwendige Folge einer Bewegung der Flecken von den Polen nach dem Aequator sein, und folglich auch durch directe Beobachtung die Existenz der theoretisch geforderten Polarströme beweisen.

Es bedarf keiner besonderen Erwähnung, dass diese Erscheinungen nur an solchen Flecken beobachtet werden können, welche entweder wolkenartige Gebilde, oder unabhängige Lücken in der die Oberfläche einhüllenden Wolkendecke sind. Werden jedoch solche Lücken in der Wolkenhülle z. B. durch das Aufsteigen heisser, aus vulkanischen Oeffnungen dringender Luftmassen erzeugt, so müssen derartige Flecke eine constante Lage auf der Jupiteroberfläche zeigen, vorausgesetzt, dass diese selber nicht eine flüssige sei.

## 22.

Am anschaulichsten wird aber sowohl die Theorie der Streifenbildung als auch die schnellere Rotation der dem Aequator näher liegenden Zonen durch die auf Tafel I. gegebenen Abbildungen des Jupiter im Jahre 1860 erläutert, welche getrene Copien zweier, in den *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* Vol. XX. p. 268 enthaltenen Tafeln sind.

Die in den Fig. 1, 2 und 3 dargestellten Erscheinungen, welche in einem Briefe von Mr. *Long* an einen der Secretäre der R. A. S. beschrieben sind, wurden an dem oben erwähnten Orte mit Erlaubniss der Herren *Long* und *Baxendell* aus den *Memoirs of the Literary and Philosophical Society of Manchester* reproducirt. Figur 4 ist einer Abbildung entnommen, welche Capitain *Jacob's* Notiz über Mr. *Fletcher's* neues Aequatorial begleitete und Figur 5 von einer nachträglich mitgetheilten Zeichnung des Mr. *Baxendell*. Letzterer giebt zu allen 5 Figuren folgende Erläuterungen: <sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> Mémoires de Math. et Phys. de l'année 1692, p. 1—9.

<sup>2)</sup> Mém. de l'Acad. Fr. de l'année 1699, p. 106.

<sup>3)</sup> *Schröter*, Beiträge zu den neuesten astronomischen Entdeckungen, herausgegeben von *Bode*, Berlin 1788, p. 91.

<sup>1)</sup> Monthly Notices Vol. XX., p. 243 ff.

„With reference to these sketches, I may remark that since Mr. Long first observed the oblique streak on the 29<sup>th</sup> February, it has gradually extended itself in a preceding direction, or in the direction of the planet's rotation, at an average rate of 3640 miles per day, or 151 miles per hour; the two extremities of the belt remaining constantly on the same parallels of latitude. The belt has also gradually become darker and broader, some portions, however, being generally much darker than others. On the 14<sup>th</sup> of March I observed Jupiter with Mr. Worthington's 13—inch reflector, power 301, and noticed a faint, curved, dark mark, extending across the bright equatorial belt from the upper end of the oblique belt to the small dark spot shown in the preceding part of the large belt in my sketch of March 5<sup>th</sup>.“

„On March 21<sup>st</sup> the spot at the lower end of the belt had increased considerably in size and depth of shade, and appeared to consist of two spots in contact. The sketch of April 9 shows the belt, now considerably lengthened, extending completely across the planet's disc.“

Auch von dem königlichen Astronomen in Greenwich wurde eine Entwicklungsphase des schrägen Streifens beobachtet, welche zwischen dem 12. März und 9. April liegt. Airy bemerkt nämlich an derselben Stelle p. 245 Folgendes:

„On viewing Jupiter with the S. E. equatorial of the Royal Observatory, Greenwich, on 1860, March 26, about 9<sup>h</sup> 30<sup>m</sup>, the following appearances were remarked:

..... 3. In the region above the equator there was a double belt inclined perhaps 15° to the equator and to the belt which I have just described. Its right-hand or eastern end was nearly on the equator, but its left-hand or west end was considerably above it or south of the equator. The left-hand ends were broader than the right-hand ends. The outlines irregular.

In den ersten drei Figuren bemerkt man auch eine Anzahl feinerer Streifen, welche sehr deutlich das oben theoretisch gefolgerte Maximum der Dicke in der Mitte zeigen.

In Bezug auf die Natur der grauen Streifen hatte ich schon in meinen „photometrischen Untersuchungen“ p. 304 behauptet, dieselben könnten nicht Wolken aus Wasserdampf sein, „weil diese sich bei einem von aussen betrachteten Planeten als weisse Stellen von dem dunkleren Grunde der allgemeinen Oberfläche abheben müssten. Eine Wolke aus Wasserdampf erscheint nur grau im durchgehenden nicht im reflectirten Lichte.“ Ich glaube nun, dass die in den drei ersten Figuren dargestellten Erscheinungen als eine Stütze dieser Behauptung betrachtet werden können.

Wäre nämlich der kleine, von links oben nach rechts unten gerichtete, schräge Streifen ein dunkles Wolkengebilde, also z. B. eine Wolke dunkler, vulkanischer Asche, deren feinertheilte Masse in der Atmosphäre schwimmend gewacht wird, so müsste dieser Streifen bei weiterer Entfernung seiner Endpunkte immer dünner und feiner werden, da sich dieselbe Masse der dunklen Substanz auf einem grösseren Raume ausdehnt.

Nach den Beobachtungen und den mitgetheilten ausdrücklichen Bemerkungen findet aber gerade das Gegentheil statt: der Streifen wird breiter und dunkler.

Beachtet man nun, dass gleichzeitig auch alle übrigen dunklen Theile der Jupitersfläche sich vom 29. Februar bis zum 5. März mehr und mehr verdunkeln, so würden sich alle diese Erscheinungen sehr einfach erklären lassen, wenn man den kleinen Streifen für einen Riss in der Wolkendecke annähme, in welcher während der angegebenen Zeit ein fortschreitender Auflösungsprocess vorginge. Ein solcher Process macht seine Wirkung zunächst an den Grenzen von Wolkengebilden geltend und erzeugt so naturgemäss zunächst eine Erweiterung vorhandener Lücken.

Ist man aber bereit, den vorstehend angeführten That-sachen eine genügende Beweiskraft für die Richtigkeit der entwickelten Theorie der Streifenbildung zuzuerkennen, so muss man auch umgekehrt aus dem Vorhandensein solcher Streifen an der Oberfläche eines Planeten auf die Existenz der sie erzeugenden Ursachen schliessen. Folglich muss auch Saturn dem allgemeinen Rotationsgesetze der Sonne unterworfen sein und demgemäss noch eine hinreichend hohe Temperatur besitzen, um in Verbindung mit seiner Rotation die erforderlichen Polarströmungen in der ihn umgebenden Atmosphäre zu erzeugen.

## 23.

Durch die Ergebnisse vorliegender Abhandlung glaube ich die bisher von mir über die physische Beschaffenheit der Sonne nur vereinzelt und aphoristisch entwickelten Ansichten in einer so befriedigenden Weise bestätigt zu haben, dass dieselben aus dem Bereiche bloss hypothetischer Annahmen in das Gebiet einer Theorie getreten sind, welche, von That-sachen der Beobachtung ausgehend, mit Hilfe einfacher und allgemein bekannter physikalischer Gesetze die Mannigfaltigkeit der solaren Bewegungs-Phänomene in ihren wesentlichen Grundzügen deductiv zu entwickeln im Stande ist. Es sei mir gestattet, hier am Schlusse dieser Untersuchungen die hauptsächlichsten Momente dieser Theorie kurz zusammen zu stellen, theils um ihren inneren Zusammenhang deutlicher

hervortreten zu lassen, theils um an einzelnen Stellen noch ergänzende Bemerkungen hinzuzufügen.

Als Resultate der Beobachtungen stehen folgende drei Thatsachen fest:

- 1) die Rotation des Sonnenkörpers,
- 2) die hohe Temperatur seiner Oberfläche,
- 3) die Existenz einer Atmosphäre.

Die erste wurde durch die Entdeckung der Sonnenflecken von *Joh. Fabricius*, *Galilei* und *Scheiner* vermittelt, die beiden letzten durch die Untersuchungen *Kirchhoff's* als eine unwiderlegliche Consequenz der Spectralanalyse des Sonnenlichtes begründet.

Als ein mehr indirect durch Schlüsse vermitteltes Resultat muss

4) die tropfbar-flüssige Beschaffenheit der Sonnenoberfläche betrachtet werden. Ich habe die Nothwendigkeit einer solchen Beschaffenheit aus dem eruptiven Character einer grossen Anzahl von Protuberanzen gefolgert,<sup>1)</sup> und sehe nun mit Befriedigung, wie neuerdings auch *Respighi* durch zahlreiche und sorgfältige Beobachtungen von Protuberanzen zu Anschauungen über die physische Beschaffenheit der Sonne geführt worden ist, welche sowohl bezüglich der Flecken als auch der tropfbar-flüssigen Beschaffenheit der Oberfläche vollkommen mit den bisher von mir vertretenen Ansichten übereinstimmen.<sup>2)</sup>

Die angeführten vier Thatsachen reichen aus, um alle wesentlichen bisher an der Sonnenoberfläche beobachteten Erscheinungen zu erklären.

Aus den beiden ersten folgt die Entwicklung der grossen Circulation in der Atmosphäre, in Folge deren am Aequator die erhitzten Gasmassen emporsteigen und dadurch im unteren Theile der Atmosphäre Polarströme, im oberen Aequatorialströme erzeugen, welche wesentlich ungestört übereinander hinfliessen. Diese Ströme äussern auf die glühend-flüssige Oberfläche eine doppelte Rückwirkung, nämlich erstens eine thermische und zweitens eine mechanische. In Folge der ersteren entsteht durch die Berührung mit den herabsteigenden und relativ abgekühlten Aequatorialströmen an den Polen eine stärkere Abkühlung als am Aequator; in Folge der letzteren entwickeln sich durch die Reibung der atmosphärischen Ströme an der flüssigen Oberfläche Driftströmungen, welche die normale Rotation der Kugel in eine dem entwickelten Rotationsgesetze entsprechende abändern.

<sup>1)</sup> Vergl. diese Berichte. Sitzung am 2. Juni 1870.

<sup>2)</sup> *Sulle Osservazioni spettroscopiche del bordo e delle protuberanze solari etc.* Atti della Reale Accademia dei Lincei nella sessione I, del 4 dicembre 1870.

Die Wärmeausstrahlung äussert aber ihre Wirkung ausser in diesen thermischen und räumlichen Veränderungen auch noch drittens in partiellen Veränderungen des Aggregatzustandes der glühend-flüssigen Sonnenoberfläche, indem sich an einzelnen Stellen schlackenartige Abkühlungsproducte entwickeln, die uns als dunkle Flecken erscheinen. Derartige Flecke müssen folglich an denjenigen Stellen der Sonnenoberfläche am zahlreichsten entstehen, wo die Bedingung zu einer möglichst kräftigen Wärmeausstrahlung am günstigsten ist. Diese Bedingung ist im Wesentlichen eine grosse Klarheit oder Durchstrahlbarkeit der Atmosphäre. Dieser Zustand wird am wenigstens in denjenigen Zonen zu erwarten sein, wo, wie am Aequator, durch den aufsteigenden Luftstrom stark erhitze und mit Dämpfen gesättigte Luftmassen sich schnell abkühlen, oder, wie in den Polarzonen, die relativ abgekühlten oberen Luftmassen beim Herabsteigen sich mit wärmeren, und dampfreicheren Schichten in den unteren Theilen der Atmosphäre mischen. In beiden Zonen werden atmosphärische Trübungen in Form von Wolkenbildungen eintreten, die jedoch bei der glühend-flüssigen Natur ihrer Bestandtheile nicht wesentlich an Helligkeit von der allgemeinen Sonnenoberfläche verschieden sein können. Daher treten die Flecken durchschnittlich am häufigsten in zwei zu beiden Seiten des Aequators gelegenen Zonen auf.

## 24.

Jeder Fleck bedingt an der Oberfläche der Sonne eine Stelle von schroff gegen ihre Umgebung abgegrenzter Temperaturerniedrigung. Dieselbe muss in der darüber befindlichen Atmosphäre nothwendig der entstandenen Differenz entsprechende Gleichgewichtsstörungen in Form von aufsteigenden und absteigenden Strömen erzeugen. Die hierdurch eingeleitete Circulation begrenzt mit ihrem aufsteigenden Theile die äussere Umgebung der Flecken, und erzeugt durch das hiermit verbundene Aufquellen heisserer Theile der Atmosphäre über dem gewöhnlichen Niveau der continuirlich leuchtenden Gasschichten die sogenannten Fackeln.<sup>1)</sup> Der absteigende Theil der Circulation fällt auf die Schlackenmasse und erleidet bei seinem Uebertritt auf dieselbe bereits in der Höhe durch die von unten verminderte Wärmeausstrahlung eine Abkühlung, in Folge deren ein Theil der aufgelösten Dämpfe in Form von Wolkengebilden ausgeschieden wird. Diese Wolkengebilde umgeben in einer gewissen Höhe die Grenzen der Schlackenmassen und erscheinen uns auf dieselben projicirt als die sogenannten Penumbren. Durch

<sup>1)</sup> Man vergl. auch die vortreffliche Arbeit von *Liais*: *Sur l'intensité relative de la lumière dans les divers points du disque du Soleil.* Mémoires de Cherbourg 1867, p. 334.

diese Entstehungsweise der Penumbren erklärt sich sowohl ihre nach dem Centrum der Flecke gerichtete Stratification als auch die konische Vertiefung ihrer Oberfläche, indem die nach dem Innern des Fleckes gerichteten absteigenden Ströme die Lagenverhältnisse der Wolke beeinflussen und namentlich eine Senkung des inneren Randes nach der Oberfläche des Fleckes bedingen müssen. Hierdurch wird bei vollständig und regelmässig entwickelten Flecken das sogenannte *Wilson'sche* Phänomen der relativen Randveränderungen der Penumbra bei seitlicher Betrachtung eines Fleckes in der Nähe des Sonnenrandes erklärt.

Jeder in der angegebenen Weise entstandene Fleck muss sich wieder auflösen, sobald die Temperatur der gebildeten Schlackenmasse wieder bis zu derjenigen ihrer glühend-flüssigen Umgebung gestiegen ist. Eine solche Temperaturerhöhung muss aber eintreten, sobald die zugeführte Wärmemenge grösser als die ausgestrahlte ist. Da nun durch die über dem Flecke entstandenen Condensations-Wolken die ursprüngliche Bedingung einer kräftigen Wärmeausstrahlung wieder aufgehoben ist und die Schlackenmasse theils durch Leitung von unten, theils durch das fortdauernde Herabströmen der glühenden Condensationsproducte von oben erwärmt wird, so ist die zur Schmelzung der Schlackenmasse nothwendige Bedingung erfüllt und der Fleck löst sich auf.

Es verhält sich also die über einer abgekühlten Stelle gebildete Condensations-Wolke in der Atmosphäre wie ein Schirm, welcher eine weiter fortschreitende Abkühlung dieser Stelle verhindert. Da dieser Schirm aber selbstthätig von der abgekühlten Stelle in der darüber befindlichen Atmosphäre erzeugt und nur durch die Existenz der letzteren ermöglicht wird, so kann die Atmosphäre der Sonne als ein Regulator der Wärmeausstrahlung ihrer glühend-flüssigen Oberfläche betrachtet werden.

## 25.

Während die angegebene Beziehung zwischen einem Regulator und der regulirten Kraft allen Erscheinungen mit regulatorischem Character gemeinsam ist, lassen sich dieselben bezüglich der von einander abhängigen Veränderungen des regulirenden und regulirten Phänomens in zwei verschiedene Classen bringen.

Fallen nämlich die erwähnten Veränderungen zeitlich zusammen, wie z. B. bei der Hemmung, welche ein im widerstehenden Mittel fallender oder ein mit Reibung an seiner Oberfläche rotirender Körper erleidet, so resultiren constante Erscheinungen, die mit dem Namen der *Compensationsphänomene* bezeichnet werden mögen.

Verfliesst dagegen zwischen dem Eintritt in der Veränderung der zu regulirenden Kraft und in der Veränderung

des Regulators eine bestimmte Zeit, — was offenbar überall da der Fall sein wird, wo die Beziehung zwischen beiden Veränderungen eine sehr vermittelte ist — so resultiren *oscillatorische* oder, bei Wiederkehr derselben Bedingungen, *periodische* Erscheinungen, die mit dem Namen der *Regulationsphänomene* bezeichnet werden mögen.

Diese Classe von Phänomenen spielt in der Meteorologie eine sehr ausgedehnte und wichtige Rolle, und man sieht, dass nach der entwickelten Theorie auch das Entstehen und Vergehen der Sonnenflecken nur ein specieller Fall jenes allgemeinen Gesetzes ist. Hier ist der Grund der Nichtcoïncidenz in der Veränderung der zu regulirenden Kraft, — nämlich der vermehrten Wärmeausstrahlung — und der Veränderung im Zustande des Regulators, — nämlich der Wolkenbildung in der Atmosphäre, — leicht anzugeben. Die erste Wirkung, welche sich bald nach begonnener Temperaturerniedrigung einstellen muss, sind Strömungen in der Atmosphäre, die mit ihrem absteigenden Theile auf die kühlere Stelle gerichtet sind. Hierdurch gesellt sich zunächst zur Wirkung der Ausstrahlung noch eine zweite abkühlende Wirkung, indem die kühleren Luftmassen aus höheren Regionen der Atmosphäre durch Berührung die betreffende Stelle der Oberfläche weiter abkühlen. Erst wenn diese Abkühlung einen solchen Grad erreicht hat, dass die herabsteigenden Luftströme keine weitere Temperaturerniedrigung zu erzeugen im Stande sind, und inzwischen die erzeugten Gleichgewichtsstörungen sich auf immer grössere Bezirke in der Umgebung des Fleckes ausgedehnt haben, wird der regulatorische Einfluss der atmosphärischen Condensationsphänomene das Uebergewicht erlangen und die regressive Entwicklungsphase des Fleckes einleiten.

Man ersieht hieraus, dass die Bildung von Fackeln, als Folgen aufsteigender, durch Temperaturdifferenzen erzeugter Luftströme, sehr häufig der Bildung eines Fleckes vorangehen müssen. Das sogenannte Aufbrechen des letzteren würde dann durch den immer intensiver entwickelten absteigenden Luftstrom bewirkt werden können, welcher auf der glühend-flüssigen Oberfläche in Verbindung mit der fortdauernden Ausstrahlung in ähnlicher Weise einen dunklen Fleck erzeugt, wie ein hinreichend stark gegen die glühende Oberfläche eines Metalles geleiteter kalter Luftstrom.

## 26.

Bei den bisherigen Entwicklungen wurde jeder einzelne Fleck für sich allein und unabhängig von andern betrachtet. Um nun die in meiner letzten Mittheilung vom 12. December 1870 „über die Periodicität und heliographische Vertheilung der Sonnenflecken“ dargelegte Theorie der Periodicität auf Grund der vorstehenden Erörterungen in mehr anschaulicher

Weise zu begründen, wähle ich die Betrachtung des folgenden Gleichnisses.

Man denke sich einen grossen Dampfkessel, welcher eine sehr grosse Anzahl kleiner Dampfmaschinen, jede durch ein besonderes Zuleitungsrohr, speist. In jedem dieser Rohre befinde sich ein Ventil, welches mit einem für alle Maschinen gemeinsamen Regulator von der oben angegebenen Beschaffenheit in Verbindung gesetzt ist. Unter dieser Voraussetzung wird der Zustand des Regulators in jedem Moment das Resultat einer Summationswirkung sämtlicher Maschinen auf ihn sein, deren Ursache, unserer Annahme gemäss, einige Zeit dieser Wirkung vorangegangen ist. Demgemäss müssen die Veränderungen im Zustande des Regulators, und folglich auch die von ihm abhängigen Zustände in der Bewegung sämtlicher Maschinen, einen oscillatorischen Character annehmen. Je grösser die Anzahl der einzelnen Maschinen und je constanter die fortdauernd im Kessel erzeugte Dampfmenge ist, desto regelmässiger, und von störenden Einflüssen unabhängiger, muss der Verlauf der einzelnen Oscillationen von statten gehen und hierdurch allmählig einen periodischen Character erhalten.

Man setze nun an Stelle des Dampfkessels die Sonne, an Stelle des ausströmenden Dampfes die ausströmende Wärme, für die einzelnen Dampfmaschinen mit ihrer Bewegung die einzelnen Sonnenflecken mit ihrer Abkühlung, und endlich für den gemeinschaftlichen Regulator die, alle Sonnenflecke gemeinsam umschliessende, Atmosphäre, so hat man ein Bild von derjenigen Vorstellung, welche ich mir von der Ursache der Periodicität in der Häufigkeit der Sonnenflecken gebildet habe. —

Ueber das Verhältniss des aufsteigenden und absteigenden Theils der graphisch diese Periodicität darstellende Curve giebt diese Theorie ebenfalls Rechenschaft.

Es wurde oben bei der Entstehung eines Fleckes eine doppelte Ursache der localen Abkühlung auf der glühendflüssigen Sonnenoberfläche angenommen, nämlich als primitive die durch Klarheit der Atmosphäre begünstigte Ausstrahlung, als secundäre die abkühlende Berührung mit den kälteren Theilen des herabsteigenden Luftstromes.

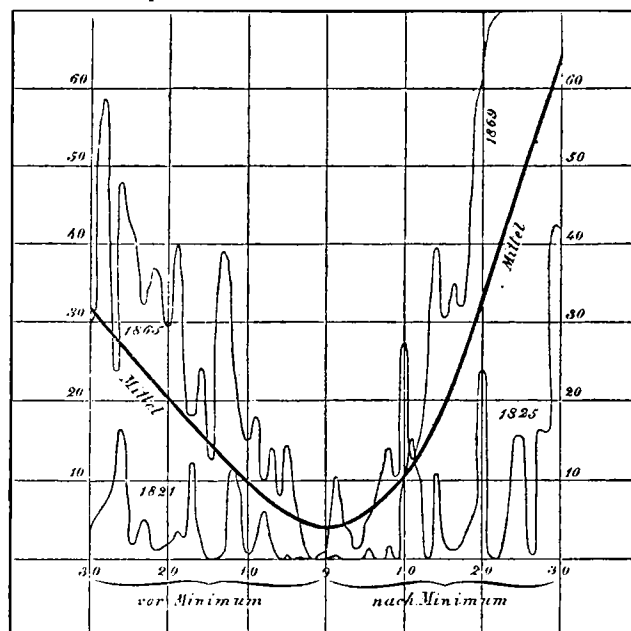
Die Auflösung eines Fleckes kann aber nur auf letzterem Wege durch Berührung mit wärmeren Luft- oder Flüssigkeitsmassen bewirkt werden, da eine Erwärmung durch Strahlung von aussen nicht stattfindet. Während also zur Entwicklung eines Fleckes zwei Ursachen in gleichem Sinne wirken, findet die Auflösung nur unter dem Einfluss der einen im umgekehrten Sinne statt. Deshalb wird die Entwicklung eines Fleckes schneller erfolgen als seine Auflösung und dieser Umstand ein schnelleres Aufsteigen als Absteigen in der Häufigkeits-

Curve der Sonnenflecken bedingen. Bei unseren Eisdecken auf Flüssen und Seen findet ganz dasselbe Verhältniss statt; es genügt oft eine einzige Nacht, um die Oberfläche eines Sees dicht mit Eisschollen zu bedecken, zu deren Auflösung tagelang warme Witterung erforderlich ist.

Die bisherigen Untersuchungen über die Häufigkeit der Flecken namentlich die umfangreichen und sorgfältigen von *Wolf* in Zürich haben bereits früher einen derartigen Unterschied in dem auf- und absteigenden Theile der erwähnten Curve erkennen lassen. Die neuesten „astronomischen Mittheilungen“ vom December 1870 desselben Beobachters haben indessen durch eine besonders auf diesen wichtigen Umstand gerichtete Untersuchung diese Thatsache in einer sehr auffallenden und überraschenden Weise bestätigt. Durch die freundliche Zusendung der betreffenden Abhandlung bin ich in den Stand gesetzt, die hierauf bezüglichen Resultate mitzutheilen.

In zwei Tafeln, die hier nicht wiedergegeben werden können, sind für je 30 Monate vor und nach den fünf letzten bestbekannten Minimumepochen die mittleren Relativzahlen — für jeden Monat der daraus folgende Mittelwerth — zusammengestellt. Die wesentlichsten Resultate, welche bis jetzt aus dieser Vergleichung gezogen werden konnten, sind vom Verfasser in folgenden Worten zusammengestellt:

1. „Geht daraus in schärferer Weise, als es bei früherer Untersuchung erhältlich war, hervor, dass die Sonnenfleckencurve rascher aufsteigt als sinkt, wie dies die beistehende graphische Darstellung der mittleren Curve auf den ersten Blick zeigt.“ (a. a. O. p. 250.)



2. „Bezeichnet man die Anzahl der Jahre, während welcher die Sonnenfleckencurve aufsteigt, mit  $x$ , so erhält man unter der Annahme, dass der Gang während der ganzen Periode annähernd derselbe bleibe, wie in den hier dargelegten fünf Jahren, die Proportion:

$$x : 11\frac{1}{2} - x = 1 : 2$$

woraus

$$x = 3.7$$

folgt: d. h. es nimmt durchschnittlich das Aufsteigen der Sonnenfleckencurven 3.7 Jahre, das Absteigen 7.4 Jahre in Anspruch.“

3. „Der Verlauf einzelner Perioden kann sich von dem mittleren Verlaufe wesentlich unterscheiden, jedoch scheint einem verzögerten oder beschleunigten Absteigen auch ein verzögertes oder beschleunigtes Aufsteigen zu entsprechen.“

„Sehr normal verlief das Minimum von 1844.0 — während dagegen das Minimum von 1856.2 und noch mehr das in der Figur dargestellte Minimum von 1823.2 ein verzögertes — das Minimum von 1833.8 und noch mehr das in der Figur dargestellte Minimum von 1867.2 ein beschleunigtes Ab- und Aufsteigen zeigt.“

Haben wir nun nach der bisherigen Entwicklung in den Sonnenflecken und ihrer periodischen Ab- und Zunahme die wesentlichen Momente eines grossartigen Regulationsprocesses erkannt, bei welchem als Aequivalent für die verminderte Wärmeausstrahlung mechanische Bewegungen in Form von Strömungen in der Atmosphäre auftreten, so lässt sich auch leicht die Existenz eines nicht minder grossartigen Compensationsprocesses in dem oben definirten Sinne nachweisen, bei welchem als Aequivalent für die verschwundene mechanische Bewegung Wärme und wahrscheinlich auch starke electrische Erscheinungen auftreten.

Es würde nämlich die Rotation der Sonne bei fortschreitender Abkühlung und Contraction schneller zunehmen, wenn nicht durch die fortdauernde Reibung der Polarströme, als deren Resultat das Rotationsgesetz erkannt wurde, eine im entgegengesetzten Sinne wirkende Kraft, und hierdurch für lange Zeiträume annähernd eine constante Rotation des inneren Kerns erzeugt würde.

## 27.

Indem ich auf die Wiederholung der in vorliegender Abhandlung bereits früher entwickelten besonderen Bewegungserscheinungen der Flecken verzichte, seien mir nur noch einige Bemerkungen über den Zusammenhang der Protuberanzen mit den Flecken, Fackeln und andern localen Verhältnissen auf der Sonnenoberfläche gestattet.

Die eruptiven Protuberanzen entstehen durch Druckdifferenzen zwischen dem Druck einer in der Flüssigkeit eingeschlossenen oder von ihr absorbirten Gasmasse und dem äussern, durch die Cohärenz und Schwere der oberen Flüssigkeitsschichten vergrösserten, Druck der Atmosphäre. Demgemäss werden an denjenigen Orten am leichtesten eruptive Protuberanzen entstehen können, wo der zu überwindende Druck am geringsten ist, — am seltensten oder gar nicht da, wo dieser Druck am grössten ist.

Jeder aufsteigende Luftstrom in der Atmosphäre vermindert aber den Druck an dieser Stelle ebenso wie jeder absteigende ihn vermehrt. Da nun in der Umgebung der Flecken sehr starke aufsteigende Ströme stattfinden und ebenso die Fackeln durch derartige Ströme verursacht werden, so müssen diese Stellen besonders günstig für die Entwicklung eruptiver Protuberanzen sein.

Diese Folgerung wird durch die neuesten Beobachtungen *Respighi's* vollkommen bestätigt. Er bemerkt hierüber in seiner oben citirten Abhandlung Folgendes:

*„Sul nucleo o non hanno luogo eruzioni, o sono ristrette a getti sottili e poco duraturi.“*

*„Sul contorno delle macchie sorgono ordinariamente getti gassosi di straordinaria intensità e violenze, e di forme ben definite.“*

Ferner bezüglich des Zusammenhanges der Fackeln mit den Protuberanzen:

*„Ordinariamente nelle località delle facole le protuberanze o le eruzioni sono molto frequenti e molto sviluppate, etc.“*

*„Quantunque presso le facole si trovino comunemente grandi protuberanze, pure le loro posizioni non si presentano così coincidenti da poter ritenere le une confuse colle altre. Le protuberanze e i getti sono prossimi alle facole, ma costituiscono un fenomeno da queste totalmente distinto.“*

*„... Avuto riguardo alla concomitanza delle facole colle protuberanze o colle eruzioni, è ragionevole il supporre che o dalla facola sia prodotto o risulti la protuberanza, o viceversa dalla protuberanza od eruzione sia prodotta la facola.“*

Wie man sieht, ist nach der oben angedeuteten Theorie das Erstere der Fall, die Fackeln sind durch aufsteigende Ströme der Atmosphäre erzeugt und bedingen hierdurch an der flüssigen Oberfläche eine Verminderung des Atmosphärendruckes, wodurch einer in der glühenden Flüssigkeit eingeschlossenen oder absorbirten Wasserstoffblase der Austritt in Form einer eruptiven Protuberanz gestattet wird.

Es ist übrigens eine auch den Meteorologen bekannte Thatsache, dass an der Erdoberfläche durch auf- und ab-

steigende Luftströme der Barometerdruck ganz in dem erwähnten Sinne sehr beträchtliche Veränderungen erleidet.<sup>1)</sup>

Wären die Variationen des Luftdruckes an der Erdoberfläche hinreichend gross, so würde durchschnittlich der Beginn vulkanischer Eruptionen in die Zeit der barometrischen Minima, das Ende derselben in die Zeit der Maxima fallen und auf diese Weise die Reaction des feurig-flüssigen Erdinnern mit den meteorologischen Erscheinungen an der Erdoberfläche in eine sehr enge Verbindung treten. Ohne Zweifel hat in einer früheren Entwicklungsphase unseres Planeten eine solche Verbindung existirt und es dürfte sich vielleicht auch jetzt noch der Mühe lohnen, die meteorologischen Tagebücher mit den Eruptionszeiten namentlich solcher Vulkane zu vergleichen, bei welchen ihrer Natur nach relativ nur geringe Druckdifferenzen in's Spiel kommen.

Dass aber sowohl die eruptiven Protuberanzen als auch die Bildung und Auflösung von Sonnenflecken Erscheinungen sind, die nicht ihrem Wesen, sondern nur ihrer Intensität nach von den vulkanischen Erscheinungen unserer Erde verschieden sind, geht am deutlichsten aus den Beschreibungen dieser Phänomene hervor, welche von theoretisch in keiner Weise präoccupirten Beobachtern geliefert worden sind.<sup>2)</sup>

Auch von der allgemeinen heliographischen Vertheilung der eruptiven Protuberanzen, über welche ebenfalls *Respighi* sehr werthvolle Resultate a. a. O. mitgetheilt hat, ist unsere Theorie im Stande mit Leichtigkeit Rechenschaft zu geben.

In der That, wenn die aufsteigenden Ströme in der Sonnenatmosphäre durch ihre Druckverminderung die Veran-

lassung zur Erzeugung einer Gas-Eruption aus der glühenden Flüssigkeit sind, so muss man auch berücksichtigen, dass die benachbarten absteigenden Ströme eine Druckerhöhung in der Umgebung der Ausbruchsstelle bewirken und auf diese Weise gleichsam eine Art Herauspressung des Gases während der Eruption bewirken. Derartige seitlich nebengeordnete Druckdifferenzen müssen nach unserer Theorie offenbar am stärksten durch die Anwesenheit eines Sonnenfleckes hervorgerufen werden und folglich müssen im Allgemeinen die Zonen der häufigsten Fleckenentwicklung auch die Zonen der meisten eruptiven Protuberanzen sein.

Man wird demgemäss an den Polen und am Aequator Minima in der Häufigkeit der Eruptionen zu erwarten haben. — Bezüglich der Heftigkeit, mit welcher diese Ausbrüche erfolgen, können aber auch die Unterschiede der Zähigkeit, oder der grössere oder geringere Grad von Beweglichkeit der glühenden Flüssigkeit, aus welcher diese Eruptionen hervorgehen, nicht ohne Einfluss sein. Je zähflüssiger diese Masse ist, desto seltener, aber intensiver, — je dünnflüssiger, desto häufiger, aber schwächer werden die Eruptionen sein. An den Polen kann durch die abkühlende Wirkung der herabkommenden Ströme diese Zähigkeit vermehrt und so der Einfluss ihrer Druckerhöhung auf die Hemmung der Eruptionen unterstützt werden. Am Aequator kann durch den früher erwähnten Staungsprocess der sich treffenden Driftströme eine Niveauerhöhung der flüssigen Oberfläche und hierdurch eine Druckvermehrung auf die unteren Schichten erzeugt werden, durch welche die sonst begünstigte Entwicklung von Eruptionen in dieser Zone wieder beeinträchtigt wird.

<sup>1)</sup> *De Luc*, Untersuchungen über die Atmosphäre. Leipzig 1778. Band 2, Seite 71, § 528 ff. *Saussure*, Versuch über die Hygrometrie. Leipzig 1784. § 296. *Dove*, Poggendorff's Annalen Band 70, Seite 382.

<sup>2)</sup> Ich erlaube mir hier zwei derartige Schilderungen vulkanischer Thätigkeit wörtlich aus *Naumann's Geognosie*, 2. Aufl. Bd. I. mitzutheilen.

„So sah z. B. *Spallanzani* im Jahre 1788 im Kraterboden des Aetna einen runden, etwa 60 F. weiten Schlund, in dessen Tiefe die feurig flüssige Lava beständig auf und nieder wallte. Weit deutlicher beobachtete er dieselbe Erscheinung in einem Kraterschlunde des Stromboli. Die glühende Lava stieg alle 2 Minuten gegen 20 F. weit herauf, und sank dann rasch wieder in die Tiefe zurück. Jedesmal, wenn sie ihren höchsten Stand erreicht hatte, blähte sich ihre Oberfläche auf; Blasen von mehreren Fuss Durchmesser schwellen empor, und explodirten zuletzt mit einem starken Knall; dabei wurden sie in viele hundert Stücke zersprengt, die mit fürchterlicher Gewalt in die Luft flogen, und als Stein- und Schlackenregen klirrend am Berge herabstürzten. Unmittelbar nach diesen Explosionen sank die Oberfläche der Lava schnell und geräuschlos in ihr anfängliches Niveau zurück, um bald wieder auf's Neue mit prasselndem Geräusche empor zu

schwellen. *Poulet Scrope* beobachtete im Jahre 1819 diese Erscheinungen in ganz ähnlicher Weise.“ (l. c. p. 116.)

„Im grossartigsten Maassstabe ist das Aufwallen und ruhige Ausfliessen der Lava in dem colossalen Krater Kilauca auf Hawaii beobachtet worden. In der Tiefe desselben breiten sich mehrere hellleuchtende Lavaseen aus, von denen einer 1500 F. breit ist; seine Lava ist in beständiger auf- und niederwogender Bewegung, und Schlackenstücke werden von Zeit zu Zeit bis 70 F. hoch aufwärts geschleudert. In einem zweiten kleineren Lavasee strahlte die aufkochende Lava ein so intensives Licht aus, dass es in darüber hinziehenden Regenwolken einen Regenbogen erzeugte; die Lava ergoss sich aus dem Rande des Sees so flüssig wie Wasser, theilte sich bei ihrem weiteren Fortströmen in mehrere Arme, bildete über Abstürzen des Terrains Kaskaden u. s. w.

Die Amerikaner *Chase* und *Parker* sahen auf einem dieser Lavaseen, der in mächtigen Feuerwogen gegen sein Ufer brandete, Lavasäulen bis zu 60 F. Höhe aufsteigen; dann wurde es ruhig, die Oberfläche verdunkelte sich und schien erstarren zu wollen; doch plötzlich zerriess die Decke, flüssige Lava breitete sich abermals aus, in welcher die Schlackenschollen wie Eisschollen im Wasser auf- und niedertauchten, und der glühende Lavasee war wieder hergestellt.“ (l. c. p. 117 u. 118.)

Alle diese Folgerungen werden ebenfalls durch die Beobachtungen *Respighi's* bestätigt, wie dies aus folgenden Stellen seiner mehrfach erwähnten Abhandlung hervorgeht.

*„Nelle regioni circumpolari, e cioè sino alla distanza di circa 20° dai poli, il fenomeno delle protuberanze, o non si verifica mai, o in modo del tutto eccezionale.“*

*„Nella zona equatoriale, per la larghezza di circa 20°, le protuberanze o le eruzioni sono meno frequenti e meno sviluppate, che nelle zone corrispondenti a maggiori latitudini.“*

Ueber die durchschnittliche Höhe der Protuberanzen, also über die Intensität der Eruptionen, theilt *Respighi* Folgendes mit:

*„Divisi i due emisferi in zone di 10° di latitudine, calcolando per ogni zona la media altezza delle protuberanze non meno alte di 1', si sono trovati i seguenti risultati.“*

Zone	Altezze medie	
	Emisfero Nord	Emisfero Sud
0°—10°	1' 26"	1' 29"
10 — 20	1 48	1 44
20 — 30	1 30	1 34
30 — 40	1 53	1 38
40 — 50	1 24	1 42
60 — 70	1 29	1 40
70 — 80	1 48	—
80 — 90	—	—

28.

Ich kann die vorliegenden Untersuchungen nicht be-  
schliessen, ohne in Kürze auf die Bedeutung des Rotations-  
gesetzes der Sonne und seiner gegenwärtig erkannten Ur-  
sachen für die Geologie und Petrographie der Erde  
aufmerksam zu machen. Wenn in der That die Entwick-  
lungsprocesse aller grösseren Himmelskörper im Wesentlichen  
als übereinstimmend angenommen werden dürfen, so muss  
sich auch die Erde ehemals in einem Zustande befunden  
haben, in welchem durch die kräftige Reaction der Polar-  
ströme ihrer damaligen Atmosphäre auf die glühend-flüssige  
Oberfläche Driftströme nach Analogie der noch gegenwärtig  
auf der Sonne vorhandenen erzeugt wurden.

Wir sahen, dass diese Ströme als eine Rotationsver-  
zögerung der oberen Flüssigkeitsschichten aufgefasst werden  
konnten, welche am Aequator ein Maximum erreichte und zu  
beiden Seiten desselben in denjenigen Breiten verschwand, in  
welchen die Polarströme ihren Ursprung hatten. Es wurde  
ferther gezeigt, wie durch die Eigenthümlichkeit der relativen  
Geschwindigkeit zweier unter- und nebeneinander befindlichen

Flüssigkeitsschichten zwei Drehungsmomente auf einen inner-  
halb dieser Schichten befindlichen Körper ausgeübt wurden.  
Bei annähernd gleicher Ausdehnung aller drei Dimensionen  
müsste demnach ein solcher Körper um eine horizontale, in  
der Ebene eines Meridiankreises liegende, und um eine verti-  
cale Axe rotiren. Die Rotationsgeschwindigkeit um die erste  
Axe ist eine relativ viel grössere als um die letztere, da wegen  
der relativ geringen Tiefe, bis zu welcher sich die Retar-  
dation der obersten Schichten fortsetzt, die Geschwindigkeits-  
differenzen zweier Schichten für gleiche Abstände viel schneller  
in verticaler als in horizontaler Richtung wachsen.

Gesetzt nun, der innerhalb der bewegten Schichten be-  
findliche Körper bestände aus einer dehnbaren oder zähen  
Masse, welche vermöge der Reibung mit den sie umgebenden  
Schichten in Verbindung steht, so muss dieser Körper paral-  
lel der Rotationsbewegung ausgedreht werden. Diejenigen  
Theile des Körpers, welche in derselben Horizontalschicht  
liegen, werden ganz in derselben Weise wie irgend welche  
Heterogeneität in den Atmosphären Jupiter's und Saturn's  
in einen Streifen umgewandelt. In analoger Weise werden  
aber auch die in verticaler Richtung übereinander liegenden  
Querschnitte des Körpers gegeneinander verschoben und zwar  
nach dem Obigen viel schneller als die horizontal neben  
einander gelegenen Theile. Man sieht leicht, dass auf  
diese Weise die ursprünglich nach allen drei  
Dimensionen gleich stark ausgedehnte Masse in  
eine streifenartige Horizontalschicht von relativ  
viel geringerer Dicke als Breite ausgedehnt wer-  
den muss. Ursprünglich weit getrennte, in dem-  
selben Parallelkreise befindliche Massen werden  
durch diesen Process in übereinandergelagerte  
Parallelschichten von stets abnehmender Mächtig-  
keit verwandelt.

Man ersieht hieraus, dass in dem betrachteten Ent-  
wicklungsstadium eines Weltkörpers die mechanischen  
Bedingungen zu einer unerschöpflichen Quelle von Streifen-  
und Schichtenbildungen vorhanden sind.

Könnten wir die Schlackenmasse, aus welcher ein Sonnen-  
fleck gebildet ist, bezüglich ihrer Structur untersuchen, wir  
würden ohne Zweifel die horizontal über einander gelagerte  
Schichtung so vieler unserer irdischen Gesteinsarten wieder  
erkennen. — Aber auch auf die innere Structur und Anord-  
nung der einzelnen Bestandtheile der Gesteine muss dieser  
Process von wesentlichem Einfluss gewesen sein.

Nimmt man ferner hierzu die oben über die beson-  
deren Bewegungen der Sonnenflecken erhaltenen Resultate,  
ihre schräge Stellung, ihr Zerbrechen und ihre Umwälzung  
vor der Auflösung — so hat man hier einen Reichthum  
an mechanischen Vorgängen, welche, wie mir scheint, den

Schlüssel zum Verständniss einer grossen Anzahl geologischer Phänomene liefern können, die bisher zum Theil unverständlich geblieben sind, zum Theil nur sehr gezwungen und künstlich erklärt werden konnten.

Haben also wirklich die in jenem frühen Entwicklungsstadium unseres Planeten wirksam gewesenen Processe in der erstarrten Erdrinde ihre unvergänglichen Spuren zurückgelassen, so muss die morphologische Beschaffenheit der Gesteine bezüglich ihrer geographischen Verbreitung an bestimmte Gesetze gebunden sein.

Berücksichtigt man die Abhängigkeit der Geschwindigkeitsdifferenz zweier Schichten von ihrer Tiefe und ihrem Abstand vom Aequator, so ergeben sich für die erwähnte Beziehung die folgenden Gesetze:

1. Die mittlere Richtung aller Stratificationsformen muss im Allgemeinen parallel dem Aequator sein.
2. Die Schichtenbildung muss mit zunehmender geographischer Breite und Tiefe abnehmen

und in den polaren Regionen und grossen Tiefen ganz aufhören.

3. Die Dicke der Schichten muss mit zunehmender geographischer Breite und Tiefe wachsen.
4. Die Breite der Streifen in ein und derselben Schicht muss in einem Abstände von etwa  $45^\circ$  vom Aequator ein Minimum erreichen.
5. Die mittlere Richtung der sogenannten Parallelstructur einer grossen Anzahl von Gesteinen muss durchschnittlich in die Ebene eines Parallelkreises fallen.

Selbstverständlich können diese Gesetze, mit Rücksicht auf die vielfach vulkanischen Störungen des betrachteten Processes, nur mittelst statistischer Durchschnittswerthe von zahlreich und kritisch gesammelten Beobachtungen verificirt werden. Ich vermag indessen nicht zu beurtheilen, in wie weit schon gegenwärtig das bisher über diese Verhältnisse aufgespeicherte Beobachtungsmaterial ausreichend ist, um eine Bestätigung oder Widerlegung jener theoretisch gefolgerten Beziehungen daraus ableiten zu können.

### Beobachtungen des Cometen I. 1871 auf der Sternwarte in Athen.

Nach Empfang des zweiten Wiener Circulars, April 24, ward der Comet leicht aufgefunden, und an den meisten genügend heiteren Abenden beobachtet. Es kam diesmal zuerst ein neuer Ringmikrometer von kleinem Durchmesser und bei

starker Vergrösserung, in Anwendung; eine nützliche Zugabe, die ich nebst andern werthvollen Instrumenten der Güte Sr. Excellenz des Freiherrn von Sina verdanke. Eine erneuerte Untersuchung ergab für die Radien:

grosser Ring;  $r = 654''1$   $r' = 587''2$   
 kleiner Ring;  $r = 259,7$   $r' = 192,2$

Der alte Ringmikrometer von *Plössl*.

Der neue Ringmikrometer von *Merz*.

Die Helligkeit des Cometenkernes gestattete zwar an sich sehr scharfe Beobachtungen; indessen gelangte der Comet in der hellen Dämmerung doch bald zu tief in die Nähe des Horizontes, so dass die sonst erreichbare Genauigkeit nicht erwartet werden darf. Am 16. Mai geschah die letzte Messung bei  $4^\circ$  Höhe. Die Angaben der Zeiten sind alle recht genau; sie beruhen auf einzelnen Sternhöhen, die mit

*Troughton's* Sextanten genommen wurden. Beobachtungen dieser Art, vielfach seit Juni 1870 angestellt, so dass alle Fehlerquellen entdeckt und berücksichtigt werden konnten, führten auch jetzt wieder zu der Ueberzeugung von dem hohen Grade der Genauigkeit der Zeitbestimmung, die selbst durch 5 oder 6 einzelne Sternhöhen erreicht werden kann.

1871 April 24	8 <sup>h</sup> 23 <sup>m</sup> 5 <sup>s</sup> 9	$\oslash = \alpha - 27' 137$	$\oslash = \alpha + 1' 59'' 42$	$\oslash = 3^h 40^m 36^s 90$	$+ 44^\circ 36' 12'' 4 \dots 2 \alpha$
: 26	8 12 33,3	$= \beta + 48,229$	$= \beta + 17 36,58$	$= 3 47 57,6$	43 20 52 $\dots 4 \beta$
: 27	8 26 36,2	$= \gamma + 136,917$	$= \gamma - 1 40,50$	$= 3 51 36,01$	42 42 1,7 $\dots 3 \gamma$
: 29	8 22 36,7	$= \delta - 51,272$	$= \delta + 15 15,31$	$= 3 58 37,04$	41 23 44,4 $\dots 4 \delta$
: 29	8 24 46,4	$= \epsilon - 88,025$	$= \epsilon + 14 16,61$	$= 3 58 38,10$	41 23 42,1 $\dots 4 \epsilon$
: 30	8 0 35,3	$= \zeta - 37,874$	$= \zeta + 10 4,34$	$= 4 1 59,67$	40 44 29,7 $\dots 5 \zeta$