

Ueber die Grundgesetze der Meteorologie.

Zwei Vorträge, gehalten am 7. Februar und 22. März 1885

von Prof. A. v. Miller-Hauenfels.

Obwohl die Meteorologie erst seit wenigen Jahrzehnten sich den Rang einer Wissenschaft erobert hat, so hat sich dennoch ihr Interessentenkreis so sehr erweitert, dass heute selbst Japan eine grössere Anzahl meteorol. Beobachtungs-Stationen und einen regelmässigen telegraphischen Tagesdienst besitzt. Einerseits liegt der Grund hiefür in der fortschreitenden Bildung und in den an und für sich sehr anregenden Problemen der Meteorologie, anderseits aber vorwiegend in dem Umstande, dass die Beschaffenheit der Witterung mehr oder minder in alle Berufskreise eingreift, und selbst jene des Sportes durch seinen kategorischen Imperativ oft belästigt.

Seit mehreren Decennien das Studium der Meteorologie pflegend, war ich vornehmlich bemüht, den Lehren der Mechanik und insbesondere jenen der mechanischen Wärmetheorie, welche meines Erachtens in der Meteorologie viel zu wenig berücksichtigt werden, Geltung zu verschaffen, und ich habe die Resultate dieser Forschungen, welche sämmtlich auf mathematischer Grundlage beruhen, vor ungefähr einem Jahre in einer Schrift, betitelt »theoretische Meteorologie« (Wien bei *Spielhagen & Schurich*) veröffentlicht.

Ich werde mir nun erlauben, einige Hauptmomente dieser Schrift hervorzuheben, jedoch — um mich nicht selbst zu wiederholen und den Vortrag trocken und unerquicklich zu machen — hiebei bemüht sein, die mathematische Ausdrucksweise in die übliche Redeform zu übertragen.

Die Ursache aller Witterungs-Erscheinungen sind die Bewegungen innerhalb unserer Atmosphäre und die Ursache der letzteren wieder die Veränderungen der Temperatur des Bodens

und der auflagernden Luftschichten, so wie jene des Luftdruckes, zu deren Kenntniss wir durch das Thermometer und Barometer gelangen. In dieser mir logisch dünkenden Reihenfolge will ich daher den heute zu behandelnden Gegenstand vornehmen, demnach zuerst die wechselnden Barometer- und Thermometer-Stände besprechen, hiebei aber berücksichtigen, dass die an diesen beiden Instrumenten abgelesenen Veränderungen häufig ein sehr merkwürdiges Zusammenspiel zeigen.

1. Die tägliche Wärmecurve und die Wärmedruckcurve.

Es ist eine bekannte Sache, dass man — wenn man eine horizontale oder Abscissenlinie als Zeitmass gelten lässt und die zugehörigen senkrechten oder Ordinatenlinien proportional den jeweiligen Thermometerständen nimmt — durch Verbindung der Endpunkte der Ordinaten die sogenannte »örtliche Wärmecurve« erhalte. Der Durchschnitt aus den Tagescurven eines Monats gibt die Monatscurve, jener von je drei Monaten (den Winter vom December an gerechnet) die Curven der vier Jahreszeiten, der Durchschnitt von zwölf Monaten die Jahrescurve und jener mehrerer Jahre die durchschnittliche Jahrescurve für den täglichen Thermometergang. Alles weitere über den täglichen Wärmegang kann aus guten Lehrbüchern der Meteorologie entnommen werden.

Jedem von Ihnen, der gewohnt ist, Barometer und Thermometer häufiger zu beobachten, wird es aufgefallen sein, dass diese Instrumente in den unteren Luftschichten, in denen wir leben, meist und besonders im Winter einen Gang in *verkehrtem* Sinne einhalten. Es kann dies kein Zufall sein, sondern es muss hier ein Naturgesetz zu Grunde liegen, welches sich auf folgende Weise zu manifestiren scheint:

Die Luft besitzt einen gewissen inneren Arbeitswerth, eine »potentielle Energie«, welche sich theils als Pressung, theils als Temperatur äussert; je grösser diese beiden, je grösser ist auch ihre Energie. Aendert sich nun die Temperatur des Bodens und wird dieser z. B. durch Ausstrahlung kälter, so wird die unterste Luftschicht allerdings etwas wenigens von ihrer Wärme an den Boden abgeben, weil sie kein absoluter Nichtleiter der Wärme ist; da sie aber, selbst wenn sie reich an Staub- und Dampf-

theilchen ist, immer noch ein schlechter Wärmeleiter bleibt, das heisst, sich dagegen sträubt, Wärme an den Boden abzugeben. oder — was dasselbe ist — von ihrer Energie an ihn zu verlieren, so wird sie eine andere Austheilung zwischen den beiden Aeusserungen ihrer Energie treffen, welche ihr nunmehr gestattet, den grössten Theil der letzteren zu behalten; sie wird also ihre Temperatur zu jener des Bodens herabsetzen, dafür aber ihre Pressung entsprechend erhöhen,

Umgekehrt wird die Luft im Falle, als der Boden wärmer wird, wohl ebenfalls etwas Wärme von ihm aufnehmen, aber sich dagegen sträuben, ihre Energie weiter zu ändern, und in der Erhöhung ihrer Temperatur bei gleichzeitiger Herabsetzung ihrer Pressung hiezu das Mittel finden.

Die mechanische Wärmetheorie kann uns freilich für diesen Vorgang kein Analogon bieten, weil dieselbe die Gase, welche sie der Betrachtung unterzieht, im *abgeschlossenen Raume* betrachtet, während die unterste Schichte der freien Atmosphäre aus höheren Schichten Moleküle entnehmen oder dahin abgeben kann.

Dass dies wirklich in unserem Falle auch stattfinden werde, beweist das *Mariotte-Gaylussac'sche* Gesetz, welches bekanntlich lautet:

$$\delta = c \frac{b}{T},$$

wobei δ die Luftdichte, b den Barometerstand, T die absolute Temperatur und c eine constante Zahl bedeutet.

Wird also der Boden und sonach auch die Luft kälter und gewinnt letztere gleichzeitig eine höhere Spannung, so muss sie somit auch dichter werden, und um dies werden zu können, nothwendig Theilchen aus den oberen Luftschichten herabziehen; werden beide dagegen wärmer, so wird die untere Luft auch an Pressung einbüssen und dünner werden, folglich eine entsprechende Anzahl Moleküle in die oberen Luftschichten abschieben.

Aus der bisherigen Betrachtung folgt, dass das Barometer, falls auf dasselbe keine anderen Einwirkungen als die Temperatur-Änderungen des Bodens und der unteren Luftschichten Einfluss üben würden, bei seinem täglichen Gange eine Curve (Wärmedruckcurve) einhalten würde, welche einen zur Wärmecurve ver-

kehrten Lauf beobachtet, und welche sich auch unter Zugrundelegung eines wahrscheinlichen Werthes construiren lässt.

Sehen wir nun zu, wie sich die *höheren Luftschichten* in diesen Beziehungen verhalten müssen. Wird die Luft beispielsweise unten kälter und gepresster und nach dem früheren also in höheren Lagen dünner, als sie sonst wäre, so soll sie hier nach dem *Mariotte-Gaylussac'schen* Gesetze auch wärmer werden. Wir finden dies durch die Beobachtung auch genau bestätigt. Denn wenn es im Winter unten im Thale recht kalt ist, so wird es nach oben in der Regel wärmer, wie jeder weiss, welchen seine Berufsgeschäfte zu dieser Jahreszeit öfter ins Hochgebirge führen; während nach dem Jahresdurchschnitte die Temperatur der Luftschichten nach oben stetig abnimmt. Umgekehrt muss im Sommer die Temperatur der Luftschichten nach oben viel rascher abnehmen, als nach diesem Durchschnitte, und wir finden dies ebenfalls bestätigt.

Es ist endlich höchst wahrscheinlich, dass bei solchen Veränderungen der Dichte in den höheren Luftschichten nicht bloss der Nenner T im rechtseitigen Theile des *Mariotte-Gaylussac'schen* Gesetzes, sondern auch der Zähler b in demselben Sinne betroffen werde; dann muss aber das Barometer hochgelegener Stationen sich in einem Sinne bewegen, welcher den Bewegungen desselben im Thale *entgegengesetzt* ist, d. h. die Wärmecurve und die Wärmedruckcurve hochgelegener Stationen werden *im gleichen Sinne* gekrümmt sein. Dass dies auch wirklich so sei, werden die nachstehenden Betrachtungen bestätigen.

2. Barometrische Gezeitencurve.

In der Tages-Barometercurve kommen jedoch nicht bloss *Ein* Maximum und Minimum zum Vorscheine, wie dies der tägliche Gang der Wärme erfordern würde, sondern es erscheinen deren je zwei, weil ausser der Wärme noch andere Umstände auf den täglichen Barometergang wirken, unter denen als ausschlaggebend vornehmlich nur die atmosphärischen Gezeiten hervorzuheben sind.

Manche Meteorologen lassen bei Erklärung meteorol. Phänomene die Atmosphäre durch einen ansehnlichen Theil ihrer

Höhe oder auch wohl nach ihrer ganzen Höhe sich bewegen, und es hat den Anschein, dass hieher auch der sogenannte »*courant ascendant*« *Saussure's*, welcher noch vielfach in den Köpfen spuckt, gehöre. Auch bei dem Erklärungs-Versuche der atmosphärischen Fluth (wobei wir selbstverständlich nur die solare Fluth im Auge haben) könnte man sich zur Vorstellung versucht fühlen, dass die Atmosphäre ihrer ganzen Höhe nach in Bewegung gerathe. Allein man bedenke, dass hiebei ein aufsteigendes Theilchen der Zenithfluth eine *beschleunigte* Bewegung beobachten müsste, weil es sich während des Emporsteigens immer mehr von der Erde entfernt und in demselben Masse immer mehr der Sonne nähert; ebenso müsste ein aufsteigendes Theilchen der Nadirfluth fortwährend beschleunigt werden, weil seine Bewegungsrichtung von der nahen Erde und der entfernten Sonne abgewendet ist. Wenn also wirklich eine solche Bewegungsweise einmal platzgreifen würde, so müsste die Erde alsbald ihre Lufthülle einbüßen. Hieraus folgt nothwendig, dass sich die Erscheinung der atmosphärischen Flut nicht durch die ganze Höhe der Atmosphäre, sondern nur durch den unteren Theil derselben erstrecken könne, dass somit die Atmosphäre der Höhe nach in zwei getrennte Regionen zerfalle: die höhere *tellurische* und die tiefere *meteorische Region*, welche aber nicht strenge von einander getrennt sein können, sondern allmählig in einander übergehen müssen.

Die tellurische Region ist frei von Staubtheilchen und Wasserdämpfen, und da nach *Tyndalls* Versuchen reine atmosphärische Luft keine Wärme absorbirt, so ist sie diatherman d. h. für die Wärmestrahlen durchdringbar. Da sich ferner dem früheren zufolge verticale Bewegungen der Luft nur im tieferen Theile der Atmosphäre ereignen können, so umgibt sie wie eine starre krystallene Schale die Erde und die dieser zunächst liegende Luftregion, in welch' letzterer sich mit Ausnahme hochgehender Nordlichter die meteorologischen Erscheinungen abspielen und welche den ewigen Kreislauf der Gewässer vermittelt.

Es fragt sich jetzt, wie sich unter solchen Umständen die atmosphärischen Gezeiten auf den täglichen Barometergang äussern werden? In Folge der ungleichen Entfernung der Sonne suchen sich sowohl zenith- als nadirseits bei der atmosphärischen

Fluth die Lufttheilchen zu erheben, finden aber in einer Höhe, welche unsere höchsten Gebirge weit überragt, einen energischen Widerstand. Es muss also durch die Fluthwirkung die Luftpres-
 sion unten entsprechend ab- oben aber zunehmen. Umgekehrt wird die atmosphärische Ebbe durch Vermehrung des Druckes in den unteren und durch Verminderung desselben in den oberen Luftschichten sich äussern. Da aber alles in der Welt seine Zeit braucht, so müssen auch hier die Wirkungen, also die Verminderung der unteren Luftspannung durch die Fluth und die Vermehrung derselben durch die Ebbe später als deren Ursachen eintreffen.

Es ist bekannt, dass diese Wirkungen besonders kräftig am Aequator hervortreten und schon *Alex. Humboldt* machte darauf aufmerksam, dass die täglichen Aenderungen im Barometerstande der heissen Zone fast mit der Regelmässigkeit einer Uhr erfolgen.

In Figur I zeigt *cglp* eine Curve, welche nach den Beobachtungen des Dr. *P. A. Bergsma* in den Jahren 1869 bis

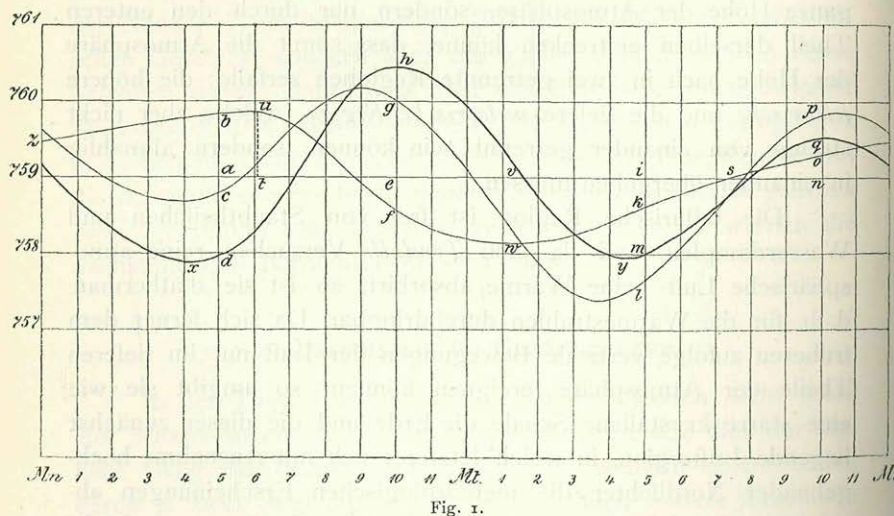


Fig. 1.

1875 zu Batavia als durchschnittliche Jahrescurve für den dortigen täglichen Barometergang construiert wurde. Construiert man nun noch (allerdings mit Zugrundelegung eines wahrscheinlichen statt des unbekannten wahren Werthes) nach dem dortigen

durchschnittlichen Thermometergänge die wahrscheinliche Wärmedruckcurve *b f k o*, und aus beiden die resultirende Curve *d h m q*, so wird letztere die reine Gezeitencurve darstellen. Sie zeigt sich aus fast ganz symmetrischen Zweigen bestehend und lässt erkennen, dass zwischen Ursache und Wirkung überall fast genau vier Stunden vergehen, denn die tiefsten Barometerstände treffen als Wirkungen der atmosphärischen Flut nahezu um 4^h a. m. und p. m. und jene der Ebbe um 10^h a. m. und p. m. ein.

Jenen allgemeinen Charakter, welche die barometrische Tagescurve nächst des Aequators zeigt, behält sie auch im Jahresdurchschnitte für die untersten Luftschichten höherer Breiten bei; es ändern sich aber Amplituden und Wendestunden je nach der geographischen Breite und der mehr continentalen oder mehr maritimen Lage des Ortes. Aber alle diese Abweichungen, deren eingehende Nachweisung hier zu weit führen würde, sind — wie ich in der eingangs erwähnten Schrift näher nachgewiesen — aus der jeweilig abgeänderten Wärmedruckcurve und aus der gegen die Pole allmählig abnehmenden Amplitude der Gezeitencurve leicht nachzuweisen. Auch bei der Discussion der barometrischen Tagescurve *für die einzelnen Jahreszeiten* wird man sich leicht zurecht finden, wenn man berücksichtigt, dass jede Jahreszeit ihre eigene tägliche Wärme-curve besitzen muss, und die Amplitude der Gezeiten mit der Declination der Sonne zu- und abnimmt.

Einen abweichenden Verlauf zeigen die Jahres-Durchschnitts-curven für den täglichen Barometergang *hoher Gebirgsstationen*, wenn man sie mit den Curven nahegelegener Thalstationen vergleicht. Diese Abweichungen bestehen nach Dr. *J. Hann* (österreich. meteor. Zeitschr. Bd. XIV, pag. 176) in der Verlegung des Hauptminimums auf 4^h bis 5^h a. m., in der Verspätung der vormittägigen Maximums und in einer mit der Höhe zunehmenden Abschwächung des Nachmittags-Minimums.

Vergleicht man nun die in Fig. 2 mit *abcde* bezeichnete Curve, welche nach Dr. *Maurer* in Zürich dem Hospiz des grossen St. Bernhard als Jahrescurve angehört,¹⁾ mit der Tagescurve von Batavia, so ersieht man, dass trotz der grossen Entfernung bei-

¹⁾ M. s. österr. Zeitschrift für Meteorologie, Decemberheft 1884.

der Orte alle eben genannten Unterschiede zutreffen. Summirt man hier die nächtliche und Tagesamplitude und construirt man in Fig. 2 eine neue symmetrische Curve $fghi$ derart, dass die Maxima und Minima auf die Stunde 10 und 4 fallen, so erhält man die wahrscheinliche Gezeitencurve. Die aus beiden Curven resultirende Curve $klmn$ ergibt eine krumme Linie, welche — da

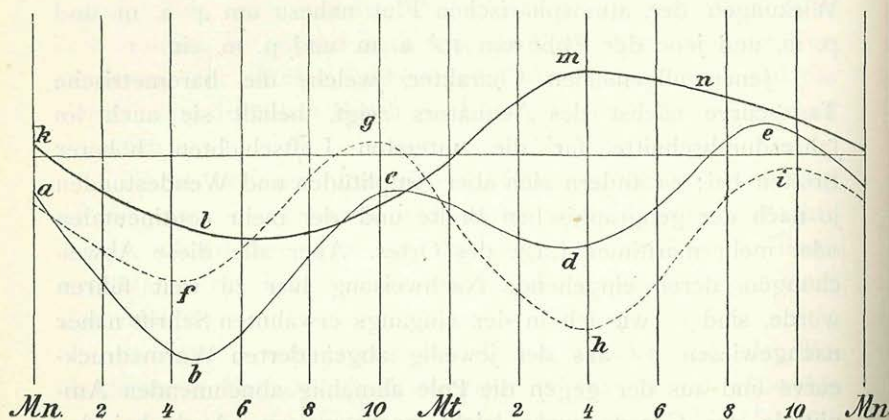


Fig. 2.

sie ihr Maximum etwas nach 3^h p. m. und ihr Minimum etwas nach 6^h a. m. zeigt, unmöglich viel von der hier *im gleichen Sinne* mit der Wärmecurve verlaufenden Wärmedruckcurve abweichen kann. Hiemit ist nachgewiesen, dass sich vorstehende Theorie des täglichen Barometerganges nicht bloss in horizontaler, sondern auch in verticaler Richtung bestätige, und zugleich der empirische Beleg für die früher aus theoretischen Gründen ausgesprochene Vermuthung erbracht, dass bei Temperaturschwankungen an hochgelegenen Punkten Thermometer und Barometer in *demselben* Sinne sich zu bewegen streben.

3. Vergleichung des durchschnittlichen Thermometer- und Barometerstandes in verschiedenen geographischen Breiten.

Dove hat die mittleren Temperaturen einzelner Parallelkreise der nördlichen Hemisphäre berechnet, und es lassen sich dessen Ergebnisse in einer Curve $abcd$, Fig. 3, darstellen, deren Abscissenaxe die geographischen Breiten von 0° bis 80°, deren

Besäße die Luft überall eine gleiche Temperatur, so würde das Barometer am Aequator etwas höher stehen, als am Pol, aber nur um jenes Mass, um welches das Quecksilber durch den Einfluss der Temperatur und der Centrifugalkraft ausgedehnt wird. — Auf gleichen Parallel reducirt, müssten die beiden Barometerstände am Pol und am Aequator gleich hoch sein. Nach *Will. Ferrel* (*»Nature«,* IV, 226) beträgt jedoch das Barometer in den arctischen Gegenden um 1½ Zoll, in den antarctischen um mehr als einen Zoll tiefer als in der Nähe des Aequators und er bringt diese Erscheinung in Verbindung mit vorherrschend westlichen Winden, welche wegen Vorwiegen der Landflächen der nördlichen Hemisphäre als weniger deutliche, auf der Südhalbkugel aber als andauernde Circum-Polarwinde entwickelt sind.

Ehevor wir uns in die nähere Discussion dieser Hypothese einlassen, sei noch erwähnt, dass in *A. Buchan's* Werke »the mean pressure of the Atmosphere« sich die Jahres-Isobaren, wie sie von dort in andere Kartenwerke übergingen, dargestellt finden, und dass ich hiernach die Durchschnitts-Barometerstände der einzelnen Hauptparallelkreise für die nördliche Halbkugel berechnete und hiernach in Fig. 3 die Curve *efgh* construirte, in welcher die Ordinaten die Barometerstände bedeuten, die ebenfalls wieder die geographische Breite vorstellende Abscissen-

axe aber tief unter die Figur herabgeschoben zu denken ist, weil der Barometerstand bei 0° Breite links 760 mm., bei 80° rechts aber 756 mm. bedeutet.

Die Ursache der Einsenkung dieser Linie bei e und ihrer Erhebung bei f ist der umgebogene Passatstrom, welcher beim Emporsteigen nächst des Aequators eine Erniedrigung, beim Niedersinken aber nächst der Wendekreise ein Steigen des Barometers herbeiführen muss. Wäre der Passatstrom nicht vorhanden, so würde die Barometercurve etwa durch die Curve $opqg'h$ dargestellt, und der Unterschied zwischen dem Barometerstande in Nähe des Aequators und jenem des Nordpales wäre ein noch beträchtlicherer, als ihn *Ferrel* und *Buchan* annehmen.

Unstreitig erweist sich *Ferrel's* Zusammenstellung des tieferen polaren Barometerstandes mit dem Circumpolarwinde, welche zusammen gleichsam eine riesige Cyklone darstellen, als ein geistreicher Gedanke; allein eine Erklärung der nach verschiedenen Breiten wechselnden Barometerstände liefert sie nicht; denn wie jedermann weiss, kommt der Barometersturz immer vor dem Sturme, nie aber umgekehrt; ersterer bildet die Ursache, letzterer erscheint aber als Wirkung. *Ferrel* hat durch die erwähnte Hypothese wohl erwiesen, dass die polare Depression auch einen anhaltenden und weitverbreiteten Wind im Gefolge habe, die polare Depression selbst aber lässt derselbe unerklärt. Sie scheint uns dagegen in folgendem zu beruhen.

Ungeachtet das Barometer das Bestreben zeigt, bei *plötzlichen* Erkaltungen des Bodens zu steigen, muss die Luft doch durch die *langandauernde* Berührung des kalten Bodens während der Winternächte und insbesondere während der Polarnacht stark an Wärme verlieren, und dieser Verlust an potentieller Energie muss sich nicht nur am Thermometer, sondern auch zuletzt darin ausprägen, dass das Barometer unter jenen Stand herabgeht, welchen es bei allseits gleichförmiger Vertheilung der Lufttemperatur einnehmen würde. Umgekehrt wird die Luft warmer und heisser Zonen vom Boden und auch durch Insolation ihrer unteren Schichten mehr Wärme aufnehmen, an Energie gewinnen und demnach auch einen höheren Barometerstand bewirken, als ihr sonstig zukäme. Diese barometrische Differenz zwischen der Aequatorial- und Polargegend müsste

aber fortwachsen, wenn nicht der letzteren durch Winde, welche aus niedrigeren Breiten kommen, fortwährend wärmere Luft zugeführt würde, und wenn nicht gleichzeitig die aus höheren Breiten gegen den Aequator zuströmenden Passate auf die Lufttemperatur des letzteren in entgegengesetzter Weise wirken würden. So aber wirken die Hauptluftströmungen der Erde auf Constanterhaltung der *durchschnittlichen* Differenz des äquatorialen und polaren Barometerstandes. Nach den Jahreszeiten betrachtet, wird aber diese Differenz für den Winter beträchtlich grösser sein, als für den Sommer jeder Hemisphäre.

Hieraus ergibt sich ferner, dass auch bei uns die Barometer während des Winters in den Thälern um eine Kleinigkeit tiefer stehen, als sie dem wahren atmosphärischen Drucke gemäss stehen sollten, und da zu dieser Jahreszeit der Luft nach der Höhe eine umgekehrte Temperatursfolge zukömmt, so werden die Barometer auf hohen Bergen gleichzeitig um eine Kleinigkeit zu hoch stehen. Dies ist der Grund, wesshalb alle besseren barometrischen Höhenformeln die Höhenunterschiede im Winter sehr merkbar zu gering angeben.

4. Die Hauptbewegungen innerhalb der meteorischen Region.

Wir haben bisher die fortwährend sich verändernden Barometer- und Thermometerstände in stetem gegenseitigem Verbande betrachtet, weil der immerwährende Wechsel in Druck und Temperatur der Luft die alleinige Ursache fast aller jener Bewegungen ist, welche sich innerhalb der meteorischen Region abspielen. Wir wollen nun diesen Bewegungen selbst, da sie das wechselnde Wetter bedingen, unsere Aufmerksamkeit zuwenden.

Der meteorologische Telegraphendienst, wie ihn jetzt alle civilisirten Staaten besitzen, macht es möglich, alle jene Orte Europas (so wie auch anderer Continente), welche zur selben Zeit gleichen Luftdruck und gleiche Lufttemperatur besitzen, durch Linien zu verbinden, welche bekanntlich beziehungsweise Isobaren und Isothermen genannt werden. Die häufig regelmässig veröffentlichten Wetterkarten enthalten stets die ersteren, manchmal auch beide Arten von Linien, endlich meistens auch die Windpfeile, deren Gefieder durch Striche die Stärke des Windes

andeutet, und deren Spitze durch einen kleinen Kreis ersetzt erscheint, dessen theilweise oder gänzliche Schwärzung der theilweisen oder gänzlichen Bewölkung eines Ortes entspricht.

Man hält die Isobaren für die alleinigen Niveaulinien der Windbewegung, obwohl sie es nur annähernd und keineswegs genau sind, da auf die Windbewegung auch die Temperaturänderungen Einfluss nehmen. Die wahren Niveaulinien derselben sind — wie sich rechnungsmässig nachweisen lässt — die Linien gleicher Luftdichte (die Isosteren). Um jedoch nicht zu sehr gegen die bestehende Anschauung zu verstossen, so wollen wir auch hier bloss die Isobaren als bestimmend für die Windbewegung gelten lassen. Es sei uns aber vorher noch erlaubt zur vollen Klarstellung der Sache uns eines Gleichnisses zu bedienen.

Denken wir oberhalb unserer Erdkugel verschiedene concentrische Kugelflächen in der Luft, so sind diese die Niveaulflächen und ihre Durchschnitte mit einer verticalen Ebene die Niveaulinien für die Schwere, weil ein freifallender Körper sie normal (senkrecht) durchkreuzen wird. Wirken aber, wie bei einem schräg geworfenen Steine, noch andere Kräfte auf den Körper, so durchdringt er dieselben schräge in Form einer Curve (Wurfparabel).

Aehnlich ist es auch bei unseren Isobaren. Sie umgeben oft in sehr unregelmässigen Krümmungen die Gegenden des unteren geringsten und des unteren höchsten Luftdruckes, von denen die ersteren bekanntlich durchweg Minima, die letzteren Maxima (des Druckes) benannt werden. Allerdings drängt die untere Luft, auf kürzestem Wege vom Maximum zum Minimum zu gelangen; allein andere noch wirksame Kräfte veranlassen, dass der Wind oft nur auf grossen Umwegen, also unter mehr oder minder kleinen Winkeln die Isobaren durchkreuzend, vom Maximum zum Minimum gelangen kann.

Unter diesen Kräften ist in erster Linie die Rotation der Erde zu erwähnen, welche bewirkt, dass der Wind auf der nördlichen Halbkugel aus einem Maximum dem Uhrzeigergange entsprechend ausströmt, zu einem Minimum aber in entgegengesetzter Richtung einströmt. Beide Windströmungen sind auf der südlichen Halbkugel denen auf der nördlichen entgegengesetzt.

Denkt man sich selbst mit dem *einströmenden* Winde gegen das Minimum fortschreitend, so liegt dieses letztere auf der nördlichen Halbkugel stets *zur linken Hand* und gewöhnlich etwas nach vorne, welche Regel unter dem Namen des *Buys-Ballot'schen* Gesetzes bekannt ist.

Die Isobaren werden auf den Wetterkarten in gleichen barometrischen Differenzen angegeben. Je weiter sie von einander abstehen, desto gelinder ist in der Regel der Wind, je näher sie sich aneinander drängen, desto stärker. Als annäherndes Mass für die Windstärke kann mithin der sogenannte barometrische *Gradient* dienen, welcher erhalten wird, wenn man die gleichzeitige barometrische Differenz zweier Orte durch ihre gegenseitige Entfernung theilt. Die barometrische Differenz pflegt man jetzt meist in Millimetern, die Entfernung in Kilometern auszudrücken. — Strenge genommen sollte man die Entfernung der beiden Orte stets normal zu dem zwischenliegenden Stück der Isobaren messen; man muss also, um den Gradienten richtig zu bewerthen, den beiläufigen Verlauf dieses Curvenstückes kennen.

Die Entstehung der unteren Minima und Maxima ist sich in solcher Weise vorzustellen, wie unter 1 erörtert wurde; die Ursache beruht zunächst in der Strahlung oder Insolation des Bodens und der nächst auflagernden Luftschichten. Bei Bildung eines unteren Minimums verliert die untere Luft etwas an Pressung, wird dabei wärmer und indem sie Theilchen nach oben abgibt, auch dünner. Letztere machen die oberhalb gelegene Luft etwas dichter; diese gewinnt dabei auch an Pressung und verliert etwas an Temperatur; so entsteht über einem unteren Minimum ein oberes Maximum. Das Umgekehrte geschieht bei Bildung eines unteren Maximums. Wir wollen — um an Kürze der Ausdrucksweise zu gewinnen — die erstere Wetterssäule eine negative, die letztere eine positive Störung benennen. Es wird sich später noch die Gelegenheit bieten, jene Kräfte kennen zu lernen, welche das Auf- und Absteigen der Lufttheilchen bei Ausbildung dieser Störungen bewirken. Zwei solche Wettersäulen können, wenn sie nicht allzuweit voneinander entfernt sind, miteinander in Wechselwirkung treten; denn es entsteht vom oberen Maximum einer negativen Störung eine hori-

zontale Spannung gegen das obere Minimum einer positiven Störung, und ebenso in umgekehrter Richtung im unteren Theile der Luftschichten. Sind nun diese Spannungen gross genug, um die entgegenstehenden Hindernisse zu überwinden, so entstehen Winde, die sowohl oben wie unten selbstverständlich vom Maximum zum Minimum gerichtet sind, daher als Ober- und Unterwind in entgegengesetzten Richtungen wehen. Die Richtigkeit dieser Annahme ist durch die Wolkenbeobachtungen negativer Störungen von *Hildebrandsson* und anderen bestätigt worden, und daher auch für positive Störungen kaum anfechtbar, obwohl diese, da sie beinahe stets heiteres Wetter zeigen, der Controlle der Wolkenbeobachtungen sich fast immer entziehen.

Zu einem Windsysteme gehören daher mindestens eine positive und eine negative Störung (ein unteres Maximum und ein unteres Minimum) mit einem Unter- und Oberwinde, es können aber auch mehrere Maxima und Minima in einen theilweisen gegenseitigen Windaustausch zu einander treten.

Die Form und Grösse der Störungen und die Verbreitung der sie begleitenden Winde ist ungemein verschieden, und sie zeigen dabei nicht selten eine gewisse Wanderlust mit Periodicität oder auch ohne einer solchen. — Sehr localer Natur sind die Küstenwinde (Land- und Seewinde), viel weiter ausgreifend die sogenannten Monsuns; beide haben ihren Grund in der verschiedenen Erwärmung von Land und Meer und erstere wechseln nach den Tages-, letzterer nach den Jahreszeiten. Die grösste Ausdehnung besitzt ein negativer Störungsgürtel, welcher nahe dem Aequator und etwas nördlich von demselben rings um die Erde reicht. Er führt den aufsteigenden Passat, während derselbe nächst den Wendekreisen innerhalb zweier positiver Gürtel niedersteigt, welche aber nur in unregelmässigen oblongen Stücken erkennbar sind, und sich nach den Jahreszeiten auch stärker verrücken, als der Aequatorialgürtel. Im Jahresdurchschnitte können aber alle drei Gürtel als stationär angesehen werden.

An Grösse und Verbreitung mitten innen stehen jene Störungen, welche dem offenen Meere und dem Binnenlande angehören und im Allgemeinen meist oblong und gestreckt, zuweilen rundlich, mitunter aber auch recht ungestaltig geformt sind. Die

unteren Maxima erweisen sich als mehr stationär, die unteren Minima aber meist um so beweglicher, je stärkere Winde sie führen. Manche dieser Störungen verwechseln ihre Standorte nach der Jahreszeit; deren unteren Maxima befinden sich dann im Winter (wegen des gegenseitig verkehrten Barometer- und Thermometerganges) vornehmlich auf den Continenten, die Minima aber nächst den Küsten oder auf dem Meere; zur warmen Jahreszeit findet jedoch bei ihnen meist das Umgekehrte statt. Ausserdem zeigen die unteren Minima (auch untere Maxima wenn sie, wie bei Wärme-Gewittern, von stärkeren Winden begleitet sind) aus einem später vorzuführenden Grunde innerhalb der heissen Zone das Bestreben, sich westlich, ausserhalb der Wendekreise aber die Neigung, sich östlich zu bewegen. Im Uebrigen erscheinen aber Geschwindigkeit und Richtung dieser Bewegung ziemlich unbestimmt und schwer vorausszusehen. Da nun erfahrungsmässig auf der Rückseite dieser vorschreitenden Wettersäule Temperatur, Wasserdampf und Bewölkung in Abnahme, das Barometer aber im Steigen begriffen ist, dagegen auf der Vorderseite die umgekehrten Verhältnisse platzgreifen, so könnten wir vielleicht auf Wochen hinaus mit grosser Wahrscheinlichkeit die Wetterprognose abgeben, wenn wir die Entstehungs- und Bewegungsweise dieser Störungen mit Bestimmtheit für einige Zeit voraussehen könnten. Daher legen die Wetterberichte auf diese Entstehungs- und Bewegungsweise einen besonderen Werth; denn sie ist wahrhaft die Angel, um welche sich die praktische Hauptaufgabe der Meteorologie dreht.

Wir wollen jetzt mit einigen Worten der *Wolkenbildung* gedenken. Wenn es auch keinen *courant ascendant* im Sinne *Saussure's*, d. h. keinen aufsteigenden Luftstrom *ohne gleichzeitigen* (horizontalen) *Wind* gibt, so existirt dennoch ein beständig aufsteigender Dampfstrom. Wenn Kohlensäure mit darüber lagerndem Wasserstoff sich nach dem Diffusionsgesetze allmählig gegenseitig durchdringen, so muss dies umsomehr bei Wasserdampf und atmosphärischer Luft der Fall sein, weil jener specifisch leichter ist als diese, und somit schon am Entstehungs-orte einen mächtigen Auftrieb besitzt. Es muss daher sowohl aus dem Meere wie aus feuchtem und gefrorenem Boden und selbst aus dem Polareise ein beständiger Dampfstrom in die

Höhe steigen, um weiter als Nebel oder Wolken ausgeschieden zu werden, dann in Form von Regen oder Schnee wieder zur Erde zu gelangen, und derart den bekannten Kreislauf der Gewässer, welcher neben der Wärme eine Hauptbedingung alles organischen Lebens ist, ins Werk zu setzen.

Wenn man *gesättigten* Dampf in einem wärmedichten Gefässe zusammenpresst, so wird kein Wasser ausgeschieden, sondern der Dampf überhitzt; dagegen bleibt bei der Raumvergrößerung der Dampf gesättigt und scheidet Wasser aus. Hierbei ändert sich aber die Temperatur mit der Pressung. Von einem anderen Gesichtspunkte ist dagegen das Verhalten des Wasserdampfes im Gemenge mit atmosphärischer Luft aufzufassen. Ist letztere nicht mit Dampf gesättigt, so wird bei allmählicher Verminderung des Raumes oder Vermehrung der Pressung und wenig geänderter Temperatur auch der Raum für den Wasserdampf immer mehr verengt und letzterer zuletzt in Form von Wolken ausgeschieden. Dies ereignet sich z. B. bei feuchten südlichen Winden, die an eine steile Gebirgslehne anprallen, und hierbei ihren Bewegungswerth gänzlich oder theilweise in erhöhte Pressung umsetzen. Es entsteht dann hier Bewölkung ungeachtet des Steigens des Barometers. Bei besonderer Gestaltung der Gebirge können wohl auch die Wolken auf die Leeseite hinüber gerissen werden und bilden dann hier Wolkenfahnen oder Wolkenkatarakte. Bleibt umgekehrt die Pressung ziemlich gleich, verringert sich aber allmähig die Temperatur der Winde, so kann dies ebenfalls zur Ausscheidung von Wolken führen, wie wir bei den sogenannten Windstreifen des Südwindes sehen, der aus feuchten Gegenden kommend und in höhere Breiten vordringend, sich allmähig abkühlt. Umgekehrt werden aus nördlich gelegenen Gegenden kommende Winde sich allmähig erwärmen und an relativer Feuchtigkeit verlieren, daher in der Regel heiteres Wetter bewirken.

Beim aufsteigenden Dampfstrom, zu welchem wir jetzt zurückkehren, kann es zumal bei kühler Luft geschehen, dass schon die untersten Schichten den höchsten Gehalt an Wasserdampf besitzen, und dann bilden sich Bodennebel, wohin unsere Herbst- und Winternebel und die arctischen Nebel gehören. In der Regel aber sind die untersten Luftschichten nicht ganz mit

Wasserdampf gesättigt und dann steigt dieser unsichtbar durch eine gewisse Höhe empor. Hiebei dehnt er sich aus und gelangt gleichzeitig in immer kühlere Luftschichten. Die Ausdehnung wirkt beim ungesättigten Dampfe seiner Condensation entgegen, die Abkühlung aber befördert sie. Bei schwacher Insolation überwiegt nun der letztere Einfluss immer mehr den ersteren, der Feuchtigkeitsgehalt nähert sich immer mehr dem Maximum bei der oben herrschenden Temperatur, und in einer gewissen Höhe scheidet sich dann eine Wolkenschicht aus. Hiebei wird aber die latente Wärme des Dampfes frei und diese in Verbindung mit der Wirkung der Insolation setzt die relative Feuchtigkeit so weit herab, dass die Dämpfe wieder ein Stück emporsteigen können, ehevor sie eine höhere Wolkenschicht absetzen u. s. w. Derart erklärt sich die schichtenweise Ablagerung der Wolken bei ruhiger Luft und die sehr verschiedene Höhe derselben, auf welche selbstverständlich die anfängliche relative Feuchtigkeit der Luft einen vorherrschenden Einfluss übt.

Ist die Insolation der feuchten Luftschichten kräftig und die Dampfentwicklung mässig, so kann es geschehen, dass alle einflussnehmenden Ursachen der Wolkenbildung sich das Gleichgewicht halten und dann wird die Luft trotz des Aufsteigens der Dämpfe klar bleiben. Zuletzt müssen sich aber die letzten Reste derselben auf die eben beschriebene Weise in Wolken ausscheiden, um als Regen, Schnee oder Graupen wieder zur Erde zu gelangen, weil im Gegentheile unsere Erde in den Jahrmilliarden ihrer Bildung längst alles Wasser verloren haben müsste. *Mühry* schätzt die höchsten Federwolken (Cirri) auf 40.000 Fuss; die meteorische Region kann also, verglichen mit dem Erddurchmesser nur eine relativ geringe Höhe besitzen.

Dass diese Erklärung der Wolkenbildung den Thatsachen entspreche, beweist die sogenannte *Tages-Dunstcurve*, welche man erhält, wenn man die Tageszeit als Abscissen, den zugehörigen Dunstdruck¹⁾ aber als Ordinaten aufträgt. In nicht tropischen

¹⁾ Der Dunstdruck, d. h. der auf den Druck des Dampfes entfallende Antheil des Barometerstandes ist nahezu genau dem absoluten Dampfgehalte proportional, welcher durch die Anzahl Gramme des Wasserdampfes in einem Kubikmeter Luft ausgedrückt wird.

Küstengegenden erhebt sich diese Curve zur Zeit der grössten Tageswärme, weil hier Wasser im Ueberflusse vorhanden ist; in binnenländischen unteren Stationen senkt sie sich dagegen um diese Tageszeit ein, während sie sich an höheren Stationen gleichzeitig erhebt. Es ist dies ein Beweis, dass sich im Thale um die Zeit der grössten Tageswärme Wasserdämpfe in stärkerem Masse erheben als sie sich bilden, und folgerichtig müssen sie sich daher zu dieser Tageszeit auch in grösserer Höhe reichlicher ansammeln und demnach hier gleichzeitig eine Erhebung der Dunstcurve bewirken.

Es fragt sich jetzt noch, ob jene Wärme, welche zur Bildung der reichen Wassergefälle unserer Berge erforderlich ist, von der Sonne unmittelbar schon bei der Dampfbildung oder mittelbar erst durch den emporsteigenden Wasserdampf abgegeben werde; denn im letzteren Falle würde der Dampf seine Hebung aus der eigenen Wärme bestreiten, folglich bei dessen Wärmeverlusten noch die »Hebungswärme« berücksichtigt werden müssen.

Taucht Jemand einen Kork mittelst eines steifen Drahtes bis auf den Boden eines Wassergefässes, so wird er hiezu eine gewisse Muskelkraft und somit einen allerdings sehr kleinen Theil seiner animalischen Wärme aufwenden müssen. Er wird dabei das Wasserniveau etwas heben. Lässt er nun den Draht wieder aus, so wird der Kork durch Auftrieb emporsteigen, und das niedersinkende Wasser besorgt diese Arbeit ohne weiteren Wärmearaufwand. Aehnlich wird auch die Sonne schon bei der Dampfbildung jene Wärmearbeit verrichten müssen, welche bei Raumbeschaffung für den entstehenden Dampf zur Verdrängung der Lufttheilchen nach oben nothwendig ist, die dann durch späteres Herabsinken die Hebungsarbeit für den Dampf verrichten. Die Hebungsarbeit wird also von der Sonne schon bei der Dampfbildung verrichtet.

5. Horizontalität des Windes und abgelenkte Winde.

Schon bei der vorausgegangenen Erwähnung der gewöhnlichen Windesrichtungen haben wir die horizontale Richtung der Winde stillschweigend vorausgesetzt. Wir sind es eben von Kindesbeinen an gewöhnt, den losgelassenen Stein vertical fallen

zu sehen und den Wind stets horizontal wehend zu empfinden, betrachten daher beides als selbstverständlich, obwohl die Meteorologie berufen gewesen wäre, vor allen anderen theoretischen Untersuchungen den Beweis für die *Horizontalität des Windes* zu erbringen.

Ich glaube denselben in folgender Weise führen zu können:

Die Luft der tellurischen Region ist als vollkommen rein, daher auch nach den Versuchen *Tyndals* u. a. als vollkommen diatherman vorauszusetzen; innerhalb derselben kann sich also keine Wärme in Arbeit umsetzen und Bewegungen veranlassen; daher die stete Ruhe dieser Region. Die Luft der unteren meteorischen Region enthält aber Staub- und Dampftheilchen, wird also von der Sonnenwärme mehr oder weniger absorbiren, den Rest aber zur Bodenerwärmung durchlassen. Denken wir uns jetzt ein säulenförmiges Lufttheilchen, dessen Axe nach dem Sonnenstrahl gerichtet ist, von diesem innerhalb der meteorischen Schichte erwärmt, so wird längs der Axe eine Spannkraft entstehen, welche das Theilchen, das zugleich durch Ausdehnung leichter wird, längs seiner Axe von unten nach oben aus seiner Lage zu entfernen sucht. Die Schwere strebt aber das Theilchen in seiner Lage zu erhalten, und zwingt zugleich die schrägwirkende Spannkraft, sich in einen verticalen Theil, den *Auftrieb* und in einen horizontalen Theil: die *Windkraft* zu zerlegen. Wäre bloss der Auftrieb für sich allein vorhanden, so wäre immerhin noch Gleichgewicht möglich, weil die tellurische Schichte sich dem verticalen Emporsteigen der Theilchen widersetzt, indem sie eine Gegenspannung äussert. (Man ersieht hieraus auch, welche Kraft es sei, die bei Bildung negativer Störungen unten die Verdünnung und oben die Verdichtung der Luftschichten bewirkt.) Der Windkraft aber stellen sich keine solchen entgegenwirkenden Kräfte gegenüber, im Gegentheile findet sie innerhalb der positiven Störungen unterstützende Kräfte; sie wird daher überall ihre Thätigkeit frei entfalten können.

Die horizontale Windkraft ist es also, welche die Bewegung der Luft einleitet und dadurch die Entstehung der Winde veranlasst, wobei in negativen Störungen zugleich der Auftrieb als nach oben wirkende Kraft entfesselt wird.

Wir sind jetzt auch vollkommen in der Lage, die Wir-

kungsweise einer negativen Störung uns zu vergegenwärtigen. Stellt Fig. 4 eine solche Wettersäule im Verticaldurchschnitt vor,

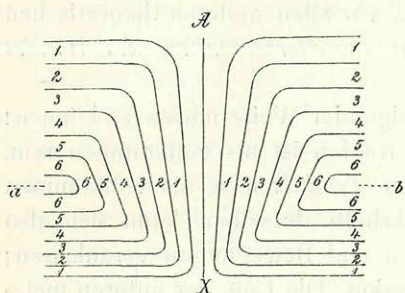


Fig. 4.

so denken wir uns dieselbe vorerst in horizontale Windlagen getrennt, die wir von unten sowohl als von oben gegen die Mitte zu mit gleichen Ziffern 1, 2, 3 . . . bezeichnen, und durch gleich bezeichnete Canäle verbinden; für die Windlagen bildet die Windkraft, für die aufsteigenden Canäle der

Auftrieb die bewegende Kraft des Luftstromes. Die Windlagen und Canäle, welche dieselben Ziffern besitzen, führen auch denselben Wind, der im Allgemeinen der ungleich vertheilten Pressung und Dichte entsprechend, unten als Unterwind ein- und oben als Oberwind ausströmt. In der Lage und dem Canal 1 strömt der Wind wegen der Reibung an der Bodenfläche langsam und seine Geschwindigkeit nimmt dann gegen die Mitte der oberen und unteren Hälfte zu, gegen die Mitte der *ganzen* Windsäule *ab* aber bis auf Null ab. Ober- und Unterwind besitzen im Allgemeinen eine gegenseitig verkehrte Richtung, die Richtungen gehen aber allmähig ineinander über; es würde jedoch zu weit führen, noch auf die muthmasslichen Richtungen des Windes in den einzelnen Windlagen einzugehen. Für die Lösung des Luftschiffahrts-Problems dürfte es daher von grösserer Wichtigkeit sein, statt dem Winde entgegensteuern zu wollen, mit Leichtigkeit jene Windlage auffinden zu lernen, wo die günstige Windrichtung herrscht.

Positiven Störungen liegt meist die Ausstrahlung der Luftschichten und des darunter befindlichen Bodens als Ursache zu Grunde; und es bildet sich hiebei nur *Eine* Kraft, die eine dem früher erwähnten Auftriebe entgegengesetzte Richtung besitzt, folglich im Vereine mit der Schwere die Lufttheilchen vertical nach abwärts zieht und daher auch die Zunahme der Dichte im unteren und die Abnahme derselben im oberen Theile der Wetterssäule zur Folge hat. Positive Störungen (d. h. jene mit unteren Maximis) entwickeln daher keine Windkraft und es sind dem-

nach immer nur die negativen Störungen (d. h. jene mit unteren Minimis), von denen die Initiative bei Entstehung eines Windes ausgeht.

Die bisherige einfache Darlegung erklärt nicht nur die Horizontalität des Windes, sondern auch eine Fülle bisher unerklärt gebliebener Thatsachen.

Sehr ausgedehnte winterliche Maxima des Nordens zeigen sich (wohl vornämlich wegen Ermangelung der Windkraft) auf bedeutende Landstrecken hin und durch längere Zeit zuweilen vollkommen windstill und auch in unseren Breiten haben wir nicht selten Gelegenheit, eine ähnliche Wahrnehmung zu machen.

Durch das Verhältniss zwischen Windkraft und Auftrieb wird auch wesentlich der Charakter der *Stürme* bestimmt. In unmittelbarer Nähe des meteorologischen Aequators entstehen niemals echte Wirbelstürme, sondern höchstens *Tornados*, weil sich nur ein Auftrieb aber keine Windkraft herausbilden kann. Auch bei den Cyclonen des indischen und der Taifunen der ostasiatischen warmen Meere herrscht noch der Auftrieb stark über die Windkraft vor und hindert somit die horizontale Ausbildung dieser Sturmsäulen, weil die dem Auftrieb zukommende mittlere Geschwindigkeit und der Querschnitt der Sturmsäulen in umgekehrtem Verhältnisse stehen müssen. Dieses Umstandes halber treten demnach die Sturm-Isobaren nahe aneinander und es bilden sich starke Windgradienten, welche die eigentliche Ursache der zerstörenden Wirkungen dieser Stürme sind. Die empor-saugende Kraft des Auftriebes bewirkt zuweilen auch hochgehende Sturmfluthen, welche nicht selten noch zerstörendere Wirkungen üben als der Sturmwind selbst.

Die Cyclonen zwischen den Wendekreisen müssen sich am häufigsten bilden, wenn die Sonne dem Zenith nahe steht, somit die Bildung eines starken Auftriebes begünstigt, und dies geschieht, wie auch die Erfahrung erweist, im Frühling und Herbst.

Dagegen besitzen die Stürme ausserhalb der Wendekreise einen wesentlich anderen Charakter. Der Auftrieb ist hier schwächer ausgebildet, als die Windkraft, und begünstigt eine grössere horizontale Verbreitung der Sturmsäule und ein minder enges Aneinandertreten der Isobaren. Diese Stürme wirken daher weit minder zerstörend als die Cyclonen, zumal als auch die

etwa entstehenden Sturmfluthen nur einer Anstauung durch den Wind, nicht aber einem förmlichen Ansaugen ihre Bildung verdanken. Häufig sind diese Stürme nur einseitig ausgebildet, indem sich die Isobaren nur durch kürzere Erstreckung näher aneinander drängen. Die grösste Häufigkeit dieser aussertropischen Stürme zeigt der Winter und zwar durch Stürme, welche vorwiegend aus nördlichen Gegenden kommen, weil die Windkraft, welche wegen der Drehung der Erde nicht rein nordsüdlich, sondern von NE. nach SW. gerichtet ist, die von N. kommenden Winde verstärkt, die südlichen Winde aber schwächt, während der Sommer eine Zeit relativer Ruhe in der Atmosphäre bringt.

Auch die Erfahrung, dass Stürme, welche zwischen den Wendekreisen entstehen und dieselben überschreiten, in der Fläche sich immer mehr ausbreiten, dagegen an Heftigkeit abnehmen, kurz den aussertropischen Charakter annehmen, bildet eine wesentliche Stütze unserer Theorie. Dass die Windkraft, welche sich niemals im Gradienten ausprägt, nicht etwa eine Fiction, sondern eine Thatsache sei, beweisen auch die Untersuchungen von Dr. *A. Sprung* und *W. Cl. Ley* (m. s. österr.-meteorol. Zeitschrift, XVI, S. 357 und 354), welche ohne weitere Angabe ihres Ursprunges das Vorhandensein einer solchen Kraft wirklich nachwiesen.

Weht ein Wind über ein Gebirge, so wird er aus seiner horizontalen Richtung abgelenkt, überweht sodann den Kamm desselben und senkt sich unter Einhaltung einer Curve, die mit der Wurfparabel verglichen werden kann, entfernt vom Gebirge wieder zu Boden. Er lässt somit einen oft ansehnlichen Theil auf der Leeseite des Gebirges unberührt und bildet hier den sogenannten Windschatten. — Ist der Wind kräftiger, wie unser winterlicher Nordwind, so verwandelt er jene Componente seiner Geschwindigkeit, welche senkrecht auf den Gebirgsabhang steht, in Pressung; die andere Componente führt ihn aber über den Kamm hinüber. Jenseits des Kammes setzt er den Pressungsüberschuss wieder in Geschwindigkeit um; gleichzeitig werden aber seine Windlagen oberhalb des Kammes sehr zusammengedrückt und diese beiden Umstände bewirken, dass seine Geschwindigkeit stark vermehrt und auch noch lebhaft empfunden wird, wenn er wieder zu Boden gesunken ist. Da der Wind

derart in seine frühere Höhenlage zurückkehrt, so behält er seine Temperatur und wird auch nicht viel trockener. Derart entstehen die *borartigen Winde*.

Gründlich hievon verschieden zeigt sich die Entstehung des Föhns. Da die Alpen ihren Steilabfall gegen Süden wenden, so werden sie manchmal den ganzen aus südlichen Gegenden kommenden Wind aufhalten und seinen *ganzen* Bewegungswerth in Pressung und Wärme umsetzen. (Umwandlung der kinetischen in potentielle Energie.) Es entsteht dann auf der Windseite des Gebirges starke Umwölkung bei steigendem Barometer und steigender Temperatur. Da aber die Wirkung des leeseits gelegenen, oft ziemlich entfernten unteren Minimums fort dauert, so erübrigt nichts, als dass sich die ober des Gebirgskammes liegenden Luftschichten mit grosser Heftigkeit zu Thal stürzen. In der höheren Gebirgsregion können diese Winde noch leidlich kühl und feucht sein und selbst Niederschläge liefern; im Thale aber, wo ein schon beträchtlich höherer Luftdruck herrscht, werden sie nicht nur heftig, sondern auch warm und trocken empfunden werden. Dr. *Ful. Hann* wies zuerst nach, dass der Föhn aus höheren Luftschichten stammen müsse und machte auch auf die starke Barometer-Differenz zwischen Wind- und Leeseite des Gebirges aufmerksam, welche diese Erscheinung begleitet.

6. Bewegungsgesetze des Windes.

Nachdem wir die Ursache der Horizontalität des Windes nachgewiesen zu haben glauben und indem wir an die Richtung erinnern, welche der Wind mit den Isobaren einzuschliessen pflegt, wollen wir nun die Bewegungsgesetze desselben weiter verfolgen.

Es fehlte bisher durchaus nicht an Versuchen, dieselben rechnungsgemäss zu ermitteln, ja dieser Gegenstand bildete sogar ein Lieblingsstudium der Meteorologen. Allein alle diese Arbeiten, unter denen jene von *Ferrel*, dann von *Guldberg* und *Mohn* die meiste Anerkennung gefunden zu haben scheinen, betrachten erstlich die Isobaren statt der Isosteren (Linien gleicher Luftdichte) als die Niveaulinien für die Windbewegung und vernachlässigen derart den Einfluss, welchen die Verschiedenheit

der Temperatur auf die Windbewegung übt; sie beachten auch nicht immer das Grundgesetz der Horizontalität des Windes, sie ignoriren endlich oder berücksichtigen doch zu wenig die Continuität, d. i. den durchgreifenden Zusammenhang des Windes; denn es genügt nicht für den Wind, wie etwa für das Wasser, das seine Dichtigkeit stets beibehält, bloss Eine Continuitäts-Gleichung anzusetzen, sondern es müssen deren wenigstens zwei, nach Umständen, wie bei der Untersuchung der Passate, selbst deren drei angesetzt werden.

Ich habe nun versucht, die Hauptgesetze der Windbewegung bloss aus den Continuitäts-Bedingungen abzuleiten und Resultate erlangt, welche durchwegs mit den Thatsachen stimmen. Ich basirte die betreffenden Differenzial-Ansätze bloss auf die zwei unläugbaren Thatsachen, dass die Gewichts- oder präciser: die Masseneinheit der Luft sich überall gleich bleibe und dass ferner ein äusserst kleines Theilchen einer Windlage nach zwei senkrecht aufeinander gemessenen Richtungen gleiche Dichte besitzen müsse.¹⁾

Es ergab sich hieraus:

1. Dass der Wind bestrebt sei, mit den Isosteren stets einen gleichbleibenden Kreuzungswinkel einzuhalten,
2. dass seine Geschwindigkeit im verkehrten Verhältnisse stehe zur Quadratwurzel der Luftdichte,
3. dass seine Geschwindigkeit umsomehr wachse, je mehr sich jener Kreuzungswinkel von 45^0 gegen die beiden Grenzen 0^0 und 90^0 entfernt.

Da wir nun wissen, dass der ausströmende Wind mit den Isobaren (richtiger Isosteren) einen Winkel $> 45^0$ bilde, dagegen aber der einströmende Wind diesen Winkel niemals erreiche, so kann der Winkel von 45^0 als Trennungsgrenze zwischen beiden angesehen werden. Es stimmt vollkommen mit der Erfahrung überein, dass bei einströmendem Winde der Kreuzungswinkel mit den Isobaren (richtiger Isosteren) um so kleiner werde, je kräftiger der Wind weht, so wie es anderseits durch die Beobachtungen

¹⁾ Das Gesetz lautet: $v = k \sqrt{\frac{c^2 + 1}{cs}}$, wobei v die Windgeschwindigkeit,

s die Luftdichte, c die Tangente des Kreuzungswinkels mit den Isosteren und k eine Constante bedeutet. (In der eingangs erwähnten Schrift ist die letzte übersehen.)

Willh. v. Bezold's über die bairischen Hochgewitter (österreich. meteor. Zeitschr. v. 1883, S. 200) bestätigt wird, dass bei dem besonders kräftig entwickelten Maximum derselben der Wind fast rechtwinklig diese Niveaulinien durchkreuzt.

Hieraus folgt auch, dass die Reibung, da sie die Windgeschwindigkeit herabsetzt, bei einströmendem Winde den Kreuzungswinkel vergrössern, bei ausströmendem aber verkleinern müsse, wovon wenigstens das Erstere durch die Versuche von *Cl. Ley* bestätigt wird, da dieselben nachweisen, dass die besagten Kreuzungswinkel in den Binnenstationen grösser seien, als in den für einen Vergleich passend gelegenen Küstenstationen.

Aus dem Satze 2) geht endlich hervor, warum die Winde der Maxima im Allgemeinen mässiger seien, als innerhalb der Minima und nur gegen den Rand der ersteren etwas kräftiger werden, während sie in den Minimis gegen das Innere zu in der Regel sehr an Stärke gewinnen.

Man ersieht hieraus, dass sich die Sätze 2) und 3) nach allen Richtungen hin, nach welchen man sie prüfen möge, bestätigen, während der Satz 1) in beschränkterer Form schon von *Guldberg* und *Mohn* aufgestellt wurde.¹⁾

Es war jedenfalls kein glücklicher Griff, die Gesetze des Windes durchaus nach der Schablone für Centralkräfte berechnen zu wollen; denn in diesem Falle müsste das Gesetz der gleichbleibenden Sectorengeschwindigkeit, welches bekanntlich für alle Centralkräfte (wenn auch hier wegen der Reibung nicht genau, sodoch annähernd) giltig ist, wenigstens annähernd zutreffen, während eine solche Annahme den Anforderungen der Continuität, die doch vor allem als aufrecht bestehend erachtet werden müssen, sowohl für Maxima als für Minima widerspricht.

7. Ventilation der Erde.

Bisher haben wir die Störungen mit axialer Form vorausgesetzt, wo dann die Isobaren zwar ziemlich unregelmässige, aber häufig in sich zurückkehrende Linein bilden, welche sonach um

¹⁾ Werden die Isobaren (richtiger die Isosteren) zu Kreisen, so wird die im Satz 1) angedeutete Curve zur logarithmischen Spirale, welche die genannten Meteorologen ihrer Untersuchung des Windes zu Grunde legten.

die Axe herumlaufen. Die Störungen können aber auch gürtelförmige Gestalt besitzen, wo dann der Verlauf der ringförmigen Isobaren sich mehr oder weniger gewissen Parallelkreisen der Erde anschliesst. Diese Störungsgürtel sind es nun, welche den Hauptwindwechsel der Erde vermitteln. Ein negativer Störungsgürtel befindet sich im meteorologischen Aequator, welcher in unserem Sommer sich vom geographischen Aequator weiter nach Norden entfernt, aber auch in unserem Winter niemals denselben nach Süden überschreitet. Zu diesem äquatorialen Gürtel, welcher die aufsteigenden Passate aufnimmt, gehören als positive Störungsgürtel für die niedersteigenden Passate die unteren Maxima längs der beiden Wendekreise, welche zwar (insbesondere auf der nördlichen Halbkugel wegen der vorherrschenden Landflächen) sehr zerstückt und unregelmässig erscheinen, aber doch deutlich zweien um die Erde herumreichenden Gürteln angehören.

Gerade so, wie aber bei einer axialen Windsäule die Luftströme rings um die Windaxe herum auf- oder niedersteigen, müssen auch längs eines Störungsgürtels diese Ströme sich

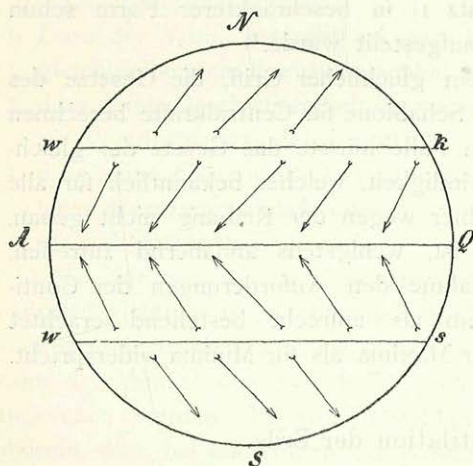


Fig. 5.

beiderseits des Gürtels empor- oder herabbewegen. Hält man diesen Umstand fest, dann ist es nicht schwer, die Hauptluftströme der Erde herauszufinden, wobei wir uns die letztere mit Wasser bedeckt denken, um diese Ströme regelmässig zu erhalten.

Zwischen den beiden Wendekreisen wk und ws (Fig. 5) einerseits und dem Aequator AQ andererseits

strömen gegen den letzteren die unteren Passatwinde und zwar wegen der Erdrotation auf der nördlichen Hemisphäre aus NE. gegen SW. und auf der südlichen aus SE. gegen NW. Nahe am Aequator AQ steigen sie unter Bildung kräftiger Niederschläge empor, kehren dann als obere oder sogenannte Antipassate zu

den Wendekreisen zurück und steigen hier nieder, um *unverkürzt* wieder ihren Kreislauf neu aufzunehmen. Die vorherrschende Ansicht ist, dass sich der niedersteigende Passat spalte, und einen Theil seines Luftquantums gegen die Pole sende. Die Annahme einer solchen bloss einseitigen Theilung lässt sich aber theoretisch nicht rechtfertigen. Es müssen im Gegentheile die Oberwinde auf beiden Seiten der Wendekreis-Störungsgürtel zuströmen und ebenso müssen unten die Unterwinde nach beiden Richtungen abströmen, von denen der äquatorwärts abziehende Unterwind der unverkürzte Passat, der polwärts strömende aber jener schon früher erwähnte Circumpolarwind ist, für welchen der niedrigere Barometerstand nächst den Polen die negative Störung darstellt.

Innerhalb dieser vier Hauptsysteme der irdischen Winde finden sich dann, gleichsam in ihnen eingeschachtelt, mannigfache positive und negative Störungen von vorwiegend axialer Form, welche unter sich und wohl auch stellenweise mit Theilen der Wendekreisgürtel im Windaustausche stehen und die Windrichtungen in beschränkteren Räumlichkeiten bestimmen, aber — wie schon berührt — eine viel grössere Veränderlichkeit ihres Standpunktes besitzen, als die grossen Störungsgürtel der Erde, deren Lage nur durch die Jahreszeit beeinflusst wird.

Es fragt sich nun, worin eigentlich die Ursache der Passate gelegen sei, und warum denn gerade vier Hauptwindssysteme auf der Erde bestehen, während es den Anschein hat, dass wegen des vom Aequator gegen die Pole abnehmenden Barometerstandes deren auch zwei ausreichend wären?

Es sind über die Ursache der Passate verschiedene Meinungen aufgetaucht, von denen wir nur zwei hervorheben wollen. Man hat geglaubt, das Emporsteigen der Passate unterm Aequator erfolge aus dem gleichen Grunde, wie jenes der warmen Luft in einer hohen Esse; allein die Dinge liegen hier wohl ganz anders. Allerdings entwickelt sich unterm Aequator durch die starke Erhitzung der unteren Luftschichten eine vertical empordrängende Kraft, welche wir Auftrieb nannten, der aber ohne Hinzutreten einer anderen seitlich wirkenden Kraft die Wirkung der Schwere und der Widerstand der oberen tellurischen Luftschichten das Gleichgewicht halten würden; es ist daher

nicht füglich abzusehen, dass hiedurch eine Störung der Ruhe eintreten sollte.

Ein sehr hervorragender Meteorologe folgert aus dem polwärts abnehmenden Luftdrucke ein Gefälle für die Luft, die sich also hiernach — etwa wie das Wasser längs eines abschüssigen Rinnsales — innerhalb des Antipassates polwärts bewegen soll. Allein bei der strengen Horizontalität, welche jeder Wind jederzeit einhalten muss, kann es eben ein solches Gefälle nicht geben.

Die wahre Ursache der Passate ist die aus der Erwärmung der unteren Luftschichten resultierende Windkraft, welcher sich keine andere entgegenwirkende Kraft gegenüber stellt, die geeignet wäre, das Gleichgewicht zu vermitteln. Die beiderseits an den Aequator herandrängenden unteren Passate entfesseln den äquatoriellen Auftrieb, welcher nunmehr für diese emporsteigenden Luftströme als bewegende Kraft eintreten kann. In den höheren Lagen biegen sich dieselben wieder um und bilden beiderseits des Aequators die oben rückkehrenden Antipassate.

Denken wir uns nun den Antipassat durch lauter zur Erdoberfläche concentrische Kugelschalen in seine einzelnen Windlagen getrennt, so ist leicht einzusehen, dass er im Fortschreiten stets enger und enger werdende ringförmige Querschnitte passieren, daher fort und fort schneller strömen muss, was bei dem Umstande, dass hier potentielle Energie in kinetische umgewandelt wird, einen polwärts stets abnehmenden oberen Barometerstand im Gefolge haben wird. Endlich aber erreicht der letztere eine derartig geringe Höhe, dass sich eine ringförmige Störung mit oberem Minimum und unterem Maximum bildet und es bleibt dem Antipassat keine andere Wahl, als längs dieses Ringes zur Erde niederzusteigen und auch den polseitig herandrängenden Oberwind mitzunehmen. Der äquatorseitige niedersteigende Stromtheil liefert dann wieder an der Erdoberfläche nach seinem Umbiegen den unteren Passat, der polseitige aber den polwärts strömenden Circumpolarwind.

8. Ostwärtsbewegung der Sturmsäulen in höheren Breiten.

Es ist eine bekannte Sache, dass sich Sturmcentra (mit unterem Minimum) polseits der Wendekreise mehr oder minder

rasch gegen Osten bewegen, und dass sich nur sehr selten das Gegentheil ereigne. Sehr instructiv erweist sich in dieser Beziehung ein Aufsatz Dr. *J. van Bebbes* im Dezemberheft des Jahres 1883 der Zeitschrift der österr.-meteorologischen Gesellschaft. Von den meisten Stürmen, welche nach Europa eindringen, haben wohl die wenigsten ihren Ursprung auf dem atlantischen Ocean selbst, sondern die meisten kommen vom amerikanischen Festlande zu uns herüber, wo sie zumeist in den dortigen Gebirgen und selbst in den Rocky mountains entspringen. Viele dieser Stürme erlahmen auf dem atlantischen Ocean, nicht wenige erreichen aber, beständig ostwärts vordringend, den europäischen Continent und durchziehen denselben.

Bebber hat nun für das Lustrum von 1876 bis 1880 jene Bahnen ermittelt, welche diese Stürme innerhalb Europa mit besonderer Vorliebe verfolgen, und sie in eine Karte gebracht, welche in vergrössertem Massstabe gezeigt wurde. Es möge nur noch hervorgehoben werden, dass die nach NE. gerichteten Zugstrassen in der wärmeren Jahreszeit vorherrschen, während dieselben in der kälteren fast ausschliesslich nach SE. gerichtet sind. Die Zeit gestattet nicht, näher auf diesen interessanten Aufsatz einzugehen, und muss daher auf diesen selbst verwiesen werden.

Ueber diese Ostwärtsbewegung der Sturmcentra wurden mannigfache Ansichten ausgesprochen; es scheint aber (und dies blieb bisher unbeachtet), dass die Ursache derselben lediglich in den mechanischen Gesetzen für die Kreiselbewegung zu suchen sei; denn denkt man die Sturmsäule betreffs ihrer Drehung im Beharrungszustande und abstrahirt man von der radialen Bewegungs-Componente der Windtheilchen (was man desshalb darf, weil die austretenden Theilchen stets durch neu eintretende ersetzt werden), so bildet die Sturmsäule in der That einen Luftkreisel. Jeder Kreisel strebt aber seine absolute Winkelgeschwindigkeit beizubehalten, und dabei wird der Fusspunkt seiner Axe keine Veranlassung haben, seinen Standpunkt zu verändern, so lange die Unterlage in Ruhe bleibt oder sich geradlinig fortbewegt. Besitzt jedoch die Basisfläche selbst eine Drehung um eine bestimmte Axe, wie dies bei der Erdkugel der Fall ist, so kann die Windsäule, als Kreisel betrachtet, in allen Stadien ihre

absolute Winkelgeschwindigkeit nur dann beibehalten, wenn die Windaxe eine sogenannte »Translation«, hier also eine Verschiebung gegen Osten erleidet. Die Untersuchung ergibt,¹⁾ dass diese Translation an den Polen und am Aequator Null sei, unter 45° geographischer Breite aber ein Maximum von 333 Kilometer in der Stunde betragen würde, welcher Werth jedoch in Wirklichkeit nie erreicht werden kann, weil andere hindernde Kräfte, wie die Reibung und eine zweite entgegengewirkende Kraft, welche der nächste Absatz entwickeln wird, der vorwärts schreitenden Windsäule sich entgegen stellen.

9. Westwärts-Bewegung der Sturmsäulen in der heissen Zone.

Wenn man einen schweren Kreisel, welchen man in schnelle Umdrehung gesetzt hat, in ein Gehäuse einschliesst, so empfindet man einen sehr fühlbaren Widerstand, sobald man dasselbe in eine andere Lage bringen will. Der Grund hievon ist, dass die Drehungsaxe ihre ursprüngliche Lage beizubehalten strebt. Aus gleicher Ursache würde eine Windaxe, wenn der Boden keinen Widerstand leisten würde, während einer einmaligen Umdrehung der Erde einen Kegelmantel beschreiben, dessen Axe eine Parallele zur Erdaxe ist. Da aber der Boden diese in sich wiederkehrende Bewegung nicht zulässt, so wird sich die Sturmsäule bloss neigen, und zwar unter dem Aequator rein westlich, weiter gegen den Nordpol aber immer mehr nordwestlich. Diese niederbeugende Kraft ist senkrecht auf die Sturmaxe wirkend zu denken, und zerlegt sich in zwei Componenten, eine horizontale und eine verticale, von denen wir vorerst nur die erstere ins Auge fassen. Da nun jene Kraft, welche die Sturmsäulen nach Osten treibt, in der heissen Zone sehr geringe, die eben erwähnten horizontale Kraftcomponente aber ihre grössten Werthe besitzt, so wird die letztere hier bedeutend überwiegen und die Sturmsäulen müssen sich beim Aequator nach Westen, gegen den nördlichen Wendekreis hin aber mehr und mehr gegen NW. bewegen. Ueberschreitet nun eine solche Sturmsäule den nördlichen Wende-

¹⁾ Der Werth der Translations-Geschwindigkeit wird hier durch: $\frac{1}{2} r w \sin 2 \varphi$ ausgedrückt, wobei r den Erddhalbmesser, w die Winkelgeschwindigkeit der Erde und φ die geographische Breite bedeutet.

kreis, so fängt die östlich treibende Kraft an, nach und nach immer mehr zu überwiegen und die Sturmsäule muss endlich einen nordöstlichen Weg einschlagen, wobei sie sich wegen Abnahme des Auftriebes immer mehr ausbreiten und geringere Gradienten und daher auch geringere Windgeschwindigkeiten annehmen wird. Alle diese Umstände werden durch die Erfahrung genau bestätigt.

Auf der südlichen Hemisphäre bilden die Wege, welche die Sturmsäulen einschlagen, gleichsam das Spiegelbild jener Bahnen, die sie auf der nördlichen einhalten.

In diesem Zurückhängen der Sturmsäulen gegen W ist auch der Grund zu suchen, wesshalb bei dem Vorrücken derselben gegen Osten nach den Beobachtungen von *Loomis* die barometrischen Aenderungen auf hohen Bergrücken *später* eintreten als am Fusse der Berge.

10. Vertheilung von Druck und Temperatur innerhalb einer Windsäule.

Der Verticalcomponente jener niederbeugenden Kraft, von welcher eben die Rede war, muss eine andere gleichgrosse und vertical gerichtete Kraft entgegen wirken, weil ja sonst die Windaxe ihre schiefe Lage nicht constant beibehalten könnte. Es muss sich daher nothwendig zwischen den zwei Theilen einer Windsäule ein Pressungsunterschied herausbilden, welcher so gross ist, wie der verticale Theil der niederbeugenden Kraft. Der hintere oder westliche bis nordwestliche Theil derselben muss daher höhere Barometerstände zeigen, wie der östliche bis südöstliche. Da aber die Windsäule nicht etwa vorerst vertical steht und dann erst niedergebeugt wird, sondern sich *sogleich* in schiefer Lage bildet, so ist hiemit keine besondere Arbeit verbunden und wir befinden uns daher hier ganz in derselben Lage, wie bei der Erklärung des verkehrten Ganges am Thermometer und Barometer bei Ausbildung unterer Minima und Maxima des Druckes. Mit dem Steigen des Barometers im nordwestlichen Theile der Wettersäule muss daher ein Fallen des Thermometers und umgekehrt im südöstlichen Theile derselben mit dem Fallen des ersteren ein Steigen des letzteren verbunden sein. Dies ist

meines Erachtens der eigentliche Grund für die Unterschiede in Druck und Temperatur der beiden Hälften einer Wettersäule, von denen die stärkere Bewölkung und der grössere Regenreichthum der südöstlichen Hälfte die gleichzeitige nothwendige Folge ist. Die Provenienz der Winde, der man gewöhnlich dieses verschiedene Verhalten der beiden Hälften einer Wettersäule zuschreiben pflegt, kommt bezüglich der Erklärung dieses Unterschiedes erst in zweiter Linie zu nennen. Die nordwestliche Hälfte der Wettersäule empfängt vornehmlich jene Winde, deren mittlerer Strich NE. ist, woher bekanntlich die kältesten und trockensten Winde kommen; der anderen Hälfte wehen aber vornehmlich wärmere und feuchte Winde aus SW. zu. Wie sehr aber auch diese verschiedenen Winde zu entgegengesetzter Gestaltung der Witterung in den beiden Hälften der Wettersäule beitragen mögen, so ist doch die Hauptursache in der berührten niederbeugenden Kraft zu suchen, deren beschriebene Wirkungen, wenn auch in abgeschwächtem Zustande, auch dann zum Vorscheine kommen müssten, wenn die zuströmenden Winde von anderer Beschaffenheit wären.

Schluss.

Es gäbe ausser den eben behandelten noch manche andere meteorologische Erscheinungen zu besprechen, unter denen die Discussion über die Umstände, unter denen ein Wind seine potentielle Energie beibehält, also sanft wehend und warm erscheint, oder aber umgekehrt diese in kinetische Energie verwandelt, also unter Abkühlung grosse Geschwindigkeit annimmt und vielleicht gar zum Sturme wird, wohl als das wichtigste noch ausständige Thema erscheint. Da aber die vorgerückte Zeit und der enge Rahmen dieses Aufsatzes zum Schlusse drängen, so muss bezüglich dieser im Rückstande gebliebenen Gegenstände auf die eingangs citirte Schrift des Vortragenden verwiesen werden.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Mitteilungen des naturwissenschaftlichen Vereins für Steiermark](#)

Jahr/Year: 1886

Band/Volume: [22](#)

Autor(en)/Author(s): Hauenfels- Miller Albert Ritter von

Artikel/Article: [Ueber die Grundgesetze der Meteorologie. 205-236](#)