

Ueber
klimatische und mechanische Wirkungen
der Winde.

Von

DR. Josef Chavanne.

Vortrag, gehalten am 15. December 1880.

In der vielgliedrigen Kette meteorologischer Elemente, deren durchschnittlichen Zustand an einem Orte wir mit Einschluss der täglichen und jährlichen Veränderungen desselben als Klima bezeichnen, spielen die Luftströmungen oder Winde eine hervorragende Rolle. Ihre Wirkungen und Einflüsse auf die unorganische wie auf die gesammte organische Welt sind äusserst mannigfaltig. Ganz abgesehen von dem tief-einschneidenden Einflusse der Winde auf unser Alltagsleben, auf unsere Gesundheit, auf Handel und Wandel, werden wir die Abhängigkeit von den Bewegungsprocessen in der Atmosphäre in noch höherem Grade an der gesammten Thier- und Pflanzenwelt ausgeprägt finden; staunenswerth sind die Veränderungen, welche die Winde an den Festen der Erdoberfläche im Laufe der Jahrtausende historischer und vorhistorischer Zeit hervorgerufen haben.

Doch die Einflüsse der Winde reichen noch weiter; wir werden in der Culturgeschichte der Völker den innigen Zusammenhang der Entwicklung gesitteter Zustände und geistigen Fortschrittes mit der Herrschaft der Winde, wir werden in der Entdeckungsgeschichte der Erde, ja selbst in der politischen Ge-

schichte der Staaten und Völker wiederholt den fördernden oder hemmenden Einfluss der Winde und ihrer ungleichen Vertheilung erkennen.

Um nur einige Belege hiefür zu geben, möchte ich darauf hinweisen, dass die für das Alterthum hervorragenden Leistungen der Priester des altägyptischen Culturvolkes in der Astronomie nur in einem Lande möglich waren, in welchem eben, wie in Aegypten, die Herrschaft des trockenen Nordost-Passates nahezu allabendlich über den Beobachter ein Blau wölbt, das in unseren Breiten unbekannt ist, und dort dem freien Auge Alles erkennen liess, wozu wir erst der Erfindung optischer Instrumente bedurften. Die hohe Culturstufe Indiens, und Chinas, die Blüthe des Ackerbaues daselbst, sie ist wohl wesentlich ein Werk des rhythmischen Wechsels der Nordost- und Südwest-Monsune, welche hier Trockenheit und Regenfall reguliren.

Ohne die Beständigkeit des Nordost-Passates auf dem atlantischen Ocean hätte wohl Columbus kaum die neue Welt entdeckt und der westafrikanische Passatstaub, welcher zwischen Cap Bojador und Cap Verde die Luft oft derart verdunkelt, dass das vorliegende Meer deshalb „Dunkelmeer“ benannt wird, hielt mehr als Jahrtausende die Seefahrer von der Umschiffung Afrikas ab. So mancher Kriegszug, so manche Schlacht wurde durch Stürme in einem aller taktischen Wahrscheinlichkeit entgegengesetzten Sinne entschieden, so z. B. bei den Kämpfen zwi-

schen Hunnen und Mailla auf den Schlachtfeldern der Wüste Gobi oder nöthigte die Gegner zu gegenseitiger Hilfeleistung, wie z. B. der furchtbare Hurrican, welcher 1780 Barbados und andere kleine Antilleninseln heimsuchte und den kriegführenden französischen und englischen Flotten gebieterisch Waffenstillstand auferlegte. Solche und ähnliche Nachweise des vielgestaltigen Einflusses der Winde liessen sich in erstaunlicher Zahl anführen, heute muss ich mich darauf beschränken, die rein klimatischen und die wichtigsten mechanischen Wirkungen der Winde auf der Erdoberfläche zu besprechen.

Um diese in ihrer eigentlichen Wesenheit beurtheilen zu können, müssen wir uns zuerst klar zu machen suchen, woher die Winde die Fähigkeit zur Beeinflussung des Klimas und zu Veränderungen an der Oberflächengestaltung der Erde ableiten, und uns deshalb das Bild des allgemeinen Windsystems in's Gedächtniss rufen.

In Folge der Stellung der Erde zur Sonne und der dadurch bedingten ungleichen Wärmevertheilung entsteht nahe am Aequator eine Zone grosser Erwärmung. Die Luft wird verdünnt und es entwickelt sich, unterstützt durch die Wirkung der hier ausgeprägtesten Centrifugalkraft, ein mächtiger aufsteigender Luftstrom. Die dadurch entstehende Lücke in den unteren Schichten muss jedoch ausgefüllt werden, von Norden und Süden strömt daher die Luft nach dem Aequator. Diese Luftströmungen, welche wir als die

beiden Passate bezeichnen, werden jedoch durch die Erdrotation von ihrer ursprünglichen Richtung, und zwar auf der nördlichen Hemisphäre zu Nordost, auf der südlichen zu Südost. abgelenkt. Die am Aequator aufgestiegene Luft erhält dadurch, dass die Schichten gleichen Luftdruckes gegen die Pole hin abnehmen, d. h. dass in gleicher Höhe über der Erdoberfläche der Luftdruck in der angegebenen Richtung abnimmt, ein Gefälle und fliesst dahin ab, wobei sie etwa unter 30 Grad nördlicher und südlicher Breite als sogenannter Antipassat herabsinkt und nun theilweise wieder nach dem Aequator zurückkehrt, theilweise aber, und zwar in ihren oberen Schichten als Südwest nach höheren Breiten polwärts strömt. Wir können mithin auf jeder Halbkugel drei Windzonen zu beiden Seiten des nur wenige Grade breiten Calmengürtels nahe dem Aequator unterscheiden, und zwar die Zone des beständigen Passatwindes, eine Zone zwischen 26 und 39 Grad nördlicher Breite, welche nur im Sommer in den Passatgürtel aufgenommen ist, d. i. die sogenannte subtropische Zone, und endlich die Zone von der äussersten Polargrenze des Passats bis zum Pol, charakterisirt durch unregelmässige Winde.

Wäre nun die ganze Aequatorialzone der Erde ausschliesslich mit Wasser bedeckt, so würden der Calmen- und Passatgürtel sich mit grosser Regelmässigkeit um die ganze Erde herumschlingen. Diese Regelmässigkeit wird aber thatsächlich durch die innerhalb der Tropenzone sich ausdehnenden Fest-

landmassen wesentlich gestört, indem sich die Luft über diesen im Sommer weit stärker als über dem umgebenden Meere erhitzt und deshalb über den Festländern nach höheren Breiten abfließt, während in den unteren Luftschichten der Luftdruck sinkt und die Luft der Umgebung zur Ausfüllung der entstandenen Lücken herangezogen wird. Am auffallendsten gestaltet sich diese Störung des Passatgürtels in dem allseitig von Landmassen eingeschlossenen indischen Oceane. Die Region der höchsten Erwärmung entfernt sich hier am weitesten vom Aequator und liegt im Innern des grossen asiatischen Continents, während die kühlere, daher dichtere und schwerere Luft über dem Ocean nach dem luftverdünnten Raume strömt und dadurch der Passatgürtel eine Unterbrechung erleidet. Wir treffen daher im ganzen nördlichen indischen Oceane, von den Küsten von Arabien, Persien und Ostindien, bis zum Himalaya-Gebirge, Hinterindien und China, Südwest-, respective Süd- und Südost-Winde (im nördlichen China, da hier der luftverdünnte Raum im Westen liegt).

Im Winter werden wir die entgegengesetzte Erscheinung beobachten, nunmehr ist die südliche Halbkugel höher erwärmt, das Verhältniss kehrt sich um, über dem indischen Ocean und über Ostindien weht der regelrechte Nordost-Passat, während auf dem Festlande von Australien an seinen Nord- und Nordwestküsten sich im kleineren Massstabe die

früher geschilderten Verhältnisse wiederholen und Nordwest-Winde auftreten.

Nach dem arabischen Worte Mausim nennt man diese mit der Jahreszeit wechselnden Winde Monsune, wir bezeichnen daher die zur Sommerszeit wehenden Winde im nördlichen indischen Oceane als Südwest-Monsune, die im Winter wehenden Nordost-Winde als Nordost-Monsune, auf der südlichen Erdhälfte hingegen in derselben Aufeinanderfolge als Nordwest- und Südost-Monsune. Die Uebergangszeit zwischen dem Monsunwechsel wird zumeist durch heftige Stürme, die sogenannten Taifune charakterisirt.

In noch höherem Grade als in der tropischen und subtropischen Zone werden durch die ungleiche Vertheilung von Festland und Meer die Winde der gemässigten Zone und ihre Richtung beeinflusst. Ausser dem durch das Niedersinken der Luft an der Polargrenze des Passats entstehenden Gürtel hohen Luftdruckes, bilden sich im Winter zwei inselförmige Räume hohen Luftdruckes in höheren Breiten über den beiden grossen Continentalmassen aus, während auf dem nördlichen atlantischen als auch auf dem stillen Ocean zwei Gebiete niedrigsten Luftdruckes entstehen. Die Folge dieser Luftdruckvertheilung wird ein Zuströmen der Luft in den oberen Schichten vom Meere nach den Continenten, in den unteren Schichten von diesen nach dem Meere zu sein.

Im Sommer greifen die entgegengesetzten Verhältnisse Platz. Nun ist die Luft über dem Innern

Asiens derart aufgelockert, dass hier die Region des niedrigsten Luftdruckes sich befindet, ebenso, aber nicht so scharf ausgeprägt, im Innern Nordamerikas. Auf dem Ocean hingegen sind die Gebiete niedrigen Luftdruckes verschwunden, die Folgen dieser Vertheilung werden gerade die umgekehrten als im Winter sein.

Wenn wir nun diese Vertheilung des Luftdruckes mit jener der Wärme auf der Erdoberfläche vergleichen, werden wir finden, dass im Allgemeinen die Gebiete positiver Temperatur-Anomalien auch Gebiete niedrigen Luftdruckes sind, wogegen jene hohen Druckes den Gebieten negativer Anomalien entsprechen.

Aus dem Vorhergesagten haben wir die Ursache, den Ursprung der Winde und ihre mannigfachen Modificationen entnommen; zur Bestimmung der Richtung der Winde müssen wir das sogenannte Buys Ballot'sche Gesetz anwenden: Der Wind strömt immer von dem höheren Luftdrucke nach dem niederen, wobei er durch die Erdrotation sich auf unserer Hemisphäre nach rechts, auf der südlichen nach links dreht. Vergegenwärtigen wir uns nun nochmals die Luftdruckvertheilung über den Continenten und Oceanen, so wird uns das ganze System der Winde in aussertropischen Breiten klar werden, so z. B. werden wir uns erklären können, warum im Winter die dichte und kalte Luft aus dem Innern Asiens nicht nur als Nordost nach dem Aequator, sondern

auch als Nordwest nach dem stillen Oceane abfließt wir werden weiter die Unzukömmlichkeit erkennen, jeden Nordost- oder Nordwind als Polarstrom, jeden Südwest- oder Westwind als Aequatorialstrom bezeichnen zu wollen. Der Polarstrom ist wie Woeikof bemerkt, vielmehr jener Wind, welcher in den zu einer gewissen Jahreszeit kälteren oder kältesten Räumen unserer Atmosphäre entsteht.

Wir haben bisher die Winde lediglich mit Rücksicht der thermischen Eigenschaft der von ihnen bewegten Luft betrachtet; die Sonne aber, welcher die Winde ihr ganzes Dasein verdanken, scheint nicht nur über Festländer, sondern auch über ausgedehnte, die Festländer an Umfang weit übertreffende Wasserflächen. Sie erzeugt also nicht bloß die Auflockerung der Luft und aufsteigende Luftströme, die barometrischen Minimas, deren Ausgleichung den grossartigen Kreislauf der Atmosphäre bedingt, sondern ruft auch die fortwährende Dampfbildung über den Gewässern hervor, hebt die sich entwickelnden Wasserdampfmassen in die Höhe und zieht diese mit in den grossen, ununterbrochenen Kreislauf der Lüfte. So geschieht es, dass, während der eigentliche Ocean bloß die Ränder der Continente bespült, ein anderes Meer, getragen von den Lüften, ringsherum über unseren Planeten fließt.

Eben dieser Eigenschaft, bald trocken bald feucht zu erscheinen, je nach der Beschaffenheit des Ursprungsortes und des zurückgelegten Weges verdanken

die Winde ihre grosse Rolle im Witterungsprocesse, eine Rolle, welche schon in der volksthümlichen Nebeneinanderstellung von „Wind und Wetter“ einen prägnanten Ausdruck findet. Thatsächlich sind auch die Veränderungen in dem durchschnittlichen Zustande der Feuchtigkeit, des Niederschlags, der Bewölkung, des Luftdruckes wesentlich von der Herrschaft der Winde bedingt und selbst die Luft-Temperatur erleidet häufig genug empfindliche Abweichungen von dem durch den Stand der Sonne und die Insolation bedingten Gange. Die milden Winter, regenreichen Sommer, die plötzlichen Temperatursprünge nach einer Reihe constant kalter oder heisser Tage, sie sind ein Werk der Winde. Rufen wir uns die Vertheilung des Luftdruckes in der jährlichen Periode über der Erdoberfläche in Erinnerung, so werden wir auch sofort in der Lage sein, den atmischen Charakter der Winde zu bezeichnen. Es werden Winde, welche aus höheren Breiten stammen, daher relativ kalte Luft mit sich führen, bei ihrem Vordringen gegen die Gebiete niedrigen Luftdruckes immer an Temperatur gewinnen und sich gleichzeitig durch die immer gesteigerte Capacität, Wasserdampf aufzunehmen, vom Sättigungspunkte entfernen und als trockene Winde erscheinen, während umgekehrt Winde, welche aus niederen Breiten und über das Meer nach dem Innern der Festländer wehen, durch Abkühlung zur Condensation ihres Wasserdampfes und zu Niederschlägen gezwungen werden,

während die durch den Wasserdampf bishin gebundene Wärme ihre Temperatur erhöhen und sie uns als warme Winde erscheinen werden.

Diese zweifache Natur der Winde macht sie aber neben der Wärme zum mächtigsten klimatischen Factor. Dieser zweifachen Natur verdanken sie ihren mannigfachen klimatischen Einfluss, aus ihr lassen sich, unter Würdigung des Einflusses der verticalen Gliederung der Festländer, alle, selbst die auffallendsten klimatischen Anomalien erklären, deren wir auf dem Erdenrunde begegnen. Sie werden dadurch gleichsam zu grossartigen Adern, deren sich das Wasser in tropfbar-flüssiger und dampfförmiger Gestalt zu seiner Circulation über den Continenten bedient, sie verrichten die scheinbare Danaidenarbeit im Kreislaufe des Wassertropfens der zur Erde fällt.

Nachdem wir nun die Winde in ihrer doppelten Eigenschaft kennen gelernt haben, wollen wir uns mit ihren Wirkungen näher bekannt machen.

Eine der tiefeinschneidendsten klimatischen Wirkungen der Winde, respective ihrer Vertheilung ist der thermische Gegensatz der West- und Ostküsten der grossen Continentalmassen von Nordamerika und Europa-Asien, der besonders im Winter zur Geltung kommt. Der Luftdruckvertheilung entsprechend, herrschen in dieser Jahreszeit an der Ostküste von Asien und an der Ostküste von Nordamerika Nordwestwinde vor, d. h. Landwinde, welche aus dem tief erkalteten Innern kommen, daher kalt und

trocken sind; in Westeuropa die warmen Südwest-, d. h. Seewinde vor. Ziffermässig gibt uns die thermische Windrose diesen Einfluss zu erkennen, indem wir erfahren, dass in Ostasien und im östlichen Nordamerika Nordwest-Winde die Temperatur der Luft im Mittel um 2·5 Grad C. erniedrigen, während Südwest-Winde in Mitteleuropa dieselbe um 3·1 Grad C. erhöhen.

Wie gross aber der klimatische Gegensatz ist, können wir aus folgender Nebeneinanderstellung sehen: Nain in Labrador hat eine mittlere Jänner-Temperatur von — 20 Grad C., Aberdeen in Schottland unter gleicher geographischer Breite eine solche von 2·9 Grad C., Halifax eine Jänner-Temperatur von — 5·2 Grad C., Bordeaux unter gleicher Breite 5·8 Grad C., New-York — 1·0 Grad C. und Neapel unter gleicher Breite 7·8 Grad C., Wladiwostok an der Ostküste von Asien, südlicher als Florenz gelegen, hat eine mittlere Jänner-Temperatur von — 15·2 Grad C. Die Wirkung der aus dem Innern Asiens direct vom asiatischen Kältepol kommenden Winde durch die Rotation der Erde zum Nordost-Monsun abgelenkt, ist noch unter dem Wendekreis empfindlich. So z. B. besitzt Hongkong, das seiner Lage nach besonders begünstigt sein sollte, eine Jänner-Temperatur von 12·1 Grad C., während Kalkutta unter derselben Breite 19·8 Grad C. besitzt. Obwohl im Allgemeinen die Gegenden an der Polargrenze der Passate Scheidewände sind, welche die Tropenländer vor dem Ein-

flüsse der Luft höherer Breiten schützen, erreichen doch an einzelnen Stellen die kalten Winde höherer Breiten selbst die Tropenzone. So vermag der bekannte Norte im mexikanischen Golf, aus dem Innern Nordamerikas kommend, noch unter 20 Grad nördlicher Breite die Temperatur zu St. Brown, bis auf — 5 Grad C. zu erniedrigen, selbst zu Belize in Honduras unter $17\frac{1}{3}$ Grad nördlicher Breite sinkt unter seinem Einflusse das Thermometer im Winter unter 15 Grad C.

Ueberraschend sind die Leistungen des feuchten, warmen Südwestwindes in Mitteleuropa, namentlich aber in der Schweiz und in Vorarlberg, wenn derselbe durch senkrecht auf seine Richtung sich ihm entgegenstellende hohe Gebirgsmauern genöthigt wird, an denselben emporzuklimmen und dessen Temperatur durch die bei der Condensation des Wasserdampfes zu reichlichen Niederschlägen (Regen oder Schnee) an den Anprallseiten auf dem jenseitigen Gehänge freiwerdende Wärme noch erhöht wird und den Wind relativ trocken erscheinen lässt. Das Schmelzen $\frac{3}{4}$ Meter dicker Schneeschichten binnen 12 Stunden, das Trocknen frisch gemähten Grases im Frühjahre binnen wenigen Stunden und andere Erscheinungen haben dem „Föhn“, wie dieser Wind in der Schweiz genannt wird, die Bezeichnung des Schneefressers eingetragen und viele hervorragende Forscher hielten sich genöthigt, seinen Ursprung in die Sahara zu verlegen, eine Ansicht, welche durch die Ergebnisse der neueren

Beobachtungen ähnlicher Erscheinungen an der Lee-seite (d. h. im Windschatten) der Gebirge, im Kaukasus, auf Neuseeland, im Lavantthale in Kärnten, in Gilan am Südufer des kaspischen Meeres, ja selbst in Grönland vollkommen widerlegt wurde. Wie trocken aber ein „Föhn“ trotz seiner oceanischen Herkunft, an jenseitigen Thalboden anlangen kann, dafür bietet Bludenz im Montafun-Thale ein überraschendes Beispiel. Hier betrug während eines sehr heftigen Föhnwindes die relative Feuchtigkeit am 31. Januar 1869 Morgens 6 Uhr 3 Procent. Wenn die Januar-Temperatur von Bludenz trotz der hohen Lage des Ortes (580 Meter) im Gebirge um 1·2 Grad C. höher ist, als jene von Graz, so verdankt es diesen Vorzug nur dem Einflusse des im Winter nicht seltenen Föhns.

Ihre Herkunft aus der grossen, afrikanischen Wüste documentiren vielmehr der Leveche an der Süd- und Südostküste von Spanien, der Sirocco Unteritaliens und Siciliens, letzterer jedoch meist nur im Frühjahre, und der Leste auf Madeira. Unter dem trockenheissen Hauche des, feinen Staub und Sand mit sich führenden Leveche erschlaffen Thiere und Menschen, die Blätter krümmen sich zusammen, verdorren in einigen Tagen und fallen ab, nicht selten vernichtet er ganze Weinpflanzungen. Auch der Leste auf Madeira ist so trocken und heiss, dass er die Feuchtigkeit der Luft oft unter 20 Procent erniedrigt.

Die Hitze des als Gebli, Samum, Chamsim bekannten Wüstenwindes und seine Wirkung auf die Temperatur und Feuchtigkeit, auf Pflanzen- und Thierleben und auf den Menschen sind hinlänglich bekannt, minder dürfte es jedoch die Thatsache sein, dass Australiens Wüstenwinde im Winter und Frühjahre der Südhemisphäre ihn an Trockenheit und Hitze noch übertreffen. Neumayer berichtet über einen Fall am 21. und 24. Januar 1860, an welchem das Thermometer bis 47·5 Grad C. stieg, so dass die Aepfel an den Bäumen nahezu buchstäblich gebraten waren. Unter der Hitze und Trockenheit des Harmattan, des Nordost-Passates in Ober-Guinea und Senegambien zerspringen Bretter unter heftigen Detonationen.

Nicht minder einschneidend als der thermische Effect, ja mit Rücksicht auf die Pflanzendecke von massgebendstem Einflusse ist die Wirkung der Winde auf die Niederschlagsverhältnisse, auf die daran sich knüpfende Wald-, Wüsten- und Steppenbildung, auf die Höhengrenze des ewigen Schnees und der Gletscher.

Westeuropa verdankt seine Fruchtbarkeit, seinen Formenreichtum der Vegetation, zunächst dem Vorherrschen der feuchten Südwest-Winde im Sommer; je weiter wir gegen das Innere des Continents vordringen, desto beschränkter wird der Pflanzenreichtum. Die Erklärung dieser Erscheinung liegt nahe. An der Steilküste der Sierra d'Estrella, an den

Gebirgen der englischen und schottischen Westküste und Norwegens nahezu senkrecht anprallend, fallen hier auch die grössten Niederschlagsmassen zur Erde nieder, auf ihrer weiteren Bahn in das Innere stetig an Wärme und Dampfcapacität zunehmend, werden sie erst dann wieder zu Niederschlägen gezwungen, wenn Gebirge sich ihnen entgegenstellen, über die Ebene werden sie ohne Verlust an Feuchtigkeit hinwegstreichen. Ein sehr lehrreiches Beispiel gibt uns in Mitteleuropa Böhmen, wo am Südwestabhange des Böhmerwaldes und in geringerem Masse an jenem des Riesengebirges die relativ grössten Regenmengen fallen, während das Innere von Böhmen und die schlesische Ebene relativ regenarm sind. Dasselbe wiederholt sich aber in weit grösserem Massstabe an der Westküste von Nord- und Südamerika, an dem Westabhange der Ostkette der bolivianischen Anden, an der Westküste der Südinsel Neuseelands, am grossartigsten aber am Südabhange des Himalaya.

Die Grenze des Waldlandes z. B. folgt in Südamerika auf höchst eigenthümliche Weise den Grenzen der feuchten Luftströme. Im südlichen Theile des Continents, wo westliche, mit Feuchtigkeit gesättigte Winde vorherrschen, ist jede Insel der zerrissenen Westküste vom 38. Grad südlicher Breite bis zur äussersten Spitze des Feuerlandes mit dichtem Wald bedeckt. Auf der Ostseite der Cordilleren, wo zwischen denselben Breiten ein wolkenloser Himmel sich wölbt, ernähren die trockenen Ebenen nur eine dürf-

tige Vegetation. Innerhalb der Grenzen des beständigen Südost-Passates ist die Fläche des grössten Theiles der östlichen Seite des Continents mit prachtvollen Wäldern geschmückt, die Westküste hingegen vom 4. bis 32. Grad südlicher Breite fast eine völlige Wüste.

Dass die Höhe der Linie des ewigen Schnees und die Gletscherbildung keineswegs von der Temperatur allein, sondern vor Allem von der Menge des Niederschlages und des Schnees, d. h. von dem Vorherrschen der mit Wasserdampf gesättigten, aus niederen Breiten nach höheren über das Meer auf tief erkaltete Ländermassen wehenden Südwestwinde abhängig ist, wird gegenwärtig wohl von keinem Forscher mehr bezweifelt. Wir finden diese Thatsache fast ausnahmslos bestätigt. Am Himalaya, dessen Südabhang ein ganzes Halbjahr dem feuchten Hauche des Südwest-Monsuns ausgesetzt ist, und wo man überhaupt die grösstbekanntesten Regenmengen (bis zu 15 Meter) beobachtet hat, reicht die Schneegrenze bis zu 4250 Meter herab, an der Nordseite, welcher der Nordost-Monsun nur sehr spärliche Niederschläge spendet, liegt sie erst in 5660 Meter Höhe; auf der ausserordentlich trockenen Hochebene Tibets werden Höhen bis zu 6100 Meter gänzlich schneefrei.

An der Westküste von Norwegen, mit Niederschlägen bis zu 2 Meter jährlich, reicht die Schneegrenze bis zu 884 Meter (unter 70 Grad nördlicher Breite), im Innern nur bis 1021 Meter herab. In

Patagonien geht sie in der Breite von Rom (42 Grad) bis 1700 Meter herunter, unter der Breite von Berlin aber schon bis 900 Meter.

Wenn im Kaukasus, in seinen Gipfeln unsere Alpen überragend, die Gletscher sich nicht mehr so imposant entwickeln können, so trägt daran der Umstand Schuld, dass die Südwestwinde denselben schon bedeutend modificirt erreichen. Das Herabsinken der Gletscher an der Westküste von Südamerika und Neuseeland (Waiiau-Gletscher) bis zu 200 Meter über dem Meere in 45—46 Grad nördlicher Breite ist eine Wirkung der ungemein regenreichen West- und Nordwestwinde, welche hier vorherrschen und z. B. an letzterer 2840 Millimeter jährliche Regenhöhe verursachen. Es ist dies um so auffallender, da diese Erscheinung in einer Gegend vor sich geht, welche eine Jahres-Temperatur besitzt, die jener von Wien (10 Grad Celsius) gleichkommt.

Eine glänzende Bestätigung hiefür bieten weiters die Gebirge in Ostsibirien, auf denen, trotz einer Jahres-Temperatur von —10 Grad Celsius und weniger, am Fusse derselben Gletscher gänzlich fehlen. Die grössere Mächtigkeit der Gletscher in der Schweiz gegenüber denen der Ostalpen lässt sich auch nur dadurch erklären, dass in diesen der Niederschlagsreichtum der Südwestwinde bereits geringer geworden ist, besonders nachdem dieselben im ersten Anpralle an die Alpen bei Tolmezzo jährlich 2440 Millimeter Niederschläge fallen gelassen haben.

Das Zurückweichen der Gletscher in der Schweiz und in Tirol (Mer de glace am Montblanc um 388 Meter in den Jahren 1826—1866), die Grindelwaldgletscher um 4—600 Meter in den Jahren 1865—1869) beweisen, dass die Nordgrenze der europäischen Subtropenzone in dieser Zeit eine Verschiebung gegen Süden erfahren, und sich in den Alpen die Sommerregen um so kräftiger geltend gemacht haben.

Weder die grosse Hitze noch die Bodenbeschaffenheit, sondern lediglich die durch Winde bedingte Armuth an atmosphärischer Feuchtigkeit hat jene Erdräume geschaffen, die wir als Wüsten und Steppen bezeichnen, sie sind in erster Linie ein meteorologisches Product, und zwar die grossartigste Leistung der dampfarmen Luftströmungen. Wir können uns die Entstehung der Wüsten unter diesen Voraussetzungen leicht vorstellen. Denken wir uns eine mit üppiger Vegetation geschmückte, grössere Landfläche plötzlich in eine solche geographische Lage versetzt, dass nur trockene Winde über sie hinwegwehen könnten. Die Vegetation, deren Gedeihen auf das innigste an das gewohnte Mass von Luft- und Bodenfeuchtigkeit gebunden ist, wird binnen wenigen Jahren gänzlich verschwinden und einer ephemeren Grasvegetation und succulenten Formen Platz machen. Allmählig werden die Flüsse ihren Wasserreichthum einbüssen, und schliesslich nicht mehr im Stande sein, die frühere Mündung in's Meer oder in ein Binnengewässer zu erreichen, sondern

vielleicht schon auf halbem Wege versiegen. Im innigen Zusammenhange hiermit wird auch das Binnengewässer, das vorher einen Abfluss besass, abflusslos werden, da nunmehr der speisende Zufluss fehlt, der Wasserspiegel immer mehr sinken, und das stagnirende Wasser wird zusehends auch seine chemische Constitution verändern, es wird salzig werden und im Laufe der Jahre den Salzgehalt am Boden als feste Kruste absetzen.

Betrachten wir jenen Gürtel von Steppen und Wüsten vom Chignan-Gebirge in Asien bis zur atlantischen Küste Nordafrikas, so werden wir alle diese Merkmale ausgeprägt finden. Die Kahlheit der den Wüsten zugekehrten Hänge der Gebirge, deren Relief uns durch oft grossartige Erosions-Erscheinungen an den einstmaligen Wasserreichthum erinnert, Flüsse ohne Mündung, ausgetrocknete, tiefeingeschnittene Flussbetten, ganze Colonien kleiner, abflussloser Seen und Seengebilde, deren Spiegel immer mehr sinkt und deren Wasser stetig an Salzgehalt zunimmt oder wieder schon so fortgeschritten ist, dass eine glitzernde Salzkruste sich unter dem trügerischen Sande verbirgt.

Dass an der Entstehung dieser öden Erdräume weder die Hitze noch die Bodenbeschaffenheit Schuld tragen, beweist uns ferner die Thatsache, dass überall, wo künstliche Bewässerung den Boden berieselt und tränkt, dieser eine relativ üppige Bodencultur gestattet, ja selbst der Flugsand in den Dünenlandschaften der

Areg nach einem blös mehrstündigen Regenfalle sich wie mit einem Zauberschlag binnen 48 Stunden mit einem grünen, blumenreichen Grasteppich bedeckt, allerdings nur von ephemerer Dauer, da oft der nächste Gebli schon die jungen zarten Pflanzen tödtet. Darnach kann kein Zweifel bestehen, dass die Existenz der Wüsten dem trockenen, regenlösen Winde zur Last gelegt werden muss.

Weder der atlantische Ocean, der die Sahara im Westen bespült, noch das mittelländische Meer in nächster Nähe ihres Nordsaumes vermögen dem nach Wasser lechzenden Boden derselben Labung und Nahrung zu spenden; wie Peschel richtig bemerkt, verschmachtet die Sahara angesichts solcher grosser Wasserflächen.

Ihrer ganzen Fläche nach in der nördlichen Passatzzone gelegen, werden alle Winde, mögen sie, z. B. wie im Sommer die Etesien der alten Griechen, welche wir als die nördlichste Ausdehnung des Passates bezeichnen können, als Nordwinde vom Mittelmeere nach dem Innern wehen, regenlos bleiben, da sie vom kälteren Meere über eine grosse erhitzte Landfläche wehen und sich dabei immer mehr vom Sättigungspunkte entfernen. Das Vorwiegen nördlicher Winde sowohl im Sommer als auch im Winter stempelt aber die Sahara zu einem Typus der Wüste.

Sowohl die übrigen Wüsten der alten Welt, als auch alle an Umfang weit beschränkteren Wüsten-

gebiete der neuen Welt lassen sich ihrer Entstehung nach auf die eben geschilderte Ursache zurückführen, nämlich auf das überwiegende Vorherrschen regenloser Winde.

Der landschaftliche Charakter eines grossen Theiles der Wüste, den wir als Dünenregion (Areg, Edeyen, Igidi) kennen, zeigt uns, dass in derselben zur klimatischen Wirkung dieser Winde sich noch eine mechanische gesellt, welche die Trostlosigkeit jener Erdengebiete noch erhöht und zugleich das äussere Aussehen grosser Strecken im Laufe der Jahrhunderte und Jahrtausende wesentlich verändert. Wir lernen die Grösse dieser mechanischen Wirkung der Winde in der Wüste erst dann ermessen, wenn wir erfahren, dass dort, wo heute auf Hunderte von Quadratmeilen ein Chaos von Sanddünen sich erstreckt, das zu durchwandern im Sommer nicht selten mit Lebensgefahr verbunden ist, noch in historischen Zeiten zur Blüthezeit Karthagos ein verhältnissmässig grosser Wasser- und Vegetationsreichthum herrschte, dass Wälder die Abhänge des Schottplateaus bedeckten, der Elephant und das Krokodil in diesen Gegenden lebten.

Zu der austrocknenden Wirkung der regenlosen Winde gesellt sich mit anderen Worten Dünenbildung und Dünenwanderung, sie verschärfen den klimatischen Effect, indem sie, im unaufhaltsamen Kampfe mit den Ueberresten des einstigen Wasserreichthums, den Lauf der wenigen Gewässer am Rande der Wüste

verändern und die Mündungen der Flüsse versanden. Dass einst die Sahara beispielsweise relativ grossen Wasserreichthum besass, beweisen uns die grossartigen Erosions-Erscheinungen in dem Berglande der Beni Mzab, der sogenannten Schebka, in imposantester Entwicklung das centrale Bergland der Tuareg. Was seither die erodirende Wirkung des Windes geleistet, lehren uns in eindringlichster Weise die sogenannten, durch ihre bizarren Formen auffallenden Ghurs auf den nackten Flächen und an den Hängen der Hammada's, Zeugen des ursprünglichen Niveaus des Bodens, zeigen uns jene Sandmeere, die in einer Breite von 100 bis 500 Kilometer die westliche Sahara bogenförmig ausfüllen. Dass diese ungeheuren Sandmassen nicht der Rückstand einer einstigen Meeresbedeckung sein können, beweisen aber die Zeugnisse der arabischen Bevölkerung, welche Generation für Generation die Neubildung grosser Dünencomplexe zu beobachten Gelegenheit gefunden.

Die Entstehung dieser Dünenmeere lässt sich aber leicht folgendermassen erklären. Unter dem Einflusse der intensiven Insolation, der chemischen Decompositionskraft des ungemein kräftigen Sonnenlichtes und endlich der grossen Temperatur-Schwankungen in der täglichen Periode erleidet, der Sandstein, welcher auf grosse Strecken hin die geologische Formation des Bodens der Sahara bildet, eine tiefgreifende Zersetzung, es bilden sich im Laufe der

Zeit aus den verschiedenen Terrainformen an Ort und Stelle Dünen von wechselnder Mächtigkeit. Ist die Zersetzung des festen Gesteines soweit vorgeschritten, dass der Wind an den einzelnen Theilchen seine Macht äussern kann, so wird in der Streichungsrichtung des Windes sich allmählig Körnchen an Körnchen an dem erstbesten Hindernisse, die feinen Theilchen im Windschatten desselben ansammeln und den ersten Ansatz zur Bildung von Flugsanddünen abgeben. Der nächste Gebli oder Samum wird die zersetzten Massen in grösserer Quantität von dem soliden Kerne wegfegen und allmählig die Flugsanddüne erhöhen und an Umfang vergrössern. So wird das wechselnde Spiel in rhythmischer Reihenfolge sich fortsetzen und endlich zur Erzeugung von Dünen führen, die, wie z. B. in der Areg-Region zwischen Wargla und Rhadames eine Höhe von 200 bis 220 Meter bei einem Umfange von 4 bis 6 Kilometer an der Basis erreichen. In vielen Fällen und in gewissen Theilen der Sahara reihen sich die Dünen conform dem Vorherrschen der Nordost- und Nordwinde zu parallelen Ketten, meist aber bilden sie ein Chaos, dessen Bild sich auch die mächtigste Phantasie des Menschen kaum vorstellen kann und den Beweis liefert, dass in der Sahara zu gewissen Zeiten auch westliche und nordwestliche Winde herrschen. Wie schnell verhältnissmässig solche Dünen zu ansehnlicher Höhe und Umfang gedeihen, mag die Thatsache illustriren, dass alte Schambajäger zwischen Wargla und Rha-

dames sich aus ihrer Jugend noch gut daran zu erinnern vermögen, die Strecke zwischen dem Brunnen Hassi Bottin und Rhadames als schöne, wellenförmige, mit reicher Vegetation bedeckte Ebene, auf welcher kleine Dünen nur sporadisch auftauchten, gekannt zu haben.

Die Wanderung der Dünen ist eine Thatsache, welche kaum mehr zu bezweifeln ist, sie ist nicht speciell in der Sahara, sondern in allen Wüsten des Erdenrundes constatirt. So hat z. B. der westliche Theil der Gobi in Folge des vorherrschenden Nordostwindes bedeutend zahlreichere und grössere Anhäufungen von Sand, als der östliche, da der Sand stets, wie die chinesischen Autoren sagen, gleich einem Flusse vor dem Winde fliesst. Der östliche Theil der Gobi gleicht daher bereits eher einer grösstentheils mit Haufen von Kieseln und Fels-trümmern überdeckten Steinwüste, eine Form, wie wir sie in der westlichen Sahara als auch in der libyschen Wüste als Sserir kennen. Ein grossartiges Beispiel, wie gross die Sandmassen sind, welche durch die Winde in das Meer geschleudert werden, finden wir an der Westküste von Nordafrika an der Arguinbank, die einzig und allein ein Product der Wüste wurde, viele Meilen weit in's Meer reicht und von der Ebbe blossgelegt wird, so dass die maurischen Räuberstämme der Küste halbe Stunden weit nach gestrandeten Schiffsgütern fahnden können.

Ebenso schreitet die Wüste Thurr von Ost nach West fort, gegen das linke Ufer des Indus und verhindert denselben, sich weiter gegen Osten zu ergiessen. Wenn wir weiter erfahren, dass in letzterer ganze Dörfer mit ihren Feldern vom Sande verschüttet zu Grunde gingen, dass die Ruinen einer grossen, einst blühenden Stadt Gumbuz in den Sandwüsten Beludschistans sich verlieren, die Sockel der Tempel von Theben schon 20 Fuss hoch mit Sand bedeckt sind und der Culturstrich der Nilthaloasen immer mehr zusammenschrumpft, die Oasen des Wadi Suf sich kaum mehr vor dem Vordringen der Sandmassen retten können, so bedarf es wohl keiner weiteren Beweise.

Welch ungefesselte Kraft die Orkane haben mussten, welche einst in der Sahara geherrscht haben müssen, beweisen nicht allein die zahlreich vorkommenden, glänzend polirten, fest geschliffenen Gletscherrändern gleichenden Platten des umstehenden Gesteins, sondern auch die einer verkehrt gestellten Birne oder Feige gleichenden Granitblöcke, welche an der Basis durch die erodirende Action des vom Winde aufgewirbelten Sandes zusammengeschnürt, respective abgeschliffen wurden.

Es würde uns zu weit führen, wenn wir heute noch alle jene mechanischen Wirkungen der Winde an uns Revue passiren lassen wollten, welche sie im Kampfe mit dem flüssigen Elemente als Triftströmungen, Brandung, Sturmfluthen erzeugen, oder

wollten wir auch nur die mechanische Kraft der Winde besprechen, deren verderbenbringende Leistungen wir als Taifune, Hurricane, Tornados kennen, und bei denen die Leistung des Windes jene aller Dampfmaschinen auf dem ganzen Erdenrund mehrfach übertrifft.

Mit wenigen, aber den innigen Zusammenhang der vielgestaltigen Erscheinungen charakterisirenden Worten hat Altmeister Goethe, dem ja Naturwissenschaften nicht fremd geblieben sind, die Totalität der Wirkungen der Winde bezeichnet, wenn er im Prolog zu „Faust“ sagt:

„Und Stürme brausen um die Wette
Vom Meer auf's Land, vom Land auf's Meer,
Und bilden wüthend eine Kette
Der tiefsten Wirkung rings umher.“
