

# Das Luftmeer.

Von

DR. HERMANN PICK.

Vortrag, gehalten am 27. Febr. und 5. März 1860.

Nachträglich zum Druck befördert.



Es ist gewiss eine auffallende Thatsache, dass die Meteorologie, deren Objekt dem Menschen zu allen Zeiten und in allen Zonen so nahe liegt, erst seit einer verhältnismässig kurzen Spanne Zeit beginnt, wissenschaftlich behandelt zu werden, während die Astronomie seit der Kindheit des Menschengeschlechtes sich besonderer Pflege und Aufmerksamkeit erfreute und einen Grad von Exactheit erlangt hat, um welchen sie jede Art von Erfahrungswissenschaft beneidet. Aber kann uns dies Wunder nehmen, wenn wir erwägen, dass unsere Vorfahren, vom grauesten Alterthume bis in die Neuzeit, ihre Aufmerksamkeit viel lieber den aussergewöhnlichen als den alltäglichen Erscheinungen zuwandten und, anstatt nach einer gemeinsamen Ursache der scheinbar alles Zusammenhanges baren Phänomene der Witterungslehre zu forschen, sich beeilten, jede unerklärte Erscheinung auf eine wo möglich noch unklarere Ursache zurückzuführen und ihr Heil bald im Magnetismus, bald in der Elektrizität u. dgl. suchten. Es konnte dies zu keinem gedeihlichen Ende führen; es ward vielmehr ein Uebel durch ein anderes ersetzt. Erst nachdem

mit den alten Anschauungen gründlich gebrochen worden, konnte an eine wissenschaftliche Behandlung der Meteorologie geschritten werden. In Nachfolgendem mag ein besonderer Theil derselben, nämlich die Lehre von den Strömungen im Luftmeere, von ihren Ursachen und Gesetzen als ein Ergebnis der Arbeiten und Forschungen eines Hadley, Humboldt, Buch, Kämtz und vor Allem des geistreichen Dove in gedrängter Kürze dargelegt werden.

Die Erdoberfläche ist der Boden einer dieselbe allseitig umschliessenden, luftigen, meist durchsichtigen, sehr beweglichen Hülle, welche Atmosphäre heisst. Diese Hülle erfüllt keineswegs den ganzen Weltraum, sie hat vielmehr dort ihre äussere Grenze, wo das allen Gasen, also auch der Luft eigenthümliche Bestreben, sich immer mehr auszubreiten, durch die auf alle Körper, also auch die Luft, ausgeübte Zugkraft der Schwere compensirt wird. Die mittlere Dicke dieser Hohlkugelschale wird von den meisten Gelehrten heutzutage auf etwa 10 Meilen veranschlagt. Diese Lufthülle wird übrigens wegen des Umschwunges der Erde um ihre Achse gleich der Erde selbst an den Polen abgeplattet sein müssen, der Betrag dieser Abplattung wird jedoch, weil die Luft eine sehr leicht verschiebbare Flüssigkeit ist, viel bedeutender sein, als bei der Erde.

Die atmosphärische Luft ist bekanntlich kein einfacher Körper, sondern ein Gemenge theils wesentlicher, theils unwesentlicher Luftarten. Zu

den ersteren gehören Sauerstoff (20·8 Volumprocente), Stickstoff (79·2 Volumprocente) und Kohlensäure (deren Prozentgehalt zwischen 0·0002 und 0·0005 schwankt); zu den letzteren eine sehr veränderliche Menge von Wasserdampf, Spuren von Ammoniak, Wasserstoff, Schwefelwasserstoff, Chlorwasserstoff und Kohlenwasserstoff.

Trotz mannigfacher chemischer Prozesse, als da sind: Athmung von Menschen und Thieren, Verbrennung, Verwesung, Fäulnis, geistige Gährung u. s. w. bleibt das obenerwähnte Mengungsverhältnis zu allen Zeiten und an allen Orten dasselbe. Diese wunderbare Thatsache wurde durch die sorgfältigsten Analysen von Volta, Dumas, Bous-singault, Bunsen und neuestens auch durch die an Schärfe alle anderen Analysen weit hinter sich zurücklassenden Arbeiten Brunner's unzweifelhaft festgestellt und so die Besorgnis Jener zerstreut, welche in der durch die ebenerwähnten chemischen Prozesse bedingten Consumption des Sauerstoffes, so wie in der mit jenen Prozessen Hand in Hand gehenden Bildung von Kohlensäure eine ernstliche Bedrohung der Menschen und Thiere sahen. Aus einer von Poggendorf geführten Rechnung aber ergab sich, dass, wenn seit Adam's Zeiten stets 1000 Millionen Menschen geathmet hätten, diese doch nur  $\frac{1}{108}$  des dermaligen Sauerstoffgehaltes der Luft verzehrt hätten, mithin eine Grösse, deren Abgang zu constataren selbst den allerfeinsten Luftanalysen unmöglich

wird; ja ein einziges Zehntel-Prozent der Atmosphäre würde hinreichen, das gesammte Menschengeschlecht auf weitere 10.000 Jahre mit Sauerstoff zu versorgen. Nicht minder beruhigend auf diese ängstlichen Gemüther wirkte die merkwürdige Entdeckung der Rolle, welche die Pflanzen im Stoffwechsel der Luft spielen. Vor Bonnet (1754) hatte man keine Ahnung, dass die Pflanzen während ihres Lebens eine Luftart ausathmen; Priestley erkannte in ihr 1771 den Sauerstoff; aber erst nach 15 Jahren bewies Ingenhous, dass dies nur unter dem Einflusse des Sonnenlichtes stattfindet; nach weiteren zehn Jahren entdeckte endlich Sennebier, dass die von den Pflanzen eingeathmete Kohlensäure unter dem Einflusse des Sonnenlichtes in ihre Bestandtheile, Kohlenstoff und Sauerstoff zerlegt, von denen ersterer zum Aufbau des pflanzlichen Organismus verwendet, letzterer hingegen wieder ausgeathmet wird.

In dünnen Schichten erscheint die Luft farblos, in grossen Massen erscheint sie jedoch bekanntlich blau, wie ein Blick gegen das Himmelsgewölbe bei unbedecktem Himmel zeigt. Diese blaue Färbung rührt nach den neuesten Forschungen von Clausius von den in der Luft schwebenden, zahllosen kleinen Wasserbläschen her und ist nach Umständen von sehr veränderlicher Intensität. So ist sie z. B. auf hohen Bergen intensiver als in der Ebene, in Tropenländern tiefer als bei uns; im Zenithe dunkler, als bei geringerer Höhe über dem Horizonte; zu Mittag dunkler

als gegen Morgen und Abend u. a. m. Auf einer freilich etwas unsicheren Schätzung beruht die Bestimmung der Intensität der Himmelsbläue mittelst des von Saussure angegebenen Cyanometers, das von Weiss bis zum tiefsten Dunkelblau 51 Abstufungen oder Grade darbietet. Darnach ward die gewöhnliche Bläue des Himmels zu Paris auf 16, auf dem Mont-Blanc in einer Höhe von 14.800 Fuss auf 39, auf dem Pic de Teyde von Teneriffa in einer Höhe von 11.420 Fuss auf 41, auf den Anden in mehr als 18.000 Fuss Höhe auf 46 Grade geschätzt.

Dass endlich die Luft stets eine wechselnde Menge Wasserdampf enthält und demselben ihre grössere Durchsichtigkeit verdankt; dass sie eine von unten nach oben bis zur Grenze der Atmosphäre abnehmende Dichtigkeit besitzt; dass sie vermöge ihrer Spannkraft unter normalen Verhältnissen einer 28 Zoll hohen Quecksilbersäule das Gleichgewicht zu halten vermag und sonach auf jeden Quadratzoll Oberfläche einen Druck von fast 13 W. Pfunden ausübt, darf als bekannt vorausgesetzt werden.

So hätten wir denn das eigentliche Substrat unserer Betrachtungen in chemischer und physikalischer Beziehung, soweit es für unsere Zwecke dienlich scheint, kennen gelernt, und wir können sofort auf die Ursachen der beständigen oder wechselnden Strömungen im grossen Luft-Oceane näher eingehen.

Wir verdanken es ausschliesslich den Forschungen der Neuzeit, wenn allgemein die Ueberzeugung feste Wurzel fasste, dass die Wärme die Ursache der Luftströmungen, dass die Wärme die bewegende und verwandelnde Kraft in der Atmosphäre ist.

Hier wirft sich nun von selbst die Frage auf: was ist Wärmequell für die Atmosphäre? Ist es der Erdkörper, oder die Sonne, oder der Weltraum?

Es ist eine der bestbegründeten Thatsachen, dass die Erde in ihrem Inneren eine sehr hohe Temperatur besitzt. Gräbt man nämlich vertical in die Erde, so kömmt man in einer für verschiedene Orte veränderlichen Tiefe auf eine Schichte, in der eine constante Temperatur herrscht; sie könnte die Grenze zwischen der Boden- und Erdwärme genannt werden. Dringt man von da ab noch tiefer ein, so zeigt sich überall, selbst in dem stets gefrorenen Boden Sibiriens, eine stetige Temperaturzunahme. Solche Beobachtungen machte man schon lange in Bergwerken; schon 1740 constatirte dies Gensanne in den Bleigruben in den Vogesen; in den Silbergruben zu Guanaxuato in Mexiko fand Humboldt in 1596' Tiefe eine Temperatur von  $36.6^{\circ}$ \*) und Fox fand in einer Kupfergrube zu Cornwall in einer Tiefe von 1380' eine Temperatur von  $24.4^{\circ}$ .

---

\*) Sämmtliche Temperaturangaben beziehen sich auf die hunderttheilige Thermometer-Scala.

Ebenso ergab sich aus 12.936 Beobachtungen, welche der bekannte Reich in den sächsischen Gruben bei Freiberg anstellte, im Mittel auf je 129' eine Temperaturzunahme von  $1^{\circ}$ . Aber diese Beobachtungen, wenn gleich sehr interessant, sind doch nicht geeignet, die Frage zur vollen Entscheidung zu bringen. Viel wichtiger sind die Beobachtungs-Resultate aus engen Bohrlöchern bei Anlage artesischer Brunnen. Solche Beobachtungen sind schon viele unter allen Zonen gemacht worden. De la Rive fand in einem Bohrloche bei Genf schon auf je 90' eine Temperaturerhöhung um  $1^{\circ}$ ; bei Rüdersdorf unweit Berlin zeigte sich in einer Tiefe von 880' eine Temperatur von  $23.5^{\circ}$ , zu La Grenelle bei Paris fand man in einer Tiefe von 1684'  $27.7^{\circ}$ , und im Bohrwerke von Neusalzwerk nächst Minden in einer Tiefe von 2144' steigt die Temperatur sogar auf  $33.6^{\circ}$ . Gewichtige Gründe sprechen jedoch dafür, dass in grösseren Tiefen die Temperatur der Erdrinde in einem etwas langsameren Verhältnisse zunimmt.

Was sind aber die tiefsten Bohrlöcher und Schachte gegen die Länge des Erd-Halbmessers, welche bekanntlich 860 Meilen beträgt? Ueberzeugender sprechen schon die warmen Quellen, welche stets aus tiefer gelegenen Erdschichten hervorkommen. So zeigen die Thermen von Wildbad  $37.5^{\circ}$ ; von Pisa  $44^{\circ}$ ; von Aachen  $44-57^{\circ}$ ; von Bath  $46.25^{\circ}$ ; von Gastein  $47.5^{\circ}$ ; von Töplitz  $49.4^{\circ}$ ; von Mehadia  $53^{\circ}$ , von Ems  $56.2^{\circ}$ ; von Baden-Baden  $67.5^{\circ}$ ; von Wiesbaden  $70^{\circ}$ ; von Karlsbad  $75.8^{\circ}$ ; von Brussa in Klein-Asien  $85^{\circ}$ ; die Peters-

quelle am Kaukasus  $90^{\circ}$ ; die Aguas de los Trincheros  $90.2^{\circ}$ ; der Geysir endlich schleudert Wasser empor, dessen Temperatur  $101.6^{\circ}$  beträgt. Da heisse Quellen über die ganze Erde verbreitet sind und in allen Gesteinsarten vorkommen, so entfällt wohl der Einwurf, dass diese hohe Temperatur durch locale chemische Einflüsse bedingt sei; dazu kömmt noch die laute Sprache von 225 noch jetzt thätigen Vulkanen, welche gleichfalls über alle Zonen zerstreut sind, um unwiderleglich dafür einzustehen, dass die Erde einen feuerflüssigen Kern besitzen müsse.

Denn in einer Tiefe von etwa 6 Meilen unter der Erdoberfläche muss — wenn das oben über die mittlere Temperaturszunahme Ausgesprochene auch nur annähernd richtig ist — schon eine Temperatur von mindestens  $1600^{\circ}$  herrschen, eine Temperatur, bei welcher selbst gehämmertes englisches Eisen schmilzt.

Ist es nun nach alledem unzweifelhaft, dass im Inneren der Erde ein ungeheures Wärmequantum aufgespeichert ist, so läge die Vermuthung nahe, dass nach Massgabe der Leitungsfähigkeit der Erdrinde, die Luft ihre Wärme aus dem Erdinneren schöpft. Allein dieser Erwartung entspricht, wie wir sogleich hören werden, der factische Zustand auf der Erdoberfläche nicht; theoretische Untersuchungen haben vielmehr den bestimmten Nachweis geliefert, dass die Wärme, welche auf diesem Wege der obersten Erdschichte zugeführt wird, kaum ausreicht, um eine über die ganze Erde gelagerte Eisschichte von nur

3 Linien Dicke zu schmelzen und dass selbst durch das Verschwinden dieser Wärmequelle die mittlere Temperatur aller Orte der Erde nicht um  $\frac{1}{30}$  Grad niedriger werden könnte. Laplace, der unsterbliche Schöpfer des ausgezeichnetsten Denkmals der neueren Astronomie, der „*mechanique celeste*,“ hat auf mathematischem Wege nachgewiesen, dass in der historischen Zeit wenigstens der Erdkörper sich nicht um  $\frac{1}{10}$  Centigrad abgekühlt hat. Bekanntlich erleiden alle Körper durch Temperaturänderungen Aenderungen in ihrem Volumen. Hätte nun die Erde, als Kugel betrachtet, sich abgekühlt so hätte ihr Halbmesser eine entsprechende Verkürzung erleiden müssen. Ohne uns hier in das Detail der geführten Rechnung einzulassen, können wir doch anführen, dass sich dabei herausstellte, dass eine Abkühlung um  $\frac{1}{10}$  Grad eine Verkürzung des Erdhalbmessers um nahezu 23 Fuss zur unmittelbaren Folge haben müsste. Aus mechanischen Gesetzen folgt aber, dass in diesem Falle die Erde schneller um ihre Achse rotiren müsste, und zwar so, dass eine Verkürzung der Tageslänge um beinahe  $\frac{1}{10}$  einer Sekunde hätte eintreten müssen. Nun geht aber aus dem Vergleiche der astronomischen Beobachtungen, wie sie Hipparch um's Jahr 130 v. Chr. anstellte, mit den heutigen hervor, dass die Tageslänge seitdem sich nicht um  $\frac{1}{10}$  einer Sekunde geändert hat; folglich hat seit 2000 Jahren wenigstens der Erdkörper auch nicht eine Abkühlung um  $\frac{1}{10}$  Grad erlitten.

Wir können aber noch einen zweiten Beweis anführen. Der berühmte dänische Gelehrte Schouw zeigte nämlich für eine grosse Anzahl von Pflanzen, dass ihr Gedeihen nur innerhalb bestimmter Temperaturgrenzen stattfindet. So gedeiht die Dattelpalme erst da, wo die mittlere Jahrestemperatur mindestens  $21^{\circ}$  beträgt; der Weinstock hingegen hört auf Früchte zu tragen, die zur Weinbereitung tauglich sind, sobald die mittlere Jahrestemperatur  $22^{\circ}$  erreicht. Nun erwähnt die Bibel an zahlreichen Stellen, dass in Palästina reichliche Dattel- und Weinlesen stattfanden; daraus lässt sich folgern, dass vor etwa 3000 Jahren die mittlere Jahrestemperatur daselbst  $21\frac{1}{2}$  Grad betragen haben müsse. Heutzutage zeigt sich nach den genauesten Untersuchungen an denselben Orten eine gleiche mittlere Jahrestemperatur; wir können somit den Schluss ziehen, dass seit 3000 Jahren sich die Wärmeverhältnisse an der Erdoberfläche nicht geändert haben; es trägt mithin auch der Erdkern nichts zur Erwärmung der Luft bei.

Auch die übrigen Fixsterne (mit Ausschluss der Sonne), deren Zahl sicherlich Milliarden übersteigt, können an den Wärmeverhältnissen der Erdoberfläche keinen irgend merklichen Antheil haben, wenn man erwägt, dass der uns nächste Fixstern, Bessel's berühmter Doppelstern (61 im Schwan), etwa  $11\frac{1}{2}$  Bill. Meilen von uns entfernt ist. (Das Licht, dessen Fortpflanzungs-Geschwindigkeit bekanntlich 41.549 Meilen ist, braucht beinahe 9 Jahre

zur Zurücklegung dieses Weges; ein Dampfwagen, der täglich 200 Meilen zurücklegt, würde dazu fast 165 Mill. Jahre benöthigen.) Im Gegentheile ist nach dem heutigen Stande der Kenntnis der Temperaturverhältnisse des Weltraumes dieselbe etwa  $50-60^{\circ}$  unter dem Gefrierpunkte des Wassers, also tiefer als der Gefrierpunkt des Quecksilbers.

Diese tiefe Temperatur des Weltraumes gibt den anderen Wärmequellen nur eine um so höhere Bedeutung; von ihrer Grösse, ihrem Bestande hängt die Entscheidung der Frage ab, ob nicht einmal die Temperatur der Erde so weit herabsinken wird, dass ein ferneres Bestehen von organischen Wesen unmöglich sein wird; eine Frage, die übrigens bei einer anderen Gelegenheit an eben dieser Stelle bereits beantwortet worden ist.

Nachdem nun, wie schon auseinander gesetzt, weder das Erdinnere, noch der Weltraum als Wärmequelle für die Erdoberfläche gelten können, so bleibt nur die Sonne als alleiniger Quell für dieselbe übrig. Die gegenwärtigen Wärmeverhältnisse an der Oberfläche der Erde stellen sich sonach als das Endresultat, als eine Art Gleichgewicht zwischen Abkühlung der Erde durch Ausstrahlung in den kalten Weltraum und Erwärmung derselben durch die Macht der Sonnenstrahlen heraus. Die Temperatur des Himmelsraumes, in welchem sich zur Zeit unser Sonnensystem befindet, oder die erwärmende Kraft der Sonne müsste sich ändern, wenn die Wärmeverhält-

nisse auf der Erdoberfläche anders sich gestalten sollten.

Ist nun aus dem Vorbesprochenen klar, dass alle Wärmeabstufungen, die die Erdoberfläche darbietet, lediglich durch die Sonnenwärme hervorgerufen werden, so muss uns zunächst die Frage beschäftigen, ob die Erde alljährlich die gleiche Summe von Wärme von der Sonne empfängt, und ob wir etwa berechtigt sind, auch den Ausspruch zu thun, dass Monat für Monat, Tag für Tag, Stunde für Stunde gleich viel Wärme auf der Erdoberfläche vertheilt sei. Würde die Erde sich genau in einer Kreislinie um die Sonne bewegen, wäre sie eine mathematische Kugel und bestünde das Aeussere der Erdrinde aus durchaus gleichförmigem Materiale, dann wären beide oben aufgestellte Fragen mit einem Schlage von selbst, und zwar im bejahenden Sinne erledigt. Weil die Erde während ihres Umschwunges um die Sonne in dem einen Jahre genau dieselben Lageänderungen durchmacht, wie in dem anderen, so ist der Schluss natürlich, dass die Erde als Ganzes Jahr für Jahr dieselbe Wärmemenge von der Sonne empfängt. Es bewegt sich nun aber bekanntlich die Erde in einer Ellipse um die Sonne, die in dem einen Brennpunkte derselben sich befindet; sie kömmt ihr etwa Anfangs Jänner am nächsten und ist ungefähr Anfangs Juli am meisten von ihr entfernt. Wird nun auch in jedem Augenblicke eine Erdhälfte von der Sonne beschienen, so ist doch die Hälfte bei der ungleichen

Vertheilung von Land und Wasser, namentlich auch wegen der schiefen Achsenstellung, in jedem Augenblicke eine andere und deshalb ist die Wärmemenge, welche die Erde während unseres Sommerhalbjahres empfängt, wegen der überwiegenden Anhäufung von Land auf der nördlichen Halbkugel, etwas grösser, als während unseres Winters, so dass jene zweite oben aufgeworfene Frage im verneinenden Sinne zu beantworten ist, wengleich hinzugefügt werden muss, dass die Differenz keineswegs eine sehr auffallende sein kann.

Was nun die Arbeit betrifft, welche diese der Erde alljährlich von der Sonne zugesendete Wärmemenge hervorbringt, so lässt sich dieselbe allerdings in Zahl und Maass angeben. Ohne uns hier in die einschlägigen Berechnungen und Untersuchungen Pouillet's und Anderer einzulassen, mag es genügen, anzuführen, dass diese Wärmemenge hinreichen würde, um eine Eisschichte abzuschmelzen, welche in einer Mächtigkeit von 103 Fuss die Erdoberfläche allseitig umschlösse. Dabei ist noch in Anschlag zu bringen, dass von der erwärmenden Wirkung der Sonnenstrahlen auf dem Wege durch die Luft ungefähr  $\frac{1}{5}$  durch Absorption verloren geht, während nur  $\frac{4}{5}$  der Erdrinde zu Gute kommen. Aber wie verschieden ist bei gleichem Zufluss von Wärme ihre Wirkung auf Körper von verschiedenem Aggregationszustande! Luft, Wasser und Erde verhalten sich höchst ungleich gegen die Sonnenstrahlen. Während die Luft durch die

hindurchgehenden Strahlen kaum nennenswerth erwärmt wird, wird das Wasser durch dieselben schon merklich erwärmt, am allermeisten aber der feste Theil der Erdrinde. Die Wärme aber, welche Festland und Wasser wieder ausstrahlen, also die von den sogenannten dunklen Strahlen, wird von der Luft grösstentheils absorbirt, d. h. festgehalten und nur zum geringsten Theile hindurchgelassen. Die Erde kühlt sich daher unter der schützenden Decke der Luft nur allmählig ab und um so langsamer, je dichter diese Decke ist; daher ist es einleuchtend, dass die durch Ausstrahlung bewirkte Abkühlung auf Höhen empfindlicher auftreten muss, als auf Niederungen, obschon man dort eigentlich dem Wärmequell näher steht. Wer erkennt hierin nicht die Bedeutung, welche die Lufthülle, indem sie der Sonne ihre Arbeit erleichtert, für organisches Gedeihen auf der Erdoberfläche hat? Und so wären wir denn — nach einer etwas langen, aber unumgänglich nöthigen Abschweifung — dahingelangt einzusehen, dass die Lufttemperatur, dieses Hauptelement aller klimatischen Verhältnisse eines Ortes, zwar mittelbar durch die Sonne hervorgerufen wird, aber eigentlich eine Folge der Ausstrahlung von Seite der Erde, und abgesehen von der geographischen Breite des Beobachtungsortes, von der Erhebung über das Meeresniveau und von der Bodenbeschaffenheit, hauptsächlich abhängig ist von dem Stande des jeweiligen Ortes zur Sonne. Es muss sich daher wegen der Rotation der Erde um die

Achse ein hievon abhängiger Gang der täglichen Wärme herausstellen; man wird an allen Orten und in allen Jahreszeiten fast auf dieselben Stunden fallende 4 bemerkenswerthe Momente hervorheben können, 1 Maximum (etwa 2 Uhr Nachmittags), ein Minimum (vor Sonnenaufgang) und 2 Wärmegrade, welche der mittleren Tagestemperatur entsprechen (9 Uhr Morgens und 8 Uhr Abends). Die Neigung der Erdochse gegen die Ebene der Erdbahn bedingt aber auch, wenigstens ausserhalb der Tropen sehr merkliche Verschiedenheiten in der Länge des Tages und in der Grösse des Winkels, unter welchem die Sonnenstrahlen die Erdoberfläche treffen. Hiemit hängt der Gang der mittleren Temperatur der Monate auf's Innigste zusammen. Die geringste Wärme fällt im Mittel für die nördliche Halbkugel auf Mitte Jänner, die grösste auf das letzte Drittel des Juli; auf der südlichen Halbkugel findet natürlich gleichzeitig das Umgekehrte statt. Die Schwankungen zwischen Maximum und Minimum der Temperatur im Jahre sind natürlich um so auffallender, je weiter ein Ort vom Aequator entfernt liegt, wie folgende Beispiele erläutern mögen:

Cumana in Süd-Amerika unter  $10^{\circ} 27'$  nördl. Br. zeigt ein Max. von 29·1, ein Min. von 26·7, Differenz:  $= 2\cdot4^{\circ}$ .

Funchal auf Madeira unter  $32^{\circ} 37'$  nördl. Br. zeigt ein Max. von 24·2, ein Min. von 17·8, Differenz  $= 6\cdot4$ .

Rom unter  $41^{\circ} 54'$  nördl. Br. zeigt ein Max. von  $25.0$ , ein Min. von  $5.6$ , Differenz  $= 19.4$ .

Stockholm unter  $59^{\circ} 20'$  nördl. Br. zeigt ein Max. von  $17.8$ , ein Min. von  $-5.1$ , Differenz:  $= 22.9$ .

Enontekis in Lappland unter  $68^{\circ} 30'$  nördl. Br. zeigt ein Max. von  $15.3$ , ein Min. von  $-18.1$ , Differenz  $= 33.4$ .

Melville-Insel unter  $74^{\circ} 45'$  nördl. Br. zeigt ein Max. von  $3.2$ , ein Min. von  $-33.4'$ , Differenz:  $= 36.6$ .

Daraus ergibt sich weiters, wie verschieden der Antheil an gespendeter Sonnenwärme für verschiedene Orte und auch zu verschiedenen Zeiten ist.

Um sich nun ein hinreichend getreues Bild von der Vertheilung der Wärme auf der Erdoberfläche zu verschaffen, war es nöthig, an zahlreichen Punkten derselben möglichst zahlreiche Beobachtungen anzustellen und aus denselben Mittelwerthe, welche allein lehrreich sind und die Gesetzmässigkeit ausprägen, abzuleiten. Aber bei der überaus grossen Menge des von allen Seiten zuströmenden Materials wäre die Uebersicht nur erschwert worden, wenn nicht Humboldt durch seine „Isothermen-Karten“, die er zum ersten Male im Jahre 1817 veröffentlichte, für alle Zukunft gezeigt hätte, wie durch graphische Darstellung Uebersichtlichkeit in die scheinbar verwickeltsten Phänomene gebracht werden kann. Indem Humboldt alle jene Punkte der Erdoberfläche, für welche sich (nach den damaligen Kenntnissen ihrer Wärmeverhält-

nisse), eine gleiche mittlere Jahrestemperatur ergab, durch Linien verband, entstanden die Karten der Jahres-Isothermen, welche uns gestatten, mit einem Blicke die Vertheilung der Wärmezustände auf der Erde zu überschauen. Noch klarer wurde die Einsicht in die Wärmeverhältnisse der Erdoberfläche durch die von Humboldt schon angedeuteten „Isochimenen“ (d. h. Linien gleicher Wintertemperatur) und „Isotheren“ (d. h. Linien gleicher Sommertemperatur), und den erfolgreichsten Schritt auf diesem Gebiete that Dove durch Aufstellung der Monats-Isothermen, worunter Kurven verstanden werden, welche alle Orte verbinden, an denen in denselben Monaten die gleiche mittlere Temperatur herrscht.

Schon ein Blick auf eine solche Karte wird manche interessante Thatsache zur Anschauung bringen. Wir bemerken, dass der Wärmeäquator (man versteht darunter jene Linie, welche durch Punkte der Erdoberfläche geht, wo die grösste mittlere Jahrestemperatur herrscht) keineswegs mit dem Erdäquator parallel läuft, sondern eine sehr unregelmässige Kurve ist, welche diesen in 2 Punkten (im Meridian von Singapore  $122^{\circ}$  östl. L. und im Meridian von Hawaii  $137^{\circ}$  westl.) so durchschneidet, dass mehr als  $\frac{2}{3}$  auf der nördlichen und weniger als  $\frac{1}{3}$  auf der südlichen Halbkugel zu liegen kommen.

Die grösste Entfernung nördlich vom Aequator mit  $15^{\circ}$  erreicht er im Karaibischen Meere und im Inneren Afrika's; südlich vom Aequator entfernt er

sich nur bis auf  $6\frac{1}{2}$  Grad in der Sunda-See südlich von Celebes. Auch fällt das absolut grösste Wärmemaximum in die Nordhemisphäre, und zwar mit  $35.7^{\circ}$  nach Nagpur in Vorder-Indien unter  $21^{\circ}$  nördlicher Breite, endlich mit  $33.7^{\circ}$  nach Kouka in Bornu unter  $13^{\circ}$  nördlicher Breite. Auch die übrigen Isothermen zeigen sich als sehr unregelmässige Kurven, bei denen ganz besonders auffallen muss, dass sie auf hoher See, entfernt von grossen Landmassen, einen mehr gestreckten Verlauf nehmen, während sie häufige Beugungen in der Nähe und im westlichen Theile der Kontinente erleiden. Vergleicht man ferner den Verlauf der Isothermen auf der West- und Ostseite der grossen Kontinente, so fällt sogleich auf, dass namentlich auf der nördlichen Halbkugel die Isothermen an der Westküste bei weitem nördlicher gelegene Punkte durchschneiden, als an der Ostküste, was so viel sagt, als: Von Orten gleicher Breite haben die an der Ostküste der grossen Kontinente gelegenen eine auffallend niedrigere mittlere Jahrestemperatur als die an der Westküste. Zum Belege hiefür folgende auf Europa und Nordamerika bezügliche Thatsachen: Zu Nain in Labrador (unter  $57^{\circ}$  nördlicher Breite) beträgt die mittlere Jahrestemperatur  $-3.6^{\circ}$ , zu Clunie-Mansion in Schottland hingegen  $+8.2^{\circ}$ , was eine Differenz von  $11.8^{\circ}$  zu Gunsten des letzteren Ortes gibt. Zu St. Johns in Neufundland (unter  $47^{\circ}$ ) ist sie  $3.5^{\circ}$ , während sie zu Nantes in Frankreich  $12.6^{\circ}$  beträgt, was wieder eine

Differenz von  $9.1^{\circ}$  gibt. Zu Halifax in Neuschottland (unter  $44^{\circ}$  nördlicher Breite) herrscht das Jahresmittel von  $6.2^{\circ}$ , zu Bordeaux hingegen  $13.9^{\circ}$ , was eine Differenz von  $7.7^{\circ}$  ergibt. Zu New-York in der Union (unter  $40^{\circ}$  nördlicher Breite) herrscht  $12.1^{\circ}$ , zu Neapel hingegen  $16.4^{\circ}$ , was eine Differenz von  $4.3^{\circ}$  ergibt. Es ergibt sich aber auch aus dem Gesagten, dass die Differenz mit abnehmender Breite selbst kleiner wird.

Diese erhöhte Temperatur an den Westküsten im Vergleich zu Punkten gleicher Breite an den Ostküsten hat nach Dove vornehmlich ihren Grund darin, dass die dampfreiche Luft, welche in nordöstlicher Richtung vom Atlantischen und Stillen Ocean über Europa und Nord-Amerika hingeführt wird, hier durch die Berührung mit kälterer Luft genöthigt wird, Niederschläge zu bilden, wodurch bekanntlich Wärme frei wird. Auf diese Weise kömmt das Resultat der Sonnenstrahlen an einem ganz anderen Orte zum Vorscheine, als wohin es ursprünglich bestimmt war. Den Binnenländern kann also nur das zugute kommen, was die Küstenländer übrig gelassen haben. Es würde ein Leichtes sein, solcher interessanter Momente mehrere hervorzuheben; um jedoch von dem uns vorgesteckten Ziele nicht allzuweit abzukommen, mag das Gesagte genügen. Nur noch eines sei zu erwähnen erlaubt. Häufig hört man die Behauptung aussprechen, auf der südlichen Hemisphäre herrsche im Allgemeinen ein strengeres Klima, als auf der nördlichen. Ein Blick auf eine Isothermen-Karte, wobei wir z. B. Feuerland mit

Labrador vergleichen, berichtigt sofort diesen Irrthum, und fügen wir hinzu, dass selbst in Newfoundland, das doch dem Aequator näher liegt, als Cap Horn, die Häfen im Winter durch Monate gefroren bleiben, während hier keine der zahlreichen Buchten jemals zufriert, so sehen wir, in welchem Widerspruche jene Behauptung mit den Thatsachen steht.

Uns Menschen, die wir an der Grenze zweier Meere leben, — am Grunde des luftigen und an der Oberfläche des tropfbarflüssigen — ist es gegönnt, vorzugsweise die Strömungen an den tiefsten Stellen des einen und an den obersten des anderen zu studiren. Das Luftmeer ist aber weit beweglicher als das Wassermeer, und die Aufregungen und Strömungen desselben erstrecken sich auf viel bedeutendere verticale Distanzen im Vergleiche zu jenem. Bei der Beschränktheit des Beobachtungsschauplatzes und der Mannigfaltigkeit der Umstände, die behufs einer universellen Auffassung der einschlägigen Phänomene in's Gewicht fallen, ist es begreiflich, dass die ältesten Culturvölker einer mythischen Auffassung der Entstehungsursachen der Winde sich hingaben und dass selbst die gewiegtsten Naturforscher der Alten sich zu den abenteuerlichsten Erklärungen auf diesem Felde verstiegen. Erst mit der Erweiterung des geographischen Wissens im Zeitalter der Entdeckungen begann eine neue Aera für die richtige Auffassung der Luftströmungen, welche durch die Bemühungen eines Hadley, Buch, Dove, Maury,

Reid, Redfield, Capper und Piddington nach und nach in ihrer vollen Gesetzmässigkeit erkannt worden sind.

Wir haben bereits gehört, dass die Wärme die Erzeugerin der Luftströmungen ist. Zum vollen Verständnisse der Gesetzmässigkeit in den Luftströmungen ist jedoch noch ein zweites Moment in's Auge zu fassen, worauf aufmerksam gemacht zu haben, das grosse Verdienst Hadley's (1685) ist; dieses zweite Moment ist die Achsendrehung der Erde, deren Einfluss auf die Regelmässigkeit gewisser Strömungen im weiteren Verlaufe dieser Darstellung wiederholt hervorgehoben werden wird.

Wer je den Versuch gemacht hat, in einem Glaskolben Wasser zu erhitzen, dem wird das Entstehen einer regelmässigen Strömung nicht entgangen sein. Man sieht vom Grunde des Kolbens das wärmere Wasser in der Mitte emporsteigen, an den Wänden hingegen sinkt fortwährend das relativ kältere Wasser hinab.

Was hier bei tropfbarer Flüssigkeit der Fall ist, zeigt sich noch schneller und auffallender bei luftigen, und weil dieselben Expansivkraft besitzen, so wird sich, sowie an irgend einer Stelle der Atmosphäre die Luft stärker erwärmt wird, als an anderen, das Bestreben einstellen, das gestörte Gleichgewicht wieder herzustellen, es wird sich ein „*courant ascendant*“, ein aufsteigender Luftstrom, bilden und allseitiges Zuströmen der kälteren Luft findet von

unten statt. Ein solcher Vorgang zeigt sich bei schlecht schliessenden Zimmerthüren, bei denen unten die kalte Luft herein, die warme oben hinaus zieht. Der Luftzug in den Cylindern der argandischen Lampen und in Schornsteinen ist durch dieselbe Ursache bedingt.

Obschon diese erwähnten Vorgänge ganz gut geeignet sind, die Entstehung der Luftströmungen überhaupt recht anschaulich zu machen, so wollen wir doch diesen kleinlichen Standpunkt verlassen und uns an eine Meeresküste versetzen, um eine neue Bestätigung für das eben Gesagte in dem regelmässigen Wechsel der Land- und Seewinde zu finden. Man beobachtet hieselbst, dass sich einige Stunden nach Sonnenaufgang ein Seewind erhebt; derselbe ist anfangs schwach und kaum an der Küste zu verspüren, später macht er sich selbst in grösserer Entfernung von der Küste fühlbar und erreicht seine grösste Stärke etwa gegen 2 oder 3 Uhr Nachmittags, dann nimmt er allmähig ab und macht einer kurzen Windstille Platz. Hierauf erhebt sich ein Landwind, der am intensivsten kurz vor Sonnenaufgang weht, dann wieder abnimmt und nach einer abermaligen Windstille wieder dem Seewinde Platz macht.

Der Schiffer weiss von dieser Periodicität Nutzen zu ziehen, indem er gegen Abend den Hafen verlässt und ihn früh Morgens leichter gewinnt. Doch muss bemerkt werden, dass dieser periodische Wechsel

häufig durch allgemein herrschende beständige Winde verdeckt und am ungetrübtesten auf tropischen Inseln beobachtet wird. Aehnliche Erscheinungen sind die in Gebirgsländern vorkommenden Thalwinde, sowie die an manchen Gebirgsseen vorkommenden Ober- und Unterwinde. Hieher gehören endlich auch die schon den alten Griechen bekannten Etesien, d. h. Jahreszeitenwinde des Mittelländischen Meeres. Hier herrschen nämlich im Sommerhalbjahre (wegen der starken Erhitzung der über der Sahara befindlichen Luftmassen) Nordwinde; im Winterhalbjahre hingegen sind Südwinde häufiger (weil über dem lockeren Sande die Luft dann sich stärker abkühlt als über dem Meere). Grossartiger noch tritt diese Periodicität in den sogenannten Monsoons des Indischen und Chinesischen Meeres hervor, auf die wir später ausführlicher zurückkommen werden.

Am augenfälligsten erkennen wir jedoch ohne Zweifel die Wärme als Erzeugerin der Winde in dem Auftreten der beständigen oder sogenannten Passatwinde, die wir nun rücksichtlich ihres Entstehungsgrundes sowohl, als auch der räumlichen Ausbreitung ihres Gebietes besprechen wollen.

Zwischen der Lufttemperatur in der heissen Zone und jener der beiden Polarzonen herrscht ohne Unterlass der grellste Gegensatz. Die durch die immer nahezu senkrecht auffallenden Strahlen sehr erwärmte, aufgelockerte und leichter gewordene Luft der Zone grösster Erwärmung wird mit

grosser Schnelligkeit aufsteigen und in einer gewissen Höhe nach beiden Seiten, also gegen die Pole hin, abfliessen. Zur Herstellung des Gleichgewichtes, strömt von den Polargegenden die kältere schwerere Luft beiderseits gegen den Aequator hin. Auf diese Weise sehen wir auf jeder der beiden Halbkugeln, auf der nördlichen sowohl als auf der südlichen einen Polar- und Aequatorialstrom (einen unteren und oberen, einen Passat und Antipassat) entstehen.

Würde jener früher erwähnte grelle Temperaturgegensatz zwischen den Polar- und Aequatorialgegenden bestehen, ohne dass die Erde sich um ihre Achse drehte, so müsste auf der nördlichen Halbkugel in der sog. Passatregion fortwährend ein Nordwind, in jener der südlichen Halbkugel fortwährend ein Südwind wehen. Nun besteht aber jene Voraussetzung nicht, die Erde dreht sich vielmehr in 24 Stunden in der Richtung von West gegen Ost einmal um ihre Achse und führt ihre luftige Hülle mit von den Polen gegen den Aequator zunehmender Drehungsgeschwindigkeit mit sich; es wird somit weder ein reiner Nord- noch auch ein reiner Südwind auf den beiden Hemisphären sich ergeben können.

Durch folgende Angaben wird wohl klar werden, wie die Rotationsgeschwindigkeit verschiedener Punkte der Erdoberfläche, also auch der aufruhenden Luft, mit Annäherung an den Aequator zunimmt.

Für die Pole ist die Rotations Geschwindigkeit in der Stunde . . . . . 0'00 Sec-M.

für die Breite von	80 <sup>0</sup>	. . . . .	156·78	See-M.
„ „ „ „	70 <sup>0</sup>	. . . . .	308·72	„
„ „ „ „	60 <sup>0</sup>	. . . . .	451·11	„
„ „ „ „	50 <sup>0</sup>	. . . . .	579·63	„
„ „ „ „	40 <sup>0</sup>	. . . . .	690·32	„
„ „ „ „	30 <sup>0</sup>	. . . . .	780·06	„
„ „ „ „	20 <sup>0</sup>	. . . . .	846·05	„
„ „ „ „	10 <sup>0</sup>	. . . . .	886·41	„
„ „ „ „	0 <sup>0</sup>	also unter dem Aeq.	900·00	„

Bei dieser Gelegenheit muss aber auch darauf aufmerksam gemacht werden, dass die Geschwindigkeitszunahme anfangs sehr rasch auftritt, dann aber, je mehr man sich dem Aequator nähert, immer unmerklicher wird, was durch folgende Zusammenstellung wohl in die Augen springen dürfte.

Zwischen

90 und 89 <sup>0</sup>	beträgt die Gesch. Zunahme				15·75	S. M.
80	79	„	„	„	15·49	„
70	69	„	„	„	14·74	„
60	59	„	„	„	13·55	„
50	49	„	„	„	11·93	„
40	39	„	„	„	10·00	„
30	29	„	„	„	7·71	„
20	19	„	„	„	5·22	„
10	9	„	„	„	2·58	„
1	0	„	„	„	0·13	„

Da die Luft wie jeder Körper träge ist, d. h. in dem Zustande zu verharren sucht, in den sie irgendwie versetzt worden ist, so wird dieselbe, da sie

im Polarstrome von Punkten mit kleinerer Rotationsgeschwindigkeit zu Punkten mit grösserer hinweht, relativ zurückbleiben, also stets gegen die Ostseite der an der Erdoberfläche sich befindenden von West gegen Ost rotirenden Gegenstände stossen, d. h. mehr oder weniger aus östlicher Gegend zu kommen scheinen. Und so sehen wir in den Tropen das Bestehen des Nordost- auf der nördlichen und des Südost-Passates auf der südlichen Hemisphäre in befriedigender Weise erklärt. Die Beständigkeit der beiden Passate kann andererseits wieder als vollgiltiger Beweis der Achsendrehung der Erde dienen. Zwischen den beiden Passaten liegt ein verhältnissmässig schmaler Gürtel, die Region der Calmen (den Seefahrern furchtbar durch heftige Regengüsse und fast täglich wiederkehrende elektrische Explosionen), welche durch die Stauung der beiden Passate und durch ihren Uebergang in den aufsteigenden Luftstrom erzeugt wird.

Wenn man aber durch das Aneinandergerathen des Nordost- und Südost-Passates eher die Entstehung eines reinen Ost, als einer Calmenregion erwarten sollte, so berichtigt sich doch diese falsche Voraussetzung, sobald man das in Erwägung zieht, was vorhin über die Ungleichmässigkeit erwähnt worden ist, mit welcher die Rotationsgeschwindigkeit bei zunehmender Annäherung an den Aequator wächst. Je näher die Polarströmung dem Aequator kömmt, desto weniger differirt die Geschwindigkeit der ankomm-

menden Lufttheilchen von jener, welche die Punkte mit noch geringerer geographischer Breite besitzen, und es muss zuletzt ein reiner Nord- einem reinen Südwinde entgegenwehen, was um so eher eine windstille Region erzeugen wird, als zugleich die ankommende Luft über der Zone grösster Erwärmung in einem raschen Strome aufwärts geführt wird.

Richten wir unser Augenmerk nun wieder auf den vorläufig ausser Auge gelassenen oberen oder Aequatorialstrom, so ist klar, dass die Rotation der Erde auf ihn betreffs seiner Richtung gleichfalls einen solchen Einfluss ausüben wird, dass er nicht genau von Süd nach Nord in der nördlichen, und ebensowenig von Nord gegen Süd in der südlichen Hemisphäre fliessen, sondern eine gewisse Ablenkung, aber im entgegengesetzten Sinne, als bei dem unteren Strome der Fall ist, erfahren muss. Bei diesem Rücklaufe kömmt nämlich die Luft von Orten mit grösserer, zu Orten kleinerer Rotationsgeschwindigkeit; sie wird daher, in je grössere Breiten sie gelangt, umsomehr in der Richtung von West gegen Ost vorauseilen, also von Westen zu kommen scheinen, was in Verbindung mit dem ursprünglichen Impulse eine südwestliche Strömung auf der nördlichen und eine nordwestliche Strömung auf der südlichen Hemisphäre zur Folge haben muss.

Die Strömungsgeschwindigkeit beider Ströme kann übrigens keine gleiche sein; der Polarstrom tritt nämlich aus einem engen Bette in ein immer breiteres,

seine Strömung wird also allmählig langsamer; bei dem Aequatorialstrome hingegen, der in ein immer enger werdendes Bett gezwängt wird, muss das umgekehrte der Fall sein. Die Richtigkeit des eben Gesagten springt nur dann lebhaft in die Augen, wenn man an die Kugelgestalt der Erde denkt.

In welcher Höhe über dem unteren Passate der obere weht, ist eine Frage, die noch ihrer Beantwortung harret. Gewiss ist, dass in den Meeren zwischen den Tropen, während unten ein constanter Nord- oder Südost weht, in einer Höhe von mehr als 20.000' ein constanter, in entgegengesetzter Richtung wehender Luftstrom an den mit ihm fortgeführten Federwolken von den Seefahrern erkannt wird.

Das Zurückfliessen des Anti-Passates ist übrigens durch 2 bemerkenswerthe Ereignisse unwiderleglich dargethan. In der Nacht des 30. April 1812 hörte man auf der Insel Barbados gewaltige Explosionen gleich einer heftigen Kanonade, so dass die Garnison allarmirt wurde. Am anderen Morgen verfinsterte sich die Westseite des Horizontes in immer grösserem Umfange; endlich fiel bei dichter Finsternis ein Aschenregen, unter dessen Last sogar die Aeste der Bäume brachen.

Nach der Lage der Insel hätte man, da sich dieselbe in der Region des Nord-Ost-Passates befindet, auf einen Ausbruch eines Vulkanes auf den Azoren schliessen mögen; aber dem war nicht so. Die Asche rührte vielmehr von dem Ausbruch des Morne Garou, der auf der 20 Meilen westlich von Barbados gele-

genen Insel St. Vincent damals weitverbreitete Erderschütterungen durch einen gewaltigen Auswurf von Asche schloss. Diese Asche musste durch den unteren in den oberen Passat vermöge der Eruptionskraft des Vulkans geschleudert worden sein und konnte daher, vom Anti-Passat fortgeführt, an einem nordöstlich von St. Vincent gelegenen Punkte niederfallen. Als weiterer Beleg mag der am 20. Jänner 1835 stattgehabte Ausbruch des Vulkans Coseguina im Staate Guatemala in Centralamerika dienen. Vier Tage darauf verdunkelte sich in Kingston zu Jamaika durch einen fallenden Aschenregen das Tageslicht. Nun liegt aber Jamaika in der Passatzone etwa 800 englische Meilen in nordöstlicher Richtung von jenem Vulkane; es konnte also nur der obere Passat jene Asche mitgeführt haben. Da aber zugleich Asche auf das in einer beiläufigen Entfernung von 700 Meilen im stillen Ocean gegen Süden segelnde Schiff „Conway“ niederfiel, so beweist dies Faktum zugleich den Abfluss der durch den courant ascendant hinaufgerissenen Luft beiderseits in der Richtung gegen die Pole. Auch L. v. Buch's Beobachtung am Pic de Teneriffa dient zur Bestätigung. Die Spitze dieses Berges liegt nämlich meist im Anti-Passat, während unten immer Nord-Ost-Passat weht. Der obere oder Aequatorialstrom erreicht schon in den gemässigten Zonen die Erde; denn, in ein schmaler werdendes Bett eingengt, wird er dichter, kälter, schwerer, sinkt herab und ist die Ur-

sache der so häufigen Südwest- und Südwinde Europa's. Da, wo der Aequatorialstrom in den Polarstrom eindringt, wird die Polargrenze des unteren Passates sein und von da bis zu den Polen erstreckt sich der Schauplatz des Kampfes der beiden Strömungen, also die eigentliche Region der Veränderlichen.

Mit der Veränderlichkeit des Sonnenstandes schwanken sowohl die äusseren (oder Polar-) als auch die inneren (oder Aequatorial-) Grenzen der beiden Passate. Schon aus der Lage des Wärme-Aequators lässt sich übrigens erwarten, dass, weil die Zone der grössten Erwärmung trotz der Declination der Sonne jederzeit auf der nördlichen Hemisphäre liegt, auch der Calmngürtel das ganze Jahr hindurch, wenngleich in veränderlicher Breite nordwärts vom Aequator liegen wird.

So ist es auch auf dem Atlantischen Ocean. Im stillen Ocean hingegen, da wo die grösste Wasseranhäufung statt hat und die störenden Einflüsse ausgebreiteter Landmassen fehlen, kömmt es auch vor, dass zuweilen, nämlich zur Sommerszeit der südlichen Halbkugel die Aequatorialgrenze des Süd-Ost-Passates 2<sup>0</sup> südlich vom Aequator zu liegen kömmt.

Die unteren Passate wehen übrigens rein nur auf offenen Oceanen, sie sind ohne stürmische Heftigkeit und machen die Schiffahrt von den Westküsten zu den Ostküsten der grossen Kontinente ebenso angenehm als gefahrlos, und während die Gefährten des Columbus von Schrecken erfasst wurden, als sie sich

von einem immerwährend aus Nordost wehenden Winde westwärts geführt sahen, wird heutzutage diese Region von Segelschiffen aufgesucht, um auf die schnellste Weise von Europa nach Amerika zu gelangen.

Die Passate verlieren sich landeinwärts schon auf eine Entfernung von 20 Seemeilen von der Küste; dies rührt her vom störenden Einflusse der ungleich erwärmten Festländer, durch welche sie überhaupt häufig auch in ihrer Richtung verändert werden. Die merkwürdigste dieser Ablenkungen des regelmässigen Passates zeigt sich in den Gewässern des Indischen und Chinesischen Meeres in dem Auftreten der sogenannten Monsoons. Es wehen nämlich in den eben bezeichneten Gewässern nordwärts vom Aequator während des Sommerhalbjahres der nördlichen Hemisphäre, mithin von April bis September, ununterbrochen Südwestwinde (Südwestmonsoon); im Winterhalbjahre, d. i. von October bis März, wehen hingegen regelmässig Nordostwinde (Nordostmonsoon). Auf den der südlichen Hemisphäre angehörigen Theilen jener Gewässer wehen während des Sommerhalbjahres dieser Halbkugel (October bis März) Nordwestwinde (Nordwestmonsoon), dagegen im Winterhalbjahre (April bis September) Südostwinde (Südostmonsoon.)

Diese auffallende, von Halbjahr zu Halbjahr gesetzmässig wechselnde Richtung der Monsoone wird durch das Zusammenwirken vornämlich dreier Ursachen bewirkt: durch den wechselnden Stand der

Sonne; durch die ungleiche Wirkung, welche Festland und Meer von den wärmenden Sonnenstrahlen erfahren; endlich durch den Umschwung der Erde um ihre Achse. Von April bis September befindet sich nämlich die Sonne nordwärts vom Aequator; dies hat zur Folge, dass gegen das Festland Asiens, über welchem die Luft stärker erwärmt wird, als über dem südlich davon gelegenen Meere, die Luft von Süden herweht. Da diese Luft aber von Punkten grösster gegen Punkte kleinerer Rotationsgeschwindigkeit weht, so muss dieser Luftstrom als Südwestmonsoon sich geltend machen. In derselben Zeit muss, weil dann das Festland Neuhollands sich viel stärker abkühlt, als das nördlich davon gelegene Meer, auch auf der Südhälfte dieses Meeres ein constanter Luftstrom von Süd gegen Nord ziehen, welcher sich, da er von Punkten kleinerer gegen Punkte grösster Rotationsgeschwindigkeit sich bewegt, als Südostmonsoon auftritt. Von October bis März verweilt die Sonne südlich vom Aequator; dies hat einerseits zur Folge, dass die Luft über Neuholland stärker erhitzt wird, als über dem nördlich gelegenen Meere, während anderseits die Luft über dem Asiatischen Festlande stärker abgekühlt wird, als über dem südlich gelegenen Meere. Südwärts vom Aequator muss demnach in diesem Halbjahre ein Luftstrom von Nord gegen Süd sich ausbilden, der, weil dann die Luft sich gegen Punkte kleinerer Drehungsgeschwindigkeit bewegt, zum Nordwestmonsoon wird. Nördlich

vom Aequator muss zur selben Zeit gleichfalls ein Luftstrom von Nord gegen Süd wehen, welcher, da die Luft darin gegen Punkte grösster Rotationsgeschwindigkeit sich bewegt, zum Nordostmonsoon wird.

Die Gegenden wo die Monsoone am stärksten und regelmässigsten verspürt werden, sind das Meer von Java, Timor, das der Molukken und jenes bei Neu-Guinea.

Zwischen dem Wechsel des einen Monsoon mit dem nächstfolgenden, also um die Zeit der Aequinoctien, tritt immer eine Zeit ein, in welcher veränderliche Winde herrschen, die bald in Windstillen, bald in heftige von Regen und Gewitter begleitete Stürme (das Ausbrechen des Monsoon) übergehen. Uebrigens verändern örtliche Umstände eben so sehr die Zeit des Eintrittes wie die gewöhnliche Richtung der Monsoone. So sind z. B. die Luftströmungen im Rothen und Persischen Meerbusen gezwungen, dem Zuge der Küsten zu folgen; statt einer nordöstlichen bildet sie eine nordwestliche, statt einer südwestlichen eine südöstliche Strömung aus. Ebenso zwingen die Ufer der zahlreichen im Indischen Ocean, in der Sundasee und im süd-Chinesischen Meere vorkommenden Meerengen die Luftströmungen in ihre Betten hinein, so dass auch von den Monsoons wie von den Passaten gilt, dass sie ihre Hauptrichtung um so ungestörter beibehalten, je mehr sie, weit weg vom Lande auf hoher See wehen.

Aehnliche Erscheinungen, wie die eben erörterten, bieten die west-Indischen Gewässer dar; auch da wehen

je nach dem Stande der Sonne nach mit den Jahreszeiten wechselnden Richtungen Land- und Seewinde.

Die gemässigten Zonen sind vornämlich das Gebiet der veränderlichen Winde. Hier herrscht ein ewiger Kampf zwischen dem an der Erdoberfläche hinziehenden Polarstrom und dem aus der Höhe herabsinkenden Aequatorialstrom. Während diese beiden Ströme in der heissen Zone ruhig über einander dahinfließen, suchen sie in der gemässigten, neben einander fließend, sich wechselseitig zu verdrängen. In diesem Kampfe trägt der Aequatorialstrom, eben wegen seiner grösseren Stromgeschwindigkeit, schliesslich den Sieg davon und daher kommt es, dass auf der nördlichen Hemisphäre die westlichen und südwestlichen, auf der südlichen die westlichen und nordwestlichen Winde im Allgemeinen nach der Häufigkeit des Wehens das Uebergewicht haben. Aber trotz des ewigen Wechsels der Windrichtung in den mittleren und höheren Breiten zeigt sich auch hier eine, erst in den 40ger Jahren von Dove richtig erkannte und unumstösslich bewiesene Regelmässigkeit in der Aufeinanderfolge der Windrichtung, welche das Dove'sche Drehungsgesetz der Winde genannt wird.

Denken wir uns, es zeige unter der Herrschaft der Polarströmung unsere Windfahne Nordwind an, so muss, da aus immer nördlicher gelegenen Punkten die Luft herüberweht, die Windfahne allmählig aus Nord in Nordost, endlich sogar in

Ost übergehen. Ein von Ost gegen West wehender Luftstrom wirkt wie ein Damm auf weitere Polarströmungen, und zwingt dieselben, sich anderweitig eine Durchbruchstelle aufzusuchen. Bewegt sich nun zur Herstellung des Gleichgewichtes der warme, in der Richtung vom Aequator kommende Strom gegen den Ostwinddamm, so wird die Fahne allmählig aus Ost in Südost, endlich in Süd übergehen, und da bei längerer Dauer des Zuströmens die Luft aus immer geringeren Breiten, d. h. aus immer südlicheren Gegenden herkömmt, so muss die Windfahne allmählig durch Südwest nach West gedreht werden, bis der in der Richtung von West gegen Ost wehende Luftstrom seinerseits wie ein Damm auf weiter nachdrängende Aequatorialströme hemmend wirkt und diese jetzt zwingt, anderswo eine Durchbruchstelle aufzusuchen. Tritt nun zur Herstellung des Gleichgewichtes nach einiger Zeit eine Polarströmung ein, so wird die Windfahne unter dem Einflusse derselben aus West durch Nordwest nach Nord gedreht; worauf sich alles wie früher wiederholt. Auf der südlichen Hemisphäre muss aus denselben Gründen die Windfahne ihre Drehung im entgegengesetzten Sinne vollenden, d. h. sie geht durch Nord, Nordwest, West, Südwest, Süd, Südost, Ost, Nordost wieder in Nord über.

Es ist das alleinige und unbestrittene Verdienst Dove's, die Gesetzmässigkeit der Richtungsänderung der Winde, deren freilich ganz unbe-

stimmte Ahnung schon in das graueste Alterthum zurückreicht, durch einen reichen Schatz mühsam gesammelter und geistreich combinirter Beobachtungen auf diese einfachen Principien zurückgeführt zu haben. Jedoch nur im Grossen und Ganzen wird sich diese Regelmässigkeit kund geben; es wird wohl auch Fälle geben, wo ein Zurückspringen des Windes eintritt; aber auch dies erfolgt gesetzmässig. — So ereignet es sich, dass der Wind häufiger zwischen Nord und Ost zurückspringt, als zwischen Süd und Ost; auch zwischen Süd und West springt er häufiger zurück, als zwischen West und Nord. Aber immer wird zuletzt die Gesetzmässigkeit den Sieg davon tragen und die Zahl der regelmässigen Drehungen wird weitaus überwiegen.

Dies wird natürlich nicht hindern, dass es selbst in der Region der Veränderlichen fast für jede Gegend nach dem Zuge der Gebirge oder der Küsten u. dgl., also veranlasst durch locale Verhältnisse, herrschende Winde geben wird, deren Eintritt und Dauer zwar unbestimmt bleibt, welche aber viel anhaltender und häufiger als die anderen Winde wehen. So wehen zu Wien z. B. am häufigsten während eines Jahres NW., W. und SO. Ihre Häufigkeit steht aber im Verhältnis von 17·3:15·3:13·2, so dass demnach der NW. als der hier herrschende Jahreswind hingestellt werden muss. Die im Sommer hier vorherrschenden Winde sind NW., W. und WNW., und zwar wieder im Verhältnis von 21:18·7:11·7,

sonach ist auch für den Sommer hier NW. der herrschende Wind. Im Winter hingegen sind W., SO. und NW. die häufigsten, aber im Verhältnis von 18:15:3:15, so dass dann der West vorherrscht.

Gehen wir nun an den letzten Theil der uns gestellten Aufgabe, nämlich an die Besprechung jener gewaltigen Aufregungen der Atmosphäre, welche ihre Bahnen durch die schrecklichsten Verheerungen zu bezeichnen pflegen und unter den Namen Stürme, Orcaue Jedermann bekannt sind. Zur Erklärung derselben haben sich in neuerer Zeit vorzüglich zwei Ansichten geltend gemacht. Die eine nimmt an, dass durch irgend eine Veranlassung die Luft irgendwo plötzlich ausserordentlich verdünnt worden und dass daher zur Herstellung des Gleichgewichtes von allen Seiten Luft gegen diesen Punkt heranstürme. Die andere sucht die Gesammtheit der bei den Stürmen auftretenden Erscheinungen in einer durch irgend einen Anlass herbeigeführten wirbelnden Bewegung der Luftmassen zu erklären. Suchen wir uns durch Zeichnung mehrerer concentrischer Kreise klar zu machen, worin diese beiden Ansichten übereinstimmen und worin sie auseinandergehen, und beachten wir, dass nach der einen Theorie die Windrichtungen stets radial gegen den Mittelpunkt, nach der anderen hingegen stets tangentiell aufgefasst werden müssen, so ergibt sich aus beiden Theorien übereinstimmend, dass für einen Ort, über welchen der Mittelpunkt des Sturmes hinzieht, Wind-

stöße mit Windstillen abwechseln müssen, und dass nach eingetretener Windstille die Windrichtung die entgegengesetzte von jener sein wird, welche vor der Windstille herrschte. Allein bei näherer Betrachtung zeigt sich der auffallende Unterschied, dass (bei centripetaler Luftströmung) die Heftigkeit der Strömung allmählig abnehmen muss, um der Windstille, welche durch Stauung sämtlicher Strömungen im Mittelpunkte hervorgerufen wird, Platz zu machen, dann aber wieder allmählig wachsen muss.

Ist jedoch der Strom durch das Fortschreiten einer wirbelnden Luftmasse bedingt, so muss auf eine anhaltende heftige Luftströmung plötzlich Todtenstille eintreten und diese ebenso plötzlich einer heftigen Luftströmung Platz machen. Hiezu kömmt noch, dass, falls der Sturm nicht mit seinem Centrum über den Beobachtungsort hinweggeht, die für diesen Ort nach und nach eintretenden Windrichtungen rücksichtlich der beiden Ansichten nicht identisch sind, sondern rechtwinkelig zu einander stehen. Als Verfechter der ersteren Ansicht traten besonders Brandes und Espy auf, für die letztere kämpften Reid, Redfield, Piddington und vor Allen wieder Dove. Die Erfahrung, welche hier allein den Ausschlag geben kann, entschied vollständig zu Gunsten der von Dove verfochtenen Ansicht, wornach die Stürme in den allermeisten Fällen in einer fortschreitenden Wirbelbewegung der Luftmassen bestehen. Obschon die veranlassende Ursache der Stürme aller-

orts liegen kann, so sind doch ganz besonders drei Sturmgebiete hervorzuheben. Diese sind 1. der Verbreitungsbezirk der Mauritius-Orcane, 2. der Verbreitungsbezirk der Westindischen Orcane und 3. das Gebiet der Teifuns. Die sorgfältigsten Beobachtungen haben zur Erkenntnis folgender Thatsachen geführt: die Stürme treten am häufigsten zu beiden Seiten des Aequators zwischen dem 12. und 40. Breitengrade auf und zwar liegt die Ursprungsstelle jederzeit in der Aequatornähe. Von da an schreitet der Mittelpunkt der Kreiswirbel auf der nördlichen Hemisphäre von SO. gegen NW., auf der südlichen Hemisphäre hingegen von NO. gegen SW. fort. An der Polargrenze des unteren Passates (etwa beim 30<sup>0</sup> Breitengrade) angelangt, biegen sie plötzlich rechtwinkelig um und verlaufen von da an auf der nördlichen Hemisphäre in nordöstlicher auf der südlichen Hemisphäre hingegen in südöstlicher Richtung, so dass die Bahn, die der Mittelpunkt nach und nach durchläuft, eine Parabel ist, deren Achse stets eine westöstliche Lage mit dem Scheitel im Westen hat. Dabei ist noch zu bemerken, dass anfänglich die Durchmesser der Kreiswirbel wenig wachsen, beim Umbiegen hingegen sehr schnell an Grösse zunehmen, wobei zugleich von der Heftigkeit der wirbelnden Bewegung das Entgegengesetzte gilt; dass endlich die Drehungsrichtung der Lufttheilchen in den einzelnen Wirbeln bei den Orcanen der nördlichen Erdhälfte

dem Laufe eines Uhrzeigers entgegengesetzt ist, während sie bei denen der südlichen Hemisphäre damit übereinstimmt. Nach Redfield ist in den Westindischen Orcanen Anfangs der Durchmesser der wirbelnden Luftmasse 100—150 Seemeilen lang und die Erweiterung wird zuletzt so gross, dass er zuweilen 600—1000 Seemeilen lang wird. Bei den Mauritius-Orcanen gibt Thom den mittleren Durchmesser der Kreiswirbel zu 400—600 Seemeilen an; den Teifuns des Chinesischen Meeres entspricht nach Piddington im Mittel ein Durchmesser von nur 60—80 Seemeilen.

Die Geschwindigkeit, mit welcher der Mittelpunkt der Wirbel in seiner parabolischen Bahn fortschreitet, ist sehr verschieden; zuweilen ist dieselbe nur 20 Fuss (in der Sekunde) zuweilen aber auch 60', ja 140' gross beobachtet worden. Weit bedeutender ist natürlich die Rotationsgeschwindigkeit der um den fortschreitenden Mittelpunkt wirbelnden Luftmassen, und so erklären sich auch ungezwungen die entsetzlichen Verwüstungen, deren Schauplatz die oben erwähnten Gebiete sind.

Eine befriedigende Erklärung aller der bei diesen Orcanen auftretenden Erscheinungen hat Dove in dem schon 1840 publicirten „Gesetze der Stürme“ gegeben. Sie ist möglichst kurz gefasst folgende:

Gesetzt, es würde — etwa auf der nördlichen Halbkugel — durch was immer für eine locale Ursache veranlasst, ein Theil des Aequatorialstromes von einiger Breite genöthigt werden hinabzusinken,

so behalten auch noch unten die Lufttheilchen dieses partiellen Stromes die Tendenz nach Norden bei, sie würden jedoch, weil sie gegen Orte geringerer Rotationsgeschwindigkeit hinströmen, im ganzen eine südwestliche Strömung bilden, wenn nicht auf der Ostseite in dem beständig wehenden Nordostpassate ein unübersteigliches Hindernis obwaltete. Da aber dieser Widerstand vornämlich die im Osten gelegenen Theile des partiellen Stromes trifft, während dies bei den westlich gelegenen nicht der Fall ist, so wird die Windrichtung auf der Ostseite dieses partiellen Stromes mehr südlich, auf der Westseite dagegen mehr südwestlich und westlich sein, mithin die Tendenz zur Bildung eines Wirbels hervorgerufen werden, welcher dem Gange eines Uhrzeigers entgegengesetzt rotirt, d. h. nacheinander Süd, Ost, Nord, West, Süd durchläuft. Die wirbelnde Luftmasse wird die ursprüngliche Tendenz, nach Norden fortzuschreiten, zwar beibehalten, da sie derselben aber wegen des beständigen Nord-Ostpassates weder gegen Nordost noch gegen Nord Folge geben kann, so wird sie nur in nordwestlicher Richtung fortschreiten können. An der Polargrenze des Passates angelangt, befindet sich die wirbelnde Luftmasse plötzlich in der Gegend des von oben normal herabkommenden Südweststromes, es hört somit der Widerstand, welchen die Theilchen bisher bei ihrem Bestreben, ostwärts vorzueilen, gefunden, ganz oder doch grösstentheils auf, es wird daher

der Sturm plötzlich fast rechtwinklig umbiegen, an Breite zu-, an Heftigkeit aber immer mehr abnehmen.

Die Vorgänge auf der südlichen Hemisphäre in analoger Weise zu entwickeln, wird nach dem Auseinandergesetzten nicht schwer fallen und kann hier die Ausführung um so füglicher unterbleiben, als es sich uns überhaupt nur darum handelte, überall die Principien anzugeben, in Betreff des Details hingegen auf die Originalwerke verwiesen werden muss.

Der Nutzen, den die Erkenntnis dieser Gesetze der Schifffahrt, namentlich in den allergefährlichsten Fällen bringen muss, liegt auf der Hand und hat erst kürzlich sich auf der „Novara“ bewährt, welche, von einem solchen Drehwinde überrascht, durch die umsichtige Leitung ihres um die Wissenschaft verdienten Führers glücklich einer grossen Gefahr entrann.

Die vorliegende Darstellung kann weder auf Vollständigkeit noch auf Originalität Anspruch machen, sie hat ihren Zweck vollkommen erfüllt, wenn sie den Leser „auf das Dasein eines gemeinsamen Bandes, welches die ganze Körperwelt umschlingt, auf das Walten ewiger Gesetze und den ursächlichen Zusammenhang“ in den so verwickelten Erscheinungen der atmosphärischen Circulation besonders aufmerksam gemacht hat.

---

# ZOBODAT - [www.zobodat.at](http://www.zobodat.at)

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Schriften des Vereins zur Verbreitung naturwissenschaftlicher Kenntnisse Wien](#)

Jahr/Year: 1866

Band/Volume: [5](#)

Autor(en)/Author(s): Pick Hermann

Artikel/Article: [Das Luftmeer. 405-448](#)