

wurden, so wird eine genaue Vergleichung der Resultate von verschiedenen Beobachtern unmöglich.

Wir beabsichtigen in weiterer Verfolgung dieses Gegenstandes zu untersuchen, ob die Unterschiede in hart gezogenen und geglühten Drähten auch bei verschiedenen Temperaturen sich finden.

IV. *Zur Theorie der Strömungen des Meeres und der Atmosphäre; von Dr. Ohlert in Elbing.*

I.

Ich beabsichtige in diesem Aufsatz einige neue Ansichten, die in die Theorie der Strömungen des Meeres und der Atmosphäre einschlagen, zu entwickeln. Dabei werde ich, um nicht durch Zerstückelung des Zusammenhangs unverständlich zu werden, nicht umhin können, manche ganz bekannte Aufstellungen zu erwähnen, an welche sich das anknüpft, was ich als noch nicht hervorgehoben, oder als meine abweichende Ansicht beibringen möchte. Natürlich werde ich mich in diesem Falle möglichster Kürze beileisigen und in Betreff der etwa wünschenswerth erscheinenden weiteren Ausführungen auf die Quellen verweisen.

Allgemein bekannt ist die Einwirkung, welche die tägliche Drehung der Erde in der Richtung von Westen nach Osten auf irgend einen längs ihrer Oberfläche bewegten materiellen Punkt ausübt. In Folge derselben wird jede Bewegung von den Polen nach dem Aequator hin, jemeher sie sich demselben nähert, desto mehr nach Westen hingelenkt, wogegen jede vom Aequator einem der beiden Pole zustrebende Bewegung um so östlicher wird, jemeher sie in höhere Breiten gelangt zu Gegenden der Erde, denen die tägliche Drehung durch einen nur kleinen Parallelkreis eine geringere Geschwindigkeit in west-östlicher Richtung mittheilt. Wirklich in Rechnung gezogen ist dieser Einfluss der Axendrehung der Erde auf einen durch einen einmaligen

Impuls längs der Erdoberfläche in Bewegung gesetzten Körper in der Abhandlung:

»*Ueber die Bahnlinien der Winde auf der sphäroidischen Erdoberfläche*; von v. Baeyer, Generalmajor von der Armee« (Pogg. Annal. 1858, 7. Heft).

Ich hebe aus derselben die für meinen Zweck nothwendigen Aufstellungen heraus, sie diesem gemäß modificirend und in einigen Einzelheiten berichtend.

Die aufzustellenden Formeln beziehen sich auf die Bewegung irgend eines materiellen Punktes auf der Oberfläche der rotirenden Erde, der in beliebiger Richtung einen einmaligen Impuls erhalten hat, sind also gleicher Weise auf Strömungen der Luft wie des Wassers anwendbar. Doch stellen sie offenbar nur für sogenannte Stofswinde und die in ähnlicher Art wirkenden Meeresströmungen die Bahnen annähernd dar; auf die Saugewinde, jenes Zuströmen der dichteren Luft nach einem von dünnerer Luft erfüllten Raume hin, sind diese Erwägungen nicht zutreffend. Der Einfluss des widerstehenden Mittels, in welchem die Bewegung vor sich geht, so wie alle übrigen störenden Einwirkungen bleiben bei dieser Betrachtung unberücksichtigt.

Ich werde im Folgenden die wirkliche Gleichung der Bahn aufstellen, was von dem Verfasser nicht geschehen ist, dabei aber von der Abweichung der Erde von der Kugelgestalt ganz absehen. Die daraus hervorgehenden Aenderungen der Bahn sind so unbedeutend, daß es nur ein theoretisches Interesse gewähren kann, sie in Betracht zu ziehen.

Ich bediene mich im Allgemeinen der Bezeichnungen des Verfassers: »Das Spiel des Windes läßt sich zurückführen auf eine Nord- oder Südströmung und den Rotationsunterschied zwischen Erde und Atmosphäre.« Die Geschwindigkeit des bewegten Punktes in der Richtung des Meridians heiße M , und werde vom Aequator nach dem Nordpol gerichtet angenommen (die entgegengesetzte Richtung von Nord nach Süd also natürlich negativ). Die der Atmosphäre (oder überhaupt dem bewegten Punkte) selbst zukommende Bewegung in der Richtung von West nach Ost bezeichnet

der Verfasser mit A , die Rotationsgeschwindigkeit der Erde an der betreffenden Stelle mit E . Sie ist offenbar von der geographischen Breite β abhängig, und wenn man die Rotationsgeschwindigkeit unterm Aequator c nennt, $= c \cdot \cos \beta$. Bezeichnet man noch die wirklich sich ergebende Geschwindigkeit längs der Erdoberfläche mit Q und das Azimuth der Richtung, aus welcher der Wind kommt, von Norden über Osten etc. von 0° bis 360° gezählt, mit α , das Azimuth der Richtung, nach welcher der Wind hinweht, also mit $180 + \alpha$, so ergeben sich offenbar folgende Gleichungen:

$$1) \quad A - c \cdot \cos \beta = Q \sin (180 + \alpha) \text{ und} \\ M = Q \cos (180 + \alpha).$$

$$\text{Daraus} \quad 2) \quad \operatorname{tg} (180 + \alpha) = \frac{A - c \cdot \cos \beta}{M},$$

$$3) \quad Q^2 = (A - c \cdot \cos \beta)^2 + M^2.$$

Um nun hiernach die Bewegung eines Lufttheilchens zu bestimmen, nehme man an (Taf. I Fig. 5), dasselbe befinde sich zur Zeit t in dem Punkte der Erdoberfläche B . Es sei P der Pol, AQ der Aequator, PA der Nullmeridian. Der Punkt B sey bestimmt durch die Breite $BC = \beta$ und die Länge $AC = \lambda$.

Nach Verfluß des sehr kleinen Zeitraums dt befinde sich das Lufttheilchen in D und habe die Breite $DE = \beta + d\beta$, die Länge $AE = \lambda + d\lambda$. Legt man noch durch B den Bogen des Parallelkreises BF , so ist offenbar

$$4) \quad DF = d\beta = M \cdot dt \text{ und} \\ BF = CE \cdot \cos \beta = d\lambda \cdot \cos \beta.$$

Es muß aber auch

$BF = (A - c \cdot \cos \beta) dt$ sein, weil die Geschwindigkeit in westöstlicher Richtung $= A - c \cdot \cos \beta$ ist. Also hat man

$$5) \quad d\lambda \cdot \cos \beta = (A - c \cdot \cos \beta) dt.$$

Die Gleichung 4) giebt integrirt:

6) $Mt = \beta - \beta_0$, wo β_0 die Breite ist, unter welcher sich der Punkt zur Anfangszeit t_0 befand.

Eliminirt man ferner dt aus 4) und 5), so erhält man als Differentialgleichung der Bahulinie:

$$7) M \cdot d\lambda = \frac{A - c \cdot \cos \beta}{\cos \beta} \cdot d\beta = \frac{A}{\cos \beta} \cdot d\beta - c \cdot d\beta,$$

welche durch Integration ergibt:

$$8) M(\lambda - \lambda_0) = A \cdot r \cdot l \left[\frac{\lg(45^\circ + \frac{1}{2}\beta)}{\lg(45^\circ + \frac{1}{2}\beta_0)} \right] - c \cdot [\beta - \beta_0].$$

(Es bezeichnet hierbei l den natürlichen Logarithmus, r den Erdradius. Wo β und λ als Bogen vorkommen, sind es die rectificirten Bogen, in demselben Maafs, etwa in Toisen, gemessen, wie A , M , c , r .)

Bei der Discussion der eben aufgestellten Formeln will ich zunächst nur die nördliche Halbkugel in Betracht ziehen; die theilweise Umkehrung der Resultate für die entgegengesetzte Halbkugel ist in jedem Falle leicht auszuführen.

Findet zunächst eine Strömung vom Aequator nach dem Nordpol statt, so ist M positiv, mithin muß die Breite β wachsen und in jedem Punkte der Bahn gröfser seyn als die Breite des Anfangspunktes β_0 .

Haben wir es nun mit einem Westwind zu thun, für welchen $A > c \cdot \cos \beta_0$ ist, so bleibt der Ausdruck $A - c \cdot \cos \beta$ positiv und wächst um so mehr, je längere Zeit die Strömung dauert; es wird daher die Richtung immer östlicher (siehe 2.), die Geschwindigkeit immer gröfser (siehe 3.). Ist dagegen die Anfangsrichtung des Windes eine westliche, so ist $A < c \cdot \cos \beta_0$. Wenn aber mit der Zeit die Breite β wächst, also $c \cdot \cos \beta$ kleiner und kleiner wird, so wird endlich einmal A gleich $c \cdot \cos \beta$ werden. Dann wird $\operatorname{tg}(180 + \alpha) = 0$, die Richtung der Strömung geht genau von Süden nach Norden, und ihre Geschwindigkeit Q ist in diesem Augenblick $= M$. Von da ab geht das Zeichen der $\operatorname{tg}(180 + \alpha)$ in das dem früheren entgegengesetzte über, und der Wind ist von West nach Ost gerichtet. Den wichtigen Punkt der Windbahn, in welchem diese Umkehr der Richtung stattfindet, nennt der Verfasser *Wendepunkt*, wobei natürlich nicht an den gewöhnlich von den Mathematikern so genannten Curvenpunkt zu denken ist, in welchem die Curve aus einer gegen die Tangente concaven eine convexe, oder umgekehrt, wird.

Die Breite B eines solchen Wendepunkts ergibt sich aus der Gleichung:

$$9) \cos B = \frac{A}{c}.$$

Da sich indess A nicht direct beobachten läßt, sondern nur die Geschwindigkeit Q und das Azimuth der Richtung α für irgend einen bestimmten Punkt der Erdoberfläche, so ist es zweckmässig, B durch diese letzteren Bestimmungsstücke auszudrücken. Sehen wir daher den Punkt, an welchem die Beobachtung gemacht wird, als Anfangspunkt an, bezeichnen also seine Breite mit β_0 , die zugehörigen Gröfsen mit Q_0 , α_0 , so erhält man, da

$A - c \cdot \cos \beta_0 = Q_0 \sin (180 + \alpha_0)$ ist, die Breite des Punktes der Bahn, in welchem die Richtung des Windes sich wenden wird, durch die Formel:

$$10) \cos B = \frac{c \cdot \cos \beta_0 + Q_0 \sin (180 + \alpha_0)}{c}.$$

(Das zweite Glied des Zählers ist für einen nach Westen gerichteten Wind negativ, mithin dann $\cos B < \cos \beta_0$, also $B > \beta_0$, daher ist im weitem Verlaufe der Bahn ein Wendepunkt zu erwarten. Bei einem nach Osten gerichteten Winde dagegen ist das zweite Glied positiv, $\cos B > \cos \beta_0$, mithin $B < \beta_0$. Ein Wendepunkt hat also, wenn damals die Strömung schon herrschte, in einer frühern Zeit stattgefunden, kann aber in der Folge nicht mehr eintreten.)

Die Länge des Wendepunktes und die Zeit, zu welcher der bewegte Punkt dahin gelangt, werden erhalten, wenn man den für B gefundenen Werth in die Gleichungen 6) und 8) einsetzt.

In dem Theile der Bahn bis zum Wendepunkt wird die Richtung mehr und mehr eine süd-nördliche (im Wendepunkt selbst genau nach Norden weisend), wobei die Geschwindigkeit mehr und mehr bis zur Gröfse $Q = M$ abnimmt. Von da an ist der Verlauf ganz wie bei dem vorher schon charakterisirten Südwestwind.

In Bezug auf diese vom Aequator nach dem Pol gerichteten Strömungen hat der Verfasser der angeführten Ab-

handlung eine irrthümliche Ansicht ausgesprochen, daß nämlich der bewegte Punkt den Pol nie erreichen könne. Da die Bewegung in der Richtung des Meridians durch nichts gestört immer gleichmäfsig mit der Geschwindigkeit M erfolgt, so mufs der Theorie nach der Pol allerdings erreicht werden, und zwar in einer Zeit

$$11) \quad T = \frac{90^\circ - \beta_0}{M}.$$

Allerdings wird der zur Breite $\beta = 90^\circ$ gehörige Längenunterschied $\lambda - \lambda_0$ unendlich grofs, da (siehe 8) für den Werth $\beta = 90^\circ$ die $\operatorname{tg} (45^\circ + \frac{1}{2}\beta)$ und mithin auch der Logarithmus derselben unendlich grofs ist. Diefs Ergebnifs der Formel mufs aber offenbar so gedeutet werden, daß das bewegte Lufttheilchen, bis es zum Pol gelangt, unendlich oft denselben umkreist haben mufs, daß also in der nächsten Nähe des Pols eine äufserst schnelle Wirbelbewegung stattfindet. Ob diefs sich wirklich so verhalte, wage ich freilich nicht zu behaupten, da die Ergebnisse der Theorie durch wichtige Umstände, die nicht in Rechnung gezogen wurden, vielleicht beträchtlich modificirt werden.

Ich wende mich nun zur Betrachtung der Polarströmung, für welche M negativ ist. In diesem Falle wird die Breite β im Laufe der Zeit immer kleiner, $\cos \beta$ also immer gröfser.

Wenn daher der Wind ein Ostwind ist ($A < c \cdot \cos \beta_0$), so bleibt A für jedes im Verlauf der Bahn erreichte β kleiner als $c \cdot \cos \beta$; die Tangente des Azimuths der Richtung, $\operatorname{tg} (180^\circ + \alpha)$, behält also immer dasselbe Vorzeichen und zwar das Vorzeichen $+$, da Zähler und Nenner beide negativ sind. Der Wind bleibt daher ein Ostwind, und seine Richtung wird nach und nach immer westlicher; dabei nimmt seine Geschwindigkeit immer mehr und mehr zu.

Bei einem vom Pol nach dem Aequator strömenden Westwind ist $A > c \cdot \cos \beta_0$. Da aber $c \cdot \cos \beta$ nach und nach wächst, kann ein Zeitpunkt eintreten, wo $A = c \cdot \cos \beta$ wird. Die Richtung der Strömung wird dann eine südliche, und geht von diesem Wendepunkt an in die entgegengesetzte Richtung von Ost nach West über. Von da an ist

der ganze Verlauf gleich dem des früher geschilderten Nordostwindes.

Die Breite des Wendepunkts bestimmt sich auch hier nach Formel 10). Es kann aber der Fall eintreten, daß der Werth für $\cos B$ größer als 1 ist, mithin die Bahncurve keinen Wendepunkt bildet.

Die gefundenen Resultate lassen sich, wobei immer nur von der nördlichen Halbkugel die Rede ist, mithin kurz so zusammenstellen:

Der Nordost- und der Südwestwind behalten im Verlauf ihrer Bahn diese ihre Richtung im Ganzen bei, wobei beide mehr und mehr sich der Richtung der Parallelkreise nähern, ohne jemals ganz damit zusammenzufallen, und an Stärke zunehmen.

Der Südost und der Nordwest gehen anfangs mit abnehmender Stärke mehr und mehr in die Richtung der Meridiane über, werden an einer Stelle ihrer Bahn, dem Wendepunkt, reine Süd oder Nordwinde und verfolgen von da an den Verlauf der eben charakterisirten Südwest- oder Nordostwinde.

Schon hieraus erklärt sich also das verschiedene Vorwalten der Südwest- und Nordostwinde, der gewissermaßen normalen Richtung der Aequatorial- und der Polarströmung.

Wie diese Ergebnisse der Betrachtung sich für die entgegengesetzte Halbkugel abändern, ist leicht ersichtlich.

Es bleibt nur noch übrig, die Windbahnen über den Aequator hinaus aus einer Halbkugel in die andere zu verfolgen: Ein auf der nördlichen Halbkugel entstandener Nordost wird, wenn er als ein noch etwas südlich gerichteter Ost bis zum Aequator gelangt ist, ihn natürlich durchschneiden und von nun an dem Südpol zustreben. Aber da von jetzt an die Breite wieder zunimmt, wird die Richtung sich nach und nach mehr der des Meridians nähern. Die Windbahn wird also auf beiden Seiten des Aequators ihm ihre convexe Seite zukehren, und es findet daher an der Stelle, wo dieselbe den Aequator schneidet, ein wirklicher Wendepunkt, nach der Definition, die die Mathematik

davon giebt, statt. Die Fortsetzung der Bahn auf der südlichen Halbkugel hat dann ganz den Verlauf eines gewöhnlichen Nordostwindes der südlichen Halbkugel, entsprechend dem Südostwind der nördlichen Halbkugel, wie er im Obigen geschildert wurde, und wendet sich also später nach Osten zurück.

Ganz analog ist die Bahn eines Südost's der südlichen Halbkugel, welcher den Aequator schneidet und auf die nördliche Halbkugel übergeht. Da dieser Fall ein praktisches Interesse hat, hebe ich hervor, daß mithin ein solcher Südost einige Grade nördlich vom Aequator zu einem Süd oder gar einem Südwest geworden seyn kann.

Ein an einem gewissen Punkt der nördlichen Halbkugel entstehender Nordwest wird, wie wir im Vorigen gesehen haben, im Allgemeinen auf dieser Halbkugel umbiegen und in einen Nordost übergehen. Ist dieß aber nicht der Fall (wenn $A > c$ ist, siehe 9), so ist um so mehr nach dem Durchgang durch den Aequator $A > c \cdot \cos \beta$, der Wind bleibt ein Westwind und wird im Laufe der Zeit sich immer mehr dem reinen Westwind nähern. Auch in diesem Falle ist unterm Aequator ein Wendepunkt im mathematischen Sinne, auf beiden Seiten vom Aequator ist die concave der Seite der Curve ihm zugekehrt.

Symmetrisch nach der entgegengesetzten Seite gerichtet ist die Bahn eines Südwest der südlichen Halbkugel, der als ein solcher den Aequator durchschneidet.

Wenn wir übrigens nur die Gestalt der Bahncurven betrachten, in ihrem ganzen Verlauf längs der Erdoberfläche, ohne auf Anfangszeit und Anfangspunkt der Bewegung zu rücksichtigen, so lassen sich die im einzelnen erhaltenen Resultate leicht in folgender Art übersichtlich zusammenfassen:

Die Gleichungen 1) 2) 3) ergeben, daß für gleiche nördliche und südliche Breite sowohl Richtung, als Geschwindigkeit des Windes einander gleich sind, die Bahn liegt also symmetrisch zu beiden Seiten des Aequators. Am Aequa-

tor selbst findet ein mathematischer Wendepunkt statt. Wenn M sein Zeichen ändert, bleibt die Geschwindigkeit dieselbe und das Azimuth der Richtung verwandelt sich in sein Supplement. Die Bahncurven sind ihrer Gestalt nach dieselben, den vorigen symmetrisch, so daß rechte und linke Seite sich gegenseitig vertauschen. Ich betrachte daher nur die Bahnen für ein positives M , wo also die Bewegung vom Aequator nach dem Nordpol, oder, da wir auch den früheren Verlauf der Bahn in Betracht ziehen, vom Südpol nach dem Nordpol gerichtet ist.

Dann ist die Gestalt der Bahn nur wesentlich verschieden, je nachdem A größer oder kleiner als c ist. Ist nämlich $A > c$, so ist es auch $> c \cdot \cos \beta$, was auch β für einen Werth annehme; eine Umkehr der Richtung kann daher niemals stattfinden. Der Verlauf der Curve wird (Fig. 6 Taf. I) durch die Linie I—I dargestellt. Ist aber $A < c$, so muß es irgend eine Breite B auf beiden Seiten des Aequators geben, für welche $A = c \cdot \cos B$ ist. An diesen Stellen ändert die Bahn ihre Richtung, es sind die vom Verfasser sogenannten Wendepunkte. Die ungefähre Gestalt der Bahn ist in derselben Figur von II bis II verzeichnet. Die Wendepunkte sind mit $W W$ bezeichnet. Bei beiden Bahnen geben die Pfeile die Richtung der Bewegung an, die stärkere Auszeichnung der Linien soll die Zunahme der Geschwindigkeit andeuten.

Der besondere Fall, wo $A = c$ ist, unterscheidet sich nicht wesentlich von dem ersten Fall (Linie I—I); nur schneidet die Bahnlinie den Aequator unter rechtem Winkel. Die symmetrischen Gestalten der Windbahnen, wenn die Richtung der Bewegung von Nord nach Süd geht, zeigt Fig. 7 Taf. I.

Inwieweit die entwickelten Formeln den wirklichen Verlauf der Erscheinung darstellen, läßt sich zur Zeit wohl nicht genügend prüfen, weil keine Angaben über den Lauf des Windes existiren, welche die nothwendigen Elemente, namentlich die Geschwindigkeit, mit der erforderlichen Ge-

naugigkeit angeben. Trotzdem wird eine ungefähre Schätzung der numerischen Resultate von Interesse seyn:

Wenn $A = c$ ist, so geht die Formel 3) für Q^2 in folgende über:

$$Q^2 = 4c^2 \sin^2(\tfrac{1}{2}\beta) + M^2.$$

Dies ergibt z. B. für die Breite $\beta = 60^\circ$, da $\sin \tfrac{1}{2}\beta = \tfrac{1}{2}$ ist: $Q^2 = \tfrac{1}{4}c^2 + M^2$, mithin Q jedenfalls größer als $\tfrac{1}{2}c$. Noch größer wird Q offenbar unter dieser Breite, wenn $A > c$ ist. Da nun c , die Rotationsgeschwindigkeit der Erde unterm Aequator beinahe 1500 Fufs in der Sekunde beträgt, so würde dies für alle solche Winde (I—I der Figur) eine Geschwindigkeit von über 700 Fufs in der Sekunde ergeben, etwa viermal so groß als die wirklich beobachtete Geschwindigkeit der allerheftigsten Stürme.

Wahrscheinlich kommen also Winde, welche eine derartige Bahn beschreiben, überhaupt nicht vor; mit andern Worten: die hier gemachte Annahme, als befände sich unterm Aequator Luft, deren Geschwindigkeit in ost-westlicher Richtung = 0 sey, oder die gar eine Bewegung in der Richtung von West nach Ost habe, scheint unstatthaft zu seyn.

Aber selbst bei den Winden der zweiten Art (II—II), wo die Richtung der Bewegung unterm Aequator von Ost nach West geht, wo erst von dem in einer gewissen Breite liegenden Wendepunkt an die Geschwindigkeit sich zu steigern beginnt, erreicht sie in den meisten Fällen bald eine Größe, die weit über die erfahrungsmäßige Stärke des Windes hinausgeht. Wenn z. B. der Wendepunkt unter dem 30sten Grad der Breite liegt, wo also $A = c \cdot \cos 30^\circ$ ist, so wird unterm 60sten Grad der Breite

$$Q^2 = c^2 (\cos 30^\circ - \cos 60^\circ)^2 + M^2, \text{ mithin}$$

$$Q > c (\tfrac{1}{2}\sqrt{3} - \tfrac{1}{2})$$

$$Q > c \cdot 0,366 \dots$$

Wir sehen hieraus, daß die Geschwindigkeit eines der Art bewegten Lufttheilchens durch verschiedentliche Einwirkungen sehr beträchtlich verzögert wird, wie sich das

auch der Natur der Sache nach nicht anders erwarten läßt. Aber diese Einwirkungen müssen ganz gleicherweise auch auf die Componente der Bewegung in der Richtung des Meridians wirken, und wenn nun die Erfahrung in Bezug auf diese nicht in demselben Maasse eine Verzögerung nachweist, wenn die Geschwindigkeit in der Richtung des Meridians etwa gleichmäfsig bleibt, oder vielleicht gar zunimmt: so muß man, wie mir scheint, daraus den Schluß machen, daß in dieser Richtung eine stetig wirkende Kraft vorhanden sein muß, welche jener Verzögerung entgegenwirkt. Ich werde auf diese Bemerkung in der Folge noch zurückkommen.

Endlich will ich, ohne mich vorläufig auf eine Erklärung dieses Verhaltens einzulassen, hier nur darauf aufmerksam machen, daß bei den Wirbelstürmen das Centrum des Wirbels bei seinem Vorrücken genau eine solche Bahn einschlägt, wie unsere Formeln sie gewissen bewegten Lufttheilchen vorschreiben. Bei den Bahnen der westindischen Wirbelstürme z. B. geschieht das Vorrücken des Wirbels (nicht die Bewegung der Luft innerhalb desselben) genau in den Bahnen eines Südostwindes der nördlichen Halbkugel. (Ich verweise in dieser Hinsicht auf das Werk von Dove. *„Ueber das Gesetz der Stürme.“* Besonderer Abdruck aus des Verfassers *„Klimatologischen Beiträgen“*, Berlin bei Reimer 1857 und die beigelegte Karte II.)

Der Wendepunkt der Bahn, das schnellere Fortschreiten in der Richtung nach Osten, nachdem derselbe passirt ist, alles läßt die Wege des Wirbelcentrums genau den oben charakterisirten Windbahnen gleich erscheinen.

II.

Wir haben gesehen, wie die Drehung der Erde den längs ihrer Oberfläche dahingleitenden Massentheilchen sehr beträchtliche Bewegungen in der Richtung der Parallelkreise, von Ost nach West und umgekehrt zu ertheilen vermag. Aber sie kann ihre Wirksamkeit nur äußern, wenn dem zu bewegenden Körper ein Impuls in der Richtung des

Meridians, vom Aequator nach dem Pol, oder vom Pol nach dem Aequator hin innewohnt, durch den er zu andern Parallelkreisen, wo eine andre Rotationsgeschwindigkeit herrscht, gelangen kann. Wir haben uns demnach nunmehr mit der Frage zu beschäftigen, durch welche Ursache ein Strömen des Wassers oder der Luft in der Richtung der Meridiane hervorgebracht werde.

Was nun die nach dem Aequator hinstrebenden Polarströmungen betrifft, so ist man über den Grund derselben längst im Klaren. Durch die starke Erwärmung des Erdgürtels um den Aequator herum verdunstet dort das Wasser in größserer Menge, es muß daher zur Herstellung der Gleichgewichtsoberfläche von beiden Seiten her fortlaufend Wasser hinzuströmen. In ähnlicher Weise werden die nach dem Aequator hingehenden Winde durch Verdünnung der Luft, welche über der heißen Zone ruht, hervorgerufen. Dagegen hat man, wie es mir scheint, keine befriedigende Erklärung über den in entgegengesetzter Richtung vom Aequator nach dem Pole hinziehenden Aequatorialstrom angegeben. Was man in Bezug auf ihn als Erklärung aufgestellt hat, scheint mir nicht unerheblichen Bedenken zu unterliegen. — Ich werde aber die Strömungen des Wassers und der Luft gesondert behandeln müssen, da die beiden obwaltenden Verhältnisse nicht ganz dieselben sind, und beginne mit der Betrachtung der Strömungen des Meeres:

Die Aequatorialströmung des Atlantischen Oceans, die vom Busen von Guinea zunächst nach der Ostspitze Südamerika's hinlenkt, worauf der größte Theil derselben seinen Weg nach dem Karaibischen Meer und dem Busen von Mexiko nimmt, findet ihre genügende Erklärung in den Wassermassen, die aus höhern Breiten beider Halbkugeln in das um den Aequator herum durch Verdunstung entstehende Wellenthal zuströmen. Da diese auf der nördlichen Halbkugel von Nordost nach Südwest, auf der südlichen von Südost nach Nordwest gerichtet sind, so resultirt aus dem Zusammentreffen beider Stromrichtungen jene von Ost nach West ziehende Strömung. Aber wir müssen den

weitem Verlauf derselben, den Golfstrom, einer genaueren Betrachtung unterziehen. Dafs die im Mexikanischen Meerbusen sich aufstauenden Wassermassen wieder abfliefsen müssen, ist natürlich; ebenso ist der weitere Verlauf der Strömung, nachdem sie um die Halbinsel von Florida herum nach Norden gelenkt, ein ganz gesetzmässiger, die allmähliche Ablenkung der Bahn nach Osten eine Folge der Drehung der Erde. Dafs sie aber diese Anfangsrichtung einschlägt, mufs ein Blick auf die Karte höchst auffallend erscheinen lassen. Hätten wir es hier mit einem blofsen Abströmen aufgestauter Wassermassen nach Gegenden, wo das Meer ein etwas niedrigeres Niveau hat, zu thun, so würde wohl einestheils eine Rückströmung und in Folge dessen eine Verlangsamung, ein Aufhalten der ursprünglichen Strömung stattfinden, andernteils würde das Wasser, nachdem es durch den Kanal zwischen Cuba und Florida einen Ausweg gefunden, sich nach allen Seiten, besonders aber in der Richtung von West nach Ost, welcher die Wände des Kanals ungefähr folgen, ausbreiten müssen. Das Fortströmen in einer ganz andern Richtung, in einem Anfangs verhältnismässig schmalen, beinahe scharf begränzten Bette, mit so beträchtlicher Geschwindigkeit, wie es in Wahrheit stattfindet, weist, wie mir scheint, entschieden auf eine andere bestimmende Ursache einer so auffallenden Erscheinung hin.

Ehe ich meine Ansicht über die hier und in ähnlichen Fällen wirkende Ursache ausspreche, liegt mir ob, die anderweitig darüber beigebrachten Erklärungen anzuführen und zu beurtheilen. Sehr eingehend hat sich in neuerer Zeit mit dem Golfstrom, den merkwürdigen Erscheinungen, die er darbietet, sowie den muthmafslichen Gründen derselben der Amerikaner M. F. Maury, eine grosse Autorität in nautischen Angelegenheiten, beschäftigt. Ich verweise auf sein Werk: *Die physische Geographie des Meeres*. Deutsch bearbeitet von Dr. C. Böttger, Leipzig bei G. Mayer 1856.

Der Charakter dieses Werkes, dafs es neben einer Fülle

der schätzbarsten erfahrungsmäßig festgestellten Angaben, neben bedeutenden und geistreichen theoretischen Ausführungen und Hypothesen nicht selten einen auffallenden Mangel an Kritik zeigt und wahrhaft phantastische Annahmen vorbringt, zeigt sich auch bei dieser Gelegenheit. Der Verfasser giebt in Bezug auf den Golfstrom zwei Hypothesen, die auf geradezu entgegengesetzten Voraussetzungen beruhen, sich vollkommen gegenseitig ausschließen. Er stellt sie aber ruhig neben einander hin, ohne auf ihren Gegensatz auch nur aufmerksam zu machen. Bei der einen, die ich für gänzlich unzulässig halte, wie ich demnächst zu zeigen versuchen werde, bleibt er schließlic stehen, und läßt die andere fallen. Gerade diese aber scheint mir die richtige zu sein und eine viel weiter greifende Anwendung zuzulassen.

Die meiner Meinung nach unrichtige Hypothese besteht in Folgenden:

Auf die gemachte Bemerkung hin, daß das Wasser der Karaibischen See und des Golfs von Mexiko den Kupferbeschlag der Schiffe mehr angreife als das Wasser anderer Meere, weshalb es wahrscheinlich salziger sey als anderes Meerwasser, wird die Folgerung gebaut: »daß die Gewässer des Golfstroms, da sie in solcher Masse und mit solcher Geschwindigkeit in das Weltmeer hinausströmen, nicht allein ihnen eigenthümliche chemische Affinitäten besitzen, sondern wegen ihres größern Salzgehaltes auch specifisch schwerer sind als das Meerwasser, durch welches sie in einem so klaren und wohl abgegränzten Kanal hindurchfließen« (S. 23 des angeführten Werkes). Dem gegenüber wird auf den geringen Salzgehalt der Ost- und Nordsee aufmerksam gemacht. »Wir haben nun auf der einen Seite das Karaibische Meer und den Golf von Mexiko mit ihrem Salzwasser, auf der andern die Ostsee mit einem Brackwasser von sehr mäßiger Stärke. In der einen Gruppe dieser Meeresbecken ist das Wasser schwer, in der andern leicht. Zwischen ihnen liegt der Ocean; aber das Wasser will nothwendiger-

weise sein Niveau und Gleichgewicht suchen und behaupten. Hier fördern wir also eine der den Golfstrom erzeugenden Kräfte zu Tage.“

Das Unhaltbare dieser Hypothese liegt wohl klar am Tage. Gebaut ist sie auf die Annahme, daß das Wasser des Mexikanischen Meerbusens schwerer sey als das der Ostsee, wofür entschieden der Beweis nicht geführt ist, und schwerlich geführt werden kann. Der Verfasser selbst hebt hervor, daß die größere Ausdehnung durch die Wärme, welcher das Wasser im Mexikanischen Meerbusen ausgesetzt ist, in entgegengesetztem Sinne wirken muß. Welche Einwirkung die überwiegende sey, müßte daher vor allen Dingen und zwar durch bestimmte quantitative Angaben entschieden werden. Die dazu nöthigen Beobachtungen würden dem Verfasser vielleicht zu Gebote gestanden haben: ich muß mich mit rein theoretischen Erwägungen begnügen. Ich bin in Bezug auf das specifische Gewicht des Wassers der gerade entgegengesetzten Ansicht. Zugegeben, daß um den Aequator herum im Laufe des Jahres eine beträchtliche Quantität reinen Wassers verdunste, was darauf hinwirken muß, das Oberflächenwasser salzhaltiger zu machen, so wird dieß durch den gerade in diesen Gegenden sehr massenhaften Niederschlag wieder ausgeglichen. Wenn ferner die der starken Verdunstung ausgesetzte obere Schicht des Meeres dadurch wirklich schwerer werden sollte, so müßte sie natürlich herabsinken und durch anderes Wasser ersetzt werden. Daß aber die Verdunstung in dieser Weise auf die ganze Wassermasse bis zum Meeresgrunde einen irgend merkbaren Einfluß ausüben könne, wird man doch wohl nicht behaupten wollen.

Aber ferner, wenn die behauptete Ungleichheit im specifischen Gewicht des Golfstrom- und des Ostseewassers stattfände: würde dieß Verhalten eine Bewegung der Gewässer wie den Golfstrom hervorzubringen im Stande seyn? Ganz gewiß nicht. Das in so weiter Entfernung vom Mexikanischen Meerbusen belegene, nur in so engen Strafsen sich öffnende Becken der Ostsee sollte eine merkbare

Wirkung bis auf so weite Entfernung hin ausüben? Und wenn dieß der Fall wäre, müßte nicht jedenfalls die Strömung in der Nähe der Ostsee durch den Sund und die Belte am stärksten seyn, und würde in größerer Entfernung sich nur mit abnehmender Stärke äußern? Der Golfstrom zeigt aber in Wahrheit gerade das entgegengesetzte Verhalten.

Die Hypothese zur Erklärung der dem Pole zustrebenden Richtung der Gewässer des Golfstroms, der ich mich anschliese, und die Maury gleichfalls aufstellt, beruht auf der Annahme, daß das durch den Aequatorialstrom dahingewälzte Wasser, welches sich schließlichs im mexikanischen Meerbusen ansammelt und aufstaut, durch die Wärme, der es ausgesetzt ist, specifisch leichter wird als die Meergewässer in höheren Breiten. Ist dieß aber der Fall, so wird es vermöge der Centrifugalkraft vom Aequator nach den Polen hin abzufließen streben, um durch anderes schwereres, das von den Polen dem Aequator zufließt, ersetzt zu werden. Maury erläutert dieß sehr zweckmäfsig, indem er sagt, man möge sich den Aequator mit einer Schicht Oel statt von Wasser umzogen denken. Sowie die Erde ihre Rotation beginnt, würde offenbar die Oelmasse nach den Polen hinfließen, das schwerere Wasser, zum Theil unter der Oberfläche hinfließend, dem Raume um den Aequator zuströmen. Offenbar wird das specifisch leichtere Wasser sich in dieser Hinsicht ganz wie das Oel verhalten.

Aber diese Strömung des leichteren Wassers vom Aequator nach den Polen hin kann nur dann Platz greifen, wenn es bis zur Höhe der Gleichgewichtsoberfläche der Erde an der betreffenden Stelle heranreicht, oder durch Aufstauung über sie emporgehoben ist.

Dieß der Grund, warum die warmen Gewässer des Aequatorialstroms nicht früher schon nach den Polen abzufließen suchen. Der Aequatorialstrom fand ja dadurch seine Entstehung, daß um den Aequator herum durch Verdunstung sich gewissermaßen ein Thal in der Meeresfläche bildete, das Wasser unter das ihm an dieser Stelle zukom-

mende Niveau herabgedrückt wurde. Natürlich mußten die Wasser der höhern Breiten vermöge der Schwere von beiden Seiten herbeifließen. Die Einwirkung der Centrifugalkraft auf leichteres Wasser um den Aequator herum kann offenbar erst dann in Kraft treten, wenn nicht die stärkere Gegenwirkung der Schwere zu überwinden ist, also erst dort, wo an den Rändern der Wasserbecken durch Aufstauung das Niveau hergestellt oder noch überstiegen wird.

So erklären sich die Erscheinungen, die der Golfstrom in seinem Verlaufe zeigt, vollkommen:

Im Golf von Mexiko staut sich das heiße Wasser des Aequatorialstroms (die Temperatur des Meerwassers steigt dort bis auf 32° C., am höchsten auf der Erde) bis über die Höhe der Gleichgewichtsoberfläche der Erde auf. Es muß daher als specifisch leichter, sowie es dem umfließenden Becken entkommen kann, direct dem Pole zuströmen. Die spätere Ablenkung ist eine nothwendige Folge der Rotation der Erde.

Da der Einfluß der Centrifugalkraft als eine stetig wirkende Kraft anzusehen ist, erklärt sich auch, wie der Golfstrom trotz des zu überwindenden Widerstandes der übrigen Meeresgewässer, der gewiß höchst bedeutend ist, trotzdem ferner, daß seine spätere Ausbreitung natürlich die Geschwindigkeit beträchtlich vermindert, noch weiterhin eine so große Geschwindigkeit in nördlicher Richtung behalten kann. Wenn nicht auf diese Weise der Impuls, der ihn dem Pole zutreibt, sich stetig erneuerte, würden die bewegten Wassermassen, wie mir scheint, viel früher zum Stillstand gelangen müssen.

Die verwandten Erscheinungen anderer Meeresströmungen sind durchaus geeignet, den angegebenen Erklärungsversuch zu unterstützen.

Der Abfluß der warmen Aequatorialgewässer längs der ostasiatischen Küste, der vielfach mit dem Golfstrom verglichen worden ist, zeigt ein ganz analoges Verhalten. Ja die localen Verhältnisse sind der Art, daß der Verlauf, den

er nimmt, noch entschiedener zu Gunsten meiner Hypothese spricht. Maury, dessen positiven Angaben man gewiß volles Vertrauen schenken kann, charakterisirt diese Strömung so:

»Eine andere dieser Strömungen (nämlich der warmen Gewässer des Indischen Oceans) entweicht durch die Straße von Malacca und fließt, nachdem sich andere warme Ströme aus den Meeren von Java und China mit ihr vereinigt, wie ein zweiter Golfstrom zwischen den Philippinen und den Asiatischen Küsten hindurch in den stillen Ocean. Dann tritt sie den großen Kreislauf nach den Aleutischen Inseln an, das Klima mildernd und sich in dem Meere gegen die Nordwestküste Amerikas hin verlierend (S. 128).«

Nun betrachte man die Karte! Wenn ein Strom, nachdem er die Straße von Malacca in fast ganz südlicher Richtung durchflossen hat, von da an den Weg zwischen der Küste von Indien und den Philippinen einschlägt, statt dieselbe Richtung beibehaltend zwischen Sumatra und Java einerseits, Borneo andererseits dahinzufliessen, so muß wohl gewiß eine Kraft existiren, die ihn jenen ersten Weg, fast genau in nördlicher Richtung zu nehmen zwingt — und das kann füglich keine andere seyn als die Centrifugalkraft. Eine entschiedene Richtung nach dem Pol zeigt diese Strömung in ihrem Verlauf noch ein zweites Mal, da, wie Maury berichtet, eine Oberflächenströmung nördlich durch die Behringsstraße ins Eismeer fließt.

Dergleichen Strömungen warmen, also specifisch leichteren Wassers in der Richtung von den Aequatorialgegenden nach den Polen hin sind noch mehrere erfahrungsmäßig festgestellt. Einige von ihnen verfolgen mehr oder weniger nur die schon überkommene Richtung, soweit die entgegen tretenden Continentalmassen es gestatten. So die Brasilianische Strömung, der südliche Arm der durch das Cap Roque gespaltenen Aequatorialströmung des Atlantischen Oceans, und die Mozambique-Strömung sammt dem auf der andern Seite von Madagascar nach Süden ziehenden Strom im In-

dischen Meer. Wir finden es ganz natürlich, daß die an der Ostküste der Continente angestauten Wassermassen in dieser Richtung abfließen.

Dagegen giebt es auch gewisse andere Strömungen dieser Art, die ohne erweislich durch ein Hinderniß veranlaßt zu seyn, von dem Bette warmen Gewässers um den Aequator herum sich loslösen, um den Polen zuzustreben. Und diese scheinen mir für die behauptete Einwirkung der Centrifugalkraft auf specifisch leichteres Wasser einen sehr schlagenden Beweis zu liefern. Dahin rechne ich den sogenannten nordwestlichen Ausfluß der atlantischen Aequatorialströmung, der etwa unter dem 10ten Grad westlicher Länge (Ferro) von dem Hauptstrom sich trennend gegen Nordwest fließt, während jener, soweit die Gestaltung des Continents von Südamerika es gestattet, die westliche Richtung beibehält. Es kann an dieser Stelle sehr wohl unter Einwirkung der Ostspitze von Südamerika eine Aufstauung des Wassers erfolgen, wo dann sofort die Centrifugalkraft in Wirksamkeit treten muß.

Ferner berichtet Maury, daß wenigstens zu Zeiten ein Strom warmen Wassers im Indischen Ocean nach Süden hin mitten zwischen Australien und Afrika seinen Weg findet, der also offenbar durch keine gegenstehenden Landmassen in diese Richtung gezwungen wird.

Noch eine Strömung würde sehr entschieden zu Gunsten der angeführten Hypothese sprechen, wenn ihr Daseyn unzweifelhaft ausgemacht wäre. Maury berichtet über sie: „Die unerwartetste Entdeckung aber ist die der warmen Fluthung längs der Westküste Südafrikas, ihrer Vereinigung mit der Lagullasströmung, die höher hinauf die Mozambiqueströmung heißt und danach des gemeinschaftlichen Laufs beider nach Süden“ (S. 239). Diefß widerspricht allerdings der früheren Annahme, wie sie noch auf den Berghaus'schen Karten zur Darstellung gekommen ist, nach welcher längs der Westküste Südafrikas die Wässer gerade in entgegengesetzter Richtung vom Cap nach dem Busen von Guinea strömen sollen, was sich auch sehr gut dadurch erklären

liefse, daß dieselben das um den Aequator herum durch Verdunstung herabgedrückte Niveau herzustellen streben.

Sollten indess nicht vielleicht beide Angaben richtig seyn? Steht in der Nähe des Guineabusens das Wasser unter dem dieser Stelle der Erdoberfläche zukommenden Niveau, so wird der Verlauf der Strömung der früheren, von Berghaus adoptirten Angabe gemäß seyn. Wenn dagegen zu gewissen Zeiten des Jahres dort das Wasser höher angestaut wird und die Gleichgewichtsoberfläche erreicht oder übersteigt, so muß vermöge der Centrifugalkraft auch hier das Wasser nach dem Pol hin abströmen. Unterstützt wird diese Ansicht dadurch, daß in der Nähe des Golfs von Guinea der in diesem Erdgürtel sonst herrschende Südostpassat zur Sommerzeit durch einen Südwestwind (entstanden durch die Einwirkung der hohen Temperatur Sudans und der Sahara) ersetzt wird. Hierdurch wird offenbar die zur Entstehung der von Maury behaupteten Südströmung nach unserer Hypothese nothwendige Aufstauung des Wassers hervorgebracht werden können.

Ich möchte noch eine Erscheinung hierherziehen, die vielleicht auf dieselbe Kraft zurückzuführen ist: Von verschiedenen Polarreisenden wird berichtet, daß sie bisweilen gewaltige Eisberge angetroffen haben, die dem Wind und der Oberflächenströmung entgegen mit bedeutender Geschwindigkeit in nördlicher Richtung hintrieben. Damit, diese Erscheinung unterseeischen Strömungen zuzuschreiben, kann ich mich nicht einverstanden erklären, weil, der aufgestellten Hypothese gemäß, wie ich im Folgenden gleich ausführen werde, diese nur von den Polen nach dem Aequator hin gehen können. Aber ist nicht das Eis gleichfalls specifisch leichter als das umgebende Wasser, und erscheint es daher nicht ganz natürlich, daß dergleichen Eisberge gerade wie warmes Wasser der Centrifugalkraft anheimfallend dem Pole zugetrieben werden?

Es ist selbstverständlich, daß die Centrifugalkraft das schwerere Wasser umgekehrt von den Polen nach dem Aequator hintreiben muß. Sie wird daher zunächst noch

beschleunigend auf die Gewässer der höhern Breiten wirken, wenn sie durch die Schwere getrieben wie auf einer schiefen Ebene herabfließen, das durch die starke Verdunstung um den Aequator entstehende Thal auszufüllen. Dann aber haben wir ihrer Einwirkung die zahlreichen unterseeischen Strömungen kalten Wassers, die sämmtlich von den Polen dem Aequator zufließen, zuzuschreiben, deren Vorkommen auf keine andere Weise erklärt werden zu können scheint.

III.

Ich wende mich nun zur Betrachtung der Luftströmungen und zwar vorzugsweise des vom Aequator nach den Polen gerichteten sogenannten Aequatorialstroms. Denn in der That läßt die seit Halley feststehende Erklärung des andern Theils des Phänomens, der Polarströmungen und ihrer Fortsetzung, der Passatwinde, nichts zu wünschen übrig. Auch die Erklärung des Gürtels der Windstillen um den jeweiligen Wärmeäquator herum, wo der durch die starke Hitze hervorgebrachte aufsteigende Luftstrom dicht über der Erdoberfläche im Allgemeinen keine andere Strömung aufkommen läßt, wird ziemlich übereinstimmend gegeben und scheint mir vollkommen zufriedenstellend zu seyn. Aber über den Weg, den von nun an die bewegten Luftmassen einschlagen, über die Ursache, die sie vom Aequator nach den Polen treibt, gehen die Meinungen sehr auseinander oder scheinen auch wohl etwas unbestimmt und unklar zu bleiben. »Durch die Passatwinde wird fortwährend Luft dem Aequator zugeführt, so daß sie sich dort anhäuft, und daher wiederum nach den Polen abströmen muß«, so ungefähr spricht man sich in geographischen Büchern über diesen Gegenstand aus, wobei als Erläuterung das Beispiel der warmen Stube angeführt zu werden pflegt, in welche durch die geöffnete Thür von unten her ein kalter Luftstrom eindringt, wo dann ein Theil der warmen Stubenluft in der Nähe der Decke abströmt. Aber das Beispiel scheint mir wenig zutreffend, da bei dem hervorgebrachten Erfolg

die bestimmte Begrenzung der Luftmasse durch die Wände des Zimmers und die Decke offenbar sehr wesentlich mitbestimmende Elemente sind, die bei der großen geheizten Stube des Aequators nicht in gleicher Weise vorhanden sind, und da der bald sich wieder verlierende dem obern Theil der Thüröffnung entströmende warme Luftzug sich schwer mit dem bis in so hohe Breiten wirksamen Aequatorialstrom der Luft in Parallele stellen läßt. Verwandt mit obiger ist die Erklärung, die Kämtz in seiner *Meteorologie* (Band I S. 138 ff.) giebt. Sie besteht im Wesentlichen darin, daß, wenn die über einer Stelle der Erdoberfläche ruhende Luftsäule durch die Wärme stärker ausgedehnt wird und sich über das Niveau der umliegenden Gegenden erhebt, sie abströmen müsse, um die Gleichgewichtsoberfläche wieder herzustellen.

Aber abgesehen davon, daß das Niveau der Atmosphäre keine festbestimmte Oberfläche ist, sondern jedenfalls durch die Temperatur mit bestimmt wird, ist es wohl durchaus unzulässig, solche in verhältnißmäßig großer Nähe der Erdoberfläche vorgehende Erscheinungen wie die Winde herzuleiten aus den Veränderungen, welche die obersten Regionen der Atmosphäre, dort wo sie an den luftleeren Raum gränzt, oder sich allmählich verliert, über deren Wesen und Beschaffenheit wir gar nichts wissen, betreffen. Die Gewichtigkeit dieses Einwandes scheint mir um so größer, da die Aufwühlung der Luft sich schwerlich mehr als einige Meilen hoch erstrecken dürfte. Kämtz selbst bemerkt (Theil I S. 283): »Nun sind aber die obersten Theile der Atmosphäre so dilatirt, haben so wenig Adhäsion an einander, daß die obersten Luftschichten einen Druck leiden können, ohne daß dadurch die untern im mindesten modificirt werden.«

In neuerer Zeit hat Maury eine ganz abweichende Ansicht über die Circulation der Luft ausgesprochen, auf die ich hier etwas näher eingehen muß, da ich einigen Aufstellungen desselben beipflichte, andere als unbegründet zurückweisen zu müssen glaube. Im Wesentlichen besteht

seine Hypothete in Folgendem, wobei ich auf die schematische Figur S. 65 seines Werkes verweise:

Ein Luftatom steigt am Nordpol in die Höhe, fließt von dort als oberer Luftstrom (der die Erdoberfläche nicht berührt) dem Aequator zu bis in die Gegend des Wendekreises des Krebses, wo Maury einen Gürtel der Windstillen annimmt. Hier sinkt es herab und macht sich von nun an, in der Nähe der Erdoberfläche hinwehend, als der bekannte Nordostpassat bemerklich. Am Aequator, oder vielmehr in der Gegend des aequatorialen Calmengürtels, steigt es empor, und geht, nachdem es den Calmengürtel überschritten, nach der andern Halbkugel über, bis zum Wendekreis des Steinbocks in den oberen Regionen bleibend. Dort aber senkt es sich wieder und zieht in dem bekannten Aequatorialstrom der südlichen Halbkugel als Nordwest dem Südpol zu, wo es emporsteigt, um den entsprechenden Weg vom Süd- nach dem Nordpol einzuschlagen, den man nach obigen Angaben leicht wird verfolgen können. Ich hebe daraus nur hervor, daß nach Maury's Ansicht within der Aequatorialstrom unserer Breiten mit der vorherrschenden Richtung von Südwest nach Nordost von der südlichen Halbkugel herkommt, am Aequator in die Höhe gestiegen ist, und sich in der Gegend des nördlichen Wendekreises zur Oberfläche herabgesenkt hat.

Was Maury ferner als Hypothese über die diese Circulation bewirkende Kraft vorbringt, namentlich in Betreff der behaupteten Hebungen, Senkungen und Durchkreuzungen der Luftströme, wobei er an den Magnetismus der Erde und die magnetischen Eigenschaften der verschiedenen Bestandtheile der Luft denkt, ist so gänzlich vag und unbestimmt, daß man wohl vorläufig der Mühe überhoben ist, darauf näher einzugehen. Ich kann mir jede Berücksichtigung dieser höchst hypothetischen Hypothese um so mehr ersparen, da ich nur einen Theil seiner Aufstellungen mir zu eigen mache, und dieser mir ganz naturgemäfs zu seyn, keiner so unsichern Annahmen zu bedürfen scheint.

Mir scheint nämlich die Annahme eines vom Pol bis zu

dem zugehörigen Wendekreise in *oberen Regionen* dahinziehenden Luftstroms, der erst hier sich zur Oberfläche herabsenke, durch nichts erwiesen, seine Annahme in keiner Weise durch die Erscheinungen gefordert. Weht denn nicht in der kalten und gemäßigten Zone der nördlichen Halbkugel der polarische Nordost oft genug an der Oberfläche hin? Dafs er nicht fortwährend der herrschende Wind ist, wie später in der heißen Zone als Nordostpassat, liegt einfach darin, dafs der äquatoriale Südwest so oft mit ihm im Streite liegt, oder über ihn die Oberhand behält. Die naturgemäße Vorstellung über den Polarstrom ist offenbar die, dafs nach der stark verdünnten Luft des heißesten Erdgürtels die kältere Luft von höheren Breiten und vom Pole her gewissermaßen durch Saugen fortwährend hingezogen wird.

Dafs dagegen in der Nähe der Wendekreise der bis dahin nur in den oberen Regionen der Luft herrschende Äquatorialstrom sich der Oberfläche der Erde nähert, erklärt sich genugsam dadurch, dafs die früher erhitzte, beträchtlich leichtere Luft vom Äquator her beim Vorrücken in höhere Breiten allmählich sich abkühlt und daher schwerer werden mufs, ohne dafs man dabei den Magnetismus zu Hülfe rufen dürfte.

Ebenso wird man Maury beistimmen müssen, wenn er eine Durchkreuzung der über den Calmen emporsteigenden Luftströmungen des Nordost- und Südostpassats behauptet. Eine derartige Durchkreuzung ist, soviel mir bekannt, in Werken, welche dies Thema behandeln, zwar meistens nicht geradezu in Abrede gestellt; vorherrschend war aber immer die Vorstellung, dafs die Luftmassen, nachdem sie um den Äquator in die Höhe gestiegen, im Allgemeinen, auf derselben Halbkugel bleibend, rückwärts dem Pole wieder zuströmten. Es ist Maury's Verdienst, diese Durchkreuzung entschieden behauptet, und in ihren Consequenzen, die er freilich bisweilen mir etwas zu weit zu ziehen scheint verfolgt zu haben. In der That kann die Geschwindigkeit eines Lufttheilchens, das vom Nordostpassat getrieben bis

an die Gränze des aequatorialen Calmengürtels gelangt, in dieser Richtung keineswegs aufhören, wenn es auch durch die starke Erhitzung in die Höhe zu steigen gezwungen wird, da ein senkrecht in die Höhe gerichteter Impuls die horizontalen Componenten der Bewegung gar nicht ändert. Die Bewegung von Nordost nach Südwest wird daher dem Lufttheilchen verbleiben müssen, auch wenn es in einem aufsteigenden Luftstrome in die Höhe getragen ist, und es wird demnach den Calmengürtel zu durchschneiden und in die andere Halbkugel überzugehen streben. In ähnlicher Weise wird die vom Südostpassat zugeführte Luft in höheren Regionen durch den Calmengürtel hindurch zu unserer Halbkugel den Weg finden. Dafs diese Richtung nach dem Uebergang in die andere Halbkugel nach und nach in die entgegengesetzte übergeht, ist im Vorigen nachgewiesen.

Zwar wird während des Aufsteigens beider Luftströme und durch ihre gegenseitige Einwirkung auf einander die ihnen eingeprägte Geschwindigkeit in der Richtung von Nord nach Süd und von Süd nach Nord sich vermindern; bisweilen werden die von beiden Passaten bewegten Luftmassen sich gegenseitig aufhalten, oft aber werden sie auch einander vorbeigehen, oder sich durchkreuzen können, oder die stärkere Strömung wird die schwächere verdrängen. Wir sehen somit schon, wie eine Bewegung in der Richtung des Meridians vom Aequator nach den Polen hin entstehen kann, nämlich als Fortsetzung des Polarstroms der entgegengesetzten Halbkugel. Maury nimmt diese Art der Luftbewegung als die Regel an, so dafs im Allgemeinen die auf der nördlichen Halbkugel vom Aequator dem Pole zuwehende Luft von der südlichen Halbkugel herkomme, und umgekehrt. Meiner Meinung nach wird diefs zwar oft der Fall seyn, aber nicht immer. Es kann auch vorkommen, dafs die Luft unserer Halbkugel am Calmengürtel zurückgehalten, wieder als Aequatorialwind nach höheren Breiten zurückströmt; durch welche Kraft getrieben, werden wir später sehen.

Wir wollen nun die Beläge, die Maury für seine An-

sicht anführt, daß die den höheren Breiten einer Halbkugel vom Aequator her zuströmende Luft von der entgegengesetzten herkomme, etwas näher ins Auge fassen. Ich bemerke übrigens, daß vorzugsweise für die nördliche Halbkugel die Beweise stichhaltig erscheinen, nicht in gleichem Grade für die südliche.

Bekanntlich enthält die südliche Halbkugel sehr viel mehr Wasser als die nördliche, trotzdem ist der Niederschlag auf der nördlichen beträchtlich größer. Berghaus giebt die mittlere Höhe des jährlichen Niederschlags in der nördlichen gemäßigten Zone auf 35 Zoll, in der südlichen gemäßigten Zone auf 25 Zoll an. Eine Bestätigung findet diese Bemerkung dadurch, daß, wenn man den Amazonasstrom, der beiden Gebieten angehört, abrechnet, mit Ausnahme des La Plata kein einziger bedeutender Strom der südlichen Halbkugel angehört. Gewiß also ist es eine auffallende Erscheinung, daß auf der einen Halbkugel die ausdunstende Oberfläche, auf der andern die Condensation des Wasserdunstes zu Niederschlagsmassen so bedeutend überwiegt. Allerdings wirken hierauf zwei Umstände ein, die mit der hier entwickelten Hypothese über die Circulation der Luft in keinem Zusammenhange stehen: die durchschnittlich etwas höhere Temperatur der nördlichen Halbkugel, welche eine stärkere Verdunstung zur Folge hat, und die größere Masse des zum Theil hoch aus dem Wasser emporragenden Festlandes, welches gleichfalls, indem es die mit Wasserdunst geschwängerten Wolken aufhält, den Niederschlag befördert. Indefs erscheint es wohl fraglich, ob man ein so bedeutendes Resultat diesen beiden Umständen allein wird beinessen wollen. Offenbar würde der Uebergang von Luftmassen aus einer Halbkugel in die andere nach derselben Richtung hin sich wirksam erweisen. Wenn ich übrigens mit Maury einen solchen Uebergang annehme, so kann ich doch im Einzelnen seinen Ausführungen keineswegs beistimmen. Indem er die mutmaßlichen Wege der Wasserdunst führenden Luftmassen verfolgt, leitet er fast immer den auf einer Halbkugel fallenden Nieder-

schlag aus der jenseitigen Halbkugel her, oft ohne daß diese Annahme im mindesten nothwendig oder auch nur wahrscheinlich wäre. So, um den starken Niederschlag bei Patagonien und dem Cap Hoorn zu erklären, nimmt er an, es müsse diese Fülle von Wasserdunst schon von dem Nordostpassat der nördlichen Halbkugel angesammelt seyn, als wenn nicht auf dem langen Wege vom Wendekreis des Steinbocks an über ein weites Meer hin Gelegenheit genug wäre, mit Wasserdunst übersättigt zu werden. Eben so meint er, wie mir scheint, gleicherweise ohne zwingenden Grund, die Regenmenge in Oregon komme aus dem Gebiet des Südostpassats der südlichen Halbkugel.

Da, wenn eine solche Ueberführung von Wasserdunst aus einer Halbkugel in die andere stattfindet, die Ansammlung desselben vorzugsweise innerhalb des Passatgürtels stattfinden muß, so kommt es wesentlich nur darauf an, in welchem Verhältniß *innerhalb dieser Gürtel* die Wasserfläche zur Oberfläche des Festlandes steht. Nun ist die Wasserfläche des südlichen Passatgürtels zwar überwiegend, aber nicht in sehr hohem Grade; es scheint daher die so sehr viel größere Menge des Niederschlags auf der nördlichen Halbkugel darauf hinzuweisen, daß die mit Wasserdunst überladene Luft aus der südlichen Halbkugel öfter in die nördliche übergehe, als umgekehrt.

Maury führt ferner eine positive Thatsache an, die wohl als Beweis für die Ueberführung der Luft aus der südlichen in die nördliche Halbkugel angesehen werden kann. Ich beziehe mich hierbei auf den sogenannten Passatstaub, an welchem die Macht des Mikroskops in den Händen Ehrenberg's sich in so glänzender Weise bethätigt hat, der, ausgetrockneten Schlammbecken Südamerika's entstammend, bis zu den Küsten von Nordafrika, Süd- und Mittel-Europa geführt wird.

Ich verkenne nicht, daß die angeführten Umstände kaum als wirkliche Beweise anzusehen sind.

Ihre Hauptstütze haben die gemachten Annahmen, sowie die, welche ich im Folgenden noch aufzustellen habe, in

theoretischen Erwägungen. Doch hielt ich es immerhin für zweckmäßig, sie soweit als thunlich der Prüfung thatsächlicher Erfahrungen zu unterwerfen, wobei sich wenigstens herausgestellt hat, daß dieselben mit der Hypothese vollkommen in Einklang sind.

Es bleibt uns noch die Einwirkung der Centrifugalkraft auf die Bewegung der Luft zu betrachten. Sie wird sich im Wesentlichen in derselben Weise zeigen, wie bei den Strömungen des Wassers. Schwerere Luftmassen werden dem Aequator zustreben, leichtere vom Aequator nach den Polen hinströmen. Daß neben diesen Impulsen in horizontaler Richtung die durch die Schwere bedingten Bewegungen in senkrechter Richtung sich geltend machen, daß die schwere Luft sich dicht über der Erdoberfläche lagert, die leichtere in die Höhe steigt, daß ferner alle aus der Ausdehnbarkeit der Luft hervorgehenden Bewegungerscheinungen in Kraft bleiben, versteht sich von selbst, und es wird dadurch das Phänomen ein viel complicirteres als bei den Strömungen des Wassers. Im Ganzen aber wird es den oben angegebenen Charakter bewahren. Eine Masse specifisch leichter Luft wird natürlich zunächst in die Höhe steigen, bis sie gewissermaßen das ihr zukommende Niveau erreicht hat. Zugleich aber, wenn sie leichter als die in gleicher Höhe befindliche Luft ist, wird sie der Centrifugalkraft folgend vom Aequator nach den Polen hinwehen. Somit wird zunächst diejenige Luft, welche nach Durchschneidung der Aequatorialcalmen in die jenseitige Halbkugel vorgedrungen ist, stetig neue Impulse in der Richtung der Meridiane nach dem Pole zu erfahren, und in der That scheint es schwer erklärlich, wie ohne eine solche Beschleunigung der Geschwindigkeit die Bewegung in der Richtung des Meridians sich auf so weite Strecken hin erhalten könnte. Dann aber werden auch diejenigen Luftmassen, die im Gürtel der Windstillen des Aequators sich ansammeln, ohne ihn durchschneiden zu können, durch die Centrifugalkraft wieder zum Pole zurückgetrieben werden. Wir haben es also auch in diesem Falle nicht mit einem bloßen Abfließen

der aufgestauten Luft zu thun, wodurch dieselbe unmöglich eine so bedeutende Geschwindigkeit erhalten könnte, um bis zu hohen Breiten zu gelangen.

In Bezug hierauf aber muß der Umstand, daß der Wärmeäquator und im Zusammenhange damit der Gürtel der Calmen fast überall und zu allen Zeiten des Jahres auf der nördlichen Halbkugel liegt, unsere Aufmerksamkeit auf sich ziehen. Was wird wohl die Folge hievon seyn müssen? Von beiden Seiten her strömt die Luft dem Calmengürtel zu und steigt dort wegen der starken Erhitzung, der sie ausgesetzt wird, in die Höhe. Als specifisch leichter verfällt sie nun dem Einfluß der Centrifugalkraft. Nähme nun der Calmengürtel gerade die Gegend in der Mitte der Erde genau um den Aequator ein, so würde die Luft gleichmäßig nach beiden Polen hin abströmen. Da er aber ganz in der nördlichen Halbkugel liegt, so treibt die Centrifugalkraft nach dem Nordpol hin, beschleunigt jede Bewegung in dieser Richtung, widerstrebt dagegen den nach dem Aequator gehenden Strömungen und verhindert vielleicht in manchen Fällen, daß der Nordostpassat der nördlichen Halbkugel bis in die südliche vordringe. Der Südostpassat dagegen, der, um bis zum Calmengürtel vorzudringen, schon den Aequator passiren mußte, wird dadurch in seiner dem Nordpol zugerichteten Geschwindigkeit beschleunigt. Wir würden daher, worauf auch die Beobachtung, wie wir gesehen haben, hinzuweisen scheint, häufigere und stärkere Strömungen aus der südlichen Halbkugel in die nördliche zu gewärtigen haben, als umgekehrt.

Endlich scheint mir die Centrifugalkraft auch bei dem noch so räthselhaften Phänomen der Wirbelstürme eine Rolle zu spielen. Versetzen wir uns, um die Vorstellung zu fixiren, nach dem Antillenmeer, jenem Hauptschauplatz der furchtbaren Naturerscheinung. Bekanntlich springen die westindischen Wirbelorkane in der Regel zwischen dem 10^{ten} bis 20^{ten} Grade nördlicher Breite, also unweit der nördlichen Gränze des Gürtels der Aequatorialcalmen auf. Diefs deutet entschieden darauf, daß sie durch das Zusam-

mentreffen der Passate beider Halbkugeln entstehen. Und wieder stimmt der Umstand, daß sie im Allgemeinen hier nur in der nördlichen Halbkugel erscheinen, mit dem eben erwähnten Verhalten der Luftströmungen zusammen, daß nämlich der Nordostpassat wenig oder gar nicht in die südliche Halbkugel vordringt.

Aus dem, was im ersten Abschnitt über die Bahnen bewegter Luftmassen gesagt ist, geht hervor — und die Erfahrung bestätigt das vollkommen (S. Maury S. 210) — daß der Südostpassat, wenn er an die Gränze der Aequatorialcalmen gelangt, mit der Richtung der Parallelkreise einen viel größern Winkel macht, als der Nordostpassat der nördlichen Halbkugel. Noch entschiedener nördlich wird er wahrscheinlich nach dem nothwendigen Aufenthalt während des Emporsteigens innerhalb der Calmen. Trifft also der Passat der südlichen Halbkugel, nachdem er die Calmen durchschnitten, mit dem der nördlichen zusammen, so muß die resultirende Bewegung offenbar von Südost nach Nordwest gerichtet seyn, was in der That regelmäsig die Richtung ist, welche das Wirbelcentrum beim Beginne des Laufs einschlägt. Da ferner beide Winde beim Zusammentreffen jedenfalls einen beträchtlichen Winkel mit einander bilden, so finden wir das Entstehen einer Wirbelbewegung begreiflich, wogegen ein System von Kräften, die unter sehr spitzen Winkeln auf eine Linie treffen, nicht zu einer drehenden, sondern nur zu einer fortschreitenden Bewegung in der Richtung der Diagonale Veranlassung geben würde. Hierin mag auch der Grund liegen, weshalb im Australocean an der Gränze beider Passate dergleichen Wirbelstürme nicht so häufig stattfinden. Die Region der Aequatorialcalmen weicht hier nicht so weit von dem mathematischen Aequator ab, und beide Passate treffen daher in sehr spitzem Winkel auf einander. Es scheinen überhaupt Wirbelstürme durch das Zusammentreffen beinahe entgegengesetzter Winde zu entstehen, nur daß anderwärts nicht die Passate beider Halbkugeln, sondern die entgegengesetzten Monsoone dazu Veranlassung geben. Uebrigens

lasse ich mich hier auf die nähere Betrachtung der Wirbelbewegung, die dabei obwaltenden Erscheinungen und maafsgebenden Verhältnisse nicht ein. Nur die Bahn, die der Wirbel in seinem Fortschreiten beschreibt, soll uns noch etwas beschäftigen. Ich machte schon darauf aufmerksam, dafs diese Bahn gerade so ist, wie die einer bewegten Luftmasse. Ein Südostwind auf der nördlichen Halbkugel wird nach und nach mehr nach Norden gerichtet, wendet dann in die entgegengesetzte Richtung nach Osten und schreitet in ihr mit beschleunigter Geschwindigkeit fort, er nimmt genau den Weg, den das Centrum eines *Westindia hurricane* beschreibt.

Sollte diese höchst merkwürdige Uebereinstimmung nicht vielleicht in Folgendem eine naturgemäfsse Erklärung finden? Bekanntlich steht innerhalb des Wirbels das Barometer immer auffallend niedrig, die Luft ist dort in hohem Grade verdünnt, wahrscheinlich weil die heftige Drehung des Wirbels mittelst der Centrifugalkraft die Luft nach ausen treibt. Die ganze vom Wirbel umschriebene Luftmasse wird daher specifisch leichter seyn, als die umgebende Luft. Mithin tritt nunmehr die durch Rotation der Erde hervorgerufene Centrifugalkraft in Wirksamkeit und ertheilt der ganzen Luftmasse einen Impuls nach dem Nordpol zu. Aus der Anfangsrichtung und diesem Impulse erklärt sich dann die Bahn des Wirbels vollkommen.

Den Gründen, welche ich dafür angeführt habe, dafs man bei den Strömungen des Wassers und der Luft der Centrifugalkraft eine gewisse Rolle beizulegen habe, fehlt allerdings, um entscheidend zu seyn, eine sorgfältige Prüfung an dem Maafsstabe thatsächlicher Erfahrung. Indefs wollte ich mit meiner Ansicht nicht zurückhalten, damit eben die Aufmerksamkeit der Beobachter sich darauf richte, und sie um so eher entweder Bestätigung oder Verwerfung finde.