

Biblioteka  
Główna  
UMK Toruń

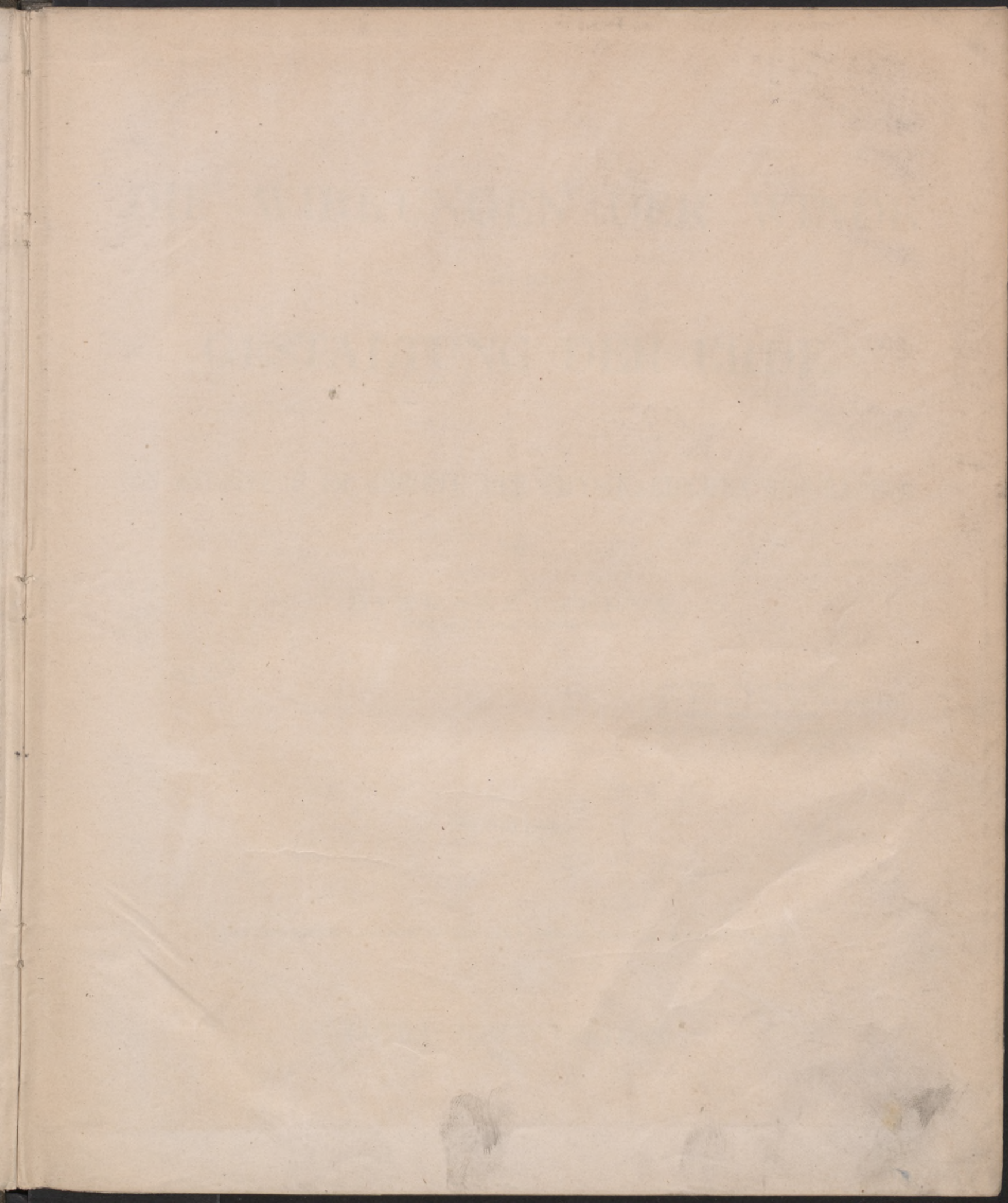
04943 / 48-52

Petermanns Mitteilungen Erg.-H. 48-52

E a

~~Ea 56~~

Ca 10





04943/  
48-52

# DIE WIRKUNGEN DER WINDE

AUF DIE

## GESTALTUNG DER ERDE.

### EIN STREIFZUG IM GEBIETE DER PHYSIKALISCHEN GEOGRAPHIE

VON

DR. FRANZ CZERNY,

Mitglied der K. K. Geogr. Gesellschaft in Wien.



„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".  
*Goethe „Faust“ Prolog.*

---

Mit einer Karte.

---

(ERGÄNZUNGSHEFT No. 48 ZU PETERMANN'S „GEOGRAPHISCHEN MITTHEILUNGEN“.)

GOTHA: JUSTUS PERTHES.

1876.

11.

## INHALT.

	Seite		Seite
Einleitung . . . . .	1	Erodirende Wirkung der Winde. Sandritze . . . . .	38
<b>I. Theil. Klimatisch-meteorologische Wirkungen der Winde.</b>		Die mechanische Kraft der Winde . . . . .	39
Allgemeine klimatische Rolle der Winde . . . . .	4	<b>B. Mechanische Wirkungen der Winde auf die Gewässer und vermittelt derselben auf die Landesfeste.</b>	
Winde und Continente. Windseite und Leeseite . . . . .	6	Triftströmungen (Windtriften) und ihre geologische Bedeutung . . . . .	40
Höhengrenzen des ewigen Schnee's und der Gletscher . . . . .	7	Windwellen . . . . .	42
Wüsten, Steppen und Waldregionen (Humusbildung) . . . . .	11	a) Effekt der Windwellenbewegung gegen die Tiefe . . . . .	44
Entstehung der Wüsten und charakteristische geologische Bildungen in denselben . . . . .	15	b) Effekt der Windwellenbewegung in horizontaler Richtung . . . . .	44
a) Kahlheit der Gebirge . . . . .	15	a) Aufstauung des Wassers . . . . .	44
b) Flüsse ohne Mündung und die Wadi's . . . . .	16	β) Transportfähigkeit der Windwellen . . . . .	46
c) Steppensee'n . . . . .	18	γ) Brandung; Landzuwachs und Zertrümmerung der Küsten . . . . .	46
d) Ehemalige Binnenmeere . . . . .	18	<b>III. Theil. Mittelbare, mechanische und klimatische Wir- kungen der Winde.</b>	
e) Salzbildung . . . . .	20	Luftdruck und das Wasserniveau . . . . .	50
<b>II. Theil. Mechanische Wirkungen der Winde.</b>		Luftdruck-vulkanische Eruptionen und Erdbeben . . . . .	51
Geschwindigkeit, Stärke und Richtung der Winde . . . . .	24	Regenwinde — Erdbeben und vulkanische Eruptionen . . . . .	51
<b>A. Mechanische Wirkungen der Winde auf die Landesfeste.</b>		Winde-Elektricität und Erdmagnetismus . . . . .	52
Dünenbildung und Dünenwanderung . . . . .	25	Schluss . . . . .	53
Entstehung der Sandwüsten . . . . .	30		
Übrige auf der fortschaffenden und absetzenden Thätigkeit der Winde beruhende Erscheinungen und Bildungen . . . . .	33		

04943 / 48-52



—  
///

## Vorwort.

Vielgestaltig sind die Einflüsse und Wirkungen der bewegten Atmosphäre. Unser Alltagsleben schon weist deren eine unzählbare Reihe auf. Denn wie oft ist das Wetter gleichbedeutend mit der Förderung oder Hemmung der bürgerlichen Geschäfte, wie oft macht es den Landmann um die Ernte besorgt, ja, wie sehr hängt sogar der ganze Modus unserer täglichen Handlungen, die Wahl unserer Belustigungen, vor Allem aber unser Gesundheitszustand von der Laune der Windrichtung ab, die uns bald mit heiterem, bald mit bewölktem Himmel beschenkt. „So lange der laue Südwestwind weht, sagt J. G. Kohl <sup>1)</sup>, fühlen sich alle Nervenschwache lahm und gedrückt; sowie der Luftzug sich nach Nordosten umsetzt, heben sich diese, aber dann fangen die Lungenpatienten überall an zu husteln und zu klagen. Tritt, wie es zuweilen geschieht, eine ganz allgemeine Dürre oder das Umgekehrte, eine sehr nasse Witterung, ein und halten diese sehr lange an, so brechen wohl epidemische Krankheiten aus und rafften Tausende von Menschen hin.“ Und nicht nur gewisse Körper- und Geisteszustände lassen sich manchmal auf die Wirkung der vorwaltenden Winde zurückführen, nicht bloss könnte man in der Sterblichkeitsstatistik gewissen Ausdruck für die tödtende Kraft der Winde aufstellen, der noch um die Zahl derjenigen zu vergrössern wäre, die Jahr ein Jahr aus als Opfer der wüthenden Uragans, Typhons und Tornados hinweggerafft oder aber, auf einem Karawanenzuge begriffen, unter dem verdorrenden Hauche eines Samums dem Untergang preisgegeben werden. Eben so mächtig walteten manchmal die Winde in der allgemeinen politischen Geschichte, wo manche Unternehmung, manche Schlacht von diesem meteorologischen Agens entschieden worden. Beispielsweise schreiben ausdrücklich Deguignes in seiner Geschichte der Hunnen und Mailla in seiner Geschichte China's den Ausgang mancher Schlacht zwischen den Chinesen und den Hunnen auf den Schlachtfeldern der Gobi den Stürmen zu, die durch ihre Sand- und Staubwolken den Feind geradezu in die Flucht zu jagen verholfen haben <sup>2)</sup>. Mehr derartiger Beispiele hat Kohl in der citirten Abhandlung gesammelt. Nicht ohne Grund konnte auch Ehrenberg <sup>3)</sup> sagen, dass es „der West-Afrikanische Passatstaub ist, der Jahrtausende lang die Entdeckung der Transatlantischen Länder verhinderte.“ Dass die Einflüsse der Winde sich oft genug in demselben Maasse auf die Kultur ganzer Völker geltend machen, beweisen beispielsweise Indien und China, wo der Ackerbau vor Allem dem rhythmischen Monsunwechsel sein Gedeihen verdankt, gerade so, wie anderwärts die täglichen Oscillationen zwischen Land- und Seewinden so ersichtlich auf das alltägliche Handeln und Wandeln der Küstenbewohner ihren Stempel drücken. Auch der ganze oceanische Handelsverkehr sieht sich gezwungen, der Richtung und der Stärke der Winde Rechnung zu tragen, und wenn einst die Monsune wahre Regulatoren der Segelschiffahrt zwischen Indien und Ost-Asien einer- und Afrika und Arabien andererseits gewesen waren, so dürfen heutzutage auch die Dampfer noch keineswegs das Gesetz der Windrose und die Sturmwarnungssignale verkennen oder geringschätzen. Ja, indem wir weiter die Wirkungen der Winde verfolgen, liesse sich vielleicht auch in der Völkerpsychologie manche dauernde Spur dieses unausgesetzt wirkenden Faktors erblicken und feststellen. Denn

<sup>1)</sup> „Wind und Wetter in der Geschichte der Völker und Staaten“ im „Ausland“ 1875, S. 225.

<sup>2)</sup> cf. Ritter „Erdkunde“ III. Theil, II. Bd., S. 380.

<sup>3)</sup> „Passatstaub und Blutregen“ in den „Abhandlungen der k. Akademie der Wissenschaften in Berlin“ 1847, S. 359 und 439.

es bleiben ja für immer die Worte Dove's<sup>1)</sup> wahr: „Wenn wochenlang der Himmel mit einförmigem Grau bedeckt ist, so werden am Ende auch wir trübe, wenn es endlich oben wieder hell wird, werden auch wir heiter. So sind wir ein treuer Spiegel des Himmels über uns, wir gehen ein in seine Launen, und jeder ist in diesem Sinne nicht nur ein Meteorologe, sondern so zu sagen die Meteorologie selbst.“ Vernehmen wir aber, dass z. B. am Nicaragua-See, wie Fröbel berichtet, die Kronen der Bäume in Folge des das ganze Jahr hindurch herrschenden Passates gleichsam wie die Windfahnen nach Südwesten gebogen sind, oder dass die Pflanzen, wie z. B. im nördlichen Theile der Balearen<sup>2)</sup> oder auf der Ratteninsel (vor dem Ostende der Insel Fernando Noronha), der vollen Gewalt der Winde ausgesetzt, gerade einen verkrüppelten Wuchs zeigen<sup>3)</sup>, oder aber, dass die Albatros-Vögel auf der im beständigen Nebel versunkenen Nordseite, also der Wetterseite, der Kerguelen-Insel gar nicht, wohl aber auf der entgegengesetzten ihre Nester aufbauen<sup>4)</sup>, so sind das wohl nur weitere Belege für die längst bekannte und leicht erklärbare Thatsache, dass die Pflanzen und die Thiere noch in höherem Grade als das Menschengeschlecht von den meteorologischen Prozessen des Luftkreises abhängig sind.

Allein wie gross immer die hier berührten Einflüsse der bewegten Luftmassen auf die alltäglichen Lebensverhältnisse der organischen Welt sein mögen, nicht minder entscheidend mussten sie sich doch — Dank ihrer beständigen Wirkung durch längere Perioden der Erdgeschichte hindurch, auch nothwendigerweise in Bezug auf die Geophysik und Geoplastik gestaltet und somit neben anderen geologischen Faktoren auch einen mächtigen Antheil an der näheren Begrenzung und Bestimmung mancher Lebensbedingungen für die ganze organische Welt genommen haben.

Diese geologischen Wirkungen der Winde habe ich nun in der vorliegenden Arbeit hervorzuheben und näher zu bezeichnen getrachtet, um auf diese Weise einen Beitrag zur Ausfüllung einer Lücke in der physikalischen Geographie zu geben; denn mit Recht beklagt sich v. Richthofen<sup>5)</sup>, dass „dem Winde als geologischem Agens bisher seine Rolle kaum zuerkannt worden ist.“

Zum Schluss ergreife ich mit Freuden die Gelegenheit, Herrn Professor Dr. Hermann Credner meinen aufrichtigsten Dank für die Güte auszusprechen, mit der er mir verschiedene Werke zur Verfügung gestellt hat, die mir ohne sein freundliches Entgegenkommen nicht zugänglich gewesen wären.

LEIPZIG, im Februar 1876.

**Der Verfasser.**

<sup>1)</sup> „Meteorologische Untersuchungen“ (Berlin 1837), S. 3.

<sup>2)</sup> Marié Davy „Les mouvements de l'atmosphère et des mers“ bei El. Reclus „La Terre“ II (2. edit.), p. 309.

<sup>3)</sup> Challenger's Expedition in Petermann's „Geogr. Mitth.“ 1874, S. 293.

<sup>4)</sup> Ibidem, p. 379.

<sup>5)</sup> „Geologie“ in Neumayer's „Anleitung zu wissenschaftlichen Beobachtungen auf Reisen“, S. 285.



## Einleitung.

In Anbetracht der heutzutage schon allgemein von den Physikern anerkannten Thatsache, dass die Kräfte imponderabel und unzerstörbar sind, dass verschiedene Kräfte sich in einander verwandeln lassen, dass es somit in Wahrheit eine einzige Kraft giebt und dieselbe nur in ewigem Wechsel, in steter Formveränderung in der todten wie in der lebenden Natur kreist<sup>1)</sup>, gehen diejenigen sichtlich zu weit, welche, wie diess noch in neuen Handbüchern geschieht, „Feuer, Wasser und Leben“ als die drei hervorragendsten Kräfte citiren, aus deren bald zerstörender bald aufbauender Thätigkeit die gesammte Gestaltung der Erdoberfläche hervorgegangen sein soll. Jeder wird leicht einsehen können, dass man dabei mit Unrecht die ponderable Materie mit der imponderablen Kraft verwechselt, zugleich aber versäumt, eine ganze Reihe von Erscheinungsformen der eigentlichen Kraft in Rechnung zu ziehen. Anstatt die Materie der Reihe nach unter der Einwirkung der Fallkraft, der Wärme, der chemischen Kraft &c. zu betrachten — und dieses System hat bereits B. Studer<sup>2)</sup> theilweis durchzuführen versucht —, begnügt man sich sogar, wie es z. B. Lyell<sup>3)</sup> thut, die auf die unorganische Welt wirkenden Kräfte bloss in zwei Klassen, in „feuerige und wässerige“, zu theilen und aus dem ewigen „Antagonismus“ derselben die ganze Bildungsgeschichte der Erde herauszulesen. Man beliebt dann nämlich noch immer das „Feuer“ allein für alle Unebenheiten der Erdkruste verantwortlich zu machen, während man andererseits dem Wasser bloss das Epitheton „eines ausgleichenden, nivellirenden Elements“ zu geben beflissen ist. Und dennoch, wenn man nach der Ursache dieser Unebenheiten fragt, liest man zur Antwort: „Wasserdämpfe sind es, welche die Lava im Kraterschlund heben, Wasserdämpfe werden von den Lavaströmen noch lange ausgehaucht, nachdem dieselben schon

<sup>1)</sup> cf. J. R. Mayer „Die Mechanik der Wärme“ (Stuttgart 1874), S. 3—20; J. Tyndall „Heat a mode of motion“ (London 1875), p. 490, 531—534; G. A. Hirn „Exposition de la théorie mécanique de la chaleur“ (Paris 1875) I, p. 137—146.

<sup>2)</sup> „Lehrbuch der physikalischen Geographie“ (Bern, Chur und Leipzig 1844—1847), 2 Theile.

<sup>3)</sup> „Principles of Geology“ (London 1872) I, pag. 321: „the aqueous agents are incessantly labouring to reduce the inequalities of the earth's surface to a level, while the igneous are equally active in restoring the unevenness of the external crust. . . .“

Czerny, Wirkungen der Winde.

zu fließen aufgehört haben, oft in solcher Menge, dass sie zu kleinen, sekundären Eruptionen auf den Lavaströmen selbst Veranlassung geben. Von eingeschlossenen Wasserdämpfen rührt auch die blasige Struktur der Lava her, wenn sie unter geringem Druck erstarrt. Alle diese Thatsachen beweisen, dass in den unterirdischen Herden der vulkanischen Thätigkeit die Gesteinsmassen nicht in einem Zustande von trockener Schmelzung sich befinden, sondern in demjenigen wässriger Schmelzung unter hohem Druck überhitzter Wasserdämpfe<sup>1)</sup>. Wenn also demzufolge sowohl bei den vulkanischen Eruptionen als auch bei den jedesmal an den „Rändern“ der Continente erhobenen Gebirgen<sup>2)</sup> auch das Wasser es war, welches — sei es nur einen seitlichen Druck ausübend, sei es unter der Einwirkung der inneren Erdwärme in Wasserdampf verwandelt — die Hebungen, d. h. die Unebenheiten auf der Erdoberfläche hervorgerufen hatte, so fragt es sich wohl andererseits, wie würde wiederum die andere, nivellirende Thätigkeit des Wassers überhaupt möglich, wenn zwischen dem Festen und dem Flüssigen kein Vermittler vorhanden wäre. Allein diesen Vermittler haben gerade die Geologen bis auf wenige, wie Dana, Credner, Richthofen, bis jetzt so gut wie gänzlich ausser Acht gelassen, sei es in Folge der einmal angenommenen, obwohl wenig genügenden Classification der geologischen Kräfte, sei es, indem dieser Vermittler und die mit ihm eng verbundene nivellirende Thätigkeit des Wassers abermals ein Ausfluss derselben — anderwärts niveaustörenden — Wärmewirkung sind, lediglich mit dem Unterschied, dass dort die Wärme des Erdinnern, hier die der Sonnenstrahlen im Spiele ist.

Ist die Atmosphäre, wie Reclus<sup>3)</sup> sagt, ein für allemal eine unerschöpfliche Quelle, wo alles, was lebt, seinen Athem schöpft, zugleich aber auch ein immenses Reservoir, wohin alles, was stirbt, seinen letzten Hauch entsendet, ist sie überhaupt jenes grosse Vehikel, mit Hülfe dessen sich der allgemeine Kreislauf der Elemente, aus denen die Erd-

<sup>1)</sup> Hochstetter im „Jahrb. f. Geologie, Paläontologie und Mineralogie“ 1871, S. 469.

<sup>2)</sup> O. Peschel „Neue Probleme der vergleichenden Erdkunde“ (Leipzig 1870), S. 77—88.

<sup>3)</sup> „La Terre“ II, p. 265 und 376.

kruste, die Wasser und die organischen Körper bestehen, bethätigt, so geschieht es, weil sie gerade in rastloser Bewegung begriffen ist, oder, mit anderen Worten, weil sie beständig von der Macht der Winde beherrscht wird. Diese Bewegung der Atmosphäre gehört aber nicht nothwendigerweise zu ihrem Wesen, sie ist keineswegs eine ihr angeborene Eigenschaft. Das *primum movens*, die Quelle dieser physischen Kraft, gleich wie fast jeder Bewegung auf der Erdoberfläche, ist, wie es bereits Sir John Herschel <sup>1)</sup> ausspricht, die Sonne.

Nach den Messungen Pouillet's erhält ein Quadrat-Meter Erdoberfläche durchschnittlich in 1 Minute 4,408 Wärmeinheiten von der Sonne. Da nun eine Wärmeinheit einer mechanischen Arbeit von 425 Kilogramm-Meter äquivalent ist, so kommt auf 1 Quadrat-Meter Erdoberfläche eine Arbeitszufuhr von 1873 Kilogramm-Meter per Minute, oder in der nämlichen Zeit auf die ganze Erde eine Zufuhr von 955.000 Billionen Kilogramm-Meter. Eine Arbeit, gleich 75 Kilogramm-Meter per Sekunde, pflegt man eine Pferdekraft zu nennen; hiernach wäre der Effekt der Sonnenstrahlen, nach mechanischer Arbeit berechnet, für 1 Quadrat-Meter = 0,417 und der Totaleffekt für die ganze Erde gleich 200 Billionen Pferdekraften. „Nun“, sagt Mayer<sup>2)</sup>, „wird ein nicht unerheblicher Theil dieser enormen Quantität von lebendiger Kraft gerade zur Hervorbringung jener atmosphärischen Aktionen verbraucht, wodurch die Bewegungen der Luftmassen hervorgerufen, Tag für Tag ungeheuerere Wassermassen in die Höhe gehoben und die Strömung der Flüsse ermöglicht werden.“ „Die Atmosphäre stellt somit, wie sich treffend Mohn<sup>3)</sup> ausdrückt, eine Sonnenmaschine dar, deren Zwischenglieder aus Winden und Wasserdämpfen bestehen und die täglich eine Arbeit ausführt, gegen welche die Leistung der grössten Maschinen, mit denen wir sie vergleichen könnten verschwindend klein ausfällt.“

Es gehört in das Bereich der Meteorologie, die Theorie der Winde eingehender zu entwickeln. Hier mag bloss hervorgehoben werden, dass, wie gross auch immer die Mannigfaltigkeit der durch die Sonne bewirkten meteorischen Prozesse ist, sich doch, wie Dove<sup>4)</sup> es gezeigt, ein einfacher Grundtypus der Luftströmungen feststellen lässt. Da nämlich die Erde, Dank ihrer kugeligen Gestalt, unter verschiedenen Breitengraden ungleichförmige Erwärmung von der Sonne erhält, namentlich in der Tropenzone, wo die Sonne mehr oder weniger senkrecht steht, am reichlichsten

<sup>1)</sup> „The sun's rays are the ultimate source of almost every motion, which takes place on the surface of the earth“ („Outlines of Astronomy“ 1833). J. Tyndall „Heat a mode of motion“, p. 478.

<sup>2)</sup> „Mechanik der Wärme“, S. 53, 209, 379.

<sup>3)</sup> „Grundzüge der Meteorologie“ (Deutsche Original-Ausgabe), Berlin 1875, S. 239.

<sup>4)</sup> „Meteorologische Untersuchungen“ (Berlin 1837), S. 121 u. ff.

von der Sonnenwärme beschenkt wird, so wird dort allezeit die verhältnissmässig grösste Auflockerung der Luft und demzufolge ein Steigewind (*courant ascendant*) erzeugt, während gleichzeitig in das dadurch sich bildende Vacuum die kältere Luft von den Polen her zuströmt, zugleich aber dadurch bewirkt, dass *vice versa* die Polargegenden zu Anziehungspunkten für jene äquatorialen Steigewinde werden. Auf diese Weise, indem die Sonne in der heissen Zone stets das Gleichgewicht der Atmosphäre stört, ist auch die Luft fortwährend gezwungen, ihre Danaer-Arbeit, die Wiederherstellung jenes Gleichgewichts, zu verrichten, wobei sich somit auf jeder Halbkugel ein beständiger Kreislauf der Luftmassen einstellt. Wie bekannt, hat Dove jene gen Äquator strömenden Luftmassen „Polarströme“, diejenigen gegen die Pole hin gerichteten „Äquatorialströme“ genannt — und diese Namen als allgemeine Bezeichnung der beiden Hauptluftströmungen mögen auch in der Geologie beibehalten werden, wiewohl streng meteorologisch genommen, wie diess richtig Wojeikof<sup>1)</sup> bemerkt, unsere Süd-Westwinde keineswegs vom Äquator, sondern von der Polargrenze der Passate, eben so unsere NO.-Winde nicht vom Pol, sondern von der Gegend des stärksten Luftdruckes kommen. Wenn aber ferner die beiden erwähnten Hauptluftströme keine perpendiculäre Richtung aufweisen, also nicht etwa längs der Meridiane streichen, sondern stets — nach dem Buys-Ballot'schen Gesetze der Winde — auf der nördlichen Hemisphäre nach rechts, auf der südlichen nach links abgelenkt werden, so ist diess auf die verschiedene Rotations-Geschwindigkeit der einzelnen Punkte der Erdoberfläche zurückzuführen, welche sich verhält, wie die Halbmesser der Parallelkreise, unter welchen diese Punkte liegen, also von den Polen, wo sie Null ist, bis zum Äquator, wo sie am grössten ist, zunimmt. Gerade die beweglichen Lufttheilchen sind es, an denen sich diese geophysische Regel am eklatantesten bewährt, indem sie auf dem Wege von höheren Breiten gegen den Äquator hin begriffen — Dank ihrer geringeren Rotations-Geschwindigkeit — stets zurückbleiben, auf dem Wege aber von den niederen Breiten gegen die Pole hin — Dank wiederum ihrer grösseren Rotations-Geschwindigkeit — stets vorseilen. Diesem Umstande ist es auch anderwärts zuzuschreiben, dass die Dauer der Erdrotation, also die Tageslänge, durch jene Luftströme nicht im geringsten afficirt wird, indem die Äquatorialströme in ihrer SW. und NW. Richtung der Erde im Sinne ihrer Drehung den Impuls wiedergeben, welchen sie durch die entgegengesetzten, d. h. durch die NO. und SO. Polarströme verliert<sup>2)</sup>.

<sup>1)</sup> „Die atmosphärische Circulation“ im „Ergänzungsheft“ zu Petermann's „Mitth.“ No. 38 (1874), S. 3.

<sup>2)</sup> Mayer „Mechanik der Wärme“, S. 210.

Allein die auf diese Art fortwährend von Neuem erzeugten Luftströmungen herrschen keineswegs immer und überall auf der Erdoberfläche mit derselben Regelmässigkeit. Ihr Verlauf kann bloss auf den Oceanen und den denselben benachbarten, insbesondere Westküsten der Continente als normal angesehen werden und hier gestaltet er sich folgendermassen:

Zu beiden Seiten der sogenannten Windstillen- oder Calmenregion, wo diestärksten Steigewinde mit fast beständigen Regenfällen oder eigentlich Gewittergüssen herrschen, breiten sich bis ca. 30° N. und S. Br. die beiden Passatzonen aus — die Region der das ganze Jahr hindurch wehenden NO.- und SO.-Passate, welche nur dann aufhören und dem aufsteigenden Luftstrom Platz machen, wenn die Sonne über den betreffenden Punkten senkrecht steht; dann erfolgt auch der reichliche Niederschlag. Von der Polar- grenze dieser Passat-Zonen bis zum etwa 40° N. und S. Br. dehnen sich wiederum die beiden subtropischen Zonen aus, wo, dem Sonnenstande entsprechend, in der Sommerzeit eine Rückwärtsverlängerung der Passate Statt findet, in der Winterzeit dagegen der Äquatorialstrom als Antipassat sich niedersenkt und somit den Winter dieser Gegenden jedesmal in eine Regenzeit verwandelt. Endlich reihen sich nördlich und südlich an diese subtropischen Regionen zwei Zonen mit veränderlichen Winden, wo demnach auch die Witterungserscheinungen vorzugsweise durch die beiden einander abwechselnd verdrängenden Luftströme, den südlichen und nördlichen, bedingt werden. Wie es namentlich zuerst Dove<sup>1)</sup> festgestellt hat, machen sich hier diese beiden Luftströme nach bestimmtem Drehungsgesetze ihre Herrschaft streitig, wobei die Windrose auf der nördlichen Hemisphäre sich jedesmal im Sinne der Bewegung des Uhrzeigers, d. h. von W. über N. nach O. und S., auf der südlichen im entgegengesetzten Sinne, d. h. von N. über W. nach S. und O. dreht. „Wenn diese Ströme in gehörigem Maasse in Beziehung auf Dauer und Aufeinanderfolge einander das Gleichgewicht halten, so werden sie den normalen Witterungszustand hervorrufen, wenn sie hingegen einseitig vorwalten, die grössten Extreme veranlassen. Es ist aber klar, dass das dauernde Befinden in einem dieser Ströme auf der ganzen Erdhälfte nicht möglich ist, da der andere Strom zur Compensation des ersteren irgendwo herrschen muss; daher lässt z. B. ein dauernder S.-Wind in Europa auf den kalten NO.-Strom in Asien oder Amerika schliessen. Denn je entschiedener an einem Ort der südliche Strom ist, desto entschiedener muss auch anderswo der nördliche sein“<sup>2)</sup>.

<sup>1)</sup> „Meteorologische Untersuchungen“, S. 121—242.

<sup>2)</sup> Dove „Meteorologische Untersuchungen“, S. 272—273.

Wie bereits erwähnt, macht sich jedoch dieses Windsystem keineswegs überall auf der Erdoberfläche geltend und zwar sind die Continentalflächen der höheren Breiten daran Schuld, dass dasselbe manchen Störungen ausgesetzt ist. Indem nämlich diese Continentalflächen im Winter stark erkalten, im Sommer dagegen um so stärker erwärmt werden, verwandeln sie sich wechselweise in die Regionen des stärksten und niedrigsten Luftdrucks und werden demnach bald zum Ausgangspunkt für kalte, schwere und trockene Landwinde, bald zum Appellort für kühle, leichtere und feuchte Seewinde. Ähnlich wie auf den Inseln und in den Küstenländern Tag für Tag, stellt sich somit im Grossen zwischen diesen Continentalmassen und den benachbarten Oceanen einmal im Jahr ein Umschlag der Winde ein, für die man in diesem Falle, da sie gerade die Jahreszeiten desto schärfer abgrenzen und bestimmen, das arabische Schlagwort „Monsune“ beibehalten hat. Merkwürdigerweise sind es lediglich die Ost- und Südostseiten der nördlichen Continentalmassen, die diesen Monsunwechsel mit der demselben eigenthümlichen Regelmässigkeit aufweisen, namentlich also die Süd-, Süd-Ost- und Ostseite von Asien und Nord-Amerika, die in einer Jahreshälfte die vorherrschenden NW-, N.- und NO.-Winde, in der anderen die S-, SO.- und SW.-Winde haben. Ja, ähnliche Monsune lassen sich auch anderwärts auf Kosten der abgelenkten Passate beobachten, wie insbesondere in Nord-Australien und an den Küsten von Ober-Guinea und zwar entsprechend dem Stande der Sonne, welche bald die Luftmassen über der Sahara und Australien stark erhitzt und auflockert bald wiederum, in der Nähe des entgegengesetzten Wendekreises sich befindend, dieselben bedeutend erkalten lässt<sup>1)</sup>. Mit allen dem, wie entscheidend auch der Gegensatz in den Windverhältnissen der West- und Ostseiten der Continente, wie gross also die lokalen störenden Einflüsse sein mögen, lässt es sich doch nicht läugnen, dass dieselben, um mit Dove zu sprechen, „nicht als primäre Ursachen anerkannt werden dürfen, sondern bloss als Modifikationen universeller, in den Gesamtbewegungen der Atmosphäre begründeter Ursachen.“

Es ist nun eben so einleuchtend als naturgemäss, dass die Winde, einmal als ein Erzeugniss der ungleichmässigen Insolation auf verschiedene Punkte der Erdoberfläche anerkannt, in ihrer Richtung aber und in ihrem Wechsel bald von dem Stande der Sonne, bald von der Erdrotation und der Vertheilung des Festen und des Flüssigen unmittelbar beeinflusst, dass die Winde, einerseits selbst ein Produkt dieser geophysischen Wirkungen, sich andererseits zum besonderen Faktor gestalten, mit dem nicht allein die Meteorologen, sondern auch die Geologen in erster Linie zu rech-

<sup>1)</sup> cf. Hann, Hochstetter und Pokorny „Allgem. Erdkunde“, S. 59  
Wojeikof „Die atmosph. Circulation“, S. 3.

nen berufen sind. Indem nämlich lediglich die Winde es sind, die den Feuchtigkeitszustand der Atmosphäre bestimmen und unausgesetzt die Aufgabe der Regenvertheilung auf der gesammten Erdoberfläche zu erfüllen haben, zugleich aber in ihrem ewigen Kreislauf vom Äquator zu den Polen, von den Polen zum Äquator begriffen, selbst eine imposante bewegende Macht repräsentiren, deren Wirkung jeder Gegenstand, jeder Körper auf der Erde ohne Ausnahme ausgesetzt ist und derselben mehr oder weniger, früher oder später unterliegen muss, so ergibt sich von selbst, dass man — um ihre geologische Rolle näher prüfen und constatiren zu können — sie unter dieser doppelten Beziehung zu betrachten hat: einerseits also als klimatisch-meteorisches, andererseits als mechanisches Agens. Damit wird man aber schwerlich der Geologie den Vorwurf machen können, als greife sie und zwar in Bezug auf die erste Art der genannten Wirkungen der Winde in das Bereich derjenigen Wissenschaft, die sich gerade mit dem näheren Studium dieser Wirkungen beschäftigt. Die Klimate der Vorzeit gehören ja mit zu derselben Erdgeschichte, mit deren Erforschung sich die Geologen befassen; mit demsel-

ben Rechte liegt ihnen das Studium der klimatischen Einflüsse der Winde in der Jetztzeit ob. Wer weiss ausserdem, ob die Lösung mancher noch stets räthselhaften Fragen in Betreff jener Klimate der geologischen Vergangenheit nicht gerade in der Ergründung der klimatischen Bedingungen und Phänomene der geologischen Gegenwart zu suchen und zu finden sei. Übrigens, wo sind jene Schranken, die für die geologischen Probleme als feste Begrenzung anzusehen sind? Anfänglich an die Astronomie sich eng anschliessend, dann die chemischen Wahlverwandtschaften aus dem Laboratorium des Chemikers, die statischen und dynamischen Gesetze aber aus demjenigen des Physikers entlehnend, bald wiederum genöthigt, mit den anderen Naturforschern in dem Aufbau der Entwicklungsgeschichte der organischen Welt Hand in Hand zu gehen, ist ja die Geologie noch obendrein mit der Geographie am engsten verbunden, um schliesslich noch mit ihren Höhlenbewohnern, Kjökkenmöddingers und Pfahlbauten als eine wichtige Einleitung zur Ethnologie und Universalgeschichte zu dienen. Die Winde bilden nun aber augenscheinlich ja die natürliche Brücke zwischen der Geologie und der Meteorologie.

## I. Theil. Klimatisch-meteorologische Wirkungen der Winde.

### Allgemeine klimatische Rolle der Winde.

Gewiss würden die Winde, wie unberechenbar auch ihre Bedeutung sein mag, nur zu schnell dieselbe einbüßen müssen, wären sie nicht mit der Eigenschaft ausgestattet, bald trocken, bald feucht zu erscheinen. Gleich wie ihren Ursprung und ihr Dasein überhaupt, verdanken sie auch diese Eigenschaft der Sonne. Dieselbe erzeugt nämlich nicht bloss die Auflockerung der Luft, Steigwinde und somit jene barometrischen Minima, die das Signal zu dem bekannten, grossartigen Kreislauf der Atmosphäre geben, sondern sie veranlasst auch gleichzeitig durch ihre erwärmenden Strahlen die fortwährende Dampfbildung an den Gewässern, hebt beständig die auf diese Art sich entwickelnden Dampfmassen in die Höhe und ermöglicht somit, dass auch das Wasser, nachdem es seinen Aggregatzustand verändert, mit in die allgemeine Circulation der Luft hineingezogen und die Atmosphäre, sonst ein Gemenge von Stickstoff und Sauerstoff, zugleich auch in „eine Dampfmaschine, die ihren Condensator in der Höhe hat“, verwandelt wird. Und so geschieht es, dass, „während der eigentliche Ocean bloss die Ränder der Continente bespült, ein anderes Meer, getragen von den Lüften, ringsherum über dem Planeten fliesst“<sup>1)</sup>.

<sup>1)</sup> Reclus „La Terre“ II, p. 362.

Es ist aber leicht begreiflich, dass Angesichts dieses Umstandes den Winden, je nachdem sie Polarströme oder Äquatorialströme sind, auch eine zweifache Rolle zukommt. Die ersten, indem sie die Luftmassen von höheren Breiten mitbringen, die mit jedem Schritte an Temperatur gewinnen und demzufolge sich vom Sättigungspunkte entfernen, werden als trockene Winde erscheinen müssen, die anderen dagegen, da ihnen auf ihrem Wege gerade das Gegentheil begegnet, werden stets gezwungen, ihren Wasserdampf zu condensiren und auf diese Weise die Niederschläge zu bewirken. Zugleich werden die ersteren als verhältnissmässig kalte Luftströme dicht und schwer, die anderen, Dank ihrer Herkunft, immer warm, locker und leicht zum Vorschein treten. Diese zweifache Natur der Winde ist es nun, welche sie auch neben der Vertheilung der Wärme zum mächtigsten klimatischen Faktor gestaltet, indem der Kreislauf des Flüssigen und der Wechsel des Luftdruckes gerade dadurch gleichbedeutend wird mit dem Bewegungsmechanismus der Atmosphäre. Und in der That, versteht man unter dem Klima „den durchschnittlichen Zustand der meteorologischen Elemente an einem Ort mit Einschluss ihrer regelmässigen täglichen und jährlichen Veränderung“<sup>1)</sup>, also den durchschnittlichen Zustand der Lufttemperatur, des Wasserdampf-

<sup>1)</sup> Mohn „Lehrbuch der Meteorologie“, S. 2.

gehaltenes der Atmosphäre, des Luftdruckes, der Winde, der Menge und Gestalt der Wolken und des Niederschlags, so ist es auch leicht einzusehen, dass alle diese meteorologischen Elemente, ausgenommen bloss in gewisser Beziehung die Lufttemperatur eines gewissen Ortes, unmittelbar durch die Winde selbst bedingt sind <sup>1)</sup>. Allein sogar die Lufttemperatur, wiewohl sie unbestritten in erster Linie von der geographischen Lage des betreffenden Ortes, so wie von der Tages- und Jahreszeit abhängig ist, erleidet in Folge des Wechsels der entgegengesetzten Luftströmungen oft genug grössere Abweichungen — freilich nicht in der Passatregion, wo dieser Wechsel fehlt, um so bestimmter aber in der aussertropischen Zone, wo die nördlichen Winde plötzlich, besonders im Winter, gleichsam die geographische Breite des Ortes polwärts verschieben, die südlichen aber um so auffallender denselben in die wärmeren Gegenden des Südens versetzen <sup>2)</sup>. Die Nordwinde stellen uns nämlich direkt unter den Einfluss der kalten Zone, der Wasserdampf aber, den die Südwinde aus der heissen Zone überbringen, und der bei der Condensation sich seiner gebundenen Wärme entledigt, trägt zur beträchtlichen Hebung der Lufttemperatur des Ortes bei. „Wie die Hähne an der Badewanne, aus welchen warmes und kaltes Wasser bei entgegengesetzter Stellung strömt, regulirt die Windfahne die Temperatur des Luftbades“ <sup>3)</sup>.

In Anbetracht aller dieser Erscheinungen lassen sich demnach bezüglich jener beiden Hauptluftströmungen folgende Regeln aufstellen:

a) die Winde, welche von der Äquatorseite herkommen, zeichnen sich durch den höchsten Wärmegrad, den grössten Dampfgehalt, die stärkste Bewölkung, den häufigsten Niederschlag und den niedrigsten Luftdruck aus.

b) die Winde, welche von der Polarseite kommen, thun sich durch niedrigen Wärmegrad, den geringsten Dampfgehalt, das klarste Wetter, den seltensten Niederschlag und den höchsten Luftdruck hervor <sup>4)</sup>.

Diese Regeln sind es auch, die uns die Mittel in die Hand geben, die Wirkungen der Winde in klimatischer Beziehung spezieller zu verfolgen.

Vor allem ergibt sich schon von selbst, welchem Systeme der genannten Winde wir den Charakter der eigentlichen Niederschlagsvertheiler zuzuschreiben haben, dass es namentlich die Äquatorialströme sind, welche stets, sei es den Regen, sei es den Schneefall bewirken. Dadurch werden sie aber gleichsam zu grossartigen Adern, deren sich das Wasser zu seiner Circulation über und auf den Continenten

bedient und können mit vollem Recht als Rückwärtsverlängerungen der Flüsse zu demselben Ocean angesehen werden, in welchem wiederum stromabwärts diese Flüsse ihre Mündung finden. Wenn demnach auf den Continenten überhaupt sich Quellen, Bäche, Ströme, Teiche und See'n vorfinden, wenn sie bald wasserärmer, bald wasserreicher erscheinen, so ist das alles auf ihre Urquelle, auf die Äquatorialströme und ihre Häufigkeit zurückzuführen. Consequenterweise wird man ferner sagen müssen, dass auch die Transportfähigkeit der fliessenden Gewässer, also überhaupt die nivellirende Thätigkeit des Wassers auf der Erdoberfläche geradezu durch die genannten Luftströme bedingt werden. Und hierin ist gerade ihre erste, hervorragendste geologische Bedeutung zu verzeichnen. Freilich spielen in dieser Hinsicht auch die Steigwinde eine ganz fest ausgeprägte Rolle, allein schon ihrer Entstehungsart wegen können sie nicht als eine besondere Klasse von Winden aufgefasst werden und dürfen wohl, ungeachtet sie sich nicht nur im Calmngürtel und bei jedesmaligem Zenithstande der Sonne unter den Tropen, sondern auch öfters im Sommer über den Continenten der gemässigten Zone bilden, als lokalisirte, bloss in ihrer Ausbildung unterbrochene Äquatorialströme angesehen werden.

Gerade entgegengesetzt stellt sich die Rolle des anderen Windsystems, d. i. der Polarströme, dar. Vom Kältepol gegen den Äquator hin sich bewegend, gewinnen sie stufenweise mit immer höherer Wärme auch stets grössere Capacität, neue Wasserdampfmengen aufzunehmen und verrathen somit deutlich genug das Bestreben, der Arbeit ihres Gegners entgegenzuwirken, das niedergeschlagene Wasser also wiederum in Dampfform der Atmosphäre zurückzugeben. Zwar bewirkt diess in weit höherem Grade die Sonnenwärme selbst, allein wie schnell abgebrochen würde diese von der Sonnenwärme herrührende Verdunstung sein, wären die Winde nicht dabei im Spiel! „Die Luft würde dann bald mit Wasserdampf gesättigt werden und damit die Verdunstung nach und nach aufhören. Bei einem Winde werden dagegen immer neue trockene Luftmassen über die verdampfende Oberfläche hingeführt und zugleich die schon mit Wasserdampf gesättigten Luftschichten entfernt“ <sup>1)</sup>. Wenn somit, Dank dem Einfluss der Sonne, die Dampfbildung am Ocean ungestört fort dauert, so ist diess, wie man sieht, abermals den Winden, diessmal den Polarströmen zuzuschreiben. Da dieselben aber andererseits stets in ihrem Rücken eine Lücke erzeugen, setzen sie dadurch direkt die Äquatorialströme in den Stand, nach derselben abzufliessen und zugleich mit sich die entwickelten Wasserdampfmassen zu entführen, in demselben Augenblicke aber erlauben sie wiederum auch der Sonne, neue Wasserquantitäten in

<sup>1)</sup> Dove „Meteorolog. Untersuchungen“, S. 99—120.

<sup>2)</sup> Hann, Hochstetter und Pokorny „Allgem. Erdkunde“, S. 61.

<sup>3)</sup> Dove „Meteorolog. Untersuchungen“, S. 18.

<sup>4)</sup> Mohr „Lehrbuch der Meteorologie“, S. 176.

<sup>1)</sup> Mohr „Lehrbuch der Meteorologie“, S. 69.

Dampfform in die Lüfte zu heben. Ja, indem sie sich auf ihren Bahnen selbst mit Wasserdampf beladen, führen sie ihn merkwürdigerweise wiederum denselben Luftströmen zu, mit denen sie doch ewig verfeindet zu sein scheinen. In der That, wie gross auch die Wohlthaten der Äquatorialströme sein mögen, die Polarströme erfüllen eine nicht minder wichtige Aufgabe!

Zusammengenommen stellen sich aber diese beiden Luftströme neben der Sonnenwärme deutlich genug als die einzigen Agentien der Natur dar, die geradezu berufen sind, das ungeheure oceanische Wasserbassin der Erde, aus dem sie fortwährend von Neuem ihren Wassergehalt schöpfen, einmal vollständig zu entleeren. Denn bekanntlich kehrt nicht alles Wasser, welches, Dank den Winden, auf die Landesfeste niederfällt, durch Verdunstung in die Atmosphäre, durch Flüsse aber in den Ocean zurück. Ein bedeutender Theil davon — um ihn zu messen, fehlt uns leider ein zuverlässiger Maassstab — wird ja beständig bald von den organischen Wesen, bald von den Gesteinen der Circulation schon auf immerdar entzogen und chemisch gebunden. Bedenkt man nun, dass bereits  $\frac{1}{17}$  der ursprünglichen Wassermenge der Erde auf diese Weise gebunden ist<sup>1)</sup>, so haben augenscheinlich die Winde diese Masse vom Ocean den Festländern zugeführt. Und doch arbeiten sie noch stets in demselben Sinne, ohne dass irgend ein Zeichen da wäre, dass sie ihre Arbeit — ohne dieselbe vollführt zu haben — einmal abbrechen werden. Demzufolge ist dann aber auch das Meeresniveau keineswegs als constant anzusehen. Manche sogen. Hebung des Continents ist gewiss bloss auf das säculare Sinken des Oceanspiegels zurückzuführen, somit also auch mancher Zuwachs des Festen der erwähnten unermüdeten Arbeit der Winde zuzuschreiben.

#### Winde und Continente — Windseite und Leeseite.

Indess behalten die genannten zwei Hauptwindssysteme bei weitem nicht überall und immer ihren eben geschilderten Charakter. Wenn man nämlich ihre typische Eigenthümlichkeit nur und fast ausschliesslich am Ocean verfolgen kann, so sind wiederum dieselben Continente daran Schuld, die, wie wir gesehen, bereits ihre symmetrische Vertheilung auf mannigfache Art verschieben und stören. Bekanntlich dehnen sich die Festländer einerseits in der Breite und Länge aus, andererseits stellen sie in ihrer vertikalen Gliederung einen steten Wechsel von Tiefländern, Hochländern, Plateaux und mehr oder weniger hohen Gebirgszügen dar. Es ist aber für die Winde natürlich nicht gleichgültig, ob sie über mehr oder weniger ausgedehnte Landstriche, ob sie über Ebenen, Hügelländer oder gebirgige

<sup>1)</sup> cf. Hann, Hochstetter und Pokorny, „Allgem. Erdkunde“, S. 157.

Gegenden hinwehen. Wie jeder einmal in Bewegung gesetzte Körper müssen auch die Winde mit den Hindernissen, denen sie begegnen, rechnen. Freilich sind sie als gasig-elastische Körper zum Kampfe mit diesen Hindernissen vorzüglich ausgestattet; wenn sie den Widerstand nicht direkt überwinden können, so bleibt ihnen doch noch immer die Möglichkeit übrig, demselben auszuweichen, immer aber geschieht derartige Arbeit der Winde nicht ohne namhaften Verlust mancher ihnen früher innewohnenden Eigenschaften<sup>1)</sup>, so dass schliesslich, wenn sie den Kampfplatz verlassen, ihr ursprünglicher Charakter und Effekt bald theilweis modificirt, bald gänzlich umgewandelt zum Vorschein kommen. Weht nämlich ein Äquatorialstrom über ausgedehnte Landflächen, so ist es augenscheinlich, dass er an der Küste derselben, die er zuerst berührt, den meisten Niederschlag erzeugen, je weiter aber landeinwärts, desto ärmer an Feuchtigkeitsgehalt erscheinen wird und am Ende sogar so weit seine Natur verändern kann, dass er als ganz trockener Wind auftritt. „Die Armuth der Erdräume an wässerigen Niederschlägen wächst nämlich mit ihrer Entfernung von demjenigen Meere, dessen Dünste ihnen die herrschenden Luftströmungen zuführen sollen“<sup>2)</sup>. Daher kommt es, dass z. B. in den Vereinigten Staaten von Nord-Amerika beim SO.-Monsun die Regenmenge in der Richtung von O. nach W. sich stets vermindert, wie diess beispielsweise folgende Orte zeigen:

Ort.	N. Br.	W. L. v. Greenwich.	Regenmenge in Engl. Zolle n
Huntsville (Tennessee)	36° 26'	84° 29'	54,9
Memphis (am Mississippi)	35 9	90 0	41,8
Fort Smith (am Arkansas)	35 24	94 25	41,0
Fort Gibson (Indian Territory)	35 50	95 15	34,3
Fort Union (Neu-Mexico)	35 56	104 58	19,2 <sup>3)</sup>

Eben so beschaffen sind die Regenverhältnisse einzelner Orte in Europa und Nordwest-Asien in der Richtung von W. nach O. Es beträgt z. B. in Edinburgh die Regenhöhe 21,9 Par. Zoll oder 592 Mm., in Christiania 538 Mm., Stockholm 523 Mm., St. Petersburg 423 Mm., Kasan 354 Mm., Barnaul 232 Mm., während über der Kaspischen Senkung die Äquatorialströme bereits fast ganz trocken wehen, indem die Regenhöhe für Astrachan im Jahr sich bloss auf 124 Mm., d. h. 4,6 Par. Zoll, beläuft<sup>4)</sup>. Aber auch der Polarstrom kann in Widerspruch mit sich selbst gerathen, und zwar wenn er ein Hochplateau oder eine Gebirgskette zu übersteigen hat. Da er nämlich dabei in höhere, kältere Regionen sich zu erheben genöthigt ist, so wird er

<sup>1)</sup> . . . „the air and vapour . . . must perform work, and this work cannot be performed, save at the expense of the warmth, with which they were in the first instance charged.“ J. Tyndall „Heat a mode of motion“, p. 169—170, cf. p. 352.

<sup>2)</sup> Peschel „Neue Probleme d. vergleichenden Erdkunde“, S. 156.

<sup>3)</sup> Ibidem, S. 158.

<sup>4)</sup> Hann, Hochstetter und Pokorny „Allgem. Erdkunde“, S. 77.

dadurch bis zu gewissem Grade der Abkühlung ausgesetzt, dermaassen, dass er schliesslich, ursprünglich trocken seinem Charakter nach, in betreffenden Gebirgsländern als ein Regenbringer sich ausweist. So z. B. verdankt das Atlas-Gebirge zum Theil gerade dem Polarstrom seinen Niederschlag, so wie die Hawaii (Sandwich-) Inseln und zwar lediglich auf ihrer Nordseite dem sonst von Natur aus trockenen NO.-Passat<sup>1)</sup>. Trifft der Äquatorialstrom ein steiles und hohes Gebirge im Wege, so gestaltet sich dabei der Vorgang auf dieselbe Weise, nur freilich wird der Niederschlag an der Windseite naturgemäss um so grösser sein. Daher beträgt denn auch die jährliche Regenhöhe in Floree, an der Norwegischen Küste, über 2000 Mm., in Bergen 1835 Mm., in Coimbra in Portugal, am Fuss der steilen Sierra d'Estrella, 3010 Mm., an der nordwestlichen Küste von England 2900 Mm., in Kutais, am südwestlichen Abhang des Kaukasus, 1421 Mm., am westlichen Abhang der Anden in Süd-Chile und Patagonien 2400—3350 Mm., am Kap York (Nordspitze von Australien) 2210 Mm., am westlichen Abhang der West-Gat-Gebirge 4500—6500 Mm., in Cherrapunje, am Abhange der Kassia-Gebirge, 14.200 Mm.<sup>2)</sup> Je reichlicher sich aber der Niederschlag an der Windseite herausstellt, desto mehr müssen gleichzeitig die an der Leeseite, also im Windschatten gelegenen Orte an der Niederschlagsmenge verkürzt werden, und waren die Gebirge hoch und ausgedehnt genug, um den Äquatorialstrom zur Condensation nahezu seines ganzen Wasserdampfgehaltes zwingen zu können, so steht's schlecht um die Landschaften auf der entgegengesetzten Seite des Gebirges, wenn sie gerade auf den Regen harren, der Äquatorialstrom senkt sich zwar zu ihnen nieder, aber sein Hauch ist bereits heiss und trocken, ja, was viel schlimmer, selbst nach Wasser dürstend.

Es sind diess in der That schwerwiegende Erscheinungen im Reich der Winde — Erscheinungen, die für die physische Geographie von desto grösserer Bedeutung sind, als sie auf unserem überwiegend oceanischen Planeten gerade Regenverhältnisse der Festländer hervorbringen, die als Ausnahmen zu betrachten sind. Andererseits stellt sich dabei ein eigenthümliches Spiel der Natur heraus, dass gerade dieselbe Ursache, d. h. die Wärme, welche einst zur Emporhebung der Gebirge auf der Erdoberfläche beigetragen hatte, dass dieselbe Ursache, welche überhaupt alle die kolossalen Faltungen und Unebenheiten der Erdkruste hervorgerufen und auf diese Weise sich zugleich als Hauptfaktor an der Vertheilung des Festen und des Flüssigen

auf der Erde erwiesen hatte, auch gleichzeitig in den Winden jene rastlose Macht schuf, die berufen ist, gegen jenes Werk geradezu zerstörend zu wirken. Schon im Grossen und Allgemeinen lässt es sich bestimmt genug feststellen, dass gerade die nördliche, also die continentale Halbkugel bedeutend grösseren Niederschlag bekommt als die südliche, die oceanische. Während nämlich nach den Berechnungen von Keith Johnston die erste eine jährliche Regenhöhe von 95 Cm. aufzuweisen hat, erhält die andere bloss 65 Cm.<sup>1)</sup> — eine Unregelmässigkeit, in der augenscheinlich die dynamische Geologie keine geringe Triebfeder für manche Zerstörungs- und Umbildungsprozesse auf den Festländern anzuerkennen hat. „Die Menge der atmosphärischen Niederschläge ist nämlich“, wie H. Credner<sup>2)</sup> sagt, „einer der wichtigsten geologischen Faktoren; hängt doch von ihm das Maass der Thätigkeit des Wassers ab.“ Zeigen sich aber auf diese Weise die Continente als „aufsaugende Schlünde“ des Wasserreservoirs der südlichen Halbkugel, so sind es insbesondere die Gebirge, die auf den Festländern am heftigsten von den Winden angegriffen werden. Gleichviel ob es die Polar- oder Äquatorialströme sind, beide stürzen sich ja mit der grössten Energie auf die Hervorragungen, und an sich zu schwach, um sie durch ihren Stoss auf einmal zu zerstören, umhüllen sie wenigstens dieselben mit Wolken, benetzen sie am reichlichsten mit Niederschlag, das Übrige, also das Abnagen, Abwaschen und Fortführen der Gesteine, der Fallkraft des Wassers überlassend. Wenn sich nun demzufolge die Landsee'n allmählich mit Sedimenten ausfüllen, wenn wir am Meeresgrund in frisch abgelagerten Schichten den Schutt, Sand und Thon finden, welche von den Flüssen immer von Neuem abgesetzt werden, so dürfen wir nicht vergessen, dass diese Trümmer nichts anderes sind, als eben so viele direkte Belegstücke für die Macht der Winde, der sogar die felsige Stirn der Gebirge vergeblich bestrebt ist Trotz zu bieten.

#### Höhengrenzen des ewigen Schnee's und der Gletscher.

Es ist einleuchtend, dass die Gebirge auch die Spuren, auch das Merkmal dieser fort dauernden feindlichen Begegnung mit den Winden aufweisen müssen und zwar nicht bloss in der steten Volumenverminderung und Abtragung der Höhe ihrer Gipfel und Rücken, was sich aber schwer durch irgend eine zuverlässige Zahl bestimmen lässt, sondern auch in dem Reichthum der Quellen und in der Wasserabundanz der Flusssysteme, die ja grösstentheils in den Gebirgen ihren Ursprung nehmen und wiederum dem Ocean in jeder Sekunde 265.000 Kubikmeter Wasser nach der

<sup>1)</sup> Dr. C. E. Meinicke „Gebirgsbau der Gruppe Hawaii“ in Petermann's „Mitth.“ 1874, S. 214.

<sup>2)</sup> cf. Mohn „Lehrb. d. Meteorologie“, S. 160—164; Hann, Hochstetter und Pokorny „Allgem. Erdkunde“, S. 77.

<sup>1)</sup> Reclus „La Terre“ II, p. 405; cf. Dove „Eiszeit, Föhn und Scirocco“ (Berlin 1867), S. 8.

<sup>2)</sup> „Elemente der Geologie“ (Leipzig 1876), S. 249.

einen, 2 Millionen Kubikmeter Wasser aber nach der anderen Schätzung abgeben<sup>1)</sup>. Insbesondere aber ist diese Spur in der Höhe der Schneelinien und in der Ausdehnung, dem Vorrücken oder dem Rückgang der Gletscher zu suchen. Zwar möchte man geneigt sein zu glauben — und die noch unlängst herrschende Ansicht war gerade keine andere —, diese letzteren Verhältnisse wären vor allem — abgesehen schon von der Berggestalt — von der geographischen Lage, also von der Vertheilung der Wärme abhängig. Und doch würde eine ähnliche Annahme in grellsten Widerspruch mit den beobachteten Thatsachen gerathen. Bereits Humboldt<sup>2)</sup> macht darauf aufmerksam, dass bei dieser Erscheinung mehrere Umstände zusammenwirken, insbesondere aber die Richtung der vorherrschenden Winde. Um so bestimmter sprechen diess die heutigen Physiker<sup>3)</sup>, Meteorologen<sup>4)</sup> und Geologen<sup>5)</sup> aus, indem sie sagen, dass die Höhe der Schneelinie und die Gletscherbildung keineswegs von der Kälte allein, sondern vor allem von der Menge des Niederschlags resp. des Schnee's abhängig sind, also, was damit gleichbedeutend ist, von den vorherrschenden, mit Wasserdampf reichlich beladenen Äquatorialströmen. Und in der That, wenn wir uns in der Geographie der Gebirge umsehen, finden wir diese Regel überall am deutlichsten bewährt. Im Himalaya, dessen Südabhang ein ganzes Halbjahr dem feuchten Hauch des SW.-Monsuns ausgesetzt ist und wo man überhaupt die grössten bekannten Regenmengen beobachtet, deren Nordabhang aber gerade gleichzeitig im Windschatten gelegen ist und in der anderen Jahreshälfte nur sehr spärliche Niederschläge vom NO.-Monsun erhält, ist auch die Schneegrenze an diesen beiden Abhängen ganz verschieden; an der Südseite senkt sie sich nämlich — nach den Brüdern Schlagintweit — bis zu 4892, nach Hooker bis 4250 Meter, während sie an der Nordseite bis zu einer Höhe von 5254 nach Schlagintweit, bis 5666 Meter nach Hooker steigt. Wenn aber in Tibet der Schnee erst in einer Höhe von 6000 Meter und darüber zu finden ist und in der Karakorum-Kette auf der Südseite die Schneelinie erst in einer Höhe von 5860 Meter, an der Nordseite dagegen 5620 Meter hoch verläuft, so ist diess abermals demselben SW.-Monsun zuzuschreiben, der nach Übersteigung des Himalaya bereits nahezu oder fast ganz trocken ist; um so mehr dagegen kann sich dann die Wirkung des Nord-Ost-Monsuns auf den Nordabhang der Karakorum-Kette geltend machen, weshalb wir auch dort wirklich die Schneelinie

tiefer gelegen finden. Auf ähnliche Ursache, nicht auf den Einfluss des Plateau's, wie es Pentland<sup>1)</sup> irrthümlich glaubte, lässt sich ferner der Umstand zurückführen, dass die Schneelinie der Anden am Äquator in der Höhe von 4500 (nach Reclus), von 4820 (nach Hann) verläuft, während sie viel südlicher an der Westseite der Bolivianischen und Chile'schen Anden erst 5500 bis 5620 Meter hoch anzutreffen ist, oder dass an der Westseite von Norwegen die Grenze des ewigen Schnee's 884—1360, an der Ostseite aber 1021 bis 1680 Meter, an der Westseite des Kaukasus 3570, an der Ostseite erst 4300 Meter hoch zu liegen kommt. Wenn wir dagegen hören, dass im Ural (1200—1500 Meter hoch) sogar kein ewiger Schnee vorkommt, so ist diess nicht bloss dem Einflusse der landeinwärts wachsenden Temperatursprünge, sondern auch abermals demjenigen der Äquatorialströme zuzuschreiben, die, je weiter landeinwärts, desto geringeren Feuchtigkeitsgehalt aufweisen<sup>2)</sup>.

Dasselbe, was für die Schneegrenzen einzelner Gebirge gilt, lässt sich natürlich in Betreff der Gletschervertheilung sagen. Auch die Gletscher stehen in direkter Abhängigkeit, eben so gut von der Temperatur als von dem Feuchtigkeitsgrade der Atmosphäre, den gerade die Winde bestimmen. Es ist somit nicht zu verwundern, wenn z. B. die Gletscher im Kaukasus, wohin die Äquatorialströme bereits namhaft modificirt gelangen, keineswegs so imposant sich entwickeln können, wie es in den Alpen der Fall ist, mit denen der Kaukasus fast in derselben Breite gelegen ist. Eben so erklärlich ist es, wenn an der Westseite der südlichen Neu-Seeland-Insel, wo (in Hokitika) die Nordwestwinde eine jährliche Regenhöhe von 2840 Mm. verursachen, der Gletscher Waiau bis 212 Meter über dem Meeresspiegel niedersteigt, während der Gletscher Tasman an der Ostseite, wo die Regenmenge per Jahr bloss 650—800 Mm. erreicht, seine Endmoräne bereits in der Höhe von 835 Meter hat<sup>3)</sup>. Denselben gegen Osten abgelenkten und das ganze Jahr hindurch vorherrschenden Äquatorialströmen ist es ferner zu verdanken, dass in Spitzbergen, Südwest-Patagonien und Feuerland die Gletscher bis zum Meere selbst hinabsteigen. Erfahren wir aber, dass in den West- und Mittelalpen die Schneelinie in einer Höhe von 2700 Meter, in den Ostalpen aber um 100 Meter höher gelegen ist und dass auch die Gletscher in Tirol im Allgemeinen geringer sind im Vergleich mit den Schweizerischen, so lässt sich das wiederum nicht einzig und allein der lokalen Gestaltung der einzelnen Massivs zuschreiben, als vielmehr den

<sup>1)</sup> Reclus „La Terre“ I, p. 498.

<sup>2)</sup> „Kosmos“ (Stuttgart 1874) I, S. 215.

<sup>3)</sup> J. Tyndall „Heat a mode of motion“, p. 188 und 189.

<sup>4)</sup> Hann, Hochstetter und Pokorny „Allgem. Erdkunde“, S. 82 und 83.

<sup>5)</sup> Dana „Manual of geology“ (Philadelphia und London 1863), p. 671; Credner „Elemente der Geologie“, S. 239.

<sup>1)</sup> s. „Jahrbuch für Geologie, Paläontologie und Mineralogie“ 1833, S. 715.

<sup>2)</sup> Reclus „La Terre“ I, p. 202—209, 271; Hann, Hochstetter und Pokorny „Allgem. Erdkunde“, S. 82.

<sup>3)</sup> Reclus „La Terre“ I, p. 276; Mohn „Lehrbuch der Meteorologie“, S. 163.



Südwestwinden, die am freigebigsten dort erscheinen, wo sie früher anlangen. So soll nach Sonklar der Schneefall in der Schweiz im Winter 2 bis  $2\frac{1}{2}$  Mal reichlicher sein als in Tirol<sup>1)</sup>. Aber noch einen anderen Umstand darf man dabei nicht ausser Acht lassen. Eigenthümlicher Weise stehen die Alpen gleichsam an der Scheidelinie der subtropischen Zone und derjenigen der Südwestwinde zu allen Jahreszeiten und so kommt es, dass die Central- und Ostalpen von den Südwestwinden den meisten Niederschlag im Sommer, die Westalpen im Herbst oder im Winter bekommen. „Daher die überwiegende Gletscherbildung in der Schweiz, dagegen aber der Reichthum von Wasserfällen in Salzburg und Tirol“<sup>2)</sup>. Bezeichnend ist in dieser Beziehung, dass die meisten Alpengletscher gegenwärtig im allmählichen Rückzug begriffen sind. So soll sich das Mer de glace seit 1826—66 bereits um 388 Meter, der Gletscher du Tour seit 1854 um 520 Meter zurückgezogen haben, während gleichzeitig auch ihre Mächtigkeit sichtbar abgenommen hat, wie die des Mer de glace an einigen Stellen sogar um 100 Meter. So haben sich auch in den nordöstlichen Berner Alpen die beiden Gletscher des Grindelwaldthales in 4 Jahren (1865—69), der eine um 378, der andere um 594 Meter zurückgezogen; dasselbe ist ebenfalls an den Gletschern von Tirol zu beobachten<sup>3)</sup>, während J. Payer<sup>4)</sup> speziell von den Gletschern der Ortler-Alpen berichtet, dass sie seit mehr als 20 Jahren auffällig zurückgehen und an Mächtigkeit abnehmen — alles Erscheinungen, die nur direkt beweisen würden, dass die Nordgrenze der Europäischen Subtropenzone in dieser Periode eine Verschiebung gegen Süden erlitten hat und somit die Sommerregen in den Alpen sich um so stärker geltend machen konnten. Das Vorrücken oder Zurückweichen der Alpengletscher steht also im engsten Zusammenhang mit dem Umstand, ob „die unter dem Äquator aufsteigende Luftmasse bei ihrer Rückkehr nach dem Pole früher oder später den Boden fasst“<sup>5)</sup>. Es mag viel Wahrscheinliches in der Annahme Dana's<sup>6)</sup> sein, derzufolge, wenn der Golfstrom von den Küsten Europa's abgewendet werden könnte oder Europa einen grösseren Landzuwachs gegen den Pol hin bekäme, die Gletscher in Irland und England dann, wie etwa heutzutage im Feuerland, bis zum Meeresspiegel reichen würden und auch die Schneegrenze in den Alpen bedeutend sinken müsste; immer aber würde diess nur dann und so lange

<sup>1)</sup> s. Reclus „La Terre“ I, p. 266.

<sup>2)</sup> Dove „Über Eiszeit, Föhn und Scirocco“, S. 16—17; und Dr. Hermann Schlagintweit „Über die Regenverhältnisse der Alpen“ im „Jahrbuch der k. k. geolog. Reichsanstalt“ 1850, No. 2, S. 280—286.

<sup>3)</sup> Reclus „La Terre“ I, p. 258—259.

<sup>4)</sup> in Petermann's „Mitth.“ Ergänzungsheft No. 23, S. 7—8; No. 27, S. 8; No. 31, S. 4—5.

<sup>5)</sup> Dove „Über Eiszeit, Föhn und Scirocco“, S. 17.

<sup>6)</sup> „Manual of geology“ p. 45, 46, 672.

Czerny, Wirkungen der Winde.

möglich, wenn und wie lange Europa unter der Wirkung der gegen Osten abgelenkten Äquatorialströme stünde; denken wir uns aber dieselben entfernt, etwa durch die Annahme einer Rotation der Erde in der Richtung von O. nach W., so würde dann sichtlich nicht nur der Mangel eines Golfstroms, sondern auch sogar der unter solchen Verhältnissen jedesmal im Winter erzeugte Kältepol Europa's bei weitem nicht die Erwartungen Dana's erfüllen. Zur Gletscherbildung ist nämlich stets und unablässig, wie es noch einmal Grad<sup>1)</sup> auf Grundlage seiner Untersuchungen wiederholt, neben der kühlen, gemässigten Temperatur vor Allem der häufige und reichliche Niederschlag nothwendig. Auch wenn sich die Sahara von Neuem mit Wasser bedecken möchte, würde aus diesem Umstande allein noch keineswegs die von den Schweizerischen Geologen Desor und Escher von der Linth vorhergesehene, auch von Lyell<sup>2)</sup> angenommene Gefahr resultiren, dass darauf in die heutzutage belebten Thäler der Schweiz abermals die todte, grausenhafte Eiszeit zurückkehren müsste. Dazu wäre — wie diess aus der Exposition Dove's<sup>3)</sup> hervorgeht — erforderlich, dass bei weitem grössere Areale der Festländer gleichzeitig unter Wasser versetzt würden; denn nur auf diese Weise könnten die Isothermen wesentlich verändert werden und die mittlere Jahrestemperatur der nördlichen Hemisphäre von  $12^{\circ} 4'$  Réaum., wie es heute der Fall ist, auf etwa  $10^{\circ} 9'$  R. sinken, welche mittlere Jahrestemperatur gerade die oceanische Südhälfte nach Dove's Berechnungen aufweist. Andererseits stammen ja die Äquatorialströme, die über die Alpen eben so gut gegenwärtig als während der Eiszeit wehten und wehen, mit nichten aus der Sahara, sondern viel westlicher aus dem Atlantischen Ocean, während die über dem Sahara-Meer aufsteigenden Luftströme in Folge der Erdrotation erst etwa den Kaukasus oder Hindukusch erreichen würden. „Europa ist nicht durch Luftheizung erwärmt, wofür Afrika den Ofen abgäbe, es ist vielmehr der Condensator des Westindischen Meeres“<sup>4)</sup>.

Die Schneelinien und die Ausdehnung der Gletscher, die wir als dauernde Spuren der dauernden Wirkungen der feuchten Winde auf die Gebirge bezeichnet haben, sind jedoch nicht überall und immer gesetzmässig an dieselbe Höhe gebunden, ja, sie können manchmal — insbesondere die Schneelinien — auf längere Zeit gänzlich verschwinden. Die Ursache davon sind wiederum die Winde, freilich die trockenen, indem sie die Evaporation des Schnee's sogar bei einer Temperatur unter  $0^{\circ}$  herbeiführen können. So

<sup>1)</sup> s. „Revue scientifique“ 4. September 1875, p. 226.

<sup>2)</sup> „Principles of geology“ I, p. 238.

<sup>3)</sup> „Über Eiszeit, Föhn und Scirocco“.

<sup>4)</sup> Dove „Der Schweizer Föhn“ (Berlin 1868), S. 8—9.

sagt Spörer<sup>1)</sup> vom Schnee der Tundren, dass „derselbe oft vor dem Eintritt der Schneeschmelze verdampft, aufgesogen von der trockenen Luft.“ Darwin erfuhr in Chile, dass während eines trockenen Sommers am Aconcagua-Vulkan aller Schnee verschwunden war, wiewohl der Berg 23.000 Engl. Fuss hoch ist, wobei dieser berühmte Naturforscher die Bemerkung hinzufügt, es sei wahrscheinlich, dass der meiste Schnee jener hohen Regionen eher verdunstet, als geschmolzen war. Rink sah in Grönland in den letzten Monaten des Herbstes viel Schnee verschwinden, so dass dadurch die erratischen Blöcke enthüllt wurden. Eben so begegneten Ross und Hooker im Victoria-Land Steinblöcken, die auf dem Schnee lagen — eine Erscheinung, die nicht erklärbar wäre, wenn nicht die Schneemassen, die dort während des Jahres fallen, von der Oberfläche durch Evaporation oder langsame Schmelzung entfernt würden<sup>2)</sup>. Ähnlich trafen die Reisenden an den Ostabhängen der Anden bei Mendoza (33° N. Br.) in einer Höhe von 4000 Meter keinen Schnee an; gleichfalls 4° nördlich unter dem Parallelkreise von Jamatina, 4300 Meter hoch; auch die Sierra de Zenta, am Wendekreise des Steinbocks, bedeckt sich sehr selten mit Schnee, während man an der Westseite der Bolivianischen Anden, wo die feuchten Winde höchst selten wehen, die Schneelinie erst in einer Höhe von 5600 Meter suchen muss. Gewöhnlich aber verdunstet dort der Schnee bald, nachdem er gefallen, ohne der Erde Feuchtigkeit zu verleihen. Oft am Mittag bemerkt man von Weitem an den Gipfeln die Wolken sich in die Höhe erheben und es ist gerade der Schnee von gestern, der in der Dampfform in die Lüfte steigt<sup>3)</sup>. Aber auch in den Pyrenäen kommen Jahre vor, wo die Schneebedeckung verschwindet. Sogar in den Alpen beobachtete man 1842 Jungfrauspitze, 1860—62 das Strahlhorn, 1859 Chaberton, also 3000—3350 Meter hohe Berge, namentlich in Herbstmonaten ohne Schneebedeckung dastehen<sup>4)</sup>.

Besonderes Interesse wecken in dieser Hinsicht die in der Schweiz unter dem Namen der „Föhne“ bekannten Winde. Manchmal schmelzen sie im Verlauf von bloss 12 Stunden  $\frac{3}{4}$  Meter dicke Schneedecken, während unter ihrem Hauch das frisch gemähte Gras in einigen Stunden heutrocken wird. So beobachtete im Juli 1841 bei einem Föhnwind der Astronom Irscher in Neufchâtel mit Hülfe des Teleskops, wie schnell und fortwährend die Schneelinie der Alpen unter dem Einfluss dieses Windes sich in die

Höhe hob<sup>1)</sup>. Der Föhn des Winters 1852 hat die Gegend von Zürich in wenigen Tagen von allem Schnee entblösst, sogar die Gebirgskämme mitgerechnet. Escher von der Linth hat denn auch dargethan, dass die Anzahl der Tage, an welchen der Föhn, den auch die Schweizer deswegen geradezu „Schneefresser“ nennen, weht, im engen Zusammenhang mit dem Vorwärtsrücken oder dem Rückgang der Gletscher steht<sup>2)</sup>. Diese Erscheinung ist aber mit nichten lediglich ein Monopol der Alpen. So berichtet Dr. J. Haast, dass die Nordwestwinde in Neu-Seeland an der Ostseite der dortigen Alpen eben so heiss erscheinen, wie in den Schweizerischen Thälern und plötzliche Anschwellungen der Gletscherbäche bewirken<sup>3)</sup>. Zu derselben Kategorie von Winden gehören ohne Zweifel die „austrocknenden Winde, welchen das Thal des Tulare-Lake (zwischen Coast Range und Sierra Nevada) ausgesetzt ist und welche wie die von einem glühenden Ofen erhitzte Luft wirken“<sup>4)</sup>. Auch der warme und trockene Südostwind, der nach Übersteigung des Alatau-Gebirges in der Alakulschen Steppe vom Herbst bis zum Frühjahr weht und von den Kirgisen „Ebe“ genannt wird<sup>5)</sup>, ist wohl nichts anderes als ein Föhn-Wind. Allein auch in Kärnten, im Kaukasus, in den Transsylvanischen Alpen, ja sogar in Grönland gehören die Föhne zu gewöhnlichen Erscheinungen<sup>6)</sup>. Es muss daher als ein Fehlgriff bezeichnet werden, wenn Lyell<sup>7)</sup> in Bezug auf Neu-Seeland diese Winde aus Australien herleiten will, Desor und Escher von der Linth aber denselben von der Sahara aus nach der Schweiz kommen lassen. Denn abgesehen schon davon, dass die südlichen Winde in der Schweiz, wie diess schon oben erörtert wurde, nicht aus der Sahara herkommen, sondern dass ihr Ursprung viel westlicher über dem Atlantischen Ocean zu suchen ist, lässt sich die heisse und trockene Natur der Föhnwinde überhaupt einfach auf physischem Wege erklären. „Die Äquatorialluft“, sagt Hann<sup>8)</sup>, „besitzt in der luftverdünnten Höhe keineswegs schon die hohe Temperatur, die sie später an der Erdoberfläche zeigt, erst beim Herabsteigen in die Tiefe, wo sie unter einen höheren Druck kommt, tritt nach bekannten physikalischen Gesetzen durch Volumverkleinerung

<sup>1)</sup> „Nowaja Semla“ im Ergänzungsheft No. 21 (1868), S. 84 zu Petermann's „Mittheilungen“.

<sup>2)</sup> Lyell „Principles of geology“ I, p. 290.

<sup>3)</sup> Martin de Moussy „Confédération argentine“ b. Reclus „La Terre“ I, p. 206.

<sup>4)</sup> Reclus „La Terre“ I, p. 204.

<sup>1)</sup> Lyell „Principles of geology“ I, p. 238.

<sup>2)</sup> Lyell „Principles of geology“ I, p. 238; Dove „Über Eiszeit, Föhn und Scirocco“, S. 11—12.

<sup>3)</sup> s. Petermann's „Mittheilungen“ 1872, S. 37; und „Zeitschrift der Österr. Gesellschaft für Meteorologie“ 1872, S. 95—96.

<sup>4)</sup> s. „Mittheilungen der Geogr. Gesellschaft in Wien“ 1875, No. 3, S. 137.

<sup>5)</sup> J. Spörer „Die See'nzone des Balchasch-Alakul“ in Petermann's „Mittheilungen“ 1868, S. 84.

<sup>6)</sup> s. „Zeitschrift der Österr. Gesellschaft für Meteorologie“ 1866, S. 257—261; 1868, S. 205; 1870, S. 203—204; 1871, S. 76—77; 1873, S. 44—46 und 171.

<sup>7)</sup> „Principles of geology“ I, p. 243.

<sup>8)</sup> „Zur Frage über den Ursprung des Föhn“ in der „Zeitschrift der Österr. Gesellsch. f. Meteor.“ 1866, S. 261.

eine Erwärmung ein." Wird aber ein Luftstrom gezwungen, ein Gebirge zu übersteigen, so ist es keineswegs gleichgültig für den Effekt an der Leeseite dieses Gebirges, ob es ein trockener oder feuchter Luftstrom ist. Denken wir uns nämlich die trockene Luft und die feuchte Luft z. B. bei einer Temperatur von  $+ 10^{\circ}$  C. nach einander an einem 3000 Meter hohen Berge aufsteigen, so wird offenbar die trockene Luft bei derselben Arbeit viel rascher sich abkühlen müssen als die feuchte, die bei jedesmaliger Condensation eines Theils ihres Wasserdampfes an der dadurch freiwerdenden Wärme bedeutende Compensation für ihre fortwährende Abkühlung erhält. Und so geschieht es, dass, während die trockene Luft auf etwa 100 Meter Höhe um  $1^{\circ}$  C., die feuchte sich bloss um  $0^{\circ} 57'$  C. abkühlt; angelangt auf dem Berggipfel, wird denn auch die trockene Luft in dem angenommenen Falle  $-20^{\circ}$  C., die feuchte bloss  $-7^{\circ} 1'$  C. aufweisen. Beim Herabsteigen werden natürlich beide Luftströme, indem sie unter den ursprünglichen Druck gelangen, in demselben Verhältnisse erwärmt; während aber die trockene Luft, am Fusse des Berges angelangt, wiederum bloss eine Temperatur von  $+ 10^{\circ}$  C. aufzuweisen hat, sinkt die feuchte in die Thäler bereits mit einer Temperatur von  $+ 22^{\circ} 9'$  C. herab<sup>1)</sup>. Es ist auf diese Weise auch begreiflich, dass die letztere Luftart ungeachtet sie bereits beim Aufsteigen viel Feuchtigkeit verloren hat, auf der anderen Seite des Gebirges, obendrein bei einem so ansehnlichen Zuwachs von Temperatur, um so trockener zum Vorschein kommen muss, je mehr diese Temperatur sie von dem Sättigungspunkte entfernt. Ja, da es der Wasserdampf ist, dessen freigewordene Wärme den genannten Luftstrom beim Aufsteigen sich weniger abkühlen lässt, so wird derselbe drüben gerade um so wärmer ankommen, je feuchter er ursprünglich war. „Für die Geologen", sagt Hann<sup>2)</sup>, „ist also der Afrikanische Föhn ein verlorener Posten." Dieselben Äquatorialströme, die am Süd- oder Südwestabhang der Alpen die reichlichsten Niederschläge bewirken, vermögen, ohne „ein wildes Kind der Wüste" sein zu brauchen, am Nordfusse derselben nicht nur rapides Schmelzen des Schnees, nicht bloss das rasche Aufsteigen der Schneelinie hervorzurufen, sondern auch sogar über das Vorrücken oder den

<sup>1)</sup> Hann („Zur Frage über den Ursprung des Föhn" in der „Zeitschrift der Österr. Gesellschaft für Meteorologie" 1866, S. 261, Note) drückt dasselbe folgendermaassen aus: „Wird ein trockener Luftstrom gezwungen, z. B. zur Gipfelhöhe der Berner Alpen (11 bis 12,000 F.) aufzusteigen, so kühlt er dabei um etwa  $25^{\circ}$  R. ab, sinkt er drüben wieder in's frühere Niveau hinab, so wird eine gleich grosse Erwärmung eintreten. Bei einem feuchten Luftstrom würde die Abkühlung nur  $16^{\circ}$  betragen und seine Wärme am jenseitigen Fuss des Gebirges entsprechend höher sein." Dove („Über Eiszeit, Föhn und Scirocco", S. 86) sagt: „ein ursprünglich feucht ankommender Föhn kann den Wasserdampf an der Südseite der Gebirge so stark verdichten, dass er durch Herabsinken wärmer werdend, auf der Nordseite trocken erscheint."

<sup>2)</sup> „Zeitschrift der Österreich. Gesellschaft f. Meteorologie" 1867, S. 444.

Rückgang der Gletscher zu entscheiden. Selbstverständlich machen diese föhnartigen Winde in Bezug auf ihren Ursprung und ihre Wirkungen auch anderswo keine Ausnahme von dieser Regel.

#### Wüsten, Steppen und Waldregionen (Humusbildung).

Ist schon aus dem Obigen leicht einzusehen, wie ein und derselbe Wind an zwei einander entgegengesetzten Abhängen eines Gebirges ganz heterogene Wirkungen auszuüben im Stande ist, so wird es leicht erklärlich sein, wenn wir, die Gebirgsthäler verlassend, etwa ein grösseres Gebiet betreten, wo gerade bald die modifisirten Äquatorialströme mit ihrem Föhncharakter, bald nur die schon ihrer Natur nach trockenen Polarströme vorherrschen, und wo uns auf einmal statt der Mannigfaltigkeit und Fülle der Naturerscheinungen die Monotonie und die Öde, statt des Lebens die todte Wüste begegnet. Freilich erblickt man da öfters jene grossartigen Transparente, die man Luftspiegelung nennt und die gleichsam zur Zerstreung, häufig aber auch zur wahren Qual des Wanderers plötzlich die öde Umgebung in reizende Auen, tiefblaue See'n, im lebhaften Grün prangende Haine, ja vielleicht in Städte verwandeln; leider aber stehen alle derartigen Erscheinungen gerade im grellsten Gegensatz zum wahren Charakter der Landschaft. Oder soll etwa diesen so leicht verwischbaren Gemälden der Wüsten-Atmosphäre ein tieferer Sinn zu Grunde liegen?

„Der Begriff der Wüsten", sagt Grisebach<sup>1)</sup>, „beruht auf ihrer Unbewohnbarkeit, die wiederum die Folge einer Vegetation ist, die entweder keinen Nahrungswerth hat oder zu spärlich ist, um die Viehzucht zu unterhalten." Für die Geographen und Meteorologen ist wiederum die Wüste nur ein Ausdruck für den Regenmangel in gewissen Länderräumen<sup>2)</sup>. Wenn man aber noch neuerdings z. B. liest: „die bestimmende Ursache, welche unter gleichen Breiten und in nahezu gleicher Niveau-Höhe im südlichen Russland gegen Westen hin die Steppe schuf und erhält und gegen Osten die Wüsten bildete, ist vornehmlich in dem verschiedenen Untergrunde des Bodens zu suchen"<sup>3)</sup>, so wäre diess nur ein Beweis, dass die Geologie ihrerseits noch keineswegs eine sichere, überall geltende Definition der Wüste angenommen.

Es ist allbekannt, dass eines der am meisten verbreiteten Minerale der Feldspath ist, welcher aus kieselsaurem Kali und der kieselsauren Thonerde besteht. Unter

<sup>1)</sup> „Pflanzengeographie" b. Neumayer „Anleitung zu wissenschaftl. Beob. auf Reisen", S. 346.

<sup>2)</sup> Peschel „Neue Probleme d. vergl. Erdkunde" S. 154—155; Hann, Hochstetter und Pokorny „Allgem. Erdkunde", S. 78.

<sup>3)</sup> Dr. G. Radde „Vier Vorträge über den Kaukasus" im Ergänzungsheft zu „Petermann's Mitth." No. 36 (1874), S. 28.

dem Einflusse des Wassers, welches stets — sogar das atmosphärische — schwächer oder stärker kohlenstoffhaltig ist, unterliegt er dem allmählichen Prozess der Auflösung und Zersetzung, wobei sich Kaliumcarbonat bildet und nebst einem Theil der freiwerdenden Kieselsäure in Lösung weggeführt werden kann, während kieselsaure Thonerde (Kaolin oder Thon) als Residuum dieses Prozesses zurückbleibt. Wenn letzterer noch nicht ganz vollendet ist, enthält das thonige Zersetzungsprodukt des Feldspathes noch geringe Mengen von in gelöstem Zustande befindlichem Kaliumcarbonat. In diesem Zustande bewahren sich die in Zersetzung begriffenen Feldspathgesteine als eine höchst fruchtbare Bodenart, da die Pflanze im Stande ist, das früher an den Feldspath gebundene, jetzt aber freigewordene Kalium aufzunehmen. Gerade „dieser Umstand“, sagt Bischof<sup>1)</sup>, „ist in inniger Verknüpfung mit der Existenz eines organischen Reiches. Wäre die Zersetzung der alkalischen Silicate in den Felsgebilden eine vollständige, so würden alkalifreie Thone entstehen. Auf einem solchen Thonboden wäre aber eine Vegetation nicht möglich, da die Alkalien wesentliche Bestandtheile der Pflanzen sind.“ Andererseits können aber die Alkalien (Kali, Natron, Kalk, Magnesia &c.) nicht lediglich als Carbonate, sondern auch als Silicate in die Pflanzen gelangen. Nach den Untersuchungen Bischof's<sup>2)</sup> findet man nämlich in allen Grasarten gewisse Quantitäten von kieselsaurem Kali, z. B. im Heu 2,068 ‰, im Roggenstroh 2,161 ‰, und die Pflanzen, welche die grössten Mengen Kieselsäure oder kieselsaures Kali enthalten, wie die Schilf- und Rohrarten, leben gerade in den Sümpfen, wo sich die von den Pflanzen aufgenommene Kieselsäure unaufhörlich erneuert. Bedenkt man nun somit, dass mit dem Begriff einer Ackererde oder Dammerde am innigsten der Prozess der Auflösung und Zersetzung der Gesteine verbunden ist, dass ferner zu diesem Prozess eine fortwährende, periodische Zufuhr des bedeutendsten Lösungsmittels, nämlich des Wassers, unumgänglich nothwendig ist, so werden wir bei der Frage der Humus-Bildung nicht auf die Bodenbeschaffenheit, da sie selbst etwas sekundäres und bedingtes ist, Rücksicht nehmen, sondern die Humus-Bildung geradezu in direkten Zusammenhang mit den Niederschlagsverhältnissen setzen müssen. Denn es ist ja selbstverständlich, dass, bevor sich aus den verwesenden Pflanzenstoffen die Humate, d. h. die organischen Säuren und Halbsäuren (Humin, Gein, Huminsäure, Geinsäure &c.), bilden können, vorerst diesem Prozesse eine Pflanzenbekleidung des Bodens vorangehen muss; diese aber ist unbedingt an Alkalien im gelösten Zustande gebunden. Daher kommt es, dass man

<sup>1)</sup> „Lehrbuch der chemischen und physikal. Geologie“ (Bonn 1863 — 1866) I, S. 23.

<sup>2)</sup> Ibidem II, S. 329—331.

sehr oft, wie in Ägypten, Mesopotamien, Chiwa, Merw, Balkh &c., wo die natürliche Bewässerung fehlt, zur künstlichen greifen musste<sup>1)</sup>, und dass auch da, wo die Franzosen in der Algerischen Sahara artesische Brunnen gebohrt haben, die Dattelpalmenhaine um die Quellen aufgeschossen sind, obgleich die Dammerde fehlte<sup>2)</sup>. Auf dasselbe chemisch-geologische Prinzip stützt sich denn auch das kürzlich aufgestellte Projekt, 5.530.000 Acres Boden in Californien durch Irrigation mittelst des San-Joaquin- und Kings-River's der bisherigen Wüste zu entreissen<sup>3)</sup>. Fragt man nun, was man geologisch unter dem Worte „Wüste“ verstehe, so kann darauf offenbar die Antwort nicht anders lauten, als: „Wüste“ sei jedes Gebiet auf den Festländern zu nennen, wo die chemisch-lösende Einwirkung des atmosphärischen Wassers, gerade in Folge des Mangels an Niederschlag, auf ein Minimum reducirt ist oder gänzlich aufhört — freilich um dafür desto grösseren Spielraum einem anderen Prozesse, dem der Verwitterung und Zerbröckelung der Gesteine unter der Wirkung des Lichtes, der Wärme und der Luft zu überlassen. Sagt nämlich Dove<sup>4)</sup>, dass „die bald entstehenden, bald vergehenden Wolken im Allgemeinen ein auf den Himmel projectirtes Bild des Bodens sind“, so entspricht offenbar den Wüsten ein wolkenloser Himmel.

Darnach können wir nicht zweifeln, wem wir die Existenz der Wüsten zur Last legen sollen. Wenn nämlich überall da, wo es regnet, den Regen die Winde erzeugen, mögen sie auch blosse Steigwinde sein, so sind es — bei einmal gegebener Vertheilung der Continente und ihrer geoplastischen Gliederung — abermals Winde, die, selbst trocken, das trockene Klima der Wüsten bestimmen. So begegnen wir in Central-Asien einem ausgedehnten Wüstengebiet, an welches sich im Westen die ebenfalls dürre Kaspische Senkung anschliesst, weil hier gerade eine Weltgegend ist, wohin die Äquatorialströme nur modificirt, d. h. trocken, gelangen, sei es nach Übersteigung des Himalaya wie in der Gobi, sei es, nachdem sie zuvor quer durch Europa passiren müssen, wie in den Wüsten am Kaspischen Meere. Die Sind-Wüste und die Persischen wüsten Gegenden sind ebenfalls eine direkte Wirkung der fast das ganze Jahr hindurch anhaltenden nördlichen Windrichtung<sup>5)</sup>, während der Äquatorialstrom (SW.-Monsun) nach Übersteigung der Persischen Küstengebirge, so wie der Lukkhi-, Hala-Gebirge und der Soliman-Kette auch schon

<sup>1)</sup> s. Ritter „Erdkunde“ Th. VIII, S. 218, 227—237; Th. XI, S. 764—765.

<sup>2)</sup> Peschel „Neue Probleme der vergl. Erdkunde“, S. 155.

<sup>3)</sup> „The New York Semi-Weekly Times“ No. 2203 (1875), 26. Oktober.

<sup>4)</sup> „Meteorologische Untersuchungen“, S. 172.

<sup>5)</sup> Wojeikof „Die atmosphärische Circulation“, S. 20—21; Hann, Hochstetter und Pokorny „Allgem. Erdkunde“, S. 76.

meist modificirt erscheint. In Arabien wird uns nicht Wunder nehmen, wenn wir hören, dass dort gerade das centrale Tafelland Nedsch und die die ganze Halbinsel rings umgebende Küstenkette in Bezug auf die Niederschläge bevorzugt sind, dass sich dagegen im mittleren Gürtel zwischen Nedsch und jener Küstenkette die Wüste Nefud gegen Nordwesten, und die viel grössere Wüste Dahna im Südosten ausdehnen<sup>1)</sup>. Übrigens wehen auch in Arabien so wie im benachbarten Mesopotamien vorwiegend — besonders im Winter — nördliche oder nordwestliche, also trockene Winde, während die südwestlichen Winde, die in den subtropischen mittelländischen Staaten Winterregen erzeugen, Dank den Syrischen Bergzügen, auch regenlos nach den Euphrat- und Tigris-Ländern so wie nach Arabien gelangen und die im Sommer am Indischen Ocean vorherrschende südwestliche Windrichtung bei weitem nicht Arabien zu Gute kommt<sup>2)</sup>. Hat man Sinai, „den Typus der Wüste“<sup>3)</sup>, und Ägypten, welches man mit Reclus<sup>4)</sup> wohl bloss als eine langgezogene Ufer-Oase des Nils ansehen kann, überschritten, so begegnet man jenseit des Flusses gegen Westen einem neuen enormen Wüstengebiet, der Sahara, und zwar weil sie unglücklicherweise sowohl im Winter als im Sommer auf vorwiegende Nordwinde hingewiesen ist. Dabei muss aber bemerkt werden, dass die Sahara keineswegs, wie Peschel<sup>5)</sup> meint, „das fortgesetzte Rinnsal des von der Wüste Gobi aus hinströmenden Nordost-Passates ist.“ Denn einmal sind die in der Winterzeit in der Gobi wehenden Nordostwinde keine Passate und zweitens bedarf im Sommer die übermässige Auflockerung der Luft in Central-Asien selbst von Süden her einer zuströmenden Luft — des Südwest-Monsuns —, ist also nicht im Stande, Nordostwinde bis nach der Sahara zu entsenden. Die Sahara, grösstentheils in der Passatzone gelegen, steht allerdings unter dem Einflusse des vorherrschenden Nordost-Passates; der Asiatische Continent kann aber an der Regenlosigkeit der Sahara keine Schuld tragen, da von dort im Winter die Luft nicht beständig, im Sommer aber gar nicht zur Sahara fliesst<sup>6)</sup>. Viel wahrscheinlicher und naturgemässer ist die Annahme Dove's<sup>7)</sup>, derzufolge eher die Sahara auf Asien einen Einfluss — freilich bloss im Sommer, wenn in Asien gerade der niedrigste Luftdruck herrscht — auszuüben im Stande ist, indem die über der Sahara aufsteigenden Luftströme nach Mesopotamien,

Südost-Russland und nach der Kaspischen Niederung als in diesem Falle trockene Antipassate gelangen können. Jedenfalls, wiewohl in Central-Asien und Nord-Afrika die Winde verschiedene Richtungen aufweisen, bleibt es dennoch wahr, dass sie analoge Wirkungen hervorrufen und dass man, wie Humboldt<sup>1)</sup> sagt, „die Sandmeere durch Afrika und Asien, vom Cabo Blanco bis jenseit des Indus in einer Strecke von 1400 geogr. Meilen fast in ununterbrochener Reihenfolge verfolgen kann“ und dass man ferner bloss die Himalaya- und Karakorum-Gebirge zu übersteigen braucht, um dieses Sandmeer auch weiterhin bis zur westlichen Abgrenzung der Mandschurei, d. h. bis zur Chingan-Kette, sich hinziehen zu sehen. Finden wir in Süd-Afrika gleichsam eine zweite Sahara in der Wüste Kalahari, der sich im Westen das trockene und öde Namaqua-Land vorlagert, so ist diess einmal dem Umstande zuzuschreiben, dass die herrschenden Winde daselbst die Polarströme (Südost-Passat) sind, obendrein noch durch die steilen Randgebirge im Osten der Feuchtigkeit beraubt, ein anderesmal wiederum, dass die kalte Meeresströmung, die an der Westküste gegen Norden vorüberfliesst, die kalten Süd- und Südwestwinde erzeugt, die auch, als Polarströme, trocken sind<sup>2)</sup>. Gerade unter dieselben Bedingungen ist die Atakama-Wüste, also der Küstenraum von Peru, Bolivia und Nord-Chile, gestellt. Der Südost-Passat, nebenbei noch genöthigt, zwei grosse Gebirgszüge, die Brasilianische Küstenkette und die Anden, zu übersteigen, ist bereits seiner Herkunft nach ein zu trockener Wind, um von ihm einen Niederschlag zu erwarten; die kalte Humboldt-Strömung aber bewirkt zwar öfters den Nebel, jedoch keine periodischen Regenwinde<sup>3)</sup>. Während auf diese Weise eine auffallende Analogie zwischen der Kalahari-Namaqua-Wüste einer- und der Atakama-Wüste andererseits herrscht, erinnert wiederum die andere Amerikanische Wüste, nämlich die des Gila- und Colorado-Thales, geradezu an die Inner-Asiatischen öden Plateaux. Sowohl die Süd- oder Südostwinde im Sommer, die ihren Wasserdampf an den Rocky-Mountains absetzen, als auch die Südwestwinde im Winter, gezwungen wiederum ihre Feuchtigkeit auf den westlichen Abhängen der Californischen Küstenkette und der Sierra Nevada niederzuschlagen, gelangen nach dem Colorado-Plateau und dem Utah-Territory bereits als trockene, heisse, föhnartige Winde. Daher beträgt auch z. B. in Fort-Yuma (am Colorado, etwa unter 32° 45' N. Br.) die jährliche Regenhöhe die höchst geringe Zahl von 75 Mm. (etwa 2 1/2 Par. Zoll). Dieser Colorado-Wüste können noch wegen ihrer Trockenheit die Halbinsel

<sup>1)</sup> W. G. Palgrave „Observations made in Central, Eastern, and Southern Arabia, during a Journey in 1862 and 1863“ in d. „Journal of the Royal Geogr. Society“ 1864, p. 113—118.

<sup>2)</sup> Palgrave a. a. O.; Ritter „Erdkunde“ XI, S. 498, 499, 810—812; XII, S. 779 und 898; Wojeikof „Die atmosph. Circulation“, S. 26.

<sup>3)</sup> O. Fraas „Aus d. Orient“, S. 6.

<sup>4)</sup> „La Terre“ I, S. 112.

<sup>5)</sup> „Neue Probleme d. vergl. Erdkunde“, S. 157 und 165.

<sup>6)</sup> Wojeikof „Die atmosph. Circulation“, S. 27.

<sup>7)</sup> „Über Eiszeit, Föhn und Scirocco“, S. 13—16.

<sup>1)</sup> „Ansichten d. Natur“ (Stuttgart 1871), S. 86.

<sup>2)</sup> Wojeikof „Die atmosph. Circulation“, S. 28.

<sup>3)</sup> Wojeikof, S. 31; Peschel „N. Probleme d. vergl. Erdkunde“, S. 165.

Californien und der Staat Sonora an die Seite gestellt werden<sup>1)</sup>. Gehen wir endlich zu Australien über, so begegnet uns auch dort im Innern ein ausgedehntes, wüstes Gebiet; in unserem Sommer vorherrschend eine Passage des Polarstromes bildend, wird es zwar in unserem Winter zum Anziehungspunkte für den Äquatorialstrom (Nordwest-Monsun), dennoch, abgesehen von seltenen, wiewohl manchmal heftigen Regengüssen ist seine gewöhnlich herrschende, furchtbare Dürre auch von den letzten Erforschungsreisenden (E. Giles, Warburton, W. C. Gosse, John Ross) bestätigt worden<sup>2)</sup>.

Der Begriff einer Wüste ist natürlich nicht nothwendig mit grosser Ausdehnung des Gebiets verbunden. So berichtet z. B. Alfred Grandidier, der in den Jahren 1865 bis 1870 Madagascar erforscht hat, dass diese Insel nur an ihrer Indischen Seite im üppigen Pflanzenwuchs prangt, da sie auch dort vom NO.-Monsun den Regen bekommt, dagegen auf ihrer Westseite, d. h. im Windschatten von 5 Bergketten, die die Insel von NNO. gegen SSW. durchziehen, steril und öde dasteht<sup>3)</sup>. Ähnlich wird bisweilen die Capverdische Insel St. Vincent von langen Dürren heimgesucht, die manchmal ein ganzes Jahr anhalten<sup>4)</sup>. Auch wurde bereits oben der Sandwich-Inseln Erwähnung gethan, wobei wir sahen, dass sie an ihrer Nordostseite von dem sonst trockenen NO.-Passat getroffen, gerade daselbst den Niederschlag aufzuweisen haben. Nun sagt Professor Dr. C. E. Meinicke<sup>5)</sup>, „wenn man auf allen Sandwich-Inseln einen scharfen Gegensatz zwischen den vom Passat getroffenen Küsten und den entgegengesetzten beobachtet, so tritt er doch nirgends so bedeutend und in so grossartiger Weise ausgeprägt auf als in Hawaii. Die Westküste dieser Insel bietet in der That einen Anblick von Öde und Wildheit dar . . ., die Trockenheit und der Regenmangel verhindern die Auflösung des Gesteins und seine Verwandlung in fruchtbare Erde.“ Macht aber Jemand vielleicht die Einwendung, dass der betreffende Theil von Hawaii gerade lediglich eine Lavawüste ist, so erinnern wir, dass, wie Dr. K. v. Fritsch berichtet<sup>6)</sup>, auf der Wetterseite der Insel Lanzarote die Laven des vorigen Jahrhunderts wohl mit Flechten bewachsen sind, dagegen im Windschatten des Passats kahl daliegen. Denn der chemisch-auflösenden Wirkung des kohlenensäurehaltigen Wassers vermag nichts in der Länge

zu entgehen, eben so wenig der loseste Flugsand — der dann, wie in Deutschland, Haiden erzeugt —, als die vulkanischen Schlacken und Lapilli, wie sie z. B. die Berge in der Umgebung des Laacher See's aufweisen, welche eine, wenngleich kümmerliche Vegetation von Moos besitzen<sup>1)</sup>. Nicht einmal die Kälte der Polarzone vermag dieses Gesetz aufzuheben; beispielsweise hat Nowaja Semlja an einzelnen Stellen, „wo der Kalk den Schiefer durchsetzt, sogar eine gedrängte Vegetation und einen Vorrath von Humus aufzuweisen“<sup>2)</sup>. Unter den Tropen wiederum ist der Zersetzungsprozess so tiefgreifend, dass „wahrscheinlich sogar die mannigfaltigsten Gesteine dadurch, dass sie Jahrtausende hindurch tropischen Regengüssen, vielleicht mit Beeinflussung durch üppige Vegetation, ausgesetzt gewesen sind, in Laterit umgewandelt werden können“<sup>3)</sup>. Wo immer dagegen die Winde regenlos dahinwehen, da sind auch der im Zerstören und Schaffen gleich grossartigen Aktion des Wassers die Schranken gesetzt, da betreten wir sicher — eine Wüste.

Es geht aus den obigen Erörterungen hervor, dass dagegen jeder Regenwind unverzüglich den chemisch-geologischen Zersetzungsprozess der Gesteine nach sich ziehen, den Pflanzenwuchs wie mit einem Zauberschlag hervorrufen muss und somit in der Folge direkt zur Humusbildung beiträgt. Natürlich wo nur periodische, an gewisse Jahreszeiten gebundene Regenwinde zu Tage treten, da wird die Vegetation jedesmal mit dem Regen sich wecken, mit der Dürre absterben müssen, denn auch der Boden wird ihr die Nahrungsmittel so lange zustellen können, wie lange neue alkalische Carbonate oder Silicate aufgelöst werden. Es wird das freilich fast ausschliesslich eine monotone, aus lauter Grasarten bestehende Vegetation sein können, entsprechend der prekären Dammerde, die selbst fortwährend um Sein und Nichtsein zu kämpfen hat. Soll aber eine Pflanze Jahre, ja Jahrhunderte überdauern, so wird sie gewiss in den Regionen zu finden sein, wo auch der Niederschlag zu allen Jahreszeiten herrscht und wo der Boden rastlos die Zufuhr der Nahrungsmittel besorgt. Da werden auch die verwesenden Pflanzenstoffe die Mächtigkeit der Humusdecke stets vergössern. Augenscheinlich befinden wir uns im ersten Fall bald in den Steppen Russland's und Sibiriens, bald in den Puszten Ungarn's oder in der Süd-Afrikanischen Karroo, bald in den Amerikanischen Pampas, Llanos, Prairien oder Savannen, bald endlich in den im Winter ausserordentlich luft-trockenen Tundren Nord-Russland's und Sibiriens<sup>4)</sup>, im

<sup>1)</sup> s. Wojeikof „Die atmosph. Circulation“, S. 34.

<sup>2)</sup> s. Petermann's „Mittheilg.“ 1874, S. 361 ff.; 1875, S. 428—429; „Mittheilungen der Geogr. Gesellschaft in Wien“ 1875, S. 69—75, 251, 331.

<sup>3)</sup> Petermann's „Mittheilg.“ 1872, S. 14—16.

<sup>4)</sup> „Aus Challenger's Expedition“ in Petermann's „Mittheilg.“ 1874, S. 290.

<sup>5)</sup> Petermann's „Mittheilg.“ 1874, S. 214.

<sup>6)</sup> Reisebilder von den Canarischen Inseln in Petermann's „Mitthlg.“ Ergänzungsheft No. 22, S. 34.

<sup>1)</sup> Bischof „Lehrbuch der chem. und physik. Geologie“ I, 209—210.

<sup>2)</sup> Spörer „Nowaja-Semlja“ in Petermann's „Mittheilg.“ Ergänzungsheft No. 21, S. 74 ff.

<sup>3)</sup> Richthofen „Geologie“ b. Neumayer „Anleitung zu wissenschaftl. Beob. auf Reisen“, S. 286.

<sup>4)</sup> Dass die Tundren zu Steppen gezählt werden sollen s. Spörer „Nowaja-Semlja“ in Petermann's „Mitth.“ Ergänzungsheft No. 21, S. 84—86.

anderen Fall aber mitten im Gebiet der Wälder. „Somit“, wie Peschel<sup>1)</sup> sich treffend ausdrückt, „sind die Wüsten, Steppen und Wälder nur der Ausdruck von gänzlicher Armuth, von mangelhafter und von reichlicher Benetzung der Erdräume.“

#### Entstehung der Wüsten und charakteristische geologische Bildungen in denselben.

Rufen wir uns in's Gedächtniss, was wir früher von der Evaporation des Schnee's, die auch bei einer Temperatur unter 0° Statt findet, gesagt haben, ferner den Umstand, dass die Verdunstung überhaupt im geraden Verhältnisse zur Trockenheit der Luft steht und geradezu von den Winden abhängt, ohne welche sie nur zu bald aufhören müsste, so wie endlich, dass manche feuchte Winde, nachdem sie ein höheres Gebirge überstiegen, nicht nur trocken, sondern auch bedeutend wärmer, als sie ursprünglich waren, zum Vorschein kommen, so ist es klar, dass an dem Prozess der Verdunstung nicht einzig und allein die Sonnenwärme theiligt ist, dass gerade auch die Winde, die jene Trockenheit der Luft an gewissen Orten bestimmen oder als heisse Föhne sich über das Land hinabsenken, eine hervorragende Rolle darin spielen müssen. Sie leisten sichtlich der Verdunstung nicht bloss schon dadurch bedeutende Dienste, dass sie dieselbe beschleunigen und steigern, sondern auch, dass sie, Dank ihrem Nomaden-Charakter, der sie stets von einem Orte nach dem anderen treibt, den Wasserdampf zugleich fortwährend nach anderen Gegenden hin entführen. In diesem Sinne aber sind die Winde wahrlich — neben der Sonnenwärme — als die mächtigsten Pumpen zu betrachten, deren sich die Natur bedient, um eine gewisse Weltgegend zu Gunsten einer anderen der Feuchtigkeit zu berauben.

Denken wir uns nun eine Landfläche, ausgestattet mit ganzer Fülle des Lebens, auf einmal in eine derartige geographische Lage gebracht, dass über sie zumeist trockene Winde hinwehen, und fragen wir dann, was für ein Schauspiel sich uns da in diesem Falle darbieten werde. Der üppige Pflanzenwuchs, so sklavisch an die periodische Benetzung des Bodens gebunden, wird natürlich rasch verschwinden, um der ephemeren Grasvegetation Platz zu machen, die so viel geeigneter ist, sich nach der Windfahne zu richten; die Flüsse verlieren mehr und mehr ihren Wasserreichthum, bis sie mit der Zeit vielleicht so weit entkräftet werden, dass sie nicht einmal das benachbarte Meer oder den Binnensee, wo sie vormals mündeten, zu erreichen im Stande sein und sich irgendwo mitten im Wege verlieren werden; der See, der einst seinen

Abfluss gehabt haben mag, wird jetzt, von den ihn speisenden Flüssen verlassen, seinen Wasserspiegel bedeutend erniedrigen müssen und er, der früher sich über das Niveau des benachbarten Meeres erhob, wird jetzt nicht bloss seinen Abfluss einbüßen, sondern oft noch obendrein eine Depression aufweisen; ja, selbst in seiner chemischen Constitution wird man eine merkwürdige Umwandlung feststellen können: sein ehemals süßes Wasser wird auf einmal einen Salzgehalt verrathen. Wird aber die Trockenheit der Atmosphäre über dieser unglücklichen Gegend durch reglose Winde noch mehr gesteigert und steigt ausserdem von dem ihr benachbarten Gebirgrücken heisser, verdorrrender Hauch des in einen Föhn umgewandelten Äquatorialstromes hinab, so lohnt sich dann schon nicht mehr die Mühe, mitten in der dadurch entstandenen Öde und Dürre einen Fluss aufzusuchen; höchstens entdeckt man ein trockengelegtes Bett als ein noch unverwischtes, manchmal sogar imposantes Zeugniß der ehemaligen Erosion des strömenden Wassers; der Binnensee, wenn er überhaupt noch angetroffen wird, zeigt nicht einmal ein zusammenhängendes Ganze, oder es befindet sich auf seinem ehemaligen Grunde bereits eine feste Salzkruste. Die Vegetation ist schon längst nicht mehr da. Anstatt der Ackerkrume bedeckt den Boden der Kieselgrus, Staub oder der lose Sand allein. Ja, die Luft nimmt sogar manchmal den Charakter der durch sie verursachten Wildheit an; die ungestümen Wirbelwinde verdüstern sie öfters mit dichten Staubnebeln und Staubwolken, gleichsam als wollten sie diese Grabstätte der Natur verhüllen.

Dass die eben von uns angeführten, hypothetischen Fälle wirklich auf der Erde vorkommen, dafür besitzen wir der Beweise genug, um uns eher über das *embarras de richesse* beklagen zu können. Indem wir nun in Bezug auf die Vegetationsformen der Wüsten besonders auf die Pflanzengeographie von Grisebach oder auf die Werke von Alphonse de Candolle hinweisen, welcher letztere namentlich ganz neuerdings unter seinen 5 physiologischen Gruppen der Pflanzenwelt gerade die „Xerophilen“, d. h. die Trockenheit liebenden Pflanzen, in eine Klasse zusammenfasst<sup>1)</sup>, wollen wir noch folgende physisch-geographische Erscheinungen in den Wüsten näher betrachten.

a) Die *Kahlheit der Gebirge*, um damit zu beginnen, ist das erste, was uns in einer Wüste begegnen muss. Demnach hören wir auch, dass z. B. auf allen Gebirgen der südlichen Mongolei die Wälder vorzugsweise am nördlichen Abhange (Windseite) wachsen, die südlichen Abhänge aber häufiger nackt als bewaldet sind<sup>2)</sup>, dass auch in allen Hö-

<sup>1)</sup> „Les groupes physiologiques dans le règne végétal in „Revue scientifique“ 1875, 16. Oktober, S. 364—372.

<sup>2)</sup> N. M. Przewalski: „Die südöstliche Mongolei vom Daleinor bis nach Alaschan“ in Petermann's „Mitthlg.“ 1873, S. 87.

<sup>1)</sup> „Neue Probleme der vergl. Erdkunde“, S. 155.

hen des Thian-Schan-Gebirges jede Hochebene, jedes breite Thal, jeder nur einigermaassen ebene Abhang, besonders aber der Südabhang nach Kaschgar zu schon waldlos sind und Fauna und Flora den Steppencharakter zeigen; ja, am Naryn, 10.000 Fuss über dem Meeresspiegel, erinnern einzelne Pflanzenspecies direkt an diejenigen in der Sahara<sup>1)</sup>. Dieselbe Physiognomie zeigt in noch höherem Grade die nackte gebirgige Landschaft der Tuareg, wo manchmal 6 bis 12 Jahre ohne Regen vergehen<sup>2)</sup>, oder die von der südlichen Pessan-Grenze sich gegen Darfur hinziehenden Gebirge<sup>3)</sup>. Auf ähnliche Weise besitzt die kahle Sinai-Kette bloss „den Reiz einer nackten, mineralogischen Schönheit“, während auch die Ataquah-Gebirge (im Süd-Westen von Suez) „das reinste Bild einer Felsenwüste und des ewigen Todes“ darstellen<sup>4)</sup>. Nicht viel besser sind z. B. die südlichen Abhänge des Elbrus und der südöstlich von Teheran gelegenen Gebirgskette Siahkuh beschaffen<sup>5)</sup>. Und wiederum der Trockenheit der Atmosphäre ist es zuzuschreiben, dass z. B. die Anden in Argentina eine auffallende Monotonie in ihrem Relief zeigen; die spärlichen Schnee- oder Regenfälle haben nämlich daselbst noch nicht vermocht, die Erosion in grösserem Maassstabe zu betätigen<sup>6)</sup>.

b) *Flüsse ohne Mündung und die Wadi's.* Sind somit die mitten in der Wüste gelegenen Gebirge selbst kahl, fast jeder Vegetation und Humusdecke beraubt, also keine Feuchtigkeitsbehälter mehr, so kann in der That im Bereich derselben zum grössten Theil keine Rede sein, sei es von einer Quelle, von einem Bach oder einem Strome. Höchstens in einzelnen Ausnahmefällen wird da vielleicht ein reissender Bergbach bemerkt, aber seine Dauer währt fast nur so lange, als die regenspendende Wolke über ihm verbleibt. Im Übrigen findet das atmosphärische Wasser überhaupt in der Wüste keine geeignete Unterlage, um leicht über derselben hinwegzufließen; bald ist es der verdorrte und vielfach zerspaltete Boden, bald sind es die dicken Sandschichten, welche dasselbe nur zu schnell aufsaugen, um es in grösserer oder geringerer Tiefe gleichsam als einen kostbaren Schatz zu vergraben. Die Brunnen in der Wüste sind denn auch wohl als eben so viele Schachte anzusehen, die zu dem „Grundwasser“ führen.

<sup>1)</sup> Petermann's „Mitthlg.“ 1869, S. 162; Sewerzow „Erforschung des Thian-Schan-Gebirgssystems“ (1864—1865 u. 1867—1868) in Petermann's „Mitthlg.“ Ergänzungsheft No. 42 (1875), S. 12, 38.

<sup>2)</sup> H. Duveyrier „Les Touareg du Nord“ (Paris 1864), S. 133.

<sup>3)</sup> P. Ascherson „Die libysche Wüste und ihre Oasen“ im „Ausland“ 1875, p. 1005 ff.

<sup>4)</sup> Dr. O. Fraas „Aus dem Orient“, S. 5, 110.

<sup>5)</sup> Dr. E. Tietze's „Ausflug nach dem Siahkuh“ in d. „Mitthlg. der Geogr. Gesellschaft in Wien“ 1875, S. 263.

<sup>6)</sup> s. Reclus „La Terre“ II, p. 402—403.

Bei weitem anders ist das Loos derjenigen Flüsse, die in den ausserhalb der Wüste liegenden Gebirgen ihren Ursprung nehmen. Ihr Oberlauf ist rüstig und lebhaft und vollzieht seinen Beruf nach allen geologischen Regeln. Führt sie aber die verhängnissvolle Abdachung bald in eine Wüstenwelt, so wird ihre jugendliche Frische schnell genug durch vorzeitiges Veralten gelähmt. Zum Raub der trockenen, heissen Winde geworden, die ihre Wasser in Dampfform fortwährend entführen, werden sie an ihrem Wassergehalt von Stufe zu Stufe immer ärmer, bis sie früher oder später — je nach der Laune dieser Winde — zum Stillstand gebracht und dem Untergang preisgegeben werden — ein Schauspiel, welches also geradezu entgegengesetzt ist den Gesetzen, die den Flusslauf in den Gegenden der Regenwinde regeln. Aber auch diese, so zu sagen, negative Mündung ist bei weitem nicht an einen festbestimmten Ort gebunden. Zu desto grösserer Überraschung bemerkt man oft vielmehr ein fast gesetzmässiges Zurückschreiten derselben, als hätten der Fluss und seine Quelle selber im Sinn, das unwirthbare Land zu verlassen und ihre verkannten Gaben anderswohin zu richten. Diesen Vorgang kann man heutzutage noch an vielen Wüstenflüssen leicht verfolgen, während die übrigen Flüsse lediglich noch an ihren schon vollständig trockengelegten Betten erkennbar sind. Die Geschichte der letzteren muss denn auch augenscheinlich bedeutend älter sein. Je länger aber dieses trockene Bett, desto grössere Zeiträume haben gewiss auch die Winde gebraucht, um es auszuleeren; je tiefer und breiter das Thal im Quellgebiet dieses ehemaligen Stromes, desto rüstiger muss einst der Angriff der Winde und desto siegreicher der Fortschritt der Wüste gegen das Quellgebiet selbst gewesen sein. So mündete einst z. B. der Fluss Tschui (Tschu), ein Abfluss des (See's) Issykkul, in den Aralsee und so figurirt er noch auf der Karte der auf Grundlage der Berichte der buddhistischen Missionäre des VII. Jahrhunderts verfertigten Japanesischen Encyclopädie von Inner-Asien, während er gegenwärtig sammt dem Sarasu, der von Nordwesten kommt, in einem Steppensee (Saumalkul) stagnirt<sup>1)</sup>, nachdem er erst etwa  $\frac{2}{3}$  seines Weges durchgemacht. Der Hilmend, der bedeutendste Fluss Afghanistan's und Seistan's, erreicht ebenfalls mitten in der Wüste und zwar im Hamun-Sumpf sein Ende, ja, er wird noch stets von Jahr zu Jahr seichter, während die Sandwüste zu beiden Seiten erobernd gegen ihn heranrückt. Ein anderer Fluss Afghanistan's, Lora, verliert sich nach einem Laufe von 40 geogr. Mln. im Sande. Und doch ist es mehr als wahrscheinlich, dass einst die Lora nur ein Nebenfluss des Hilmend gewesen, der Hilmend aber selbst in den

<sup>1)</sup> Ritter „Erdkunde“ II. Theil, S. 396.



Indischen Ocean mündete, da Pottinger (1810) mitten in der Sandwüste Beludschistans auf ein 1500' breites, trockengelegtes Flussbett stiess, welches in zahlreichen Windungen von Nordwesten (Seistan) kommt und nach einem Durchbruch durch die Wüstenterrasse Mekran das Indo-Persische Meer erreicht. Dieses trockene Flussbett hat eine Länge von 200 geogr. Mln.<sup>1)</sup> Das Gleiche lässt sich am Flusse Heri-Rud (Ochus) sehen, welcher ehemals zum Kaspischen Meere floss und gegenwärtig am Südrande der Karakum-Wüste versiegt<sup>2)</sup>. Ähnliches Schicksal erlebt mitten unter den Sanddünen derselben Wüste der Fluss von Merw, Murghab<sup>3)</sup>, wie in Süd-Afrika alle die Flüsse, welche, sei es von Osten, sei es von Westen kommend, ihren Weg nach dem Becken der Kalahari-Wüste gewählt haben; unter Anderen also der Tonke (Tjoge), der später, den Ngami-See verlassend, Suga heisst<sup>4)</sup>. Auf gleiche Weise erreichen auch manche Flüsse in Argentina, wie Rio Dulce, Rio Quinto, Rio de Mendoza, de San Juan &c. den Ocean nicht mehr; bloss eine Kette von Lagunen gegen Osten hin zeigt noch den früheren Weg einiger derselben<sup>5)</sup>. In Neu-Mexiko und in Arizona begegnet man ebenfalls einer Menge von Bächen und Flüssen, die trocken daliegen<sup>6)</sup>. Wer wird erst alle die Flüsse aufzählen können, die gleichsam wie ein Kranz das wüste Inner-Asiatische Plateau umgeben und darin insgesamt nach ihrem kurzen, kümmerlichen Lauf ihr gemeinsames Grab finden? Ein Blick auf die betreffenden Petermann'schen Karten im Stieler'schen Atlas wird in dieser Beziehung viel beredteren Aufschluss geben, als trockene Aneinanderreihung einer Menge von Namen.

Eben so häufig sind in den Wüsten die Flüsse anzutreffen, die seit langem nicht mehr fliessen oder nur intermittierende Flüsse sind. Man benennt sie gewöhnlich mit den Arabern „Wadi“. So ist z. B. das Flusssystem des Rumem oder Rumah, einst dem Euphrat tributpflichtig, heute, so zu sagen, ein ideales geworden<sup>7)</sup>. Dasselbe gilt von einer Reihe anderer Wadis Arabiens, von denen wir nur den Wadi Sirhan, Danasir, Faruk erwähnen wollen<sup>8)</sup>. Der Drah, der westlichste der Flüsse, die vom Atlas aus sich in der Sahara verlieren, ergoss sich einst in den Ocean

(als Daradus); gegenwärtig ist er zum Wadi umgewandelt<sup>1)</sup>. Aber auch mitten in der Sahara lässt sich ein ganzes Netz von manchmal weit ausgedehnten Wadis verfolgen; wir brauchen nur auf Igharhar oder die zahlreichen Wadis des Tuareg-Gebietes hinzuweisen<sup>2)</sup>. Dass früher der Amu-Darja in das Kaspische Meer mündete, bezeugt noch gerade der trocken dastehende Wadi<sup>3)</sup>. Auch setzen ähnliche Flussbetten der Wüste Kalahari eine ehemals reichlichere Bewässerung dieses Landes voraus.

Wenn sich noch ein Fluss, einmal in diesen verhängnissvollen Kreis der Wüsten gerathen, seines Laufes, seines Daseins erfreut, so gehen doch nichts desto weniger manche derselben einem sicheren Untergang entgegen. Bereits haben wir des Hilmdend Erwähnung gethan, an dem sich die fortwährend zunehmende Entkräftung feststellen lässt. Ähnlich verhält es sich z. B. mit dem Atrek, der ehemals 100—200 Faden breit gewesen ist, wie diess noch sein einstiges Bett beweist, der heute dagegen kaum eine Breite von 2—4 Faden aufweist. „Wie die Turkomanen versichern, hat die Wassermenge des Atrek seit einer Reihe von Jahren bedeutend abgenommen; zur Sommerzeit soll er nicht mehr seine Mündung in's Kaspische Meer erreichen“; und warum? weil „in den Atrek und seinen Nebenfluss Sumbar bereits bloss eine Unzahl von ausgetrockneten Bachbetten mündet“<sup>4)</sup>. Dasselbe verräth auch das Flusssystem des Garib (Gariep) oder Oranje, wo die „wenigen Flüsse, die erfahrungsmässig noch immer wasserärmer werden, schon den grössten Theil des Jahres völlig trocken sind“<sup>5)</sup>. Noch deutlicher tritt diese Zunahme der Trockenheit gleich im Norden des unteren Garib im Lande der Namaqua und Damara hervor. „Der wüste Gürtel dasselbst wird mit der Zeit immer breiter und es ist alle Aussicht dazu vorhanden, dass er allmählich die jetzt noch verhältnissmässig fruchtbaren Gegenden annektirt, wenn nicht etwa grosse atmosphärische Veränderungen eintreten.“ An mehreren Stellen, wo jetzt fast nie oder doch nur sehr selten Regen fällt, sind zahlreiche Betten früherer Flüsse und Bäche. Auch kann man an den Felsen längs des Zwachaub-Bettes die Wirkungen des Wassers sehen, die unmöglich von den nur dann und wann Statt findenden Regenwasserströmen ihren Ursprung haben können. Diese Flüsse mussten einst permanente Ströme gewesen sein<sup>6)</sup>.

<sup>1)</sup> Ritter „Erdkunde“ VIII. Theil, S. 150 und 180.

<sup>2)</sup> Ibidem, S. 181—182.

<sup>3)</sup> Ibidem, S. 213.

<sup>4)</sup> Gumprecht, Delitsch und Meinicke „Afrika und Australien“, S. 427.

<sup>5)</sup> Reclus „La Terre“ I, p. 118; Petermann „Die Süd-Amerikanischen Republiken Argentina, Chile, Paraguay und Uruguay“, Ergänzungsheft No. 39, S. 9 und 17.

<sup>6)</sup> Wheeler's Expedition 1873 in Petermann's „Mitth.“ 1874, S. 404.

<sup>7)</sup> Reclus „La Terre“ I, p. 376.

<sup>8)</sup> Palgrave im „Journal of the Royal geogr. Society“ J. 1864, p. 111—154.

Czerny, Wirkungen der Winde.

<sup>1)</sup> Ritter „Erdkunde“ I. Th., S. 1016—1017.

<sup>2)</sup> H. Duveyrier „Les Touareg du Nord“, p. 7 und 22.

<sup>3)</sup> Reclus „La Terre“ I, p. 476.

<sup>4)</sup> Dr. G. Sievers „Expedition nach d. alten Oxusbette 1872“ in Petermann's „Mitth.“ 1873, S. 291—292.

<sup>5)</sup> Gumprecht, Delitsch und Meinicke „Afrika und Australien“, S. 146—147; Reclus I, p. 111.

<sup>6)</sup> Missionär Hugo Hahn (1871) in Petermann's „Mitth.“ 1873, S. 96.



c) *Steppensee'n*. Es ist begreiflich, dass es da, wo die Flüsse ein so kümmerliches Leben fristen, auch mit den See'n nicht besser bestellt sein kann. Daher sind die Steppensee'n fast überall in rapider Abnahme begriffen, oder, wo sie — *sit venia verbo* — gleichsam eine Endmoräne des Flusses bilden, bewahren sie nicht einmal eine constante Lage, sondern schreiten oft sichtlich sammt dem Flusse rückwärts. Die letzteren verdienen auch eher den Namen Sümpfe oder Lachen. Nirgends, fürwahr, bietet sich ein grösserer Schauplatz zur Prüfung beider Arten dieser Steppensee'n, als in der Wüste Gobi, und nirgends als gerade da ist die Anzahl dieser wahren, sporadisch zerstreuten Nomaden bedeutender. Die einen, namentlich die Sümpfe und die Lachen, verschwinden und entstehen dort wie die Flüsse und Bäche, an deren temporären Lauf sie gebunden sind, oder aber stellen sich als Wasserüberbleibsel in den Vertiefungen eines ausgetrockneten, von Sandwehen streckenweise verschütteten Strombettes heraus<sup>1)</sup>; die anderen, wiewohl permanent und grösser, zeigen dennoch ein fortschreitendes Abzehren und lösen sich allmählich, wie z. B. der Lob Noor, in eine Gruppe von kleineren See'n, in die sogen. Rosenkranzsee'n auf, bis einmal auch für diese die Stunde der völligen Austrocknung schlagen wird. Aber auch in anderen Weltgegenden fehlen derartige Beispiele des langsamen Eintrocknens der See'n nicht. So „gewahren wir in einer solchen traurigen Lage, gleichsam in den letzten Zügen, den Sarykupa (nördlich vom Aral-See), vormals ein elliptisches Becken mit einer grossen Achse von 15 Deutschen Meilen, jetzt zerstückt in 20 grössere Weiher. In eine ähnliche Gruppe kleiner Becken ist vom Sarykupa südlich auf halbem Wege zum Aral-See der Aksakal zerfallen“<sup>2)</sup>. Auch der Aral-See vermindert sich beständig; seine ehemalige südliche Fortsetzung, der See Abughir, existirt schon nicht mehr<sup>3)</sup>. Demselben Schicksal unterliegen auch nachweislich alle in der Hungersteppe gelegenen See'n nebst dem Balchasch- und Alakul-See<sup>4)</sup>. Der grosse Bevedero-See in Argentina liegt ebenfalls heutzutage fast ganz trocken, bald in Folge der Zunahme der Dürre, bald freilich, indem seine Zuflüsse zur künstlichen Irrigation benutzt wurden. Auch der Hochgebirgs-See Titicaca (13.000' über dem Meere) ist, wie die Reisenden seit langem her bestätigen, in steter

<sup>1)</sup> Peschel „Entwicklungsgesch. der stehenden Wasser“ im „Ausland“ 1875, S. 209; Przewalski's Reisenotizen in Petermann's „Mitth.“ 1872, S. 11.

<sup>2)</sup> Peschel, *ibidem*, S. 209.

<sup>3)</sup> Herbert Wood „Note on the Hyrcanian Sea“ in d. „Nature“ 1875, Vol. XII, p. 51—52.

<sup>4)</sup> J. Spörer „Die See'nzone des Balchasch-Alakul &c.“ in Petermann's „Mitth.“ 1868, S. 73 ff.

Abnahme begriffen<sup>1)</sup>, — zu desto besserem Beweis, dass es vor allem die Trockenheit der Luft ist, welche die Verdunstung bedingt. Die Wirkung der Sonnenwärme allein würde ohne fortwährende Entfernung der mit Wasserdampf gesättigten Luft nur zu bald aufhören müssen; auf dem hohen Plateau von Bolivia ist sie obendrein schon bedeutend geschwächt.

d) *Ehemalige Binnenmeere*. Wenn wir alle die oben angeführten Phänomene erwägen, wenn wir nun stets da, wo die trockenen Winde vorherrschen, bald schon alles verdorrt, kahl und steril oder trockengelegt finden, bald die langsame, aber beständige Abnahme alles Flüssigen zu verzeichnen haben, so wird, wenn wir noch einen Schritt weiter gehen, wohl die Frage nicht zu gewagt erscheinen, ob vielleicht die Wüsten ehemals nicht etwa ganz vom Wasser bedeckt gewesen waren. Denn bildeten sie einst abgeschlossene Meeresbecken, so ist es klar, dass die Winde auch damals eben so wie heute nur trocken zu ihnen gelangen konnten. Zwar vermochten ihrerseits diese Winde allerdings, indem sie über den feuchten, verdunstenden Spiegel der angenommenen Binnenmeere hinwegstrichen, sich mit Wasserdampf zu beladen und Niederschläge zu bewirken, zwar mögen in diesem Falle gerade die jene Binnenmeere umgebenden Randgebirge wiederum die meisten Niederschläge erhalten haben, aber wie viel Wasser mochte dennoch dabei jedesmal entführt werden und wie viel von der Vegetation auf immerdar aufgesogen oder von den Gesteinen chemisch gebunden werden. Waren diese Randgebirge hoch genug, oder wehte über das vorausgesetzte Binnenmeer das ganze Jahr hindurch z. B. nur ein Passat, so musste die Verdunstung damals noch in rascherer Progression vor sich gegangen sein. In einem und dem anderen Falle konnte aber bloss von einer beständigen Abnahme, niemals aber vom Stillstand und Gleichgewicht hinsichtlich des Wassergehalts jener Meere die Rede sein. In der Folge mussten denn auch die Strandlinien derselben sammt dem Wasserspiegel fortwährend sinken, die im Bereich dieser Binnenmeere erzeugten Niederschläge stets schwächer und seltener werden, bis auch die Vegetation dem Tode, der Humus dem Prozesse der Verwitterung und Verstäubung anheimfielen, während vom ehemaligen Meere bloss ein oder mehrere Steppensee'n übrig blieben, die Gebirgsbäche und Flüsse aber, vergeblich nach ihrer ursprünglichen Mündung hinstrebend, in trockene Betten oder in Flüsse ohne Mündung umgewandelt wurden.

Für die Geologie ist es kein Geheimniss mehr, dass die heutzutage wüst dastehenden Gebiete eine Wasserbedeckung gehabt haben. Die Fossilien, jene „Denkmün-

<sup>1)</sup> Reclus „La Terre“ I, p. 508—509, 531 und 541.



zen" der Vorzeit, würden schon allein hinreichen, auch die Wüsten zum Sprechen zu zwingen. In den über die Wüsten zerstreuten Fossilien erkennt man aber gerade bald die marine, bald die Süßwasser-Fauna und -Flora. Wir lesen nämlich: „Dass einst ein Meer vom Golfe von Gabes bis an das Senegambische Gestade sich erstreckt habe, diess bezeugen die Schalen des *Cardium edule*, in grossen Mengen in der Sahara vorkommend" <sup>1)</sup>. Bezüglich der Libyschen Wüste haben dasselbe bereits Aristoteles, noch deutlicher aber Eratosthenes auf Grundlage der dort vorkommenden zahlreichen Schnecken, Muscheln und Salzlager ausgesprochen <sup>2)</sup>. Eine Menge von Pholadenlöchern in den Felsenkalken des weissen Jura bei Kairo bezeichnet noch die Fluthmarke des einstigen miocänen Meeres <sup>3)</sup>. Ähnlich war es einst, was bereits Alexander v. Humboldt hervorgehoben hat <sup>4)</sup>, mit der heutigen halb wüsten, halb steppenartigen Umgebung des Kaspischen und des Aral-See's bestellt, so dass dieselben nebst dem Balchasch- und Alakul-See, so wie jener ganzen Unzahl von kleineren See'n in der Kirgisen-Steppe wohl für nichts anderes als für eine der grossartigsten Kolonien von „Rosenkranzsee'n" oder sogen. Relictensee'n, in welche sich das einstige, noch von den Chinesischen Schriftstellern erwähnte „Westmeer" aufgelöst hat, anzusehen sind. Hierfür bietet aber einmal den besten Beleg der Umstand, dass das Niveau des Kaspischen und des Aral-See's noch gegenwärtig stets sinkt <sup>5)</sup>, zweitens das häufige Vorkommen des Muschelkalkes an den Südabhängen des Ust-urt-Plateau's <sup>6)</sup> und in der Nähe des alten Oxus-Bettes die zahlreichen Schalen der charakteristischen Kaspischen Conchylien (*Cardium edule*, *Didaena trigonoides*, *Dreissena polymorpha*, *Neritina liturata*), so wie Kaspische Foraminiferen <sup>7)</sup> und drittens die Relicten-Fauna des Kaspischen Meeres selbst, die ihren maritimen Charakter deutlich verräth und direkt auf die einstige Kommunikation dieses Meeres mit dem Schwarzen Meere einer- und dem nördlichen Polar-Ocean andererseits hinweist <sup>8)</sup>. — Die Colorado-Wüste zeigt nicht nur eine bedeutende Depression, nämlich 300 Fuss unter dem Spiegel des Pacifischen Oceans, sondern enthält auch zahlreiche Süßwassermuscheln, wäh-

rend die Granitfelsen am Rande der Wüste mit einer bis 2 Fuss dicken Kalkschicht überzogen sind. Der Geolog W. P. Blake schloss denn auch daraus bereits im Jahre 1853, dass die Wüste einst von einem Süßwassersee bedeckt sein musste. Aber andererseits fehlt es daselbst auch nicht an maritimen Spuren, so dass man zur Annahme gezwungen ist, „dass die Colorado-Wüste ehemals die nördliche Fortsetzung des Californischen Golfes gebildet hat, durch die Anschwemmungen des Colorado-Flusses aber davon getrennt und zeitweilig mit dessen Wasser gefüllt, zu einem Süßwassersee umgewandelt wurde"; daher die Depression, der Salzgehalt des Bodens, der Kalkniederschlag und die Süßwassermuscheln an der Oberfläche. Auf diese Thatsachen gestützt, trägt man sich auch mit dem Projekt, diese Wüste, sei es mittelst der Wasser des Rio Colorado, sei es mittelst der des Californischen Golfes von neuem überschwemmen zu lassen <sup>1)</sup>. Etwas Analoges mit der Depression der Colorado-Wüste zeigt diejenige des Todten Meeres; von derselben schreibt aber ein Besucher, wie folgt: „Wenn geologisch etwas festgestellt werden kann, so ist es die Thatsache eines viel höheren Wasserstandes in der Spalte des Jordan und des Todten Meeres, einer am Ufer mindestens 100 Meter höher angeschwellten, nach Süden einige Meilen, nach Norden aber bis in die Nähe des Tiberias-See's weit ausgedehnten Wasserfläche; eine Fluthmarke des früheren Wasserstandes hat sich bis zu diesem Augenblick erhalten" <sup>2)</sup>. Ja, nach Russegger communicirte einst das Todte Meer mit dem Rothen Meere, woraus sich somit am ersteren die Verdunstung bereits einer Wassersäule von über 1300 Fuss Höhe ergeben würde <sup>3)</sup>. Auch nach den Untersuchungen von Lortet scheint die Fauna des Tiberias-See's auf die einstige Kommunikation dieses See's, also auch des Todten Meeres, mit dem Ocean hinzuweisen <sup>4)</sup>. Wenden wir uns nach Süd-Afrika, so ist auch dort — nach den Untersuchungen der Geologen A. Bain und Roderick J. Murchison — sehr leicht zu erkennen, wie die Urschichten (Gneiss, Thonschiefer, silurischer Sandstein &c.) von allen Seiten nach dem Inneren des Landes sich neigen, während die obersten Schichten, die nach aussen überall abgegrenzt sind, die Land- und Süßwasser-Fossilien führen, was beweist, dass dort ehemals ein ungeheueres Wasserbassin vorhanden war <sup>5)</sup>. Dasselbe haben bereits Lichtenstein und Barrow am Anfange des laufenden Jahrhunderts von der Steppe Karroo

<sup>1)</sup> Ed. Süss „Über die einstige Verbindung Nord-Afrika's mit Süd-Europa" im „Jahrbuch der k. k. geolog. Reichsanstalt" 1863, No. 1.

<sup>2)</sup> Partey „Das Orakel und die Oase des Jupiter Ammon" in d. „Abhandlungen d. k. Akademie der Wissenschaften in Berlin" 1862 (Berlin 1863), S. 145 ff.

<sup>3)</sup> O. Fraas „Aus d. Orient", S. 161.

<sup>4)</sup> „Central-Asien" I, S. 400, 529.

<sup>5)</sup> Herbert Wood in d. „Nature" Vol. XII, p. 51 und 313.

<sup>6)</sup> H. Stumm „Briefe aus dem Feldzuge gegen Chiwa" 1873 in Petermann's „Mitth." 1873, S. 284.

<sup>7)</sup> Dr. G. Sievers „Über die russische Expedition nach dem alten Oxus-Bette" in Petermann's „Mitth." 1873, S. 298.

<sup>8)</sup> Peschel „Entwicklungsgeschichte der stehenden Wasser" im „Ausland", S. 209; und „Nature" 1875, Vol. XIII, p. 74.

<sup>1)</sup> s. Petermann's „Mitth." 1874, S. 150; und „Mitth. der geogr. Gesellschaft in Wien" 1875, S. 136—137.

<sup>2)</sup> Dr. O. Fraas „Aus dem Orient" S. 74.

<sup>3)</sup> s. Bischof „Lehrbuch der chem. und physik. Geologie" II. Bd., S. 52—54.

<sup>4)</sup> „Revue scientifique" 1875, 4. September, p. 227.

<sup>5)</sup> Gumprecht, Delitsch und Meinicke „Afrika u. Australien", S. 422.

ausgesprochen<sup>1)</sup>. Wenn aber bereits in der Kosmogonie der Parsen von der Eintheilung der Erde in 7 Erdgürtel oder Inseln, die vom Wasser umgeben waren, die Rede ist<sup>2)</sup> — was wohl bei damaligen geographischen Kenntnissen bloss auf Iran und Turan, höchstens auf Asien allein sich zu beziehen scheint —, oder wenn eine mehr als 60 Meilen breite Einsenkung der Wüste Gobi bei Erghi noch von einer alten Mongolischen Sage als der Boden eines ehemaligen grossen Binnenmeeres bezeichnet wird<sup>3)</sup>, ja, wenn die Mongolen behaupten, dass überhaupt die ganze salzig-sandige Steppenzone der Gobi einst ein See gewesen sei<sup>4)</sup>, so wäre diess nur ein merkwürdiges Zeugniß hierfür, dass die Winde sogar keiner so langen geologischen Zeiträume bedurft hatten, um die betreffenden, vom Wasser bedeckten Gebiete trocken zu legen. Vielleicht war, als die Gobi in ihrem Schoosse noch einen grösseren Binnensee beherbergte, der Niagara-Fall von seiner heutigen Stelle schon nicht mehr als 1500—2000 Meter entfernt!

Allein neben allen dem giebt es noch andere direkte Beweise für die einstige Wasserbedeckung der Wüsten, zugleich also für die austrocknende, so zu sagen, erodirende Wirkung der Winde auf das Wasser. Wir meinen die Salzbildung, zu deren Betrachtung wir jetzt übergehen.

e) *Salzbildung*. Wenn wir uns noch einmal die bereits früher erwähnte Thatsache in's Gedächtniss rufen, dass der Verdunstungsprozess mit nichten einzig und allein der Wirkung der Sonnenwärme zuzuschreiben ist, sondern dass er auch eben so gut von dem durch die trockenen Winde bewirkten trockenen Klima abhängig ist, wie er andererseits geradezu dadurch ermöglicht und gefördert wird, dass die Winde stets den sich neu bildenden Wasserdampf von der Verdunstungsfläche entfernen, sehen wir klar, dass auch bei der Salzbildung die Winde als gar mächtige Agentien begrüsst werden müssen. Es ist bereits in der Geologie zum Axiom erhoben worden, dass das Meerwasser als die eigentliche Hauptquelle des Salzes überhaupt anzusehen ist und dass die Salzlager lediglich als chemische Niederschläge des Salzes aus den verdunstenden, abgeschlossenen Becken oder Buchten gedacht werden dürfen. Nun dieses Axiomes harret nirgends heutzutage evidentere Bestätigung als gerade da, wo die Verdunstung bei weitem die Niederschlagsmenge überwiegt, oder wo der Niederschlag bloss zu den Ausnahmen gehört, wo also die trockenen Winde überwiegend oder ausschliesslich zu Hause sind. Aber noch mehr. Dasselbst ist noch jene andere, nicht minder interessante Thatsache constatirt, dass bekanntlich selbst ein Becken des ursprünglich süssenen Wassers, wenn es nur keinen Abfluss

hat und längere Zeit der Verdunstung ausgesetzt ist, allmählich grössere oder geringere Salinität verräth. Im ersten Falle wird nämlich das Meerwasser — im Mittel einen Salzgehalt von 34 pro mille aufweisend — in Folge des fortwährenden Verlustes des salzfreien Wassers, sogar dann, wenn diese Becken vermittelt einer Meerenge mit dem Ocean communiciren, seine Salinität beträchtlich steigern müssen; im anderen Falle aber werden die selbst geringsten Quantitäten von Salzen, deren auch das Süsswasser, wie es in der Natur vorkommt, niemals entbehrt, mit der Zeit durch stete Concentrirung sich so weit ansammeln können, dass sie dem betreffenden Wasserbecken den Charakter einer Salzlösung aufdrücken werden. Büst aber einmal ein Meerwasserbecken seine Verbindung mit dem Ocean gänzlich ein, oder der so modificirte Süsswassersee seine ursprünglichen Zuflüsse, so wird natürlich die weitere Folge des Verdunstungsprozesses diese sein, dass endlich das Wasser in der Dampfform gänzlich davon entführt und am ehemaligen Grund des einen und des anderen Wasserbassins eine mehr oder weniger mächtige Salzkruste übrig bleiben wird. Dass das Salz nicht von den Dämpfen mit fortgerissen und entführt wird, erklärt sich wiederum daraus, dass, um das Chlornatrium zu verflüchtigen, erst eine Weissglühhitze erforderlich ist. Bloss die Fossilien werden dann noch zu entscheiden haben, ob das betreffende Salzlager eines marinen oder süsswässerigen Ursprungs gewesen ist, oder aber es werden die Gypsablagerungen sein, die, wenn sie jene Salzkrusten begleiten, desto leichter das einstige Meerwasserbecken werden erkennen lassen. Denn der Gyps, d. h. der schwefelsaure Kalk, als auch einer der Hauptbestandtheile des Meerwassers (in 100 Theilen des salzigen Niederschlags aus dem Meerwasser kommen auf Chlornatrium 73,47, Chlormagnesium 11,64, schwefelsaure Magnesia 5,97, Chlorkalium 3,45, auf Gyps 4,60 neben geringen Quantitäten von Brom- und Jodsalzen), wird sich bei dem Verdunstungsprozess neben den übrigen Salzen niederschlagen müssen und zwar, da er das schwerlöslichere Salz ist, wird er sich stets zuerst abscheiden.

Wir besitzen noch so gut wie keine direkten Messungen der Verdunstung aus den sogen. regenarmen Gegenden; wenn wir aber hören, dass z. B. auf St. Helena, wo der trockene Süd-Ost-Passat fast ununterbrochen weht, die jährliche Verdunstung die Regenhöhe um 81,42 Engl. Zoll übertrifft<sup>1)</sup>, was im Durchschnitt auf 1 Tag beinahe 7 Millimeter ausmacht, oder in Californien am Tulare-Lake dieselbe täglich 7,6 Mm. beträgt und Prof. Zech in Stuttgart dieselbe für das Todte Meer auf 13½ Mm. per Tag berechnet<sup>2)</sup>, so

<sup>1)</sup> Ritter „Erdkunde“, I. Th., S. 109. — <sup>2)</sup> Ritter „Erdkunde“ VIII. Theil, S. 43. — <sup>3)</sup> Alex. v. Humboldt „Ansichten der Natur“, S. 49. — <sup>4)</sup> Ritter „Erdkunde“ II. Theil, S. 358.

<sup>1)</sup> John Haughton „Rainfall and evaporation in St. Helena“ (Dublin 1862), p. 1—14.

<sup>2)</sup> O. Fraas „Aus dem Orient“, S. 75—76.

kann man auch daraus zur Genüge ermessen, wie selbst in verhältnissmässig kurzem Zeitraum in den Gegenden, wo der Regen nur einen höchst geringen Ersatz für solche Verdunstung bildet, die abgeschlossenen Wasserbecken in einen Salzsee, in eine Salzpflanze oder in ein bereits trockenes Salzlager umgewandelt werden können.

Begeben wir uns nun nach dem eben Gesagten in die Erdräume, die wir als Wüsten kennen gelernt haben, so finden wir allerdings überall als unleugbare Spuren ihrer früheren Wasserbedeckung die Salzbildung auf grossartigste Weise entwickelt. So berichten die Reisenden aller Zeiten einstimmig, dass die Wüste Gobi ungemein reich an Salzsee'n ist, dass sogar in den dortigen Brunnen sehr häufig nur salziges Wasser anzutreffen ist, so dass man das trinkbare Wasser erst viel tiefer, unter einer Thonlage suchen muss<sup>1)</sup>, während die Mongolischen Winde neben den Sandwolken auch die feineren Salztheile der Salzsee'n weithin mit sich fortreissen<sup>2)</sup>. In Persien wird sogar der ganze weit ausgedehnte Landstrich zwischen Herat und Teheran in einer, zwischen Jesd und der Elbrus-Kette in anderer Richtung wegen des ganz mit Salz imprägnirten und mit Salzefflorescenzen bedeckten Bodens geradezu mit dem Namen der „grossen Salzsteppe“ betitelt<sup>3)</sup>. Wenn Dr. E. Tietze während seines Ausflugs nach dem Siahkuh (Schwarzer Berg), südöstlich von Teheran, lauter Salzausblühungen und einer Menge von Salzsee'n begegnete<sup>4)</sup>, so befand er sich gerade mitten in den westlichen Ausläufern dieser Salzwüste. Auch zwischen dem Euphrat und dem Tigris hören wir von zahlreichen Salzseen und Brunnen mit salzigem Wasser<sup>5)</sup>. In der Sahara ist das Salz ebenfalls an den verschiedensten Punkten angetroffen worden, in den Schotten von Tunis und Algerien, in der Depression der Oase Siwah, so wie und zwar förmliche Salzminen im Lande der Tuareg in der Sebha Amadghor<sup>6)</sup>, im Lande Bilma, beinahe auf dem halben Wege von Murzuk nach Kuka<sup>7)</sup>, in Teghasa (Taghada), Taodenni u. a. m. in der westlichen Sahara<sup>8)</sup>. Übrigens ist der Reichthum an Steinsalz in der Wüste bereits seit Herodot bekannt<sup>9)</sup>. Der Alluvialboden der Kalahari-Wüste weist neben den Süsswassermuscheln zugleich weite Flächen von Salzkrusten auf, wobei sich

<sup>1)</sup> Ritter „Erdkunde“ III. Theil, S. 343—378; Humboldt „Ansichten der Natur“, S. 49.

<sup>2)</sup> N. M. Przewalski „Die südöstliche Mongolei von Dalei-noor bis nach Alaschan“ in Petermann's „Mitth.“ 1873, S. 85.

<sup>3)</sup> Ritter „Erdkunde“ VIII. Theil, S. 261—262.

<sup>4)</sup> s. „Mitth. der Geogr. Gesellschaft in Wien“ 1875, S. 257—267.

<sup>5)</sup> Ritter „Erdkunde“ XI. Theil, S. 773—789.

<sup>6)</sup> H. Duveyrier „Les Touareg du Nord“, p. 18, 71—73.

<sup>7)</sup> Rohlfs „Reise durch Nord-Afrika vom Mittel. Meer bis zum Busen von Guinea“ I. Hälfte in Petermann's „Mitth.“ Ergänzungsheft Nr. 25 (1868), S. 26—27.

<sup>8)</sup> Gumprecht, Delitsch und Meinicke „Afrika und Australien“, S. 248 und 457.

<sup>9)</sup> Alex. v. Humboldt „Ansichten der Natur“, S. 70.

noch hie und da Quellen mit salpetersaurem Natron finden. Ausserdem sind im Osten vom Ngami-See grosse Salzpflanzen und Salzsümpfe vorhanden, während es auch allen drei Terrassen, die von der Kalahari aus gegen die Kapstadt herabsteigen, nicht an Salzsee'n fehlt<sup>1)</sup>. Die Tamarugal-Pampas in Peru (900—1200 Meter hoch gelegen) sind mit einer Salzkruste bedeckt und zwar einer so mächtigen, dass die Salzflöze sogar als Baumaterial in dieser regenarmen Gegend benutzt werden können. Auch weiter östlich, in Bolivia, in der Gegend von St. Rosa, sind die Pampas wegen fortwährender Salzausblühungen weiss; ausser Kochsalz sind dort aber auch Natron- und Schwefelverbindungen zu finden<sup>2)</sup>, während die Atacama-Wüste reich an salpetersaurem Natron ist. In dem Peruanischen Theil dieser Wüste, in der Provinz Tarapaca, ist bereits seit 1830 ein salpetersaures Sodalager exploirt; in den letzten Jahren hat man auch im Bolivianischen Theil zwei Sodabassins entdeckt, bei Loa im Norden und bei Antofagasta im Süden; Olivier schreibt ihre Bildung der Evaporation der Salzsee'n zu<sup>3)</sup>. Zwischen den Anden Argentinas und dem Rio Dulce dehnt sich „eine fast unübersehbare, wie mit einem weissen Schneetuch überzogene weisse Landfläche“ — die „Salina“ —, eine Salzwüste, die in der Regenzeit freilich sich in einen eben so grossen Salzsee verwandelt. Gyps und Glaubersalz mit mehr oder weniger Antheilen von Chlorverbindungen bilden ihre Bestandtheile; ihr Flächenraum nimmt 90 Q.-Meilen ein; sie „zeigt unverkennbare Spuren, dass ehemals ein grosser Binnensee ihre Niederung ausfüllte, bis sich allmählich der See durch Verdunstung in eine öde Steppe verwandelt hat“<sup>4)</sup>. In Nord-Amerika trifft man nicht bloss in den Plateaux zwischen der Sierra Nevada und dem unteren Colorado-Thale zahlreiche Salzsee'n und Salzausblühungen, sondern man begegnet im Nordwesten von Texas sogar einer ausgedehnten Salzebene (Llano estacado), während der Great-Salt-Lake im Utah Territory wegen seines hohen Salzgehaltes uns geradezu gestattet, in ihm bloss das zusammengeschrumpfte, ehemals grössere Wasserbassin zu erkennen. Lieutenant Wheeler berichtet obendrein vom Great-Salt-Lake, dass die alten Strandlinien dieses See's noch 970 Fuss höher, an den Abhängen der benachbarten Gebirge deutlich zu sehen sind, was auf ein 11 Mal grösseres Areal dieses See's und 400 Mal grösseres Volumen schliessen lässt<sup>5)</sup>. In Wyoming Territory, 65 Mei-

<sup>1)</sup> Gumprecht, Delitsch und Meinicke „Afrika und Australien“, S. 153, 425—427.

<sup>2)</sup> Reclus „La Terre“ II, p. 403.

<sup>3)</sup> s. „Revue scientifique“ 1875, No. 19, p. 453.

<sup>4)</sup> „Mitth. der k. k. Geogr. Gesellschaft in Wien“ 1875, S. 378; Petermann „Die Süd-Amerikanischen Republiken“ Ergänzungsheft No. 39, S. 9.

<sup>5)</sup> s. „Nature“ Vol. XII, p. 299, und „The American Journal of Sciences and Arts“ März 1876, p. 228—229.

len nördlich von Rawlin's Station, hat ausserdem Professor Ponter, Geolog der Union-Pacific-Eisenbahngesellschaft, zwei geräumige Salzsee'n entdeckt, in denen sich fortwährend das kohlen-saure Natron auskrystallisirt, in einer Menge, die Ponter in dem grösseren auf 78.000 Tonnen, im kleineren auf 30.660 Tonnen schätzt<sup>1)</sup>. In Bezug auf Australien besitzen wir in seinen zahlreichen Salzsee'n und Salz-sümpfen — um nur an Eyre-See, Austin-See und die Salzsee'nkette Forrest's zu erinnern — schon längst der Anhaltspunkte genug, um es einst zum grösseren Theil vom Wasser bedeckt ansehen zu dürfen; jeder neue Erforschungs-reisende, indem er stets, was für immer eine Richtung er gegen das Innere einschlagen mag, dem Mangel an Süss-wasser, dagegen aber dem Überfluss an Salzlachen oder Salzsee'n begegnet, vermehrt nur in's Unendliche die Be-lege für diese Thatsache. Neben Australien darf wohl wegen ihres enormen Salzreichthums die Kaspische Niederung gestellt werden. Im Gouvernement Astrachan allein zählt man 129 Salzsee'n, während der ganze Landstrich zwischen Wolga bis Terek stark mit Salz imprägnirt ist<sup>2)</sup>, und die zahlreichen Salz-sümpfe und Salzsee'n sich auch tief in der Kirgisen-Steppe, die bittersalzigen Balchasch- und Alakul-See'n inbegriffen<sup>3)</sup>, verfolgen lassen. Die bedeu-tendsten und zugleich die bekanntesten Salzsee'n dieser Gegenden sind die beiden auf dem linken Ufer der unteren Wolga gelegenen: Elton-See und Baskuntschatskischer See. Der letztere, 45 Werst im Umfang, „bietet eine sonderbare Erscheinung beim anhaltend trockenen Wetter, sein Wasser verschwindet in kurzer Zeit gänzlich, theils durch Verdun-stung, theils durch Bildung der Salzkrystalle. Zuweilen sind kaum 24 Stunden zu diesem Hergange erforderlich“<sup>4)</sup>. Auch im Elton-See (20 Werst lang, 16 Werst breit), wo das verdunstende Wasser nicht hinlänglich durch zuflies-sendes ersetzt wird, setzt sich das Salz in Sommermonaten fortwährend ab. Diese Ablagerung des Salzes erfolgt ge-wöhnlich jedes Jahr; zwischen 1747 und 1851 blieb sie nur einmal aus und zwar 1776 wegen des regnerischen und kühlen Sommers<sup>5)</sup>. Nach Göbel's Untersuchungen führt der Charysacha-Fluss allein, der bedeutendste unter den Zuflüssen des Elton-See's, demselben jährlich 47.777 Millio-nen Pfund Salz zu. Welche bedeutende Wassermenge da-bei verdunsten muss, um diese Menge Salz abzusetzen, er-giebt sich daraus, dass das Wasser jenes Flusses nicht ganz

5 0/0 an Salzen enthält<sup>1)</sup>. Selbst der Aral-See und das Kaspische Meer sind wohl nichts anderes als grosse Salzsee'n. Bischof<sup>2)</sup>, gestützt auf die Analysen des Wassers vom Kaspischen Meere, die Göbel, Rose, Mehner und Abich vorgenommen und die eine sehr geringe Salinität desselben, nämlich 14—16 pro mille ergaben, verwirft zwar die An-sicht, als sei das Kaspische Meer einst mit dem Schwarzen Meere verbunden gewesen und betrachtet es als ursprüng-lichen Süsswassersee, und Peschel<sup>3)</sup> nimmt, um diesen geringen Salzgehalt zu erklären, vor endlicher Lostrennung dieses Meeres vom Ocean einen Aussüßungsprozess an. Was indessen die erwähnten Analysen betrifft, so sind sie unzu-reichend gänzlich zu nennen. Zur Analyse von Göbel und von Rose ist das bloss brackische Wasser nahe den Mün-dungen der Wolga und des Ural genommen worden und nebenbei noch aus einer Tiefe von 2,5 Faden<sup>4)</sup>. Kein Wun-der also, wenn das nördliche, flache und seichte Meeres-becken, stets von neuem mit dem süßen Wasser dieser bei-den so grossen Zuflüsse ausgefüllt, keine hohe Salinität auf-weisen kann. Um so entscheidender ist jedoch der Um-stand, dass die Analyse von Mehner, wozu das Wasser an „dem Mischungspunkte der Wasser des tiefen und des flachen Beckens“ geschöpft wurde, bereits einen beträcht-lichen Zuwachs an Salzgehalt zeigt. In Anbetracht dieser Thatsache nun, so wie auch derjenigen, dass in allen näher geprüften See'n ohne Abfluss (wie z. B. im Todten Meere) der Salzgehalt in der Regel nach der Tiefe zunimmt, wird man nicht einen Augenblick zweifeln, dass dasselbe Gesetz auch auf das Kaspische Meer zu beziehen ist, um so mehr, da neulich Dr. Oskar Grimm während seiner Dampfboot-fahrt auf dem Kaspischen Meere aus einer Tiefe von 150 Faden eine Menge — in Allem 120 Species — von Fischen, Mollusken, Crustaceen und Würmern im Schleppnetz her-ausgezogen hat, die gerade ergaben, dass die Verbindung des Kaspischen Meeres mit dem Polar-Ocean sogar viel neuer gewesen als diejenige mit dem Schwarzen Meere, indem z. B. Phoca, Coregonus leucichthys und andere Formen, die im Schwarzen Meere, dessen Salinität bloss 17 pro mille beträgt, nicht existiren, dem nördlichen Polar-Ocean und dem Kaspischen Meere gemeinschaftlich sind<sup>5)</sup>. Wenn wir auf Grundlage dessen bereits in der Tiefe von 150 Faden im Kaspischen Meere eine gleiche Salinität, wie die des Polar-Oceans, also mindestens 35 pro mille annehmen dür-fen, um wie viel grösser wird sich da der Salzgehalt erst in grösserer Tiefe herausstellen müssen, in einer Tiefe,

<sup>1)</sup> „New York Semi-Weekly Times“ No. 2203, 26. Oktober 1875.

<sup>2)</sup> Bischof „Lehrbuch der chem. und physik. Geologie“ II, S. 61, 70—74.

<sup>3)</sup> Spörer „Die See'nzone des Balchasch-Alakul“ in Petermann's „Mitth.“ 1868, S. 73 und ff.

<sup>4)</sup> s. „Jahrbuch für Geologie, Mineralogie und Paläontologie“ 1851, S. 601—602.

<sup>5)</sup> Ibidem, 1854, S. 844—845, und Bischof „Lehrbuch der chem. und physik. Geologie“ II, S. 63—64.

<sup>1)</sup> Bischof „Lehrbuch der chem. u. physik. Geologie“ I, S. 640—641.

<sup>2)</sup> „Lehrbuch der chem. und physik. Geologie“ I, S. 310—312.

<sup>3)</sup> „Entwicklungsgeschichte der stehenden Wasser“ im „Ausland“, 1875, S. 209—210.

<sup>4)</sup> Bischof I, S. 308—309.

<sup>5)</sup> s. „Nature“ Vol. XIII (1875), p. 74.

die — namentlich im südwestlichen Theil des Kaspischen Meeresbeckens — 517 Faden ergab <sup>1)</sup>. Vielleicht schlägt sich bereits in dieser Tiefe das Salz nieder auf ähnliche Art, wie etwa im Karabugas, dem östlichen Ausläufer des Kaspischen Meeres, einer seichten, geräumigen Pfanne, die mit dem übrigen Meere nur vermittelt einer 150 Schritte breiten Öffnung communicirt <sup>2)</sup>. Ferner bewirken die austrocknenden Winde im Kaspischen Meere, dass das Niveau des Meeres noch fortwährend im Sinken begriffen ist, wodurch sich stets neue Salzlachen und Salzsee'n lostrennen. Der Meeresarm Karasu und die Alexander-Bai sind schon nahe daran <sup>3)</sup>; in um so grösserem Maassstabe geht diese Neubildung der Salzsee'n am Nordwestufer des Kaspischen Meeres vor sich, d. h. im Mündungsdelta der Wolga. In Folge nämlich des allmählichen Zurücktretens des Meeres treten immerfort neue, einander parallel, zum Laufe der Wolga aber senkrecht gestellte Sandbarren, die sog. „Bugors“ zum Vorschein, die manchmal eine Länge von 80 Werst erreichen, getrennt von einander durch Vertiefungen, die sogen. „Ilmens“. Die Süd- und Südostwinde treiben nun, namentlich beim hohen Stande der Wolga, das Wasser derselben sammt den Alluvionen in diese Vertiefungen hinein, sperren sie mit der Zeit mit Querdämmen ab und tragen auf diese Weise zur Bildung neuer langgezogener Salzlachen und Salzsee'n bei. In klimatischer Hinsicht entföhren somit die Winde stets neue Wassermengen dem Meere und bewirken sein Sinken, so wie die Bildung der Sandbarren, mechanisch aber verhelfen sie direkt zur Lostrennung der schmalen, langgezogenen Meeresarme, die wiederum in Folge der bedeutenden Verdunstung sich in Salzsee'n verwandeln. Die ausgezeichnete Karte des Wolga-Delta's von Andrei Nasaroff illustriert auf das genaueste diesen merkwürdigen Vorgang <sup>4)</sup>. Ein vollständiges Analogon derartiger Bildung unter der Einwirkung der Winde finden wir in der Umgebung des Alakul-See's, noch deutlicher in der des Balchasch-See's, wo die Sandhügel parallel unter sich und mit dem See-Ufer von Norden nach Süden oder von NNO. nach SSW. verlaufen <sup>5)</sup>, sowie — Dank der Feststellung durch v. Richthofen <sup>6)</sup> — in der Landebene von Debreczin. Auch da giebt es nämlich langgezogene, flache, parallele Sandbarren mit den von denselben eingeschlosse-

nen, salzhaltigen Wassertümpeln, wodurch die Ebene den Anblick einer von flachen Dünen meist in nord-südlicher Richtung durchzogenen Sandsteppe gewährt. Bestätigt aber schon dieser Umstand die Beweisführung von Süs <sup>1)</sup>, derzufolge das Diluvialmeer auch über Ungarn sich erstreckte, so finden wir noch ausserdem hinreichende Belege hierfür in den zahlreichen Salzquellen in der Umgebung von Visegrad, Gran, Totis, Tsambek und bei Ofen <sup>2)</sup>. Dass das Todte Meer sowohl seine enorme Depression, als auch seinen bedeutenden Salzgehalt dem Verdunstungsprozess verdankt, ist bereits seit langem bekannt. Die Analyse von Terreil (im „Bulletin de la Soc. géolog.“ Paris 1866) hat aber erst genauer die Thatsache festgestellt, wie rapid und bedeutend die Salinität des genannten Meeres mit der Tiefe zunimmt. Während nämlich der Salzgehalt an der Oberfläche sich bloss auf 27,07 pro mille beläuft, beträgt er schon in einer

Tiefe von 20 Meter . . . . .	204,81 pro mille
„ „ 42 „ . . . . .	260,99 „ „
„ „ 120 „ . . . . .	262,64 „ „
„ „ 200 „ . . . . .	271,60 „ „
„ „ 300 „ . . . . .	278,13 „ „ <sup>3)</sup> ,

so dass am Meeresgrunde nach den Untersuchungen von Lynch neben dem Thon und kohlenurem Kalk bereits auch das Kochsalz sich absetzt <sup>4)</sup>. Nur der fortdauernden Wirkung der austrocknenden Winde ist es ferner zuzuschreiben, wenn wir in dem wüsten Theile von Unter-Ägypten, am westlichen Ufer des Nil, Natron-See'n finden, die von kleinen Quellbächen, deren Wasser nur wenig salzhaltig ist, alimentirt werden <sup>5)</sup>. Unter ähnlichen Bedingungen sind auch die beiden Bittersee'n entstanden, die heutzutage den integrirenden Theil des Suez-Kanals ausmachen. Ihre „grosse Salzformation rührt wahrscheinlich vom Rothen Meere her und mag durch periodisches Zudringen bei Hochfluthen vom Meerwasser durch Vertrocknen sich gebildet haben“ <sup>6)</sup>. Am Nordostabhange des Abessinischen Hochlandes treffen wir ebenfalls einen Salzsee, Alelbad, und eine Salzebene an, die, 40—50 nautische Meilen lang und 25 Meilen breit, eine Bodeneinsenkung von 193 Engl. Fuss bildet und unzählige kleine Bäche aufnimmt. Unerschöpfliche Gypslager reihen sich hier an die viele Meilen grosse und weite, aus auskrystallisirter Salzmasse bestehende, weisse, oft spiegelglatte Fläche. Seit uralten Zeiten wird hier das Salz für den Abessinischen Markt ausgebeutet. Ähnliche

<sup>1)</sup> s. „Nature“ Vol. XIII (1875), p. 74.

<sup>2)</sup> Reclus „La Terre“ I, p. 536; Peschel „Entwicklungsgeschichte der stehenden Wasser“ im „Ausland“ 1875, S. 210.

<sup>3)</sup> s. Reclus „La Terre“ I, p. 532—535.

<sup>4)</sup> Dr. Bergsträsser „Die Salzsee'n des Gouvernements Astrachan und der Wolga-Mündungen“ in Petermann's „Mitth.“ 1858, S. 101 bis 103 und Tafel 5.

<sup>5)</sup> Spörer „See'nzone des Balchasch-Alakul“ in Petermann's „Mitth.“ 1868, S. 78 ff.

<sup>6)</sup> „Nordöstliche Ungarische Ebene“ im „Jahrbuch der k. k. geologischen Reichsanstalt“ 1859, S. 459 und ff.

<sup>1)</sup> s. „Jahrbuch der k. k. geolog. Reichsanstalt“ 1858, S. 100 und ff.

<sup>2)</sup> Dr. K. Peters „Geologische Studien aus Ungarn“ im „Jahrbuch der k. k. geolog. Reichsanstalt“ 1859, S. 514.

<sup>3)</sup> O. Fraas „Aus dem Orient“, S. 76—77.

<sup>4)</sup> Bischof „Lehrbuch der chem. und physik. Geologie“ II, S. 54—56.

<sup>5)</sup> Idem, I, S. 314—315.

<sup>6)</sup> s. „Jahrbuch für Geologie, Mineralogie und Paläontologie“ 1870, S. 367; Petermann's „Mitth.“ 1869, S. 471—472.

Depression findet man weiter südlicher in der Nähe des Golfs von Tedjurah in der Form eines geräumigen, 7 nautische Meilen breiten Trichters (wahrscheinlich vulkanischen Ursprungs). In derselben befindet sich ein Salzsee, „Asal“ oder „Birket el Asal“, dessen Niveau — nach Harris — bereits 570 Fuss unter dem Meeresspiegel gelegen ist. 1000—2000 Kameelladungen von Salz werden von ihm alljährlich nach Abessinien ausgeführt<sup>1)</sup>. Wenn wir endlich hören, dass sogar ganze Ocean-Arme, wie das Mittelländische Meer und das Rothe Meer eine grössere Salinität als der Ocean selbst aufweisen — das erste 38—39 pro mille, das andere sogar 43 pro mille —, so steht diess gerade in direkter Beziehung zu den Winden, die dem Mitteländischen Meer, welches doch obendrein genug zahlreiche Zuflüsse des süßen Wassers erhält, nur im Winter den meisten Regen bringen, über dem Rothen Meere aber, welches so gut wie keine Zuflüsse hat, fast das ganze Jahr hindurch trocken hinwehen. Wäre kein Bab-el-Mandeb und Gibraltar da, so würden schon längst diese beiden Meere neben einer ansehnlichen Depression auch die Salinität etwa eines Todten Meeres aufweisen<sup>2)</sup>.

Fassen wir alles bisher von der Salzbildung Gesagte zusammen, so ergibt sich daraus die Thatsache, dass, wo es nur immer zur Bildung eines isolirten Binnenmeeres

<sup>1)</sup> „Aufnahmen der Engl. Armee in Abessinien“ in Petermann's „Mitth.“ 1868, S. 66—68; und „Ausland“ 1875, S. 820—822.

<sup>2)</sup> Reclus „La Terre“ II, p. 28—29, 103—106; Bischof „Lehrbuch der chem. und physik. Geologie“ I, S. 434, 456 und II, S. 40 und ff.

kommt und die Verdunstung den Wasserzufluss überwiegt, das betreffende abgeschlossene Wasserbassin seine Salinität beträchtlich steigern oder aber gänzlich austrocknen muss, wobei die Salze sich niederschlagen werden. Wo dagegen eine Abdachung vorhanden war, so dass auch die Salze ihren fortwährenden Abzug nach dem Meere haben konnten, da würde es auch vergeblich sein, das Salz ausfindig machen zu wollen. Mit Recht unterscheidet denn auch von Richthofen<sup>1)</sup> die mit Abfluss versehenen Steppen von den abflusslosen oder den Salzsteppen, indem er zu den ersteren die Haiden Nord-Deutschlands, die Puszten Ungarns, die Tundren von Nord-Russland und Sibirien, die Süd-Russischen Grassteppen, die Prairien Nord- und die Pampas Süd-Amerika's zählt, während die anderen gerade gleichbedeutend mit den von uns als „Wüsten“ bezeichneten Ländern sind.

Mit der Salzbildung schliessen wir unsere Betrachtungen über die klimatologisch-meteorologischen Wirkungen der Winde, — noch nicht aber diejenigen über den Ursprung der Wüsten, die ja neben dem Mangel an Humus, neben den Flüssen ohne Mündung, neben den See'n ohne Abfluss und neben ihrem Salzgehalt, noch unabsehbare, mit Sand bedeckte Flächen beherbergen. Wie die Wüsten aber zu dieser enormen Sandbedeckung gekommen, — diese Frage werden wir im folgenden, zweiten Theile zu beantworten suchen.

<sup>1)</sup> „Geologie“ in Neumayer's „Anleitung zu wissenschaftl. Beobachtungen auf Reisen“, S. 272—273.

## II. Theil. Mechanische Wirkungen der Winde.

### Geschwindigkeit, Stärke und Richtung der Winde.

Die tägliche Erfahrung und die Anemometer belehren uns, dass die Winde in Betreff der Geschwindigkeit sehr von einander differiren und demgemäss auch in ihrem Effekt, in ihrer Stärke. Im Allgemeinen gilt hier die Regel, dass die Polarströme bei ihrem Fortschreiten gegen den Äquator hin stets an ihrer Intensität verlieren, da ihr Bett der kugeligen Gestalt der Erde wegen immer breiter wird, während die Äquatorialströme, da ihr Bett wiederum immer schmaler wird, auf ihrem Wege gegen die Pole hin an Intensität stets gewinnen. Auch je grösser die Differenz in der Temperatur oder in dem Luftdruck (der barometrische Gradient) zweier benachbarten Gegenden ist, desto grössere Stärke entfalten auch die Winde. Mit Rücksicht auf die verschiedene Geschwindigkeit und Stärke der Winde hat man denn auch eine Scala von 6 Graden für die Continente, von 12 Graden für die See entworfen und darin die

Winde, je nachdem sie schwache, mässige, frische, starke Winde, Stürme und Orkane sind, mit den Zahlen 1, 2, 3 &c. bezeichnet. Zur näheren Einsicht lassen wir hier die Land-scala folgen:

Grade der Windstärke.	Geschwindigkeit der Winde in Meter in 1 Sekunde.	Winddruck in Kilogramm auf 1 Q.-Meter.
1 schwach	0,3 bis 4	0,15 bis 1,87
2 mässig	4 „ 7	1,87 „ 5,96
3 frisch	7 „ 11	5,96 „ 15,27
4 stark	11 „ 17	15,27 „ 34,35
5 Sturm	17 „ 28	34,35 „ 95,4
6 Orkan	über 28	über 95,4 <sup>1)</sup>

Aber auf die Stärke so wie zugleich in gewisser Beziehung auf die Richtung des Windes sind auch die örtlichen Verhältnisse der Erdoberfläche von nicht geringem Einfluss. „Die Erdoberfläche“, sagt Mohn<sup>2)</sup>, „leistet nämlich

<sup>1)</sup> s. Mohn „Lehrbuch der Meteorologie“, S. 121.

<sup>2)</sup> „Lehrbuch der Meteorologie“, S. 123—124.



der Bewegung eines Stoffes von der Leichtigkeit der Luft einen bedeutenden Widerstand. Diess ist zumal in Bergländern mit ihrem zerrissenen Terrain der Fall. Hier folgt der Wind gern der Richtung der Thäler und kann oft an benachbarten Punkten mit sehr verschiedener Stärke und in sehr abweichender Richtung auftreten. In engen Schluchten wird der Luftstrom zusammengezwängt und kann dadurch zum heftigen Sturme werden. In den niedriger liegenden Gegenden eines Berglandes pflegt die Geschwindigkeit des Windes dagegen verhältnissmässig gering zu sein. In Ebenen und Tiefland findet man im Allgemeinen gleichmässiger, regelmässiger und frischere Winde als in den Bergländern. Auf dem Meere ist der Widerstand am geringsten und hier entfalten denn auch die Winde ihre grösste Stärke und Regelmässigkeit. Hinter hohen Gebirgen und zumal hinter hohen Inseln findet man oft eine stille Gegend, eine Art von Windschatten. Wenn ein Sturm gegen eine hohe und steile Bergwand anprallt, wird der Windstrom grade nach oben geworfen und erst wenn er weiterhin herabsteigt, braust er mit ganzer Gewalt über die Hochebene dahin, und wiederum je weiter man sich von der Erdoberfläche entfernt, desto freier und unbehinderter wird die Bewegung der Luft, desto stärker der Wind". So wie aber in ihrer Geschwindigkeit und Stärke, werden die Winde auch in ihrer Richtung verschiedene Nuancen aufweisen. Sie können, wie Studer<sup>1)</sup> bemerkt, horizontal oder schief, vertikal, auf- oder niedersteigend, — es können mehrere zugleich über oder neben einander nach verschiedenen Richtungen strömen, ja, sie können endlich in Folge eines rapiden aufsteigenden Luftstromes als Wettersäulen oder als gefürchtete Tornados und Wirbelstürme sich gestalten<sup>2)</sup>.

Augenscheinlich sind daher die Winde nicht bloss ein Ausdruck für die allgemeine Circulation des Luft- und Wasserdampf-Oceans, sondern auch ein nicht zu unterschätzendes bewegendes Agens quand même, da sie auf ihren Bahnen die ihnen inwohnende Bewegung auch allen den Körpern, die nicht schwer genug sind, um ihnen mit Erfolg trotzen zu können, mitzuthemen vermögen. Sind es feste Körper, die auf diese Weise in Bewegung gerathen, so werden sie offenbar sich so lange fortbewegen müssen, bis sie etwa einen Stützpunkt finden oder die bewegende Ursache selbst zu wirken aufhört. Nicht minder gestört in ihrem Gleichgewicht werden unter der Wirkung der Winde die Theilchen der flüssigen Körper. Befinden sich nun mitten in denselben irgend welche feste, leicht ver-

schiebbare Körper, so werden sie natürlicherweise gezwungen, auch an dieser Bewegung Theil zu nehmen, während jedes Hinderniss, dem die einmal in Bewegung gesetzten flüssigen Massen begegnen, in Folge des Wellenschlags und des von Seite der Flüssigkeit ausgeübten Druckes seinen Widerstand theuer wird bezahlen müssen. In beiden Fällen wird sichtlich die Zerstörung, Fortschaffung und Wiederabsetzung der Gesteine als die Folge dieser Bewegung sich ergeben — nur dass das Medium bei diesem Vorgang im ersten Falle die bewegten Luftmassen selbst, im zweiten die durch dieselben in Bewegung gerathene Flüssigkeit, also vor allem die Gewässer des Oceans bilden werden. Demnach werden wir auch die mechanischen Wirkungen der Winde von zwei besonderen Gesichtspunkten zu betrachten haben: einmal die Wirkungen derselben auf die Landesfeste, ein anderesmal auf das Wasser und vermittelst desselben wiederum auf die Landesfeste.

#### A. Mechanische Wirkungen der Winde auf die Landesfeste.

##### Dünenbildung und Dünenwanderung.

Die Steilküsten ausgenommen ist das Meer fast überall mehr oder weniger von Sandablagerungen begrenzt. Diese Sandmassen verdanken ihren Ursprung zum Theil den zertrümmerten Ufern des Festlandes, zum Theil werden sie dem Meere durch die Flüsse zugeführt, während andererseits die stets gegen die Ufer gerichtete Wellenbewegung es ist, die dafür sorgt, dass diese Sandmassen — ohne weiterhin von dem Meere fortgerissen zu werden — fortwährend an den Gestaden sich ansammeln. An den steileren Küsten fehlen sie zwar auch nicht gänzlich, aber sie setzen sich in gewisser Entfernung von dem Ufer auf dem Meeresgrunde ab und bilden dort die unter dem Namen „Bänke“ bekannten Erhöhungen. Dort entziehen sie sich aber auch der unmittelbaren Wirkung der Winde. Anders dagegen verhält sich die Sache an der flachen Küste, wo die Welle den Sand mit Leichtigkeit auf den Strand hinaufrollen kann, oder wo die Ebbe jedesmal einen bedeutenden Küstenstrich entblösst. Hier wird dieser Sand, nachdem er einmal die ihn schützende Wasserbedeckung verloren, bald ein Spiel der Winde. Der ganze Vorgang dabei ist nach der trefflichen Darstellung des Grafen Adalbert Baudissin<sup>1)</sup> folgender: „So lange die Sandkörnchen noch nass sind, liegen sie fest aneinander, so dass ein mässiger Wind sie nicht fortreissen kann; sobald sie aber zu trocknen anfangen, rollt ein Körnchen nach dem anderen in der Richtung des Windes vorwärts; auf seinem Wege trifft es tausend Hindernisse, wie andere Sand- und Kieskörnchen,

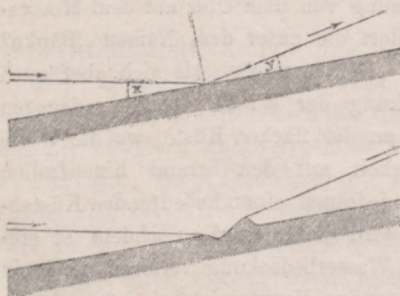
<sup>1)</sup> „Lehrbuch der physikal. Geographie“ I, S. 69–70.

<sup>2)</sup> Dr. Theodor Reye „Die Wirbelstürme, Tornados und Wettersäulen in der Erd-Atmosphäre, mit Berücksichtigung der Stürme in der Sonnen-Atmosphäre“. Hannover 1872.

Czerny, Wirkungen der Winde.

<sup>1)</sup> „Bericht über die Dünen der Insel Sylt“ (Separatdruck aus der Norddeutschen Zeitung). Flensburg 1865, S. 6 u. ff.

Grashalme &c.; da der Wind aber dauernd nach derselben Richtung treibt, so findet das einmal in Bewegung gebrachte Sandkorn keine Ruhe, die kleinen Hindernisse können es in seiner rollenden Bewegung nur hemmen, nicht aber aufhalten, es beginnt zu hüpfen, macht immer grössere Sprünge und beschleunigt wie eine rikolettirende Kugel seine Geschwindigkeit. Je feiner das Sandkorn, desto grösser sind die Sprünge, die es — vom Winde getrieben — machen muss, und desto weiter fliegt es endlich landeinwärts. Ruhe findet es erst dann, wenn es hinter einem schützenden Gegenstande angelangt ist, welcher es entweder ganz der Wirkung des Windes entzieht oder die Macht des Windes so abschwächt, dass das eigene, unbedeutende Gewicht des Sandkornes schon hinreicht, um dem Luftdruck zu widerstehen." Jeder, sogar der geringste Gegenstand kann schon diese Dienste leisten, während er gleichzeitig, indem er an der dem Winde zugekehrten Seite die Sandkörner in ihrer Bewegung hemmt und aufhält, wiederum unmittelbar dazu beiträgt, dass sich dieselben vor ihm in grösserer Menge anhäufen, und auf diese Weise die Unebenheiten auf der Sandfläche erzeugt werden. Wohl ist in Bezug auf die Bildung dieser Unebenheiten auch der Umstand nicht zu unterschätzen, dass der Seewind mit der Entfernung vom Strande immer an Stärke abnimmt und somit bewirkt, dass stets grössere Sandmassen in der Nähe des Strandes liegen bleiben und sich allmählich zu Höhenrücken ausbilden, die den Namen der Dünen führen<sup>1)</sup>. Die eigentliche, die Ausschlag gebende Ursache dieser Dünenbildung ist aber unseres Erachtens diese, dass die Winde, indem sie horizontal vom Meere aus einer, wiewohl allmählich, immer aber aufsteigenden Küste entgegenwehen,



mit der Abdachung derselben einen Winkel bilden und demnach nicht lediglich die Sandkörner vorwärtsschieben, sondern auch auf die Sandfläche geradezu erodirend wirken, am stärksten natürlich da, wo ihre Stösse die erste Ablenkung erfahren, d. h. also in der unmittelbaren Nähe des Strandes. Da ferner der Reflexwinkel dem Einfallswinkel gleicht, so wird der reflektirte Windstoss augenscheinlich jedesmal von der Küstenfläche um die Grösse des Einfallswinkels sich entfernen müssen; viele in Folge der Erosion fortgerissenen Sandkörner werden freilich mit ihm in derselben Richtung sich bewegen müssen,

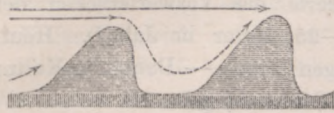
viele aber werden — sei es als schwerere, sei es in Folge des schwächeren Stosses, den sie erhalten, herabfallen und zwar gerade in den verhältnissmässig stillen Raum zwischen dem reflektirten Windstoss und der Küstenfläche. So wird sich nun stets unmittelbar an die durch die Erosion erzeugte Vertiefung eine hügel- oder wallartige Erhebung anreihen, die nur der längeren Dauer des Windes benöthigt, um sich in eine Düne auszubilden. Hat die flache Küste eine grössere Ausdehnung, so wird offenbar dem ganzen Küstensaum entlang dieselbe Ursache auch dieselbe Wirkung nach sich ziehen müssen, d. h. es wird sich ein ununterbrochener Dünenwall herausbilden, der somit stets dem Küstensaum parallel, zur Windrichtung aber senkrecht streichen wird. Auch stellt sich da, wo die Seewinde vorwalten, die dem Meere zugekehrte Böschung der Düne in der Regel bedeutend sanfter als die entgegengesetzte heraus. Die erste ist nämlich direkt von der Richtung abhängig, in welcher die reflektirten Windstösse streichen, die andere, im Windschatten gelegen, ist lediglich von den Sandkörnchen aufgebaut, die dem Gesetze der Fallkraft folgend, in diesen Windschatten geriethen und sich dort unter fortwährender Herabrutschung abgelagert haben. So bildet z. B. die Böschung der Dünen von Guienne an der Windseite einen Winkel von  $7^{\circ}$ — $12^{\circ}$ , an der Leeseite aber von  $29^{\circ}$ — $32^{\circ}$ <sup>1)</sup>. Ist dagegen der Landwind vorherrschend, so jagt er natürlich den Sand gegen das Meer hin und demgemäss ist auch die Böschung der Sanddünen gegen das Meer hin steiler als binnenwärts, wie diess z. B. in Syrien der Fall ist.

Allein die Dünenbildung ist damit noch nicht zu Ende. Der von den Meereswogen ausgeworfene Sand häuft sich von Neuem an, oder es entblösst die regelmässig zurückkehrende Ebbe die frisch von der vorangehenden Fluth zugeführten Sandmassen, und der Seewind ist wiederum da, um dieselben wegzuführen. Die dem Strande nächstgelegene Düne wird dadurch bald erhöht, bald ebnet sie nur den Weg dem fortgerissenen Sande; oft unter heftigen Windstössen, erleidet sie selber bedeutenden Verlust an ihrer ursprünglichen Höhe. In gewisser Entfernung von ihr landeinwärts sammelt sich nun der hinfallende Sand; der Wind gestaltet ihn aber in Bälde auf gleiche Weise wie am Ufer selbst in eine Düne um, um mit der Zeit im Rücken derselben noch eine dritte, vierte &c. aufzubauen. Da aber die so aufgebauten Dünen keineswegs etwas Festes darstellen, so kann es geschehen, dass auch sie mit der Zeit allmählich abgetragen werden, um das Material zum Aufbau neuer Dünen zu liefern. Dann spricht man vom Fortschreiten des ganzen Dünenterrains, von der Wanderung

<sup>1)</sup> Baudissin „Bericht über die Dünen der Insel Sylt“, S. 8.

<sup>1)</sup> Reclus „La Terre“ II, p. 230.

der Dünen landeinwärts. Das Auffallendste bei dieser Erscheinung ist aber, dass gerade jede nachfolgende Sanddüne die voranstehenden etwas an Höhe übertrifft — ein Umstand, der, wie wir glauben, nur davon herrührt, dass nicht nur die unteren Windstöße, sei es durch die Küstenböschung,



sei es durch die Dünen selbst, von ihrer ursprünglichen horizontalen Richtung abgelenkt und in eine undulatorische Bewegung umgewandelt werden, sondern dass

wiederum dadurch auch die höher streichenden Luftschichten afficirt werden und zwar jedesmal, wenn ihre ursprüngliche horizontale Richtung einer abgelenkten unteren Windrichtung begegnet. Die Höhenlinie der Dünenköpfe ist somit nur die Resultante einer Reihe von Ablenkungen, welche die allgemeine, ursprünglich horizontale Windrichtung von den unteren, bei jeder folgenden Düne abgelenkten Windstößen erleidet.

Bereits aus dem Gesagten ergibt sich, dass zur Bildung der Dünen vor allem drei Bedingungen erforderlich sind: a) der Flugsand, b) der Wellenschlag oder die Gezeiten und c) der Wind. Auch ist es einleuchtend, dass, da die Lage, Form und Grösse der Dünen nur Produkte gewisser Richtungen und der Stärke des Windes sind, auch die Schichtung derselben im geraden Verhältnisse mit der Richtung und Stärke des Windes stehen muss; dass somit die einzelnen Sandschichten verschiedenste Neigungen und Biegungen aufweisen werden, so dass die Düne selbst gleichsam die Geschichte ihres Aufbaues in ihrem Schoosse beherbergt.

Sehen wir uns nun auf der Erde um, so finden wir wirklich überall, wo nur der Wind den Flugsand antrifft, die Dünen seit langem dastehen und noch immer in der Fortbildung begriffen, wobei wir auch diesem wichtigen Umstand stets begegnen, dass, wo die Ebbe und Fluth gross genug sind, gerade auch die Dünen viel grössere Höhe besitzen, als da, wo die Gezeiten so gut wie ganz fehlen, dass somit die grössere Höhe der Dünen auch direkt von der grösseren Zufuhr der Sandmassen abhängig ist. So finden wir die Dünen in Europa an den Küsten von Ost-Preussen, Ost-Friesland, Jütland, Norfolk, Süd-Frankreich, die höchsten aber an der oceanischen Seite, also in Holland, in Schottland am Firth of Tay, in Gascogne und Guienne. An der Küste der beiden letzteren Länder, wo das Meer alljährlich ungefähr 6 Millionen Kubikmeter Sand herbeiführen soll, weisen auch die Dünen eine Höhe von 75 bis 89 Meter auf, während sie z. B. an der Norfolk-Küste, zwischen Hunstanton und Weybourne, bloss 50—60 Fuss und in der Provence nur 7 Meter hoch sind. An der Ostküste der Vereinigten Staaten Nord-Amerika's ist eine Reihe von

Düneninseln in einer Ausdehnung von etwa 100 Engl. Meilen von dem Süd-Ost-Ende Long-Island's an bis zur Chesapeak-Bai anzutreffen; eben so sind die Küsten von Florida und Texas reichlich damit versehen und in Mexiko, zwischen Vera-Cruz und Tampico, wiewohl dort die Gezeiten nur schwach sich kundgeben, erreichen die Dünen sogar die Höhe von 30 Meter. Dass ihnen auch die trockene und flache Küste der Atacama-Wüste einerseits, andererseits der SO.-Passat an der Brasilianischen Küste nur zu sehr förderlich sind, ist leicht begreiflich. Bei St.-Roque erreichen sie sogar eine Höhe von 140 Fuss. Auf der Ostseite von Oahu (Sandwich-Inseln), wo sie aus Corallen-Sand bestehen, sind sie nur 30 Fuss hoch. In Australien begegnet man den Dünen an der Süd-, Südwest- und Westküste, wo sie aber stets durch den aus zerstörten Muschelschalen herrührenden Kalkleim zu festem kalkigen Sandstein verkittet werden. An den Küsten von Afrika haben sie gerade die imposanteste Ausbildung aufzuweisen. Wir treffen sie eben so gut in Ägypten und an den Syrten, als auch an der Küste des Namaqua-Landes, während sie sich ausserdem fast längs der ganzen Westküste von Nord-Afrika ausdehnen, stellenweise, wie z. B. bei Kap Bojador, sogar eine Höhe von 120—180 Meter erreichend, und auch an der Somali-Küste gleiche Höhe besitzen sollen <sup>1)</sup>.

Dass in manchen Gegenden auch die Abholzung der Forste, wie z. B. in der Gascogne, in Ost-Preussen, in Massachusetts &c., die Veranlassung zur Dünenbildung gegeben hat, sei hier nur kurz erwähnt, da diess kein unmittelbares Werk der Natur selbst war. Wenn die Dünen aber auf diese Weise gleichsam künstlich hervorgerufen werden können, so können sie auch wiederum künstlich in ihrer Wanderung gehemmt werden. Vor allem sind es der Sandhafer (*Arundo arenaria*), die Sandweide (*Salix arenaria*), der Sandroggen (*Elymus arenarius*) &c., die sich dazu besonders eignen. In Frankreich leisten bereits dieselben Dienste der Weinstock, der Tamarindenstrauch und die Pinie, in Ost-Preussen die Kiefern, Ellern und Pappeln <sup>2)</sup>. Wo dagegen die Vorsichtsmaassregeln gegen die Dünenwanderung nicht getroffen sind oder nicht getroffen werden können und die Natur selbst die Rolle des Säemanns zu übernehmen versäumt, da ist natürlich auch die Fortbildung der Dünen im vollen Gange, da ist der Wind sammt den sich fortbewegenden Sandmassen wirklich ein eben so mächtiges als furchtbares geologisches

<sup>1)</sup> Reclus „La Terre“ II, p. 237, 246—247; Klöden „Handbuch der Erdkunde“ I. Bd. (1873), S. 124—125; Ritter „Erdkunde“ I. Theil, S. 1017; Dana „Manual of geology“, p. 628—629; Studer „Lehrbuch der physik. Geologie“ I, S. 187; Gumprecht, Delitsch und Meinicke „Afrika und Australien“, S. 164.

<sup>2)</sup> Baudissin „Bericht über die Dünen der Insel Sylt“, S. 9, 17—26; „La Terre“ II, p. 259—261.

Agens. So sind z. B. die Dünen in Suffolk, nachdem sie erst um das Jahr 1588 erschienen, im Verlauf von 100 Jahren bereits 4 Engl. Meilen landeinwärts vorgedrungen; auf dieselbe Weise wurde auch an der Küste von Cornwall ein bedeutendes Stück Land von den circa 100 Fuss hohen Sanddünen überschüttet. Sehr oft kommt es bei diesem Fortschreiten der Dünen landeinwärts vor, dass die früher überschütteten Gegenstände, wie Bäume, Gebäude, ja, ganze Dörfer, wiederum mit der Zeit halb entblösst zum Vorschein kommen, wie diess gerade in Cornwall beobachtet wurde<sup>1)</sup>. Ähnliche Dünenwanderung geht im Kurischen Haff vor sich. Die 100—200 Fuss hohen Dünen marschieren fortwährend von der Nehrung zum Haff; ihr Fortschritt ist sogar ziemlich gross, denn er beträgt nach Koch<sup>2)</sup> 18 Fuss im Jahre; einige Sandflächen, die sogen. „Hacken“ reichen bereits bis zum Haff-Ufer und Koch berechnet, dass schon nach 200 Jahren das ganze Haff von den Sanddünen bedeckt sein wird. Dasselbe geschieht auch auf dem Haff-Ufer selbst, wo das ehemalige Dorf Kunzen, einst überschüttet, jetzt bereits zum Theil hinter der Düne zum Vorschein kommt. Auch mit der Rügen'schen und West-Pommern'schen Küste ist es nicht besser bestellt. „Ein feiner Seesand“, schreibt D. Gottlieb Thebasius<sup>3)</sup> noch um die Mitte des vorigen Jahrhunderts, „wird von heftigen Stürmen von Westen an's Ufer geworfen, abgetrocknet und bei späteren Stürmen immer weiter nach Osten getrieben. Fruchtbare Äcker ganzer Dörfer verschwinden so allmählich unter den Dünen, während an anderen Orten, wie bei Balbus und Poberow solche zuweilen auch darunter hervorkommen.“ Man berechnet, dass in Folge dessen, von den Küsten des ehemaligen Schwedisch-Pommern angefangen bis nach Kurland, alljährlich 1400 Morgen nutzbaren Bodens verloren gehen<sup>4)</sup>. In Gascogne und Guienne ist noch im Mittelalter von den Dünen keine Rede; im Gegentheil bedeckte noch im Jahre 1332 ein Wald die heutigen Dünen von Medoc, während auch an anderen Orten die im Sande vergrabenen Eichen und Kiefern ein beredtes Zeugnis für frühere Bewaldung der Küsten von Gascogne und Guienne abgeben. Erst Montaigne (im 16. Jahrhundert) erwähnt, der Andrang der Dünen habe unlängst begonnen. Seit jener Zeit mussten denn auch schon mehrmals die Einwohner ihre Dörfer verlassen und sich weiter landeinwärts ansiedeln. So verschwanden die Burgen von Lislan

<sup>1)</sup> Lyell „Principles of geology“ II, p. 515—516.

<sup>2)</sup> „Geologie des Kurischen Haffs und seiner Umgebung“ s. „Zeitschrift der deutschen Geologischen Gesellschaft“. Berlin 1870, S. 173—180; cf. Dr. G. Berendt's Untersuchungen im „Jahrbuch für Geologie, Mineralogie und Paläontologie“ 1870, S. 369—370.

<sup>3)</sup> „Beiträge zur Naturhistorie des Pommerlandes“ (Manuscript) s. „Jahrbuch für Geologie, Mineralogie und Paläontologie“ 1839, S. 361—362.

<sup>4)</sup> Studer „Lehrbuch der physik. Geographie“ I, S. 188.

und Lelos und man weiss heutzutage nicht einmal, wo sie gelegen haben. Die Chroniken erwähnen unter Anderem, dass die Kirche von Lége im Jahre 1480 um 4 Kilometer und schon 1650 um neue 3 Kilometer gegen Osten verlegt werden musste. Nach Bremon tier betrug noch gegen das Ende des vorigen Jahrhunderts das Vorwärtsrücken der Dünen in den Landes 20—25 Meter im Jahr<sup>1)</sup>. Heutzutage freilich sind die dortigen Dünen — Dank der Kultur — schon grösstentheils zum Stillstand gebracht.

Allein die Dünenwanderung vermag nicht nur ganze kultivirte Landstriche mit Sand zu überschütten und dieselben somit in öde Wüsten zu verwandeln, sie ruft auch ausserdem geradezu manche neue Land-Bildungen hervor. Bereits aus der Dünenwanderung im Kurischen Haff schöpfen wir die Überzeugung, dass die Dünen, wenn sie einmal das ganze Haff überschütten, dadurch einen bedeutenden Landzuwachs bewirken werden. Und in der That, wenn es irgendwo in der Nähe der Küste, einem Meerbusen oder einer Flussmündung gegenüber, zur Bildung einer Sandbank kommt und dieselbe mit der Zeit in Folge der fortwährenden Zufuhr des Materials so weit an Höhe gewinnt, dass sie schliesslich als Sandhügel über dem Meeresniveau hervorragt, so werden die Winde bald dieses Sandhügels sich zu bemächtigen wissen, ihn allmählich immer mehr ausbreiten und hinter demselben neue Sandmassen in Form der Dünen ablagern, so dass auf diese Weise der betreffende Meerbusen oder das betreffende Ästuarium nicht nur von den Sanddünen abgeschlossen, sondern auch in der Folge direkt mit totaler Überschüttung bedroht sein werden. So haben die Dünen bei Yarmouth bereits das Ästuarium von Yare abgeschlossen, wodurch mehr als 60 See'n von verschiedener Grösse (1 Acre bis 1200 Acres) gebildet wurden. Dieselben brauchen nun noch mit Sand oder mit den Alluvionen des Flusses ausgefüllt zu werden und der einstige Meerarm wird in trockenes Land verwandelt<sup>2)</sup>. Auf dieselbe Weise wurden an den Küsten von Guienne, Gascogne und Provence bald die Meerbusen vom Ocean resp. vom Mittelländischen Meere abgetrennt, bald wiederum die Mündungen der Flüsse abgesperrt, wodurch sich eine Reihe der mit dem Namen „Etangs“ bezeichneten Sümpfe gebildet hat<sup>3)</sup>. An der Küste von Süd-Brasilien hat ebenfalls ein schmaler Damm von lockerem Sand, genannt „Praca do Estreito“, auf ähnliche Weise den einstigen Meerese golf bereits abgeschlossen und in einen grossen Landsee, „Lagõa dos Patos“ umgewandelt<sup>4)</sup>. Interessant ist auch die Erscheinung, welche an der Sandinsel, Sable Island, im St. Lorenz-Golfe

<sup>1)</sup> Reclus „La Terre“ II, p. 253—257.

<sup>2)</sup> Lyell „Principles of geology“ I, p. 521.

<sup>3)</sup> Reclus „La Terre“ II, p. 248—251.

<sup>4)</sup> Oscar Cannstatt „In Brasilien“ im „Ausland“ 1875, No. 34.

zu beobachten ist: mit der Insel haben sich nämlich etliche neue Sanddünen vereinigt und umschlossen gegenwärtig mehrere Wasserbecken in der Mitte <sup>1)</sup>.

Wie bedeutungsvoll aber dieses Dünenphänomen an flachen, sandigen Küsten der Continente und Inseln sich herausstellen mag, ist dasselbe doch fast verschwindend klein im Vergleich zu ganzen Sanddünenmeeren, die zum grösseren Theil die wüsten Räume der Festländer ausfüllen. Wir finden diese Sand-Oceane eben so gut in der Gobi, wie in den Wüsten Kysylkum und Karakum, in Persien und in Arabien, in der Sahara und in der Kalahari, in der Atacama-, Colorado-Wüste und in Australien; und wiewohl die Dünen in einigen Gegenden, wie z. B. in der südöstlichen Mongolei, nicht über 100 F. hoch sind <sup>2)</sup>, weisen sie schon in der Libyschen Wüste eine Höhe von 50—70 Meter auf <sup>3)</sup> und in El-Erg erreichen sie — nach Duveyrier <sup>4)</sup> — sogar eine Höhe von 150—200 Meter bei einer Breite an der Basis von 100 Meter bis 4 und 6 Kilometer und gleichen somit nicht nur den höchsten bekannten Küsten-Dünen, sondern übertreffen dieselben sogar nicht unansehnlich. In den Wüsten, in ihrer, so zu sagen, wahren, eigentlichen Heimath, bilden auch die Dünen gleichsam ein besonderes Element — ein um so grossartigeres freilich, je heftiger bewegt die Luftmassen sind, die über ihre Hügel und Thäler streichen. Verständlich wird uns daher die alte Herodotische Fabel von den unglücklichen Psyllen, die, auf dem Feldzuge gegen den feindlichen Notos (Südwind) begriffen, unterwegs unter dem Sande begraben wurden. Denn auch neuerlich noch — wiewohl die eigentliche Ursache des Untergangs von Menschen und Thieren in der Wüste wohl in ihrer Ermattung und ihrem Durst zu suchen ist <sup>5)</sup> — lesen wir: „Kein Ausdruck kann ein Bild eines Sandsturmes in der Wüste geben; wenn erzählt wird, dass Karawanen, von einem solchen Sandsturm erreicht, unter den Sandmassen begraben werden, so ist das wörtlich zu nehmen“ <sup>6)</sup>. Jedenfalls, muss man gestehen, ist der bewegte Dünen-Ocean eine eben so imposante als furchterregende Erscheinung; und weiss der Reisende, der einen Sturm mitten in einem Sand-Ocean erlebt hat, alles Furchtbare von demselben zu erzählen, so erblickt auch der Geolog mitten in den Sandwüsten manchen Beleg für die Macht der Winde.

<sup>1)</sup> Reclus „La Terre“ II, p. 252.

<sup>2)</sup> s. Petermann's „Mitth.“ 1873, S. 90.

<sup>3)</sup> Rohlfs' Expedition in Petermann's „Mitth.“ 1874, S. 88, 179.

<sup>4)</sup> „Les Touareg du Nord“, p. 8.

<sup>5)</sup> Rohlfs („Reise durch Nord-Afrika vom Mittell. Meere nach dem Busen von Guinea“ in Petermann's Ergänzungsheft No. 25, S. 17) fand im Thale Meschru, auf dem Wege von Murzuk nach Kuka, ein ungeheures Knochenfeld, theils Menschen-, theils Kameelknochen, fügt aber hinzu, dass es sichtlich Knochen der Opfer sind, die dort vor Ermattung und Durst verschmachteten.

<sup>6)</sup> Kolokoltzow „Feldzug nach Chiwa“ in Petermann's „Mitth.“ 1874, S. 95.

Dünenwanderung und Überschüttung mit Sand heissen auch in den Sandwüsten die beiden Wirkungen der Winde; — nur geht hier diese ganze Erscheinung natürlich in viel grösserem Maassstabe vor sich. So hören wir z. B., dass im westlichen Theil der Gobi gerade in Folge des vorherrschenden Nordostwindes bereits viel bedeutendere Anhäufung des Sandes als im östlichen Theil zu finden ist, da der Sand stets, wie die Chinesischen Autoren sagen, gleich einem Fluss vor dem Winde fliesst <sup>1)</sup>. Der östliche Theil der Gobi gleicht daher bereits eher einer grösstentheils mit Haufen von Kieseln und Felstrümmern überdeckten Steinwüste. Mit Ritter <sup>2)</sup> hat man lange wiederholt, dass auch die Sahel nichts anderes als „der Vortrab der nachrückenden Sahara“ sei. Allein schon Ehrenberg <sup>3)</sup> machte, indem er auf den in Ägypten vorherrschenden Nordwind hinwies, die Bemerkung, die Theorie Ritter's müsse in dieser Beziehung modificirt werden. Entschiedener tritt Rohlfs gegen diese allgemeine Dünenwanderung in der Sahara gegen Westen hin auf, indem er mit Nachdruck hervorhebt, dass in der nördlichen Sahara den Ost- (Nord-Ost-) von den West- (Nord-West und Süd-West-) Winden das Gleichgewicht gehalten werde <sup>4)</sup>. Immerhin lässt sich nicht verkennen, dass, wie die Sandmassen aus den Wüsten Turan's immer von Neuem durch die Winde in das Kaspische Meer geschleudert werden, in Folge dessen das Meer bereits eine bedeutende Tiefendifferenz zwischen seinem südöstlichen und südwestlichen Becken aufweist <sup>5)</sup>, — dass auf ähnliche Art auch an der Westküste von Nord-Afrika fortwährend neue Sandmassen von den Winden viele Meilen weit in's Meer getrieben werden, so dass gleichsam „die Wüste sich noch weithin unter der Wasserfläche als weitverbreitete Sandbank fortsetzt und der Araber vom trockenen Strande halbe Stunden weit in das Meer nach gestrandeten Schiffsgütern hineingeht, ohne dass ihm das Meer bis über die Knie reicht“ <sup>6)</sup>. Auch der Aral-See, einer der stürmischsten und unruhigsten See'n, wo eine gänzliche Windstille höchst selten ist und die herrschenden Winde die nordöstlichen sind, zeigt eine allmähliche Abnahme in seiner Tiefe von dem westlichen, steilen zum östlichen, flachen Ufer <sup>7)</sup>, was wiederum wohl nur die Folge der beständigen Überschüttung des See's durch den Sand von Osten her ist. Denselben NO.-Wind ist es ferner zu verdanken, dass

<sup>1)</sup> Ritter „Erdkunde“ III. Theil, S. 375.

<sup>2)</sup> „Erdkunde“ I. Theil, S. 1019 und ff.

<sup>3)</sup> „Passatstaub und Blutregen“ in den „Abhandlungen der k. Akademie der Wissenschaften in Berlin“ 1847, S. 383.

<sup>4)</sup> „Reise durch Nord-Afrika &c.“ in Petermann's Ergänzungsheft No. 25, S. 57.

<sup>5)</sup> Nach Sondirungen von Dr. O. Grimm s. „Nature“ 1875, Vol. XIII, p. 74.

<sup>6)</sup> Ritter „Erdkunde“ I. Theil, S. 1015.

<sup>7)</sup> L. Kostenko „Reiseskizzen von Chiwa nach Fort Kasala am Syrdarja“ in Petermann's „Mitth.“ 1874, S. 338.

in der Karakum-Wüste die Sandmassen gegen Westen hin immer mehr an Mächtigkeit zunehmen, so dass die Sandhügel daselbst 60—80 Fuss Höhe erreichen, während der östliche Theil des Sand-Oceans viel flacher gewellt ist<sup>1)</sup>. Die Sindh-Wüste schreitet ebenfalls in der Richtung von Ost nach West vorwärts, mit immer grösserer Annäherung an den linken Ufersaum des Indus, so dass der Fluss, „gleichsam von einer Afrikanischen Sahara begleitet, durch die Dünenreihen abgehalten wird, sich weiter gegen Osten zu ergiessen“<sup>2)</sup>. Hören wir ferner, dass mehrere Ruinen in Mesopotamien bereits im Sand und mit Sand bedeckt dastehen<sup>3)</sup>, dass in Seistan ganze Dörfer mit ihren Feldern von Sand überschüttet zu Grunde gehen, dass die Ruinen einer einst grossen und reichen Stadt Gumbuz gegenwärtig mitten in der Sandwüste Beludschistan's sich verlieren<sup>4)</sup>, gleich wie die südöstlich von Wargla gelegenen Ruinen El-Menscha und Es-Sahoud<sup>5)</sup>, dass demselben Schicksal viele Ruinen im Nil-Thal unterliegen, wie diess z. B. die 20 Fuss hoch mit Sand bedeckten Tempel von Thebae beweisen, dass auch der Möris-See selbst an seiner West- und Südwestseite in Folge der Sandverwehungen bereits eine bedeutende Strecke eingebüsst hat, dass überhaupt die Kulturstriche der langgestreckten Nilthal-Oase eben so gut in Nubien als in der Gegend von Gizeh immer mehr mit dem Sande zugedeckt werden<sup>6)</sup>, — so sind das eben so viele Belege für das Vorrücken der Sandwüsten in der von den Winden einmal vorgeschriebenen Richtung, also für die Fortsetzung desselben uralten Kampfes, von dem uns bereits die Mythen des Alterthums in den Namen eines Typhon und Osiris Zeugnis abgeben. In Anbetracht dessen wäre es denn auch z. B. mit der Zukunft Ägyptens wirklich schlimm bestellt, hätte — nach J. G. Wilkinson — zum Glück auch der Nil im Laufe der Zeit nicht sein Bett bedeutend erhöht, um desto erfolgreicher dem gefährlichen Angriff der Wüste entgegenwirken zu können<sup>7)</sup>.

Diesem Vorrücken der Sanddünen in den Wüsten folgen noch manche andere Erscheinungen nach. Insbesondere sehen sich die Flüsse, schon schwach genug wegen der austrocknenden Wirkung der Winde, durch diese zweite Manifestation der Windesmacht direkt gefährdet. Namentlich werden sie in ihrem Lauf durch die wandernden Dünen bald abgelenkt, bald verschoben und auf diese Weise gleichsam in wandernde Flüsse umgewandelt. So steht z. B. der Senegal-Fluss noch jetzt im täglichen Kampfe mit dem An-

drange der Sandmassen; man kann somit mit vollem Rechte vermuthen, dass er auch von jeher unter dem Einflusse des Saharischen Sand-Oceans gestanden hat. Die Hauptrichtung seines Gefalles ist deutlich gegen Norden und Nordwesten gerichtet, also parallel mit dem Wüstenrande. Soll etwa, fragt Ritter<sup>1)</sup>, dieser Parallelismus zufällig sein? oder ist es nicht höchst wahrscheinlich, dass der Senegal nach einer Reihe von Jahrtausenden von seinem nördlichen Laufe gezwungen wurde, mit seinem Bette nach Westen hinüber zu wandern? Der Cayor-See, der noch gegenwärtig zur Zeit des Hochwassers vom Senegal aus mit Wasser gespeist wird, bezeichnet deutlich genug noch die Stelle der ehemaligen Mündung des Senegal<sup>2)</sup>. Auch weiter nördlich am westlichen Rande der Sahara ist es keine seltene Erscheinung, dass Ströme durch den Flugsand gezwungen werden, zu wandern<sup>3)</sup>. Treffend ist auch der Ausspruch Ritter's über den Niger. Gleich wie der Senegal mag einst auch dieser Fluss seinen Lauf nordwärts zu dem damals noch bestehenden Inner-Afrikanischen Mittelmeere genommen haben, bis er nach und nach durch das Vorrücken der Sanddünen jene gewaltige Curve im Norden zu machen gezwungen war und sodann gegen Südosten abgelenkt wurde<sup>4)</sup>.

#### Entstehung der Sandwüsten.

Woher kommen die unabsehbaren Sand-Oceane, durch welche die meisten regenarmen Erdräume so unwegsam gemacht werden? — Noch bis zur Stunde steht diese Frage offen. Nach v. Richthofen<sup>5)</sup> haben die Sandwüsten verschiedenen Ursprung; er sagt nämlich: „Wo Sandsteingebirge abgeholzt sind, sieht man oft Theile ihrer Oberfläche, selbst in klimatisch begünstigten Ländern, in Sand aufgelöst, welcher wandert, sich über fruchtbaren Boden ausbreitet und die Ausdehnung der wüsten Strecke vermehrt. Tritt regenloses Klima ein, so können wahrscheinlich ganze Tafelländer von Sandstein in ähnlicher Weise umgewandelt werden; wo aber die Lagerung wellig ist, werden Kalksteine in Riffen und Zügen stehen bleiben, während der Sandstein aufgelöst wird.“ Allein, wiewohl ohne Zweifel alle diese Fälle möglich sind und mit grösster Wahrscheinlichkeit keine geringen Quantitäten von Sand erzeugt haben mögen, würde unseres Erachtens die Annahme doch zu gewagt erscheinen, als hätten bloss diese Fälle zur Bildung jener ungeheuren Sandmeere in den Wüsten beigetragen. Übrigens war vielleicht die natürliche Abholzung

<sup>1)</sup> Ritter „Erdkunde“ VIII. Theil, S. 406.

<sup>2)</sup> Ritter VI. Theil, S. 943 u. ff.

<sup>3)</sup> Ritter XI. Theil, S. 773—789.

<sup>4)</sup> Ritter VIII. Theil, S. 153, 181—182.

<sup>5)</sup> Duveyrier „Les Touareg du Nord“, p. 12.

<sup>6)</sup> Ritter „Erdkunde“ I. Theil, S. 1020—1022; Lyell „Principles of geology“ II, p. 514.

<sup>7)</sup> Lyell „Principles of geology“ I, p. 430.

<sup>1)</sup> „Erdkunde“ I. Theil, S. 1028.

<sup>2)</sup> Ritter „Erdkunde“ I. Theil, S. 1028; Gumprecht, Delitsch und Meiniöke „Afrika und Australien“, S. 452.

<sup>3)</sup> Ritter I. Theil, S. 1017.

<sup>4)</sup> Ritter I. Theil, S. 1029.

<sup>5)</sup> „Geologie“ in Neumayer's „Anleitung zu wissenschaftl. Beobachtungen auf Reisen“, S. 275.

der Gebirge gerade die Folge derselben Wirkung, welcher gleichzeitig auch die Sand-Oceane ihren Ursprung verdanken. Wenn aber angenommen wird, dass die meisten Wüsten einst aus lauter Tafelländern von Sandstein bestanden, warum finden wir in der Karakum-Wüste oder in der Gobi unter den Sanddünen nicht den Sandstein, sondern die Thonschichten?<sup>1)</sup> oder warum, wie in der Persischen Salzsteppe, wechselt gerade der Lössboden mit den Flugsandwellen?<sup>2)</sup> Versuchen wir, die Bildung der Sandwüsten noch auf einem anderen Wege zu erklären.

Wir haben bereits im I. Theile dieser Schrift des Umstandes gedacht, der ja auch allgemein angenommen wird, dass die Wüsten einst vom Wasser bedeckt waren, also grössere oder kleinere Binnensee'n gebildet haben, und dass es den austrocknenden Winden zuzuschreiben ist, wenn diese Binnenmeere allmählich verdunsteten und endlich, sei es vollständig, sei es bis auf einige wenige Salzsee'n oder Salzlachen, trocken gelegt worden sind. Denken wir uns nun solch ein abgeschlossenes Binnenmeer, z. B. in der Passatzone gelegen, also in einer klimatischen Gegend, wo die Winde — ausgenommen bloss die Regenzeit während des Zenithstandes der Sonne — das ganze Jahr hindurch trocken hinwehen, so werden augenscheinlich diese Winde den über dem Meere sich entwickelnden Wasserdampf fortwährend wegführen, zugleich also auch das allmähliche, aber beständige Sinken des Meeresspiegels bewirken. Ausserdem werden diese Winde an der Meeresoberfläche eine Wellenbewegung in der der ihrigen entsprechenden Richtung erzeugen, wodurch wohl an der dem Wellenschlag am meisten ausgesetzten Küste auch die meisten Sandmassen sich anhäufen werden. Ist die betreffende Küste flach, so sind alle Bedingungen da zur sofortigen Dünenbildung; ist sie aber steil, so wird sich früher oder später, da doch gleichzeitig der Meeresspiegel sinkt, eine Sandbank oder eine sandige Nehrung bilden müssen und diese wird wiederum, wie etwa die Kurische Nehrung, dieselben Dienste der Dünenbildung leisten, wie die flache Küste selbst. Hat sich aber eine Düne gebildet, so werden sich nach dem uns bereits bekannten Vorgange auch die übrigen in Bälde finden, und dort, wo noch unlängst kein Sand zu sehen war, beginnt jetzt der ganzen Küste entlang eine Dünenwanderung, wie sie bei constanter Windrichtung kaum noch typischer gedacht werden kann. Allein diese Dünenbildung wird in dem angenommenen Falle mit Nichten einzig und allein landeinwärts Statt finden. Der wegen der Verdunstung beständig fallende Meeresspiegel wirkt ja gleichzeitig

gleichsam wie eine fortwährende Ebbe, die immer neue Sandmassen blosslegt, während die unablässig in derselben Richtung vor sich gehende Wellenbewegung wiederum immer neue Sandmassen der Küste zuführt. Kurz — in klimatischer Beziehung werden die Winde fortwährendes Zurücktreten des Meeres bewirken und wiederum mechanisch werden sie die trocken gelegten Sandmassen fortreißen, um aus denselben bald vorn am Strande, bald tief landeinwärts neue Dünen aufzubauen. Der Schluss dieses ganzen Vorgangs wird aber kein anderer sein, als dass wir statt des einstigen Meeres ein anderes, nämlich ein Sandmeer, gewahren und bloss an der nördlichen Grenze desselben, da, wo das einstige Meer gerade in den letzten Zügen lag, einem Salzsee oder einer Depression mit einer Reihe von Salzlachen begegnen werden. — Dasselbe können natürlich nicht lediglich die Passate, sondern jeder trockene Wind auch ausserhalb der Passatzone verrichten. So bewirken z. B. die meist trockensten Winde, insbesondere der Nordost- und der Nordwestwind, am Kaspischen Meere, dass nicht nur dieses Meer fortwährend im Zurücktreten begriffen ist, was, wie wir früher gesehen, das wellige Terrain und die fortwährende Neubildung von Salzsee'n an der Nordwestküste zur Genüge beweisen, sondern dass auch im Süden, an den Küsten von Ghilan und Masenderan, die Sanddünenbildung gerade so, wie wir es meinen, zum Vorschein tritt. Dr. Tietze, der diess berichtet, sagt: „Ich will nur hervorheben, dass die Existenz alter Dünenwälle hinter jüngeren, unmittelbar an der Küste befindlichen Dünen wohl auch als Wahrzeichen des Zurücktretens der Gewässer betrachtet werden kann“<sup>1)</sup>. Dass aber der von uns oben angenommene Fall kein bloss hypothetischer ist, scheint z. B. die Sahara deutlich genug zu beweisen.

Es wird von Niemandem bezweifelt, dass die Sahara einst vom Meere überfluthet war, aus dem etwa die Gebirgsländer und die heutigen Hamadas als Inseln emporragten. In dieses Meer ergoss sich natürlich eine Reihe von Flüssen vom Atlasgebirge einer-, vom Sudan andererseits, darunter ohne Zweifel auch der Senegal und der Niger, wie wir diess schon hervorgehoben haben. Wären die Sanddünen erst nach der Evaporation des Sahara-Meeres gebildet, so würden wir eher diese beiden Flüsse heutzutage etwa als irrende Steppenflüsse sich irgendwo mitten in der Sahara verlieren sehen. Viel näher liegt daher die Annahme, dass der Niger und der Senegal gerade an ihren einstigen Mündungen selbst von den Dünen angegriffen, nach und nach durch dieselben von dem Sahara-Meere vollständig abgeschnitten und auf diese Weise ihren Lauf anderwärts zu richten gezwungen wurden. Ausser dem Niger und dem Senegal mussten aber

<sup>1)</sup> s. Ritter „Erdkunde“ III. Th., S. 377—378, und VIII. Th., S. 406.

<sup>2)</sup> Ritter VIII. Th., S. 261—262; cf. Dr. Tietze „Ein Ausflug nach dem Siahkuh in Persien“ in den „Mitth. der geogr. Gesellschaft in Wien“, 1875, S. 257 u. ff.

<sup>1)</sup> „Reisebriefe aus Persien“ in den „Mitth. der k. k. geogr. Gesellschaft in Wien“ 1875, S. 78.

einst auch die gegenwärtig in den Tsad-See mündenden Flüsse in das Sahara-Meer sich ergossen haben, so dass der heutige Tsad-See nicht nur als ein Steppensee, sondern auch als ein Relictensee angesehen werden darf. Diess ergibt sich aus dem Folgenden: Rohlf's <sup>1)</sup> und Dr. Nachtigal's <sup>2)</sup> betraten auf ihrem Wege von Bilma nach Kuka eine wüste Gegend, in welcher die Sanddünen, circa 50 Fuss hoch, ihre steileren Abhänge an der Südseite haben, meist von Ost gegen West streichen und sich weit gegen Süden ausdehnen, allmählich aber in eine „grossgewellte Ebene“ übergehen, welche letztere wiederum, je näher dem Tsad-See, immer reichlicher mit Kräutervegetation bedeckt und in der Umgebung des See's selbst sogar dicht mit Mimosen und Hadjilidj bewaldet ist. Hören wir darüber das Urtheil von Rohlf's selbst: „Die grossgewellte Gestalt des Bodens lässt mich vermuthen, dass diese ganze Gegend bis an den Tsad-See hin früher unter Wasser lag und lange Zeit danach aus Sanddünen bestand, die erst später, durch die tropischen Regen befruchtet, Wald und Kräuter hervorbrachten“; und weiter: „die Umgebung des Tsad-See's ist äusserst reich an Fossilien und man findet mehrere Arten, die auch in der nördlichen Wüste, unter Anderem bei Rhadames (Ghadames) gefunden werden. Das ganze wellenförmige Terrain von Kufe bis zum Tsad, jetzt ein grosser, vorzugsweise aus Mimosen und Hadjilidj zusammengesetzter Wald, war gewiss einst ein Theil der Sahara und zwar Dünenformation. Wenn man heute nur etwas tiefer gräbt, so stösst man auf Sand, wie man ihn in den Dünenregionen findet und selbst an der Oberfläche ist die Humusformation noch nicht vollendet“ <sup>3)</sup>. Rufen wir uns den früher besprochenen Fall an der Mündung der Yare in's Gedächtniss, wo die Sanddünen bereits zur Bildung von 60 kleinen See'n beigetragen haben, so werden wir — Dank der uns von Rohlf's gegebenen Aufklärung — wohl zugeben müssen, dass auch der Tsad-See, im Norden von einer „grossgewellten“, aus alten Sanddünen bestehenden Ebene begrenzt, keinen anderen Ursprung gehabt haben muss — zu einer Zeit, als der Sudan noch von dem Sahara-Meere bespült wurde. Den sichersten Anhaltspunkt aber für unsere Annahme überhaupt eines allmählichen Vorrückens der Dünen gegen Norden hin auf Kosten des zurücktretenden Sahara-Meeres glauben wir gerade darin zu finden, dass die alten Sanddünen in der Umgebung des Tsad-See's bereits mit Vegetation bekleidet sind.

<sup>1)</sup> „Reise durch Nord-Afrika vom Mittell. Meer bis zum Busen von Guinea“ 1865—67, I. Hälfte: „von Tripoli nach Kuka“ in Petermann's Ergänzungsheft Nr. 25.

<sup>2)</sup> „Notizen über seine Reise von Murzuk nach Kuka, April—Juli 1870“ in Petermann's „Mitth.“ 1871, S. 450—456.

<sup>3)</sup> „Reise durch Nord-Afrika &c.“ in Petermann's Ergänzungsheft Nr. 25, S. 47 und 56.

So lange nämlich das Meer in der Sahara noch die Land-complexe überwog, muss natürlicherweise, wie diess aus der geographischen Lage der Sahara hervorgeht, der NO.-Passat der herrschende Wind gewesen sein; er hat auch die Sanddünen errichtet, die daher auch in der ganzen Länge der Wüste nördlich vom Tsad-See in der Richtung von Ost nach West streichen und ihren steileren Abhang an der Südseite haben. In dem Maasse aber, als das Festland durch das Hinzutreten neuer Dünen wuchs, musste auch das ursprünglich maritime Klima an seiner Reinheit verlieren, d. h. mit anderen Worten, mussten die neuen Festlandsgebiete jedesmal im Sommer wegen grösserer Auflockerung der Luft sich in Appellorte auch für andere Winde umwandeln, vorzugsweise also für die ihnen nächsten Seewinde aus dem Golf von Guinea, die ihnen auch als feuchte Äquatorialströme stets Niederschläge mitbrachten. Der Sanddünenboden, ein Werk der trockenen NO.-Winde, fing nun an, Dank der anderen, südwestlichen Windrichtung, sich in einen Kulturboden zu verwandeln. Rohlf's sagt <sup>1)</sup>: „Wald und Vegetation rücken siegreich gegen die Wüste vor. Hauptursache dieses gewaltigen Fortschrittes der Vegetation von Süden nach Norden auf Kosten der Wüste und der Sanddünen insbesondere sind eben die in der südlichen Hälfte der Sahara herrschenden Winde. Schon Mungo-Park bemerkte die vorherrschende Neigung der Südwestwinde. Dieser feuchte Meereswind, zu dem in der Regenzeit ein oberer Südostwind hinzutritt, führt Tag für Tag der Wüste Samenkörner und die nöthige Feuchtigkeit zum Aufkeimen zu und er wird keineswegs durch einen anderen, von Nordosten oder Nordwesten kommenden Wind aufgehoben. Ich denke, in 50 Jahren wird die Tintumma (d. h. die grosse, wellige Steppe nördlich vom Tsad-See) nicht mehr eine krautreiche Steppe sein, sondern ein mit Mimosen bedeckter Wald und die fossilienreichen Ade-Dünen (nördlich von dieser Steppe) werden so reiche Weide bieten, wie heutzutage die Tintumma, die ehemals nichts als eine Sandfläche war“.

Der Mangel an Material, an direkten Beobachtungen ist Schuld, wenn wir die Entstehung der übrigen Sandwüsten nicht etwa auf dieselbe Weise zu erläutern im Stande sind. Immerhin aber dürfen wir voraussetzen, dass — die Wüsten einmal als Binnenmeere angenommen — dieselben Ursachen auch anderswo dieselben Wirkungen hervorgebracht haben müssen. Hören wir daher, dass z. B. in der Transkaspischen Sandwüste die Dünen von Ost gegen Westen streichen <sup>2)</sup>, in Beludschistan ebenfalls von Ost nach West, mit

<sup>1)</sup> „Reise durch Nord-Afrika &c.“ in Petermann's Ergänzungsheft No. 25, S. 57.

<sup>2)</sup> Dr. G. Siever's „über die Russische Expedition nach dem alten Oxusbette“ in Petermann's „Mitth.“ 1873, S. 298.



flacherem Abhang an der Nordseite<sup>1)</sup>, dass in der Wüste Nefud die Dünen regelmässig von Norden gegen Süden<sup>2)</sup>, in der Libyschen Wüste von Nordnordwest gegen Südsüdost streichen<sup>3)</sup>, so erkennen wir daraus unwillkürlich auch die Richtung der vorherrschenden Winde, also bald die Nord- und Nordostwinde, bald die mehr östlichen NO.-Passate, und somit auch die Richtung, in der die einstigen Binnenmeere zurücktraten. Von Ungarn, welches noch von einem Diluvialmeere bedeckt wurde, lesen wir: „Schon nordöstlich von Tóváros sind einzelne Flächen des Schotters mit Flugsand bedeckt, auch zwischen Dorogh und Gran hat man tiefe Anhäufungen dieses mehligfeinen, alles durchdringenden Sandes zu durchwaten, der hier wahre Dünen bildet. Seine eigentliche Herrschaft beginnt aber erst auf den Puszten, auf den weiten Flächen des linken Donau-Ufers“<sup>4)</sup>. Aber auch da, wo wir nicht nothwendigerweise die Verdunstung allein mitwirkend annehmen dürfen und das Zurücktreten des alten Meeres vor sich ging, treffen wir die Dünenbildung an. Beispielsweise ist die Dresdener Haide doch wohl, wie diess schon Gutbier hervorgehoben, keine andere Bildung<sup>5)</sup>. Wir halten also die Ansicht für gerechtfertigt; dass die Sandwüsten in der Regel Dünenbildungen an den Gestaden der vorzugsweise in Folge der Verdunstung zurücktretenden einstigen Binnenmeere seien.

#### Übrige auf der fortschaffenden und absetzenden Thätigkeit der Winde beruhende Erscheinungen und Bildungen.

Ähnlich wie der Sand können natürlich auch die anderen leichteren festen Körper von den Winden fortgerissen, weit davongetragen und abgesetzt werden. So berichtet z. B. Dr. Fraas<sup>6)</sup>, dass die Wüstenstürme sehr oft den *Salzstaub* in grossen Mengen nach Ägypten mitbringen, in Folge dessen die Kalkbänke dermaassen davon durchdrungen werden, dass das Salz an denselben beständig ausblüht, sie mit einer Kruste überzieht und die Zerbröckelung des Gesteines nach sich zieht. Auch in der Gobi ist der Salzstaub — nach dem Zeugnisse Przewalski's<sup>7)</sup> — keine Seltenheit. Noch mehr freilich unterliegt der Gewalt der Winde der *Schnee*, wofür uns jeder

Winter die Beweise im Überfluss liefert. Allein die Schneeverwehungen, eine in der gemässigten Zone vorübergehende Erscheinung, können in kälteren Gegenden geradezu dauernden Bildungen den Ursprung geben. Insbesondere im nördlichen Gürtel von Sibirien, sagt Reclus<sup>1)</sup>, sammelt sich der von den Winden getriebene Schnee in den Thälern und Depressionen zu wahren Hügeln, etwa zu Schneedünen an; die Sommerwärme reicht in jenen Gegenden nicht hin, um sie gänzlich zu schmelzen, so dass sie mit jedem Winter von Neuem zu wachsen beginnen und schliesslich durch diese theilweise Schmelzung und successives Zufrieren sich in gletscherartige Gebilde umwandeln, denen bloss die schiefe Ebene fehlt, um sich auch gleich den wahren Gletschern bewegen zu können. In regenarmen Gegenden, die nur eine armselige Flora aufzuweisen haben, wo also auch die Humusdecke eine sehr prekäre ist, vermögen oft selbst die *Pflanzen* den stürmischen Winden keinen Widerstand zu leisten; sie werden nun, wie z. B. in der Gobi, ent wurzelt, in einen Haufen zusammengeworfen und so über die Fläche getrieben<sup>2)</sup>. Aber noch auf eine andere Weise können sich die mechanischen Wirkungen der Winde der Entfaltung der Vegetation sehr hinderlich erweisen. So lesen wir z. B. über das Patagonische Plateau am Rio Santa Cruz: „der Humus ist hier äusserst spärlich, da die Trockenheit des Klima's und die fast täglich herrschenden starken westlichen und nordöstlichen Winde die *vegetabilischen und animalischen Überreste* nicht mit dem Boden in innige Berührung kommen lassen, sondern nach den Niederungen und in's Meer wegfehen“<sup>3)</sup>. Dasselbe bewirken in Europa die beiden heftigen Winde, der Mistral in der Provence und die Bora im Karste, obgleich sie wohl erst seit der Abholzung dieser Gegenden die heutige, verheerende Gewalt erlangt haben mögen. Der erstere ent wurzelt sogar die Bäume und hat schon manches Stück Bodens von aller Dammerde entblösst; die Bora macht, indem sie stets das Karst-Plateau rein fegt, jede Humusbildung geradezu unmöglich<sup>4)</sup>. Noch mehr natürlich ist die bei den *vulkanischen Eruptionen ausgeworfene Asche* ein Raub der Winde. So wurde beispielsweise während des Ausbruchs des Vesuvs 79 nach Christi die Asche bis nach Syrien und Ägypten<sup>5)</sup>, und auch späterhin mehrfach, wie im Jahr 512, bis nach Konstantinopel und Tripolis getragen. Im Jahr 1755 fiel die Vesuv-Asche in Kalabrien nieder und auch bei dem Ausbruch des Ätna 7. Juli

<sup>1)</sup> Ritter „Erdkunde“ VIII. Th., S. 721—722.

<sup>2)</sup> Palgrave „Observations made in Arabia during a Journey in 1862 and 1863“ im „Journal of the Royal Geogr. Society“ 1864, p. 116—120.

<sup>3)</sup> „Rohlf's Expedition in d. Libysche W.“ in Petermann's „Mitth.“ 1874, S. 185; und P. Ascherson „Die Libysche Wüste“ im „Ausland“ 1875, S. 1028.

<sup>4)</sup> Dr. K. Peter's „Geol. Studien aus Ungarn“ im „Jahrb. d. k. k. geol. Reichsanstalt“ 1859, No. 4, S. 514.

<sup>5)</sup> C. A. Jentzsch „Über das Quartär der Gegend von Dresden“ (Halle 1872), Inaugural-Dissert., S. 14—17.

<sup>6)</sup> „Aus d. Orient“, S. 201.

<sup>7)</sup> s. Petermann's „Mitth.“ 1873, S. 85.

Czerny, Wirkungen der Winde.

<sup>1)</sup> „La Terre“ I, p. 271.

<sup>2)</sup> Przewalski „Von Kiachta nach Peking“ in Petermann's „Mitth.“ 1872, S. 11.

<sup>3)</sup> s. „Ausland“ 1875, S. 916.

<sup>4)</sup> Studer „Lehrbuch d. physikal. Geographie“ I, S. 334; Reclus „La Terre“ II, p. 316 u. 707.

<sup>5)</sup> Reclus „La Terre“ I, p. 626.

1863 reichte der Aschenwurf bis Kalabrien und Malta. Während der Eruption des Hekla 1845 fiel die Asche auf den Orkney-Inseln nieder<sup>1)</sup>. Im Jahr 1850 (Nachts vom 16./17. Februar) haben die Winde die Vulkan-Asche des Vesuvs bis in die Central-Alpen getragen<sup>2)</sup>. Am 1. Mai 1812 fiel auf Barbados beim NO.-Passat der Aschenregen, der aus dem Vulkane Morne Garu auf St. Vincent, welches 20 Meilen westlich liegt, herkam, fortgerissen von dem oberen, d. h. Südwest-Passat (Antipassat)<sup>3)</sup>. Während des denkwürdigen Ausbruchs des Coseguina am 20. Januar 1835 war die Meeresoberfläche sogar 20 Längengrade westlich mit Bimssteinstücken und Asche bedeckt, während die letztere gleichzeitig auch gegen Norden, nach Honduras und Chiapas, gegen Südosten nach Cartagena und Santa Marta und vom Antipassat bis nach Jamaica, also 1300 Kilometer weit, fortgetragen wurde. Die Oberfläche, die bei diesem grossartigen Ausbruch mit Staub bedeckt wurde, wird auf 4 Millionen Q.-Kilometer und die von den Winden zerstreute Schuttmasse auf 50 Milliarden Kubikmeter geschätzt. Auch beim Ausbruch des Tambora (auf der Insel Sumbava, östlich von Java) wurde die Asche von den Winden 1400 Kilometer weit gegen Norden, nach Bruni (auf Borneo) getragen<sup>4)</sup>. Endlich führen wir noch an, dass während der letzten Ausbrüche des Vatna Jökul und Herthubreith auf Island — gegen Ende März 1875 — die Asche von den Winden nach Skandinavien, bis in die Nähe von Stockholm, also über 250 geographische Meilen, hinübergeführt wurde<sup>5)</sup>. Bedenkt man, wie ungeheuer Quantitäten von Asche manchmal von den Vulkanen ausgeworfen werden (z. B. schätzte man die Aschenmenge beim Ausbruch des Vulkans der Insel Reunion, 19. und 20. März 1860, auf 300 Millionen Kilogramm, die des Guntur auf Java, 1843, auf 330 Millionen Ctr.<sup>6)</sup>), so wird man nicht nur in den Winden die wohlthätige Macht erblicken, welche verhindert, dass jene Massen auf einem beschränkten Raume niederfallen, sondern ihnen auch in geologischer Beziehung keine geringe Bedeutung zuschreiben müssen, indem sie es sind, die als Träger jener Aschenmengen an dem Aufbau der Sedimentschichten sich so augenfällig betheiligen. Es entstehen so „Tuffablagerungen an Orten, wo gar keine vulkanischen Ausbruchstätten existiren“<sup>7)</sup>.

Es ist begreiflich, dass die Winde, indem sie sich auf

diese Art der Vulkan-Asche zu bemächtigen vermögen, auch auf den *Aufbau der Strato-Vulkane* selbst nicht ohne bedeutenden Einfluss sein müssen. Bekanntlich besteht der Kegel eines Strato-Vulkans aus Lava, Schlacken, Bomben, Lapillis, vulkanischem Sand und Asche. Die Art und Weise nun, wie diese Eruptions-Produkte auf einander lagern, also die Schichtung und Mächtigkeit der einzelnen, jedem besonderen Ausbruch entsprechenden Schichten, stehen wohl von der Stärke des Windes oder aber der gänzlichen Windstille in Abhängigkeit. Wie die Flüsse, die zuerst das grobe Gerölle, weiter den Sand ablagern und die feinen Lehmtheilchen direkt bis zum Meere forttragen, so wirken augenscheinlich auch die Luftströme auf die Scheidung des von den Vulkanen in die Lüfte geschleuderten Materials nach seinem specifischen Gewichte, indem sie den vulkanischen Sand und die Asche sogar hunderte von Meilen weit, wie wir es eben gesehen haben, davontragen können, während die Lapillis und die Bomben, schon wegen ihres grösseren specifischen Gewichtes den Winden grösseren Widerstand leistend, stets näher dem Vulkan-Kegel oder auf denselben oder endlich wiederum in den Krater selbst hinabfallen. Während der Eruption des Ätna am 7. Juli 1863 wurden die kleineren Schlackenstücke, Sand und Asche bis Catania und Syrakus durch die damals herrschenden nordwestlichen Winde davongeführt. Bei Catania lag der feine schwarze Sand einige Centimeter hoch, während — je näher dem Vulkan — auch die Schlacken desto dicker waren<sup>1)</sup>. Deswegen wirken die Winde auch nicht unbedeutend auf die Gestaltung des Kegels selbst. Namentlich wird sich jedesmal an der Leeseite desselben grössere Anhäufung der Auswurfs-Produkte herausstellen als auf der Windseite, während auch der Rand des Kraters sich in der Richtung des Windes verlängern und an der Leeseite viel höher aufrichten wird, als da, wo ihn der Wind zuerst trifft, so dass der Vulkan-Berg dadurch die Form eines schief abgestutzten Kegels bekommt. So z. B. bildeten sich während des Ausbruchs des Ätna am Anfange 1865 längs einer Spalte, ost-nord-östlich vom Monte Frumento, 7 neue Kraterberge. „Dieselben liessen die charakteristische Trichterform der inneren Höhlung nur unvollkommen wahrnehmen — eine Folge der herrschenden heftigen NNW.-Winde im Februar, welche dem Schlackenwurf eine einseitige Richtung gaben. Zwei äusserste dieser Krater mochten am 5. März eine Höhe von 50 bis 60 Meter erreichen, ohne dass sie indess bis dahin unter dem Einfluss der nördlichen Winde einen vollständigen Trichter gebildet hätten. Da aber im Monat März sich der Wind drehte, so vervollständigten sich die

<sup>1)</sup> Karl Fuchs „Vulkan. Erscheinungen d. Erde“ (1865), S. 302; und „Vulkane und Erdbeben“ (Leipzig 1875), S. 65, 81.

<sup>2)</sup> Dove „Über Eiszeit, Föhn und Scirocco“, S. 89.

<sup>3)</sup> Dove „Meteorologische Untersuchungen“, S. 38.

<sup>4)</sup> Reclus „La Terre“ I, p. 626—629.

<sup>5)</sup> s. „Ausland“ 1875, S. 465.

<sup>6)</sup> Fuchs „Vulkane und Erdbeben“, S. 65 und 103.

<sup>7)</sup> Credner „Elemente der Geologie“, S. 250.

<sup>1)</sup> G. v. Rath im „Jahrbuch f. Geologie, Paläontologie und Mineralogie“ 1870, S. 52.

Kraterränder" <sup>1)</sup>. Überhaupt zeigt sich am Ätna, wo zum grösseren Theil die Westwinde wehen, dass die östliche Seite des Vulkan-Kegels mehr ausgebildet ist als die dem Winde zugekehrte. Noch deutlicher tritt diese Erscheinung an den Vulkanen von Ecuador hervor, wo der NO.-Passat die Schlacken und die Asche stets in grösserer Menge an der Westseite der Vulkan-Berge anhäuft. Wahrscheinlich ist auch die schiefe Gestalt des Krater-Schornsteins am Vulkan Chillan-nuevo in Chile dem Südostpassat zuzuschreiben, der dem Auswurfs-Material beständig die nördliche Richtung giebt <sup>2)</sup>.

Ähnlich wie durch das Davontragen und Absetzen der Vulkan-Asche wirken die Winde fortwährend auf die Umgestaltung der Terrainverhältnisse durch das Aufwirbeln, also Heben, Davontragen und Absetzen der *Staub- und Schuttmassen*. An denselben ist aber auf der Erde niemals ein Mangel vorhanden. Das Regenwasser ist nicht immer und nicht überall da, um sie mit sich fortzureissen und den Flüssen zuzuführen; desto entschiedener werden sie dafür zu Alluvionen der Luftströme. Die Winde fegen sie nämlich beständig hinweg und setzen sie da ab, wo sie von der Vegetation festgehalten werden können, oder tragen sie direkt in den Ocean hinein. Dabei verrichten also die Winde dieselbe Aufgabe wie die Flüsse; und ausserdem beschleunigen sie, indem sie die verwitternden Gesteine immer von Neuem entblößen, den Verwitterungs-Prozess derselben nicht unbeträchtlich. So sind es bald Wirbelwinde, bald heftige Luftströme, die unablässig neue Staub- und Schuttmassen auf den Firnsee'n und an der Oberfläche der Gletscher absetzen und auf diese Weise zur Bildung der sogenannten Schmutzstreifen oder Schmutzbänder an der Gletscheroberfläche Veranlassung geben <sup>3)</sup>. Nach dem Schweizerischen Geologen Theobald sollen manche Schuttanhäufungen, denen man in den Alpen begegnet, nur ein Gebilde der Wirbelwinde sein <sup>4)</sup>. Interessant ist der Bericht von Virlet d'Aoust über ein meteorisches Gebirge in Mexiko. „Auf der Hochebene von Mexiko giebt es eine thonige oder thonmergelige Gebirgsart von gelber Farbe, welche nicht nur einzeln stehende Berge und einige Vulkane kappenartig umhüllt, sondern auch die Abhänge und den Fuss der höchsten Gebirgsketten bis zur Grenze der Baum-Vegetation, d. h. bis 3800 Meter Seehöhe bedeckt und nach unten hin allmählich eine Mächtigkeit oft von 60—100 Meter erreicht. Es ist homogen, ist von noch fortdauernder Entstehung und lose, nur selten mit Spuren

von Schichten, welche von Cineriten herzurühren scheinen, die eben so vielen Ausbrüchen benachbarter Vulkane entsprechen würden. Zuweilen liegen sie deutlich abgegrenzt auf wirklichen Alluvionen". Nach Virlet d'Aoust ist diese Gebirgsart ein Gebilde von „Windhosen, welche in der Gegend sehr häufig sind. Nicht selten sieht man die spiralen Windwirbel den Staub des Bodens in Form dünner Säulen bis 500—600 Meter Höhe emporheben. Dazu kommen noch in manchen Gegenden regelmässige, intermittirende Luftströmungen, welche sich in der Ebene mit Staub beladen und denselben in dieser oder jener Richtung bis zu oft beträchtlichen Höhen davonführen, woselbst er dann allenthalben, wo eine Vegetation und zumal Wälder sich befinden, aufgefangen, abgelagert und festgehalten wird, während er von kahlen Gehängen bald wieder in die Thäler hinabgeführt wird" <sup>1)</sup>.

Ein ganz ähnliches, aber seiner enormen Verbreitung wegen noch bei weitem merkwürdigeres Gebilde hat v. Richt-hofen im nördlichen China (besonders in der Provinz Shensi) in den weit und breit ausgedehnten *Löss-Ablagerungen* angetroffen. Dieser Löss, sonst in seinem Äusseren dem Europäischen Diluvial-Löss ähnlich <sup>2)</sup>, ist ein gelbes, lehmartiges, gänzlich ungeschichtetes Gestein, lässt sich zu sehr feinem Pulver zerreiben, und saugt leicht das Wasser ein; seine sehr poröse Masse ist von feinen, mit Kalk inkrustirten Röhren durchzogen, welche die frühere Lage von Graswurzelfasern bezeichnen; zugleich enthält er Mergel-Concretionen, zahlreiche Gehäuse von Landschnecken und Knochen von grösseren Thieren. Zu seinen ferneren Eigenthümlichkeiten gehört es, dass er vollkommen vertikal zerklüftet und dass somit das kleinste Gewässer sich in ihm bald einen Kanal, der einem senkrechten Riss gleicht, gräbt, während seine Fruchtbarkeit so gross ist, dass die Lössfelder, selbst ungedüngt, befriedigende Ernten geben. Diesem letzteren Umstande verdankt auch ohne Zweifel der Titel des Kaisers von China seine Entstehung, indem „Hwang-ti" gerade „Herr der gelben Erde, des gelben Landes", also des Lösses, bedeutet <sup>3)</sup>. Das Merkwürdigste aber an diesem Löss — worin auch sein Unterschied von dem Diluvial-Löss besteht — ist die Art seiner Verbreitung. Er überzieht nämlich alles, Thäler und Hügel, und ragt fast bis zu den Gipfeln der höchsten Gebirge empor. Sind die Bergschluchten eng, so sitzt er den trennenden Rücken und Passübergängen auf; sind sie breit, so bekleidet er die Abhänge der trennenden Rücken, ist dann gegen das Thal schroff

<sup>1)</sup> G. v. Rath im „Jahrb. f. Geol., Paläont. und Mineralog." 1870, S. 58 und 59.

<sup>2)</sup> Reclus „La Terre" I, p. 625.

<sup>3)</sup> Credner „Elemente der Geologie", S. 234, 251.

<sup>4)</sup> s. Reclus „La Terre" II, p. 359—360.

<sup>1)</sup> Auszug aus dem „Bulletin geolog." 1857, XV, p. 129—139 im „Jahrb. f. Geologie, Mineralogie und Paläontologie" 1859, S. 218.

<sup>2)</sup> cf. Credner „Elemente d. Geologie", S. 669.

<sup>3)</sup> Über den Chinesischen Löss" s. „Verhandlungen der k. k. geol. Reichsanstalt" 1872, S. 157.

abgeschnitten und nur die Quer-Runsen setzen durch ihn in das liegende Gestein und zeigen, dass der Löss oft hunderte von Fuss mächtig liegt. Seine grösste Entwicklung erreicht er zwischen weit von einander entfernten Parallelgebirgen. Dann füllt er den Zwischenraum in einer äusserst sanften Mulde aus, deren Höhendifferenz von den Seiten nach der Mitte hin aber doch oft über 2000 Fuss beträgt. An der Gleichmässigkeit der Abdachung, die zuweilen 1:100 und weniger ist, erkennt man, dass die Mulde nicht durch Auswaschung entstanden ist, sondern der ursprünglichen Ablagerungsart des Lösses ihre Form verdankt.

Diese höchst interessante Chinesische Löss-Formation ist nun — nach der Darlegung von Richthofen's — geradezu ein Windgebilde. Weder die Gletscher-Schlammtheorie, wie dieselbe von Süss <sup>1)</sup> über den Europäischen Löss aufgestellt wurde, noch die Annahme Kingsmill's, als sei der Chinesische Löss ein Meeresabsatz, ist bei Erläuterung seiner Bildung anwendbar, da China keine Spuren einstiger Gletscher aufweist, noch der dortige Löss irgend welche marine Reste beherbergt. Dagegen liefern die vollkommen erhaltenen Schneckengehäuse, die Reste der Säugethiere, vor allem aber die feinen inkrustirten und den Löss in seiner ganzen Mächtigkeit durchziehenden Kanäle, die noch jetzt nahe der Oberfläche mit abgestorbenen Pflanzenwurzeln ausgefüllt sind, Beweise genug, dass es lediglich der Wind war, der seit uralten Zeiten unausgesetzt immer neue Staubmassen nach den nördlichen Provinzen China's hinbrachte und daselbst ablagerte, während der Graswuchs sich jedesmal der feinen abgesetzten Erdtheilchen bemächtigte, dieselben festhielt und somit auch ermöglichte, dass sich die Oberfläche von Jahr zu Jahr um einen wenn auch noch so geringen Betrag erhöhte. „Diese beiden Vorgänge nun, die mechanische Verbreitung fester Bestandtheile über die Oberfläche und die Verwesung von Tausenden von Generationen von Pflanzen mit den in ihnen aufgenommenen und nun fest gewordenen Bestandtheilen, sind die Hauptfaktoren bei der Bildung des Löss gewesen“. Diese Erklärungsart ist um so zweifelloser, als die Gebirge in einem sehr grossen Theil des Chinesischen Löss-Gebietes gerade aus weichen, thonig-sandigen Gesteinen bestehen und daher der Zersetzungs-Prozess derselben schon seit jeher in grossem Maassstabe vor sich gehen konnte, während der Wind auch noch gegenwärtig im nördlichen China, wie wir diess gleich sehen werden, keine geringe Rolle in der Veränderung der Oberfläche spielt. Ähnliche Gebilde, wie der Löss von China, finden sich, wie es scheint, um ganz Central-Asien herum, in Tibet, am oberen Indus, am Tien-shan &c., sind aber bisher der Beobachtung entgangen. Vielleicht

<sup>1)</sup> s. „Jahrbuch f. Geologie, Mineralogie und Paläontologie“ 1867, S. 119—120.

sind auch die „mauvaises terres“ von Nebraska, Dakota und anderen westlichen Territorien der Vereinigten Staaten mit ihrer überreichen Säugethier-Fauna und den tief ausgewaschenen Schluchten derartige, dem Löss entsprechende Bildungen <sup>1)</sup>.

Besondere Beachtung gebührt endlich dem Phänomen der periodischen trockenen oder aber mit Regen oder Schnee gemengten Staubfälle. Es ist das Verdienst Ehrenberg's, diese Erscheinung zuerst eingehend geprüft zu haben <sup>2)</sup>. Von ihm wurde sie auch „*Passatstaub und Blutregen*“ benannt — eine Benennung, die freilich namentlich in Bezug auf das Wort „Passat“ heutzutage wohl schwerlich auf alle Erdstriche, wo diese Staubfälle Statt finden, sich anwenden lassen wird. Ehrenberg hat, gestützt auf eine Unzahl von historischen Daten, selbst aus den ältesten Zeiten her, ein für allemal dargelegt, dass diese Staubfälle immer in denselben Ländern, gleichsam in einem bestimmten Erdgürtel beobachtet werden, vorzugsweise und ununterbrochen fort-dauernd an der Westküste von Mittel- und Nord-Afrika, (daher „mare tenebrosum“ Edrisi's), periodisch in den Mittelmeer-Ländern, dass sie sich aber zuweilen auch über das ganze nördliche Europa, seltener bis nach Schweden und Russland, verbreiten, in Asien aber über Beludschistan und Turkestan bis nach China reichen, während in anderen Welttheilen dieselben nur höchst selten vorzukommen scheinen. Zugleich hat es sich — Dank den zahlreichen mikroskopischen Untersuchungen Ehrenberg's — herausgestellt, dass die Staubmassen, welche in dem Gürtel von den Küsten Afrika's bis Syrien, Europa inbegriffen, hinabfallen, stets dieselbe Farbe, nämlich die röthliche, und dieselben Bestandtheile aufweisen, namentlich aber neben der Kiesel-, Thon- und kohlen-sauren Kalkerde auch Eisen-, Kupfer- und Manganoxyd, Kali und Natron und neben gewissen Pflanzentheilchen namhafte Mengen verschiedener kieselschaliger Infusorien enthalten. Die Zahl aller entdeckten organischen Formen beläuft sich sogar auf 320 Arten, wobei bei weitem vorherrschend die Süsswasser- und Landformen sind. Viel abweichender ihrem Bestand nach, wiewohl noch nicht auf ähnliche Art wie die Afrikanischen und Europäischen untersucht, sind die Staubmassen, die in Asien beobachtet werden; auch ihre Farbe ist anders, nämlich gelb. Dieser Umstand spricht denn auch ganz entschieden gegen die

<sup>1)</sup> cf. Richthofen „Reise im nördlichen China; über den Chinesischen Löss“ in d. „Verhandlungen der k. k. geolog. Reichsanstalt“ 1872, S. 153—160; und „Geologie“ bei Neumayer „Anleitung zu wissenschaftl. Beob. auf Reisen“, S. 274.

<sup>2)</sup> s. „Passatstaub und Blutregen“ in d. „Abhandlungen d. k. Akademie d. Wissenschaften in Berlin“ 1847, S. 269—460; und „Erläuterungen eines neuen wirklichen Passatstaubes aus dem Atlant. Dunkelmeere“ in den „Monatsberichten d. k. Akademie d. W. in Berlin“ 1862, S. 202—222.

Annahme Ehrenberg's, als hätten die Staubfälle in Europa und Asien eine gemeinschaftliche Ursprungsstätte, als gehörten sie „einem terrestrischen Staubgürtel der oberen Atmosphäre“ an. Die Heimath der Asiatischen Staubmassen ist wohl Central-Asien selbst, wo dieselben, wie v. Richthofen<sup>1)</sup> treffend bemerkt, dem weit verbreiteten Löss ihren Ursprung verdanken mögen, und wo, wie in der Gobi, während der stürmischen Winde „die Atmosphäre sich dermaßen mit Staub füllt, dass sie gelbgrau und zu Mittag wie im Dämmerlicht erscheint“<sup>2)</sup>, und wo die Wüste Karakum „ein wahrer Tummelplatz der Wirbelwinde“ ist<sup>3)</sup>, während in Beludschistan — nach Pottinger — stets zur Mittagszeit sich die Atmosphäre „mit einem Alles verdunkelnden Sandnebel erfüllt“<sup>4)</sup>. Nicht so leicht ist die Frage nach dem Ursprung der West-Afrikanischen und Europäischen Staubfälle zu entscheiden. Gestützt auf einige in den erwähnten Staubfällen entdeckte Organismen, die in Guyenne vorkommen, will Ehrenberg sie aus Süd-Amerika herleiten; Herschel und nach ihm Dove<sup>5)</sup> bezeichnen spezieller die Llanos von Venezuela als die Stelle des Aufsteigens dieses Staubes, wo allerdings, wie Alex. von Humboldt<sup>6)</sup> erzählt, „unter dem senkrechten Strahl der in der trockenen Zeit nie bewölkten Sonne die verkohlte Grasdecke in Staub zerfällt, die Luftströme ihren Streit in kreisender Bewegung ausgleichen und den Sand als trichterförmige Wolken emporheben, während die heisse, staubige Erde, welche im nebelartig verschleierten Dunstkreis schwebt, die stickende Luftwärme vermehrt“. Indessen berichtete schon Clapperton, dass ein Theil der Sahara vom rothen Sande bedeckt sei, und auch Pater Secchi hält den röthlich-braunen Staub, der manchmal nach Italien gelangt, für den Staub aus der Sahara<sup>7)</sup>. Darwin meint ebenfalls, die an der Westküste Afrika's beobachteten Staubfälle seien Afrikanischen Ursprungs, weil der Staub entschieden aus dieser Richtung kommt und in der Nähe der Küste von Afrika immer gröber ist<sup>8)</sup>. Duveyrier erlebte auch einen südlichen Sturmwind in der Sahara, der mit sich ungeheuere Sand- und Staubwolken, von 50—60 Meter Dicke und von röthlicher Farbe, fortführte<sup>9)</sup>. Dove zweifelt denn auch nicht, dass die heissen, trockenen Südwestwinde, die durch ihre Staubmassen, welche sie mitführen, manchmal in Bagdad — wie z. B.

am 20. Mai 1857 — „den Tag in die dunkelste Nacht“ verwandeln, aus der Sahara herkommen mögen<sup>1)</sup>. Daher ist es auch höchst wahrscheinlich, was v. Richthofen<sup>2)</sup> vermuthet, dass der rothe Passatstaub seinen Ursprung überhaupt dem Laterit der Tropenländer verdankt, wie der gelbe Staub in Central- und Ost-Asien dem Löss.

Wie es aber mit dem Ursprung dieser Staubfälle sich auch verhalten mag, die Thatsache bleibt immer die, dass fast fortwährend bald in der Gegend der Capverdischen Inseln und über dem West-Afrika benachbarten Theil des Atlantischen Oceans, bald in Süd-Frankreich, in Italien, bald in Deutschland, Palästina, Arabien und Mesopotamien, bald endlich in Nord-Indien, Beludschistan und China die Staubfälle beobachtet werden, und dass sie sich überall, eben so gut in den Alpen wie im Himalaya, durch die ihnen eigenthümlichen, mikroskopisch kleinen Organismen kundgeben. Wie gross aber die auf diese Weise Tausende von Meilen weit durch die Winde getragenen Staubmassen sind, ersieht man leicht aus einigen Beispielen. So gab es im Jahre 1755 einen Blutregen in der Umgebung des Lago Maggiore, wobei circa 200 Q.-Meilen Bodens mit erdigem Niederschlag bedeckt wurden, während gleichzeitig in den Alpen ein rothgefärbter Schnee 9 Fuss hoch niedergefallen ist. An einigen Stellen am Lago Maggiore erreichte der Niederschlag eine Mächtigkeit von 1 Zoll. Nehmen wir mit Dana an<sup>3)</sup>, dass im Durchschnitt dieser Niederschlag bloss 2 Linien mächtig war, so würde schon der Betrag desselben auf jede Engl. Q.-Meile gleich 2700 Cubikfuss sein. Das Verbreitungsareal des von Darwin (1833) auf den Capverdischen Inseln beobachteten Staubfalles betrug nach dessen Schätzung 1600 Seemeilen in der Breite, während Kapitain Tuckey (1816) einem ähnlichen Staubfall an der Westküste von Afrika eine Ausdehnung von über 1800 Seemeilen in der Breite zuschreibt. Übrigens werden diese Staubfälle nicht selten 600—800, ja 1080 Meilen westlich von Afrika im Atlantischen Ocean beobachtet, woraus sich für sie ein Areal von 946000 bis über 1.500.000 Q.-Meilen ergibt<sup>4)</sup>. Das Amerikanische Schiff „Jamestown“ befand sich einmal (Februar 1856) 6 Tage lang ununterbrochen in diesem Afrikanischen „Dunkelmeere“, zwischen 7° 30' und 9° N. Br. und 15°—19° W. L., gänzlich in den Staubnebel eingehüllt<sup>5)</sup> —, und nun „wie viel Masse“, fragt Ehrenberg, „mag wohl allein in jenen 6 Tagen in's Meer gefallen sein?“ Ein einziger Staubfall von 1803, der Italien und

<sup>1)</sup> „Geologie“ bei Neumayer „Anleitung zu wissenschaftl. Beob. auf Reisen“, S. 286.

<sup>2)</sup> Przewalski's Bericht in Petermann's „Mitth.“ 1873, S. 85.

<sup>3)</sup> Ritter „Erdkunde“ VIII. Theil, S. 236.

<sup>4)</sup> Ibidem, S. 722.

<sup>5)</sup> „Über Eiszeit, Föhn und Scirocco“, S. 88—91.

<sup>6)</sup> „Ansichten der Natur“, S. 12.

<sup>7)</sup> s. Klöden „Handbuch d. Erdkunde“ I. Bd. (1873), S. 727.

<sup>8)</sup> in d. „Proceedings of the geological Society“ June 1845, citirt v. Ehrenberg „Passatstaub und Blutregen“ in den „Abhandlungen der k. Akad. d. W. in Berlin“ 1847, S. 393.

<sup>9)</sup> „Les Touaregs du Nord“, p. 126—128.

<sup>1)</sup> „Über Eiszeit, Föhn und Scirocco“, S. 13—16.

<sup>2)</sup> „Geologie“ a. a. O., S. 286.

<sup>3)</sup> „Manual of geology“, p. 631.

<sup>4)</sup> Ehrenberg in den „Abhandlungen d. k. Akad. d. W. in Berlin“ 1847, S. 324.

<sup>5)</sup> Ehrenberg in d. „Monatsberichten d. k. Akad. d. W. in Berlin“ 1862, S. 533—535.

Sicilien — etwa 6300 Q.-Meilen — bedeckt hatte, mochte an einem Tage 112800 Ctr. Staub verbreitet haben, während der einzige Staubfall in Lyon (17. Oktober 1846) nach den Berechnungen der Französischen Gelehrten 7200 Ctr. fester Masse betrug<sup>1)</sup>. Eben so ungeheuer sind die Staubmengen, die in China fallen. Nach den Daten, die Dr. Macgowan gesammelt, dauerte einmal in China — 1154 v. Chr. — ein Erdregen sogar 10 Tage lang. Übrigens sind dort die Staubfälle keine seltene Erscheinung und die Chinesen erwarten jedesmal nach häufigem Fallen dieses gelben Staubes ein fruchtbares Jahr<sup>2)</sup>. Insbesondere sind die Staubstürme in Peking berüchtigt. Sie rasen von West und Nordwest, wobei Tage lang bei völlig wolkenlosem Himmel die Sonne nur als eine matte, gelbe Scheibe erkennbar ist und alles sich mit einer dicken Staubschicht bedeckt<sup>3)</sup>. Angesichts dieser Thatsachen darf man denn auch wohl mit Ehrenberg ausrufen: „wie viel Tausend Millionen Centner kleines Leben und Staub mögen auf diese Weise bloss seit Homer's Zeiten gehoben und meteorisch auf die Erde gefallen sein!“

#### Erodirende Wirkung der Winde — die Sandritze.

Es ist selbstverständlich, dass überall, wo der Wind die mehr oder weniger zerriebenen Gesteine fortreisst und entführt, auch eine fortwährende Abnahme der Mächtigkeit der betreffenden Schichten vor sich gehen wird, dass also der Wind stets zugleich als eine erodirende Macht anzusehen ist. Sieht man demnach „ein altes Gemäuer mit seinem Fundament freistehen, ja dasselbe unterminirt an Stellen, wo fließendes Wasser keinen Zutritt hat, oder begegnet man tiefen Einschnitten in dem Boden, welche durch Wind entstanden sind, z. B. Hohlwegen, welche in einer ebenen Fläche über 100 Fuss tief eingesenkt sind und in welche die Wagen an einem Ende hinabfahren, während sie an dem anderen nach dem Niveau der Ebene hinauffahren“<sup>4)</sup>, so sind das keine seltenen Fälle der erodirenden Wirkung der Winde. Richthofen berichtet z. B., dass die Strassen auf Löss in Nord-China sich von Jahr zu Jahr vertiefen und alte Strassen bereits zu hundert Fuss tiefen Hohlwegen, zuweilen durch den Wind allein, ausgehöhlt sind<sup>5)</sup>. Auch die Diluvial-Löss-Ablagerungen im Rhein- und Donau-Thale sind an ähnlichen Hohlwegen mit

fast senkrechten Wänden reich<sup>6)</sup>. Rohlfs begegnete in der Sahara, südlich von Murzuk zahlreichen sogen. „Neulingen“ und „Zeugen“, von denen die ersteren Anhäufungen von Sand, 20—30' hoch, gewöhnlich um einen Ethel oder eine Tamariske sind, während die anderen umgekehrt dadurch entstanden sind, dass das weichere Terrain rings um eine härtere Partie entweder durch Wasser oder durch Winde weggerissen wurde<sup>1)</sup>. Viel auffallender ist es, dass an der nördlichen Seite der Insel Barbados (Antillen) in Folge der Orkane, von denen die Insel oft genug heimgesucht wird, bereits alle schroffen Felsabhänge verschwunden sind, während sie an der entgegengesetzten Seite unverseht dastehen<sup>2)</sup>. Unzweifelhaft wird sich die erodirende Macht der Wirbelstürme auch anderswo auf ähnliche Art wirksam herausstellen.

Allein der Wind wirkt nicht bloss selbst erodirend, sondern auch mittelst des von ihm fortgerissenen Materials, vorzugsweise des Sandes. Der Sand, resp. der Quarzsand, der schon selbst eine beträchtliche Härte besitzt, ist im Stande, wenn er von den Winden beständig in derselben Richtung über die Felsenflächen fortgetrieben wird, sogar die Granitfelsen abzureiben, sei es, indem er sie glatt polirt, sei es, indem er an ihrer Oberfläche Ritze und Furchen bewirkt. So hat P. Blake an den Granitfelsen der San Bernardino-Gebirge (in Californien) den Quarz polirt und den Kalkstein dermaassen abgenutzt gesehen, als wäre er in Folge der Auflösung weggeschafft<sup>3)</sup>. Lieutenant Wheeler begegnete 1873 an den Bänken des Colorado-Chiquito-Flusses vielen tiefen Löchern im Sandstein, „die bloss durch die Sandstürme im Laufe der Zeit haben hervorgebracht werden können“<sup>4)</sup>. Daher kommt es auch, dass in der östlichen Gobi runde, glatt abgeschliffene Kiesel von Quarz und Chalcedon oft angetroffen werden<sup>5)</sup>. Mit grösster Wahrscheinlichkeit sind auch die von Naumann beschriebenen Felsenschliffe der Hohburger Porphyrberge nichts anders als ein Produkt der Sandritzung (Sandscratches, Sandcuttings.) Zwar glaubte Naumann dieselben nur als Gletscherschliffe deuten zu können, gesteht aber selbst, dass diese „Schliffe, zumal an steilen und senkrechten Flächen, sich von den gewöhnlichen Gletscherschliffen auffallend unterscheiden“; nur diejenigen an den mehr horizontalen Felsflächen sollen völlig den Gletscher-

<sup>1)</sup> Ehrenberg in d. „Abhandlg. d. k. Akad. d. W.“ 1847, S. 324.

<sup>2)</sup> Ehrenberg in den „Monatsberichten d. k. Akad. d. W.“ 1862, S. 202 und ff.

<sup>3)</sup> Richthofen in d. „Verhandlungen d. k. k. geolog. Reichsanstalt“ 1872, S. 159.

<sup>4)</sup> Richthofen „Geologie“ bei Neumayer „Anleitung zu wissenschaftl. Beobachtungen auf Reisen“, S. 285.

<sup>5)</sup> „Verhandl. d. k. k. geolog. Reichsanstalt“ 1872, S. 158—159.

<sup>6)</sup> s. Credner „Elemente d. Geologie“, S. 669—670.

<sup>1)</sup> „Reise durch Nord-Afrika &c.“ in Petermann's Ergänzungsheft, No. 25, S. 12 und 16.

<sup>2)</sup> Robert Schomburgk „History of Barbados“, citirt v. Reclus „La Terre“ II, p. 402.

<sup>3)</sup> s. Dana „Manual of geology“, p. 631.

<sup>4)</sup> s. Petermann's „Mitth.“ 1874, S. 410.

<sup>5)</sup> Richthofen „Geologie“ bei Neumayer „Anleitung zu wissenschaftl. Beob. auf Reisen“, S. 275.

schliffen gleichen <sup>1)</sup>. Um so entschiedener wird Naumann von H. Credner widerlegt, unter dessen Leitung die Deutsche Geologische Gesellschaft in Leipzig auf ihrer Exkursion durch das Sächsische Gebirge im Anfang September 1874 auch die Hohburger Porphyrberge besucht hat. Credner drückt sich nämlich über diese Schliffe folgendermaassen aus: „Es sind flammig gebogene, sich manchmal gabelnde, centimeterbreite Furchen auf den einen, narbige Vertiefungen und warzenartige Erhöhungen auf anderen Felsflächen. Die von Naumann geschlagenen Originalhandstücke, an welchen freilich eine Ähnlichkeit mit Schweizerischen, Skandinavischen oder Nord-Amerikanischen Eisschliffen nicht zu erkennen ist, waren von den Herren K. v. Fritsch aus Halle und A. Heim aus Zürich einige Wochen vor dem Besuche der Deutschen Geologischen Gesellschaft in Leipzig für „Sandcuttings“, also für das Resultat fortgesetzter Schleifthätigkeit von durch Winde auf den porphyrischen Klippen bewegtem Sande erklärt worden. Auch hatte H. v. Fritsch täuschend ähnliche Oberflächenformen an Klippen der Küste von Marocco und H. Laspeyres solche auf verschiedenen Porphyrhügeln der Umgegend von Halle beobachtet. Die Besichtigung der von Naumann als die charakteristischsten bezeichneten Örtlichkeiten am „Kleinen Berge“ bei Hohburg konnte die Deutschen Geologen nicht von der Richtigkeit der Glacial-Theorie des berühmten Fachgenossen überzeugen, im Gegentheile war der Eindruck ein allgemeiner, dass die betreffenden welligen Runzelungen auf der Oberfläche der dortigen Felsmassen mit Gletscherschliffen *nichts* gemein hätten“ <sup>2)</sup>. Ein erwünschtes Beispiel von Sandritzungen liefert uns Graf Adalbert Baudissin, indem er in seinem Bericht über die Dünen der Insel Sylt <sup>3)</sup> erzählt: „Besteigt man die Düne westlich des Dorfes Westerland, so sieht man an dem Pavillon, der ziemlich auf der halben Höhe der Düne erbaut ist, sämtliche Fensterscheiben so matt geschliffen, dass es unmöglich ist, Gegenstände hinter denselben zu erkennen. Die Sandkörner haben nämlich mit ihren spitzen Kanten Tausende und abermals Tausende von kleinen Ritzen auf den Fensterscheiben verursacht und dadurch die Undurchsichtigkeit des Glases herbeigeführt.“ Fernere Beweise für die erodirende Wirkung des vom Winde bewegten Sandes mögen noch zwei Zeugnisse abgeben. Paul Ascherson, der an der Expedition von Rohlfs in die Libysche Wüste Theil nahm, sagt unter Anderem: „Anstehende Felsplatten, die man nicht selten überschreitet, sind häufig glänzend polirt, fast wie geschliffene

<sup>1)</sup> s. „Jahrbuch f. Geologie, Mineralogie und Paläontologie“ 1870, S. 988—989.

<sup>2)</sup> H. Credner „Eine Exkursion d. Deutschen Geolog. Gesellschaft durch das Sächsische Gebirge“ in der „Zeitschrift f. d. ges. Naturwissenschaften“ 1874, Bd. 44, S. 213—214.

<sup>3)</sup> S. 7.

Gletscherwände — eine Wirkung des seit Jahrtausenden darüber fortreibenden Sandes“; und ferner: „die isolirten Kalkhügel sind an ihrer Grundfläche öfter durch den treibenden Flugsand ausgenagt und zeigen mitunter tischähnliche oder noch sonderbarere Gestaltungen“ <sup>1)</sup>. Noch interessanter ist die Erscheinung, welcher Dr. Georg Schweinfurth auf seiner Reise von Suakin bis Berber begegnete, nämlich „ein isolirter, aufrecht gestellter Granit-Felsblock, ein seltsam geformter natürlicher Stein-Obelisk von 35 Fuss Höhe, dessen Gestalt einer verkehrt gestellten Birne oder Feige gleicht. An seiner Basis ist der Block eng zusammengeschürt und offenbar durch die Aktion des vom Winde aufgewirbelten Sandes an dieser Stelle im Laufe der Zeit abgeschliffen. Dieses Monument, das sich die Natur selbst setzte, nennen die Eingeborenen „Abu-Odfa“ (Odfa ist der mit einem Baldachin überdeckte Kameelsattel der Frauen). Ähnlich geformte kleinere Steinblöcke finden sich übrigens nicht selten an verschiedenen Stellen der Strasse“ <sup>2)</sup>.

#### Die mechanische Kraft der Winde.

Natürlich steht die Wirkung der Winde im geraden Verhältnisse zu deren Geschwindigkeit und Stärke. Wie gross aber manchmal die mechanische Kraft der Winde sich gestalten kann, mögen einige Beispiele ersichtlich machen. Bei stärkeren Winden werden, wie an der Küste Jütlands neben dem Sand selbst die Seemuscheln weithin geschleudert, manchmal auf eine Höhe von 100 Fuss, und in Sanddünen vergraben <sup>3)</sup>. Im Bericht über die Amerikanische Nordpolar-Expedition unter C. F. Hall (1871—1873) lesen wir: „der Wind wehte manchmal mit einer Geschwindigkeit von 50—60 Seemeilen in der Stunde; eine bis zwei Meilen von den Bergen entfernt konnte man auf dem Eise Steine auflesen, die der Sturm so weit weggeführt hatte“ <sup>4)</sup>. Niemals tritt aber die mechanische Kraft der Winde grossartiger auf, als bei der Heimsuchung einer Gegend durch einen Orkan. Dann, wie z. B. 1800, am 23. April im Sächsischen Erzgebirge, werden Baumäste und ganze Bäume, Menschen und Vieh emporgehoben, Dächer fortgerissen, Häuser zerstört. Der Orkan von Westindien, August 1837, hat in St. Thomas ein gut gebautes Haus von seinen Fundamenten weggerissen, das Fort am Eingange des Hafens bis auf's Fundament geschleift und die 24 Pfänder heruntergeschleudert und gleichzeitig in St. Bartholomeo 150 Häuser zerstört. Während des Orkans vom 30. September 1807, welcher Wien heimsuchte, wurde neben mehreren anderen Zerstörungen in der Stadt und im Prater ein Haus am

<sup>1)</sup> „Die Libysche Wüste und ihre Oasen“ im „Ausland“ 1875, S. 1008.

<sup>2)</sup> Im „Herzen von Afrika“ (Leipzig 1874), I. Theil, S. 40.

<sup>3)</sup> Lyell „Principles of geology“ II, p. 515.

<sup>4)</sup> s. Petermann's „Mitth.“ 1873, S. 315.

Hammersbach in Baden verschoben. Der Orkan in Hannover, 9. November 1800, riss auf dem Harze 200000 Tannen aus, derjenige von Teneriffa, am 6. und 7. November 1825, hat ganze Wälder niedergelegt, während die wüthenden Cyklone vom 28. Februar und 1. März 1818 auf der Mauritius-Insel sogar den Hinterbau des Theaters, wiewohl 53' breit, 82' lang und 34' hoch und mit dem Vorderbau verbunden, nahezu 5 Fuss auf seiner Grundmauer fortgeschoben hatten<sup>1)</sup>. Während des Orkans, der am 2. Februar 1876 an der Atlantischen Küste der Vereinigten Staaten Nord-Amerika's wüthete und wobei der Nordwestwind eine Geschwindigkeit von 70 Engl. Meilen per Stunde erreichte, wurde zu Cahocs (New York) ein 225' hoher Kirchthurm niedergerissen; eine noch nicht ganz ausgebaute katholische Kirche zu Woonsocket (Rhode Island) wurde gänzlich zerstört; der Thurm der Universalisten-Kirche zu Webster (Massachusetts) stürzte ein; in Washington wurde der 230' hohe Thurm der Metropolitan Methodish Church mehrere Fuss aus der senkrechten Stellung gerückt und stundenlang vom Winde hin und her geschaukelt; auch in Fredericksburg (Virginia) wurde der Thurm der Episcopal Church niedergerissen<sup>2)</sup>. So grossartigen Leistungen der bewegten Atmosphäre ist freilich auch die mechanische Arbeit proportional, welche zur Aufwühlung der Luftmassen in den Wirbelstürmen verwendet wird; nach den Berechnungen von Reye hat der Cuba-Orkan vom 5.—7. Oktober 1844 allein zur Bewegung der einströmenden Luft allermindestens eine Arbeit von 473½ Millionen Pferdestärken aufgewendet, d. h. mindestens 15 Mal so viel, als alle Windmühlen, Wasserräder, Dampfmaschinen und Locomotiven, Menschen- und Thierkräfte der ganzen Erde in der gleichen Zeit leisten.

#### B. Mechanische Wirkung der Winde auf die Gewässer und mittelst derselben auf die Landesfeste.

Sind bereits die Continente in mehrfacher Beziehung in ihrer Oberflächengestaltung von den Winden abhängig, so eignet sich das tropfbarflüssige Element noch weit mehr, ein Ebenbild der bewegten Atmosphäre abzugeben. Kein Wunder daher, dass die Gewässer, als ein Mittelding zwischen der gasflüssigen Atmosphäre und dem Festen, zugleich auch stets als mächtigste Vermittler der Wirkungen der Winde auf die Festländer sich bethätigt haben und noch bethätigen.

##### Triftströmungen (Windtriften).

Seitdem in Bezug auf die Ursache der Meeresströmungen von Dr. W. B. Carpenter<sup>3)</sup> die Theorie der thermalen Cir-

kulation der oceanischen Wasser, von A. Mühy<sup>1)</sup> ausserdem noch diejenige der Gravitation und Centrifugalkraft aufgestellt wurden, wird man schwerlich noch die ältere Meinung vertheidigen wollen, als seien die Meeresströmungen bloss ein Erzeugniss der Winde. Nichts desto weniger spielen auch die Winde unter den Ursachen der allgemeinen Cirkulation der oceanischen Gewässer eine nicht zu unterschätzende Rolle; und zwar nicht bloss des Umstandes wegen, dass die Winde — je nachdem ihre Richtung mit derjenigen der Meeresströmungen übereinstimmt oder nicht — dieselben abzuschwächen oder aber ansehnlich zu beschleunigen vermögen, sondern auch aus dem folgenden Grunde. Dem äquatorialen Gürtel des Oceans, wo die Verdunstung am grössten ist, entführen beständig die Winde, die als trockene Polarströme hinkommen und als feuchte Äquatorialströme davongehen, immense Quantitäten von Wasser. Nehmen wir mit Maury an („Geography of the Sea“), dass die Evaporation daselbst jährlich nur 4½ Meter Höhe beträgt, so würde diess schon für den Atlantischen Ocean allein 120 Trillionen Cubikmeter Wasser im Jahre ausmachen, was einer cubischen Masse von 50 Kilometer Seitenlänge gleich ist. Ein Theil des so entwickelten Wasserdampfes kehrt zwar abermals dem Meere zurück in der Gestalt der tropischen Regen, der grössere Theil aber ist von den Antipassaten in höhere Breiten weggeführt, so dass dadurch der Ocean am Äquator stets mehr Wasser verliert, als ihm die Regengüsse wiedergeben. Es würde nun offenbar im äquatorialen Gürtel des Oceans sich eine Depression bilden müssen, wenn die Wassermassen der höheren Breiten nicht dadurch veranlasst wären, dieselbe jedesmal auszufüllen und das Gleichgewicht herzustellen<sup>2)</sup>. Und dieser Umstand darf allerdings auch als dritte Ursache der oceanischen resp. der latitudinalen Cirkulation angesehen werden. Aber es bleibt den Winden auch ausserdem ein ungemein breiter Spielraum übrig, um gewisse Meeresströmungen und zwar die sogen. Triftströmungen oder Windtriften hervorzurufen. Dieselben sind ein ausschliessliches Erzeugniss der Winde und entstehen jedesmal, wenn der Wind im horizontalen Sinne auf den Meeresspiegel wirkt. Sie unterscheiden sich von den eigentlichen Meeresströmungen vor allem dadurch, dass sie nur oberflächliche, wahrscheinlich nicht tiefer als 30—60 Fuss reichende Strömungen sind. „Jene“, sagt Mühy<sup>3)</sup>, „würden bestehen, auch wenn es keine Winde gäbe, und diese, auch wenn jene nicht beständen; jene sind Züge, diese Triften; jene haben eine Cirkulation, diese nur einen einfachen

<sup>1)</sup> „Zur Lehre der Meeresströmungen“ in Petermann's „Mitth.“ 1874, S. 371—378.

<sup>2)</sup> s. „Reclus „La Terre“ II, p. 72—73.

<sup>3)</sup> „Further inquiries on oceanic circulation“ in d. „Proceedings of the Royal Geogr. Soc.“ 1874, No. IV, p. 301—407.

<sup>3)</sup> „Das System der Meeresströmungen an der Südspitze v. Amerika“ in Petermann's „Mitth.“ 1872, S. 134.



Lauf; jene sind constant, diese sind variabel, wie die Winde selbst, wiewohl nicht isochronisch, da die Wirkung noch länger fortwährt als die Ursache; jene können auch ohne Wellen sein, diese nie; jene erscheinen nur selten frei auf der Oberfläche, weil sie meistens von diesen, den Windtriften, überdeckt sind. Dieselben nehmen nur eine dünne Schicht auf dem Meere ein, während dagegen die fundamentalen Ströme unzweifelhaft bis in sehr grosse Tiefen reichen, wie diess auch durch die Messungen bereits ermittelt und nachgewiesen ist." Bei alledem ist die Unterscheidung einer Art der Strömung von den anderen nicht immer leicht. „Häufig“, bemerkt Neumayer <sup>1)</sup>, „wird das, was nur Oberflächentrift ist, als Fortsetzung von Strömen grösserer Tiefe dargestellt — eine Täuschung, die insofern zu entschuldigen ist, als sich beide als Bewegung des Wassers in demselben Sinne an der Oberfläche zu erkennen geben und eine Scheidung beider Phänomene nach der Tiefe noch nicht möglich ist.“ Wiewohl aber die rationellen Beobachtungen der Meeresströme überhaupt erst jüngsten Datums sind, und die Mächtigkeit der Windtriften insbesondere noch so gut wie gar nicht direct gemessen wurde, kann man doch wiederum in vielen Fällen über den Charakter der Ströme nicht im Zweifel sein. So hat Mühry <sup>2)</sup> zur Evidenz nachgewiesen, dass die Kap-Horn-Strömung — und zwar deswegen, weil die Eisberge, die nachweislich tiefen Gang haben ( $\frac{1}{7}$  ihrer Höhe über den Meeresspiegel), keineswegs von diesem Strome fortgeführt werden — nichts anderes ist als eine Windtrift, erzeugt von den stürmischen Nordwest- und Südwest-Winden, und höchstens eine Mächtigkeit von 25–30' hat, also durchaus nicht, wie man bisher glaubte, eine Abzweigung der antarktischen Strömung ist. Denselben Ursprung hat die von Horsburgh und Beaufort zuerst nachgewiesene süd-atlantische Strömung, welche vor den beständigen Westwinden nach Osten läuft und die südöstliche, wärmere Agulhas-Strömung an der Fortsetzung ihres Laufes hindert. Während der Challenger in der Simons-Bai vor Anker lag, bedurfte einmal ein Nordwest-Sturm bloss einiger Stunden, um das warme Wasser eines Armes des Agulhas-Stromes hinauszutreiben und die Meerestemperatur sogar bis zu einer Tiefe von 9 Faden von 16°,67 bis 17°,73 C. auf 10°,56 C. sinken zu lassen <sup>3)</sup>. Ferner gehören hierher wahrscheinlich: die sog. Mentor's Gegenströmung zwischen Juan Fernandez und der Oster-Insel, und die Australische Trift, südöstlich von Tasmanien gegen den Südpol gerichtet <sup>4)</sup>. Am deutlichsten

<sup>1)</sup> „Anleitung zu wissenschaftl. Beob. auf Reisen“, Artikel: „Hydrographie und Oceanographie“, S. 634.

<sup>2)</sup> „Das System der Meeresströmungen an der Südspitze v. Amerika“ in Petermann's „Mittheilungen“ 1872, S. 126–138.

<sup>3)</sup> s. Petermann's „Mitth.“ 1874, S. 294 und 378.

<sup>4)</sup> s. Klöden „Handbuch der Erdkunde“ I, S. 640.

Czerny, Wirkungen der Winde.

treten diese Windtriften in den Monsunregionen zum Vorschein. Dort kann man auch niemals über ihren Ursprung im Unklaren sein, so auffallend ist ihre Abhängigkeit von der Windrichtung. Hierhin gehören nun die Strömungen im Chinesischen Meere, im Golf von Bengalen, die Malabarströmung, die Strömung im Persischen Golf, die ein halbes Jahr demselben zu-, ein anderes halbes Jahr aus demselben abfliesst, endlich die Strömung im Archipel der Carolinen-Inseln und die Rosselstrift zwischen den Neuen Hebriden und Neu-Caledonien einer- und der Torres-Strasse andererseits <sup>1)</sup>. Schliesslich mögen noch hier temporäre Windtriften erwähnt werden, die, wie im Kattegat bei starken Nordwestwinden die Wasser der Nordsee in die Ostsee <sup>2)</sup>, oder wie im Bosphorus bei den Westwinden die Wasser des Marmarameeres in das Schwarze Meer <sup>3)</sup> drängen, während sonst die Strömung in diesen beiden Meerengen im entgegengesetzten Sinne Statt findet.

Mit dieser Aufzählung ist die Anzahl der Windtriften noch keineswegs erschöpft; allein mehrere harren erst der näheren Untersuchung und Bestätigung, während andere noch gänzlich unbekannt sein mögen.

Fragen wir nun, welche Bedeutung diese so leicht verwischbaren Gebilde des Windes in der Geologie haben, so erkennen wir, dass sie durchaus nicht gering zu schätzen sind. Zunächst vermögen die Windtriften schon in Bezug auf die Temperatur einen Austausch zwischen den benachbarten Meeresbecken oder Meerestheilen zu bewirken. So wird z. B. der Oberflächentheil des Kuro-Siwo oder des Golfstromes, die sich als Ströme warmen Wassers charakterisiren, oft von den Westwinden gegen Osten hin getrieben, während die eigentlichen Ströme ihren nordöstlichen Cours fortsetzen <sup>4)</sup>. Ferner können die Windtriften die Eigenschaften des Wassers mit Rücksicht auf den Salzgehalt von einem Gebiete auf ein anderes mehr oder weniger übertragen. Diess offenbart sich deutlich da, wo Oceane mit den Mittelmeeren oder diese mit Meerbusen und einzelnen Theilen des Binnenmeeres durch Meerengen communiciren. Da diese Binnensee'n ihr Wassergehalt immer von Neuem von den Flüssen erhalten, so sind sie grösstentheils salzarm (wie die Ostsee, das Asow'sche, das Schwarze Meer) und haben die Strömung gegen den Ocean. Die Winde nun, die gegen die Richtung dieser Strömung wehen, wie im

<sup>1)</sup> Studer „Lehrb. d. physikal. Geogr.“ II, S. 402–404; Klöden „Handb. d. Erdkunde“ I, S. 640; Neumayer „Oceanographie und Hydrographie“ in d. „Anleitung &c.“, S. 637.

<sup>2)</sup> Mühry „Das System d. Meeresström. an der Südsp. von Amerika“ in Petermann's „Mitth.“ 1872, S. 137; und Dr. Löffler „Beiträge zur Hydrographie des Kattegat“ ibidem, S. 175.

<sup>3)</sup> Reclus „La Terre“ II, p. 103.

<sup>4)</sup> Neumayer a. a. O., S. 634.

Kattegat, in den Dardanellen, im Bosphorus, in der Meerenge von Jenikale &c., führen vom Ocean resp. vom Mittell. Meere an der Oberfläche salzreiches Wasser ein <sup>1)</sup>. Auf ähnliche Art sind offenbar die Windtriften im Stande, auch die feineren Alluvionen von einem Ort auf einen anderen hinüber zu tragen. Man hat diess namentlich im Lake Superior festgestellt. Der See, fast eben so gross wie England, 80—150 Faden tief, wird von mehr als 100 Flüssen gespeist, die ihm natürlicherweise auch entsprechend grosse Quantitäten von Alluvionen zuführen. Die zahlreichen Strömungen nun, die, von starken Winden erzeugt, den See in verschiedenen Richtungen durchkreuzen, bewirken, dass die feineren schwebenden Theile über grosse Strecken verbreitet werden <sup>2)</sup> und mithin, wie Bischof <sup>3)</sup> hinzusetzt, „sedimentäre Formationen von dem Umfange wie ganz England gebildet werden.“ Anderswo geschieht es wiederum, dass unter dem Einflusse der wechselnden Triftströmungen auch das angehäufte Material, insbesondere die Bänke, ihre Lage bald in einer, bald in anderer Richtung verschieben. So z. B. ist diese Erscheinung sehr deutlich — nach dem Bericht von J. D. Hague — an der Corallen-Insel Baker im Pacifischen Ocean unter 0° 15' N. Br. und 176° 22' W. L. v. Gr. zu beobachten. Im Sommer, wenn der Wind von Süd-Osten



weht, hat die Bank die Lage *a a a*; in den Wintermonaten, während des herrschenden Nordost-Windes, wird das Material um die Spitze der Insel herum transportirt und nimmt die Position *b b b* an. Der Weg, den die Bank auf diese Weise zwei Mal des Jahres durchmacht, beträgt 200 Fuss <sup>4)</sup>. Gleich wie die Lage einer Sandbank sind auch die Eisverhältnisse in Polar-meeren — neben anderen Umständen — zum grossen Theil von den Winden abhängig, wie diess alle Polarfahrer bestätigen. Die Winde und die von denselben erzeugten Windtriften bewirken, dass das Meer bald vom Treibeis frei, bald voll erscheint und auf diese Weise den Reisenden bald das Vordringen erleichtert, bald versperrt <sup>5)</sup>. Indem die Winde, nämlich die Äquatorialströme, in Folge der Erdrotation stets gegen Osten abgelenkt werden, beschreiben sie, in die Polarregionen angelangt, einen förmlichen Kreis, bilden also gleichsam — um mit den amerikanischen Meteorologen zu reden — einen Polarcyklon <sup>6)</sup>. Daher rührt auch augenscheinlich die nördlich von 75°

zwischen Grönland und Spitzbergen von der Deutschen Nordpolar-Expedition 1868 beobachtete Drehung des Windes von N. über W. und S. nach O. <sup>1)</sup>. Befindet sich nun gerade in der Mitte eines solchen Wirbels eine grössere Eisscholle, so wird sie offenbar, diesem Kreislauf der Winde folgend, sich auch in demselben Sinne drehen müssen. Diese Annahme wurde vollkommen durch die vom Viceadmiral B. v. Wüllerstorff-Urbair vorgenommene Analyse des Schiffscurses „Tegethoff“ 1872—74 bestätigt. Er sagt nämlich <sup>2)</sup>: „Betrachtet man die Vertheilung der Winde, wie sie durch die fast zweijährigen Beobachtungen Weyprecht's gegeben ist, so findet man, dass in dem südlichen Theile des befahrenen Meeres die Südwestwinde, im nördlichen Theile hingegen die nordöstlichen vorwiegend waren. Wenn es wirklich so wäre, dass gleichzeitig nördlich von 78° oder 79° N. Br. vorwiegend nordöstliche, im Süden hingegen vorwiegend südwestliche Winde herrschten, so müsste allerdings eine Drehung des Eises angenommen werden und zwar in verkehrter Richtung des Zeigers einer Uhr. Die allgemeine Ablenkungscurve des Schiffscurses würde dieser Annahme genügend entsprechen.“ Schliesslich sei noch erwähnt, dass die Windtriften — neben anderen Meeresströmungen — auch in der Pflanzen- und Thier-Migration eine nicht zu unterschätzende Rolle spielen mögen. So hat z. B. Forstrath Nördlinger nachgewiesen, dass das von Th. v. Heuglin gesammelte Treibholz in Nowaja Semlja einmal lediglich dem Norden angehört, dann gerade der Osttrift aus der Karischen See seine Wanderung nach Nowaja Semlja verdankt <sup>3)</sup>.

#### Windwellen.

So wie es neben der allgemeinen Cirkulation der oceanischen Wasser Windtriften giebt, so auch ausser den Gezeitenwellen Windwellen. Dieselben sind sogar eine allgemeinere Erscheinung als die Wellenbewegung, erzeugt durch die Fluth und die Ebbe, da sie ihre Herrschaft auch dort ausdehnen, wo die Anziehungskraft des Mondes und der Sonne auf das Wasserniveau sich nur sehr schwach oder so gut wie gar nicht kundgiebt. Verdanken aber die Windtriften ihre Entstehung mehr der in horizontaler Richtung geäusserten Windwirkung, so sind die Windwellen ein Erzeugniss der mehr im vertikalen Sinne wirkenden Winde. In Betreff ihrer Bildung und ihrer Form gelten wohl dieselben Regeln, die wir bereits bei der Dünenbildung besprochen haben, d. h. der Wind, der unter gewissem Winkel die Wasserfläche trifft, zwingt nicht bloss

<sup>1)</sup> Bischof „Lehrb. der chem. und physik. Geologie“ I, S. 310.

<sup>2)</sup> Lyell „Principles of geology“ I, p. 417—418.

<sup>3)</sup> Bischof III, S. 6—7.

<sup>4)</sup> Dana „Manual of geology“, p. 661 und Fig. 946.

<sup>5)</sup> Petermann's „Mitth.“ 1868, S. 339; 1873, S. 346; 1874, S. 71; 1875, S. 136.

<sup>6)</sup> cf. „Nature“ 1875, Vol. XIII, p. 13.

<sup>1)</sup> s. Petermann's „Ergänzungsheft“ No. 28, S. 40.

<sup>2)</sup> Petermann's „Mitth.“ 1875, S. 225.

<sup>3)</sup> s. Petermann's „Mitth.“ 1873, S. 189—190.

dieselbe an betreffender Stelle zum Ausweichen, sondern erleidet auch selbst in Folge der Reflexion von der dadurch erzeugten Rinne eine Ablenkung, wodurch jedesmal gleich im Rücken der von dem Winde getroffenen Stelle ein verhältnissmässig windstillere Raum entsteht, welchen nun das verdrängte Wasser unmittelbar ausfüllt. Offenbar wird da, wo das Wasser zum Ausweichen gezwungen war, eine Depression, ein Thal sich bilden müssen, während da, wo das verdrängte Wasser seine momentane Zufluchtsstätte findet, ein Wellenberg entsteht. Der Unterschied zwischen Sanddünen und Windwellen besteht lediglich darin, dass die Wellen stets gerade an der gegen den Wind gerichteten Seite steiler sind,



weil das Wasser, als ein flüssiger Körper, dem Winde viel leichter ausweicht als der Sand.

Ferner besteht dieser Unterschied zwischen einer Welle und einer Düne in der Zeit, die zu ihrer Bildung erforderlich ist, und in ihrer Dauer. Das Wasser, welches zur Bildung einer Welle verwendet wird, sucht natürlich sofort das frühere Niveau herzustellen und fällt wieder nieder. Da nun aber der Winddruck fort dauert und zugleich sich stets über ein grösseres Areal ausdehnt, so ist die natürliche Folge davon, dass fortwährend neue Massen im Aufsteigen und gleich darauf im Sinken begriffen sind und dass der Process dieser Neubildung der Wellen so lange dauert, bis das Wasser allmählich — immer aber erst einige Zeit nach dem Aufhören des Windes — zu seinem Gleichgewicht zurückkehrt. Bevor aber dieses Gleichgewicht hergestellt ist, kann der Seemann noch von einer „hohlen See“ oder „Dünnung“ sprechen. Die ganze auf diese Weise hervorgerufene Erscheinung heisst Wellenbewegung. Beobachtet man dieselbe einmal bei einem mässigen, ein anderes Mal bei einem starken Winde, oder aber bei einem und demselben Winde aber an zwei verschiedenen Meeren, von denen das eine seicht, das andere aber beträchtlich tiefer ist, so bewährt sich dabei immer die Regel, dass die Höhe der Wellen, d. h. der Abstand vom Wellenkamm bis zum tiefsten Punkt des Wellenthales stets im geraden Verhältnisse zur Tiefe und der Ausdehnung des Meeres, zur Stärke und Dauer des Windes, so wie zum Winkel, unter welchem die Windstösse erfolgen, steht. Von denselben Faktoren ist auch der Abstand zwischen zwei Wellenbergen, d. h. die Länge oder Amplitude der Wellen abhängig. Erfahrungsgemäss ist sie immer 10—20 Mal grösser als die Höhe der Wellen. Auf diese Weise kann die Länge der Wellen zwischen 30 und 300 ja 600 Meter variiren — und demgemäss spricht man von „kurzer“ oder „hoher See“ —, während ihre Höhe nach Scoresby selten mehr als 25—40 Fuss beträgt, manchmal aber doch 60 Fuss, wie es Fitzroy im südlichen Atlantischen Ocean, oder aber sogar 100 Fuss, wie es Dumont

d'Urville im südlichen Stillen Ocean beobachtet haben wollen, erreichen soll. Allein auch die Zeit, die zwischen der Bildung zweier unmittelbar auf einander folgenden Wellen verläuft, also die Geschwindigkeit des Fortschreitens der Wellen ist unter verschiedenen Umständen verschieden. Vor allem hängt sie von der Stärke des Windes ab. Bei höheren Wellen beträgt sie 20 bis 30 Fuss in der Sekunde, so dass sie — nach Berard und de Jessan — z. B. den Weg von der südlichen Küste Frankreichs nach denen von Algerien in 24 Stunden zurücklegen können. In einem 3000 Meter tiefen Meere und bei einer Amplitude von 300 Meter können die Wellen sogar — nach Airy — eine fortschreitende Geschwindigkeit von 21 Metern in der Sekunde erreichen. Horsbrough schätzt bei einem Passatwinde die Geschwindigkeit der Wellen auf 20 Engl. Meilen pro Stunde; Thomson's Berechnungen ergaben sogar 29½ Seemeilen per Stunde. Bei gewöhnlichen Stürmen an der Englischen Südküste beträgt dieselbe 12—19 Seemeilen in der Stunde bei einer Wellenhöhe von 12 Fuss<sup>1)</sup>. Endlich ist auch der Verlauf der Wellenbewegung nicht immer regelmässig; schlägt nämlich die Windrichtung rasch um, oder aber begegnet eine Windtrift der Gezeitenströmung, so wird die sonst regelmässige Wellenbewegung plötzlich gestört, es entsteht eine Aufwallung gleich der des kochenden Wassers, die Wellen laufen durch einander und durchkreuzen sich gegenseitig, und dann spricht man von der „verworrenen“ oder „Kreuzsee“<sup>2)</sup>. Bei einem Orkan, wo die Luftströme von allen Seiten gegen das Centrum desselben gerichtet sind, steigert sich diese Unregelmässigkeit der Wellenbewegung dermassen, dass sie aller Beschreibung spottet. Die Wellenmassen steigen aus dem Meere auf und stürzen wieder nieder, ohne dass man merken könnte, woher sie kommen, da „alle Wellensysteme, welche die aus entgegengesetzten Weltgegenden herstürmenden Winde des Orkans in seinem ganzen Gebiete aufgereggt haben, gerade in einem Punkte zusammentreffen, so dass dieser seinen Wellenschlag gleichzeitig aus allen Kompassstrichen erhält. Bedenkt man dabei noch, dass der ganze Sturmwirbel in jedem Augenblick seine Lage ändert und dadurch zu immer neuen Wellenrichtungen Veranlassung giebt, welche sich nach den Gesetzen der Interferenz vernichten oder verstärken, so wird man leicht einsehen, wie regellos und ungestüm die Bewegung des Meeres während eines Orkans ausfallen muss“<sup>3)</sup>. Selbstverständlich finden die nämlichen Erscheinungen — nur freilich in weit

<sup>1)</sup> cf. Reclus „La Terre“ II, p. 60—64; Reye „Wirbelstürme &c.“, S. 99—100; Hann, Hochstetter u. Pokorny „Allg. Erdkunde“, S. 193; Klöden „Handbuch der Erdkunde“ I, S. 614—616.

<sup>2)</sup> Neumayer „Hydrographie und Oceanographie“ in der „Anleitung zu wissenschaftl. Beobachtungen auf Reisen“, S. 629.

<sup>3)</sup> Mohn „Lehrbuch der Meteorologie“, S. 252.

geringerem Maassstabe — in den Landsee'n Statt und manchmal kann man sie sogar auf dem Spiegel der Flüsse verfolgen.

Wie grossartig an und für sich dieses ganze Phänomen der durch die Windwellen bewegten Wasserfläche ist, ist es nicht weniger bedeutungsvoll durch die von ihm geleistete mechanische Arbeit. Dieselbe manifestirt sich aber in doppelter Richtung: einerseits vertikal, gegen die Tiefe hin, andererseits horizontal, gegen die Seiten hin.

a) *Effekt der Windwellenbewegung gegen die Tiefe.* Hinsichtlich der mechanischen Arbeit der Windwellen in vertikaler Richtung fehlen zwar noch bis zur Stunde sichere Anhaltspunkte zur Feststellung einer bestimmten Grenze, bis zu welcher die an der Oberfläche erzeugte Wellenbewegung ihre Wirkung fortpflanzt. Immerhin ist die Tiefe, in der diese Wirkung, nach angestellten Beobachtungen, sich kundgiebt, eine ansehnliche zu nennen, während auch die Wirkung selbst in einer sogar beträchtlichen Tiefe als keine geringe sich erwiesen hat. Namentlich lässt sich diess constatiren, wenn man sich auf einem Schiff von einem wellenbewegten tiefen Meere einer Sandbank oder einem plötzlich aufsteigenden, unterseeischen Plateau nähert. Die Wellen verrathen nämlich gerade an der Stelle, wo sie den Rand dieses Plateau's oder dieser Sandbank, den sogen. „Brecher“ berühren, eine viel grössere Aufwallung — die sogen. „Wasserwände“ (barres d'eau), wobei sie manchmal, wie an der Küste von Madras 80 Fuss Höhe erreichen; passirt man aber jene Stelle, so weisen sie wiederum eine auffallend geringere Höhe als mitten im offenen Meere auf. So vermögen z. B., wie Kapitän W. W. Kiddle <sup>1)</sup> berichtet, sogar die schwächsten Schiffe einen „Norther“-Sturm im Golf von Mexiko leicht zu ertragen, wenn sie nur die Bank von Campeche erreicht haben, wo in einer Tiefe von über 50 Faden die Reibung bereits hinlänglich ist, um selbst die heftigsten Wellen beträchtlich abzuschwächen. Kiddle hat diess selber einmal erfahren können, als er, den stürmischen Golf verlassend, die Gewässer der Bank verhältnissmässig still gefunden hatte. Dieselbe Erscheinung beobachtet man westlich von Irland (15° west. L. v. Gr.) unter dem Parallelkreise v. Cap Clear, wiewohl dort die Tiefe beinahe 500 Faden beträgt. Eben so ist die „kurze See“ der Bank von Neufundland allen Seeleuten, die sie je befahren, bekannt <sup>2)</sup>. Fand also Aimé — auf der Rhede von Algier — das Meer noch in einer Tiefe von 40 Meter bewegt, oder berechnen Siau und E. de Beaumont, dass die Wellenbewegung sich noch bis zu einer Tiefe von 580 und 620 Fuss fortsetzt <sup>3)</sup>, so sind das keine übertrie-

<sup>1)</sup> „The effect of Waves“ in „Nature“ 1875, Vol. XIII, p. 108.

<sup>2)</sup> Ibidem.

<sup>3)</sup> Klöden „Handbuch der Erdkunde“ I, S. 616—617.

bene Zahlen. Cialdi nimmt an, dass im freien Meere bei heftigen Stürmen noch in einer Tiefe von 200 Meter der Schlamm aufgerührt wird <sup>1)</sup>. Wie gross aber die Reibung des in der Tiefe bewegten Meerwassers sein muss, kann man daraus ermessen, dass z. B. die Gewässer des Golfstromes zwischen Florida und den Bahama-Inseln während eines Nordsturmes sich auffallend reichlich mit Seekräutern bedecken, wiewohl das seichte Wasser erst in einer bedeutenden Entfernung von der betreffenden Stelle liegt und obendrein seine Lage gerade einen rechten Winkel mit der Richtung des Stromes und des Windes bildet. Augenscheinlich müssen also diese Pflanzen auf dem Meeresgrunde und zwar in unmittelbarer Nähe der Stelle, wo sie sich an der Oberfläche zeigen, wachsen und geradezu von der erodirenden Kraft der Wellen heraufgerissen werden. Auch versichern die Amerikanischen Seeleute, dass an der Untiefe der Insel Nantucket (zu Massachusetts gehörig) der Meeressand bei einem stärkeren Winde durch den Wellenschlag in beträchtlichen Mengen auf das Verdeck der Schiffe ausgeworfen wird, wiewohl die dortige Tiefe doch 12—14 Faden beträgt. Bedenkt man nun, dass ein Kubikfuss des gewöhnlichen Meeressandes circa 100 Pfund wiegt, so wird man wohl daraus schliessen müssen, dass die Aufwallung des Wassers am Meeresgrunde und die dadurch erzeugte mechanische Arbeit der Wellen keine geringe sind <sup>2)</sup>. Da dieselben aber stets der Stärke des Windes proportional sind, so wird es uns nicht Wunder nehmen, wenn wir hören, dass während des Orkans in den Antillen, 10. Oktober 1780, selbst die Korallendecke des Meeresbodens bei der Insel St. Lucia aufgerissen und Grathe von Korallenfelsen aufgeworfen wurden, der Hafen selbst aber 6 Fuss und darüber ausgetieft wurde <sup>3)</sup>. Offenbar sind derartige Erscheinungen keineswegs gleichgültig für den Verlauf der Bildung des Meeresbodens; die aufgerührten Absätze werden fortgeführt und wiederum an anderen Stellen abgelagert.

b) *Effekt der Wind-Wellenbewegung in horizontaler Richtung.*

a) *Aufstauung des Wassers.* Das Fortschreiten der Wassertheilchen bei der Wellenbewegung ist wohl zu unterscheiden von der Geschwindigkeit der Wellenbewegung selbst. Die Wellenbewegung an und für sich ist bloss eine auf- und absteigende Bewegung des Wassers, wobei die Wassertheilchen so gut wie gar nicht ihre ursprüngliche Stelle zu verändern brauchen. Es liegt aber gerade in der Natur

<sup>1)</sup> s. Pfaff „Allgemeine Geologie als exacte Wissenschaft“ (Leipzig 1873), S. 262.

<sup>2)</sup> W. W. Kiddle „The effect of Waves“ in d. „Nature“ Vol. XIII, p. 108.

<sup>3)</sup> Reye „Wirbelstürme &c.“, S. 102 und ff.

der Windwellen, dass dabei stets auch das Fortschreiten der Wassertheilchen in der Windrichtung und zwar je stärker der Wind, desto deutlicher zum Vorschein kommt. Mit anderen Worten, bei der Windwellenbewegung wird immer eine Art von Strömung erzeugt, nur freilich mit dem Unterschiede von der eigentlichen Windtrift (wie wohl auch diese nicht ganz frei von Wellen ist), dass die Wassertheilchen, gleichsam wie die Sandkörnchen über die Dünenkämme und Dünenthäler, in ihrer fortschreitenden Bewegung auch eine Serpentine beschreiben werden, entsprechend den äusseren Contouren der Wellen. Und so geschieht es, dass wenn der Wind längere Zeit andauert, an der Leeseite desselben eine grössere Anhäufung des Wassers wahrgenommen wird. Bei einem Sturm geschieht natürlich das Nämliche in verhältnissmässig kürzerer Zeit. In beiden Fällen aber trachten die Wassertheilchen auf dieselbe Weise dem Drucke des Windes auszuweichen und sammeln sich leewärts so lange an, bis die Kraft des Windes der Fallkraft des gehobenen Wassers das Gleichgewicht hält. Am deutlichsten offenbart sich dieser Vorgang an den Küsten bald durch ein merkliches Sinken des Meeresspiegels bei einem heftigen Landwind, bald durch eine verheerende Sturmfluth bei einem stürmischen Seewind. Ist also das Niveau der Oceane, worauf neulichst Hann <sup>1)</sup> aufmerksam macht, bedeutend durch die Attraction der Continente inficirt, so vermögen auch die Winde ihrerseits nicht unerheblich auf dieses Niveau störend zu wirken. Deswegen hören wir auch, dass z. B. bei dem Pampero, dem SW.-Winde in La-Plata, die Gewässer an der Küste um 4—6 Meter sinken und die Schiffe, die flott waren, auf den Untiefen sitzen bleiben <sup>2)</sup>; dass auf den Nord-Amerikanischen See'n, wo die Winde lange in einer Richtung anhalten, stets an der Leeseite eine grössere Anhäufung des Wassers zu sehen ist — im Oktober 1833 hat ein solcher Andrang des Wassers im Erie-See sogar den Durchbruch der Halbinsel Long Point bewirkt —; dass auch im Kanal La Manche — nach Smeaton und Rennel — manchmal selbst auf einer verhältnissmässig kleinen Strecke von 4—10 Engl. Meilen unter dem Einflusse des Windes eine Differenz bis zu 3 Fuss im Wasserniveau beobachtet wird <sup>3)</sup>. Auch der Umstand, dass der Spiegel des Baltischen Meeres keineswegs horizontale Lage besitzt, sondern von der Ostküste Holsteins bis Memel eine Steigung von 0,5 Meter aufweist <sup>4)</sup>, kann wohl auch in den vorherrschenden Nordwest- und Westwinden seinen Grund haben. Im Golf von La Plata, wo, wie es Fitzroy constatirt hatte,

die Fluthwellen und die Ebbewellen, aus zwei entgegengesetzten Weltgegenden kommend, sich neutralisiren, erzeugen dafür die täglichen Land- und Seewinde eine der Fluth und Ebbe analoge Erscheinung <sup>1)</sup>. An anderen Orten können wiederum die Winde den Effekt der Gezeiten bald schwächen, bald steigern. Besonders stark und gefährlich gestaltet sich natürlich die durch die Winde erzeugte Anschwellung des Meeres während eines Sturmes. So hat z. B. Petersburg schon zahlreiche Überschwemmungen in Folge der Sturmfluthen erlebt, die alle gerade von den NW., W. oder Südwest-Stürmen herrührten. Unter Anderem stieg die Newa im Jahre 1824, 7. November, bei einem Nordweststurme um 11 Fuss und 10 $\frac{1}{2}$  Zoll, während gleichzeitig der Ladoga-See in seinem südlichen Theil das entgegengesetzte Schauspiel darbot, da seine Wasser in Folge derselben Wirkung gegen NO. getrieben wurden. Bald hierauf (2. und 3. Februar 1825) ereignete sich eine sehr heftige Sturmfluth in der Nordsee, an den Küsten von Belgien und Holland, wobei die Städte Calais, Dünkirchen, Ostende, Vliessingen, Amsterdam &c. zum Theil überschwemmt wurden <sup>2)</sup>. Gesellt sich ähnliche Aufthürmung des Wassers einer Fluth bei, so wird die Überschwemmung und Verwüstung offenbar noch einen viel höheren Grad erreichen. Allein bei weitem grossartiger gestaltet sich die Sturmfluth während eines Orkans. Der niedrige Luftdruck in der Mitte des Orkans hat nämlich zur Folge, dass das Meer sich an dieser Stelle unter dem verminderten Druck erhebt, während gleichzeitig seine Wasser durch die von allen Seiten her heranstürzenden Luftströme eben nach diesem Punkte hin zusammengetrieben werden. Wird nun eine niedrige Küste von derartiger Sturmfluth erreicht, so gerathen weite Landstrecken plötzlich unter Wasser. So z. B. verursachte im Mai 1787 ein Orkan in Coringa, Ingeram und anderen Orten an der Coromandel-Küste eine so enorme Aufstauung des Wassers, dass das Meer beinahe 20 Meilen landeinwärts eingebrochen ist, wobei 10.000 Menschen und 100.000 Stück Vieh den Untergang fanden. Ähnliches erlebte diese Küste im Jahre 1832 <sup>3)</sup>. Die flachen Niederungen der Gangesmündungen sind ebenfalls aus demselben Grunde häufigen Verheerungen ausgesetzt. So kamen dort z. B. bei der Überschwemmung 1822 im Juni 50.000 Menschen um's Leben und am 21. Oktober 1833 wurden 300 Dörfer mit 10.000 Einwohnern weggeschwemmt, wobei das Wasser 12 Fuss höher stieg, als bei der gewöhnlichen

<sup>1)</sup> s. „Mitth. d. geogr. Gesellschaft in Wien“ 1875, S. 554 u. ff.

<sup>2)</sup> Reclus „La Terre“ II, p. 267.

<sup>3)</sup> Lyell „Principles of geology“ I, p. 492—493.

<sup>4)</sup> s. Petermann's „Mitth.“ 1875, S. 229—230.

<sup>1)</sup> Reclus „La Terre“ II, p. 130—131.

<sup>2)</sup> H. W. Brandes „Über die Sturmfluthen des Winters 1824—25 in Petersburg und an den Ufern der Nordsee“ in den „Unterhaltungen für Freunde der Physik und Astronomie“ I. Theil (Leipzig 1829), S. 167 und ff.

<sup>3)</sup> Lyell „Principles of geology“ II, p. 519.

Fluth. Auch während des Orkans in Westindien, August 1831, stieg die See bei St. Vincent um 12 Fuss <sup>1)</sup> &c.

Von besonderem Interesse ist die gegen die Mündung eines Flusses gerichtete Aufstauung des Wassers. Durch dieselbe kann nämlich einerseits auch eine Überschwemmung der Umgegend herbeigeführt werden, indem die Wasser des Flusses in ihrem Ausfluss gehemmt werden, wie diess z. B. sehr charakteristisch jedesmal beim Südwest-Monsun an dem Flusse Pasig bei Manila (Luzon) zum Vorschein tritt <sup>2)</sup>; andererseits wird dadurch der Strom geradezu gezwungen, seine schwereren Alluvionen früher abzusetzen, wie diess wiederum beispielweise im Delta der Wolga der Fall ist, deren nördliche Arme in Folge der südlichen und südöstlichen Winde bedeutend mehr versandet sind, als die südlichen <sup>3)</sup>. Der letztere Umstand giebt wiederum häufig die Veranlassung zur Bildung der sogen. Limans, wie wir sie z. B. an den Mündungen des Dnieper und Dniestr beobachten können.

*β) Transportfähigkeit der Windwellen.* Vermag der Wind auf die besprochene Weise die Wässer von einer Gegend nach der anderen zu transportiren, so ist ferner auch die Transportfähigkeit der Windwellen in Bezug auf die Alluvionen, ja sogar grösseren Gesteinsfragmente keine geringe. Zwar ist die forttriebende Kraft der einzelnen Wogen nur unbedeutend zu nennen, allein durch die Beständigkeit ihres Wirkens werden dennoch grosse Resultate ermöglicht. Wenn also Stevenson berichtet, dass ein Gneissblock von 504 Kubikfuss (etwa 43 Tonnen schwer) in Barra-Head (Hebriden) während eines Sturmes von den Windwellen beinahe um 5 Fuss vorwärts geschoben wurde <sup>4)</sup>, oder lesen wir bei Lyell <sup>5)</sup>, dass während des Sturmes 1824 bei Plymouth Steinblöcke von 2, 5, ja 7 Tonnen Gewicht über 100 Fuss weit davongetragen wurden, und dass dasselbe nach dem Zeugnisse Dr. Hibbert's während jedes Sturmes auf der Insel Stenness (einer der Shetland-Inseln) zu beobachten ist, so kann man daraus ermessen, um wie viel leichter ein minder schweres Material, wie Gerölle, Sand, Lehm, organische Reste von den Windwellen fortgerissen und anderswo abgelagert werden. Daher kommt es, dass vor allem die aus Sand und Kies bestehenden Bänke, wie diejenigen an dem südlichen Gestade der Nordsee oder noch mehr diejenigen an der Ostküste Englands ihre Lage, je nachdem die Stürme von SW. oder NW. kommen, verändern; daher der Name „fliegende Bänke“. So wurde z. B. während eines einzigen Sturmes im November 1824 eine aus Kies

und Konglomeraten bestehende Bank am Eingange des Kanals Solent (zwischen der Südküste von England und der Insel Wight) um 40 Yards nordöstlich fortgeschoben, und während des Südweststurmes vom 23. November 1852 wurde an die Bank Chesil, welche die Insel Bill of Portland mit der Südküste Englands verbindet, eine Menge von Schutt und Kies angeschwemmt, die auf nicht weniger als 3½ Millionen Tonnen Gewicht geschätzt wurde <sup>1)</sup>. Was aber derartige plötzliche Anschwemmung nach sich ziehen kann, beweist das denkwürdige Ereigniss, welches gegen Ende des 14. Jahrhunderts Statt gefunden, an der alten Mündung des Adour bei Cap Breton. Die Mündung wurde nämlich in Folge eines Sturmes durch die querüber abgelagerten Sandbänke verstopft und der Fluss in Folge dessen gezwungen, noch nördlicher bei dem Dorfe Vieux Boucau zu münden, bis erst 1578 der Ingenieur Louis de Foix dem Flusse die heutige Bahn durch die Dünen brach <sup>2)</sup>. Interessant ist auch die Wanderung des Cap Ferreh gegenüber Arcachon. Zwischen dem Jahre 1768 und 1826 machte dasselbe in Folge der vorwiegenden NW.-Winde einen Weg von 5 Kilometer gegen Südosten, also 86 Meter im Jahre; von dieser Zeit an zog es sich zwar gegen Norden zurück, aber seit 1860 ist es wiederum in seiner Wanderung gegen Süden begriffen <sup>3)</sup>. Wo die Sturmfluth eine Überschwemmung verursacht, da wird stets die Gegend zugleich mit Kies, Sand und Schlamm bedeckt — als deutlicher Beweis, dass diese Sedimente von den Wellen fortgerissen und ausgeworfen werden.

*γ) Brandung, Landzuwachs und Zertrümmerung der Küsten.* Wie sehr auch die Sedimente durch die Wellenbewegung in ihrer Ablagerung gestört und verschoben werden mögen, immerhin bleibt es sicher, dass die Wellenbewegung, indem sie stets gegen die Küsten der Continente gerichtet ist <sup>4)</sup>, geradezu die Alluvionen hindert, in die Tiefen des offenen Meeres zu gerathen und dass dieselben somit immer schliesslich den Küsten zu Gute kommen. Am deutlichsten tritt dieser Vorgang an den flachen Küsten zum Vorschein, da der Wellenschlag oder die Brandung sich an solchen Küsten gerade am geeignetsten zur beständigen Zufuhr des Erdreiches gestaltet. Indem nämlich die Wellen einer flachen und seichten Küste entgegenschreiten, verzögern sie einerseits in Folge der Reibung am Meeresboden ihre Bewegung, woraus ein Übereinanderstürzen der Wellenköpfe erzeugt wird, andererseits verlieren sie systematisch an ihrer ursprünglichen Tiefe, um dafür und gleichzeitig in demselben Maasse an Breite zu gewinnen. Dadurch sind

<sup>1)</sup> Reye „Wirbelstürme &c.“, S. 100 und ff.

<sup>2)</sup> s. „The Nature“ Vol. XIII, p. 107.

<sup>3)</sup> Dr. Bergsträsser „Die Salzsee'n des Gouvernements Astrachan und der Wolga-Mündungen“ in Petermann's „Mitth.“ 1858, S. 102.

<sup>4)</sup> Dana „Manual of geology“, p. 658.

<sup>5)</sup> „Principles of geology“ I, p. 540 und 508.

<sup>1)</sup> „Principles of geology“ I, p. 536 und 539.

<sup>2)</sup> Reclus „La Terre“ I, p. 452—453.

<sup>3)</sup> Reclus „La Terre“ II, p. 213—214, wobei das Kärtchen.

<sup>4)</sup> cf. Credner „Elemente der Geologie“, S. 230.

sie aber geradezu in den Stand gesetzt, weit landeinwärts vorzudringen und in der Folge die Alluvionen, die sie mitführen, auf den Ufern abzusetzen. Bereits bei der Besprechung der Dünenbildung haben wir dieses Umstandes erwähnt und gesehen, dass neben den Fluthwellen gerade die Windwellen es sind, die den flachen Küsten fortwährend jene enorme Sandmassen zuführen und auf diese Weise die Dünenbildung ermöglichen. So wie der Sand können aber selbstverständlich eben so gut Gerölle, Muscheln, Treibholz &c. auf den Strand ausgeworfen werden. Die dadurch entstehenden Bildungen heissen „litorale Bildungen“. Allein nicht bloss dadurch erfahren die Continente einen beständigen Landzuwachs. Da nämlich die Wellen dem Strande stets neue Quantitäten von Wasser zuführen, sucht jedesmal das Wasser der vorangehenden Wellen abzufließen, woraus eine untere Rückwärtsströmung entsteht<sup>1)</sup>, die sich des Schlammes und Sandes bemächtigt und dieselben weiter in's Meer führt, bald aber, gehemmt in ihrer fortschreitenden Bewegung durch die entgegenwirkende Wellenbewegung, gezwungen ist, die genannten Alluvionen gerade an der Stelle, wo sich diese beiden Bewegungen des Wassers etwa die Wage halten, wiederum abzusetzen. So werden namentlich in gewisser Entfernung von der Küste die Untiefen und die Sandbänke gebildet (subpelagische Bildungen), die wiederum unter günstigen Umständen, z. B. ungefährdet von den Meeresströmungen, mit der Zeit so weit an Höhe gewinnen können, dass sie schliesslich als eine Landzunge oder Nehrung über der Wasserfläche zu Tage treten. Der letztere Fall zieht in der Regel die Abschliessung manchmal sogar bedeutender Meerestheile nach sich und in der Folge die Bildung einer Reihe von Lagunen oder Strandsee'n. Zwar sind die Nehrungen an der Ostseeküste, zusammengesetzt aus Diluvialschichten, wohl eher „als Überreste von losgetrennten Theilen des angrenzenden Festlandes“ in Folge der nachgewiesenen Senkung dieser Küste anzusehen<sup>2)</sup>; desto unzweifelhafter subpelagisch aber ist ihr Ursprung an der südlichen Küste von Frankreich, wo sie in einer Ausdehnung von 200 Kilometer von den Pyrenäen an bis zur Rhönemündung eine Reihe von Lagunen und Strandsee'n umschliessen<sup>3)</sup>, oder an der Ostküste von Corsica und der West- und Südküste von Sardinien, wo die durch den Wellenschlag angehäuften Sandmassen den Ausfluss der Flüsse und Bäche hemmen und zur Bildung von Etangs Veranlassung geben<sup>4)</sup>, oder an der Küste von Nord-Caro-

lina, besonders aber an derjenigen von Texas, wo diese Nehrungen eine Länge von 4000 Kilometer erreichen<sup>1)</sup>, oder endlich im Norden des Donau-Delta's, wo die aus den Alluvionen der Donau aufgebauten Landzungen schon seit jeher zur Bildung von Strandsee'n beitragen<sup>2)</sup>. Unter gewissen Umständen, wenn namentlich der Wind einer Meeresströmung entgegenweht, können solche Landzungen auch in den Meerengen gebildet werden. So ist es z. B. zwischen Provence und einer der Hyërischen Inseln Dank dem Mistral, der der östlichen Küstenströmung des Mittelländischen Meeres entgegenweht, zur Bildung eines unterseeischen Isthmus gekommen<sup>3)</sup>. Häufiger finden analoge Bildungen an den Mündungen der Flüsse Statt, wo die Windwellenbewegung geradezu der Flusströmung entgegenwirkt und somit die Alluvionen der Flüsse an der Stelle, wo sich die beiden Strömungen neutralisiren, zur Ablagerung zwingt. Die betreffenden Bildungen heissen auch aus diesem Grunde zum Unterschied von den obigen fluviomarine Bildungen. Hierher gehören vor allem die Uferwälle und Sandbarren, gewöhnlich quer vor den Mündungen der Flüsse aufgerichtet, wie z. B. diejenigen vor der Mündung der Rhône, wodurch die von dem Meere abgeschnittenen Meerestheile zunächst in brackische Lagunen und dann allmählich in festes Land umgewandelt werden. Diese Sandbarren charakterisiren sich stets durch ihre eigenthümliche Schichtung, die einmal sehr unregelmässig ist, entsprechend der jedesmaligen Stärke und Richtung des Windes, dann wechselweise aus Flussalluvionen und Meermuschelschichten besteht<sup>4)</sup>, wobei die Konglomerate, der Sand und Schlamm ganz regellos neben und aufeinander zu liegen kommen. Die Deltabildungen werden unmittelbar durch derartige Sandbarren und Uferwälle bedingt<sup>5)</sup>, indem die quer vor den Flussmündungen aufgerichteten Uferwälle geradezu die Flussalluvionen zwingen, sich im Bereich des abgeschlossenen Meerestheiles abzusetzen. So entstand das Rhône-Delta, so verdankt auch das Nil-Delta, wo die NW.-Winde durch 9 Monate im Jahre vorherrschen, den Sandbarren, also den Windwellen seinen Ursprung. Eben so ist an der Bildung des Mississippi-Delta die Wirkung des SO.-Monsuns zu erkennen<sup>6)</sup>. Auf ähnliche Weise dürfen die Nord-West- und Westwinde die Bildung des Rhein-Delta, die südlichen und südöstlichen Winde die Ramifikation der Wolga, der Süd-West-Monsun diejenige des Ganges, die Südwestwinde im Golf von Guinea, die Bildung des Ogowe-Delta &c. beeinflusst haben.

<sup>1)</sup> cf. Dana „Manual of geology“, p. 655.

<sup>2)</sup> Richthofen „Geologie“ in Neumayer's „Anleitung zu wissenschaftl. Beobachtungen auf Reisen“, S. 297; Dr. G. Berendt „Geologie des Kurischen Haffs“ im Jahrbuch für Geologie, Paläontologie und Mineralogie“ 1870, S. 369—370.

<sup>3)</sup> Reclus „La Terre II, p. 206.

<sup>4)</sup> Reclus „Nouvelle geogr. universelle“ I. Bd., p. 585 und 634; H. A. Charpentier „La Corse“ im „Explorateur“ 1875, No. 24.

<sup>1)</sup> Reclus „La Terre“ II, p. 209.

<sup>2)</sup> Peschel „Entwicklungsgeschichte der stehenden Wasser“ im „Ausland“ 1875, S. 206.

<sup>3)</sup> Reclus „La Terre“ II, p. 203—204.

<sup>4)</sup> Lyell „Principles of geology“ I, p. 425.

<sup>5)</sup> Credner „Elemente der Geologie“, S. 224.

<sup>6)</sup> Reclus „La Terre“ II, p. 268.

Allein nicht lediglich landaufbauend ist die Wirkung der Windwellen. Eben so mächtig manifestirt sie sich in entgegengesetztem, zerstörendem Sinne. Selbst die flachen Küsten mit ihren Dämmen und Uferwällen machen davon in zahlreichen Fällen keine Ausnahme. Um so erfolgreicher und beständiger werden aber die steilen Küsten von dem durch den Wind bewegten Meere angegriffen. Hier nimmt auch die Brandung einen anderen, besonders dazu geeigneten Verlauf. Die Wellen, ohne auf dem Meeresgrund, ähnlich wie an den flachen Küsten, der Reibung und demnach der Verzögerung ihrer Bewegung ausgesetzt zu werden, erreichen die Küste mit ihrer vollen Höhe und Geschwindigkeit; gehemmt aber in ihrer Ausdehnung nach der Breite, gewinnen sie dafür in demselben Maasse an der Höhe, die noch obendrein von den gleich nachrückenden Wellen nicht unerheblich gesteigert wird. In engen und steilen Buchten, wo also die Wellen ausserdem an den Seiten gleichsam zusammengepresst werden, oder im offenen Meere, wenn die Wellen einem isolirten Felsen begegnen, erreichen sie auch verhältnissmässig die grösste Höhe, und demgemäss ist dort auch die Brandung am heftigsten. Die Stärke der Brandung, d. h. der Druck, der durch die Wellenschläge auf die Küstenfläche ausgeübt wird, ist enorm und kein Schiff vermag einer starken Brandung zu widerstehen. So berechnete Stevenson, dass z. B. der Druck, den der Leuchthurm von Bell-Rock von der Brandung erleidet, 17 Tonnen auf 1 Q.-Meter beträgt; für den Leuchthurm auf dem Skerryvore-Felsen ergiebt sich der stärkste Druck sogar zu  $30\frac{1}{2}$  Tonnen pro Q.-Meter. Von dem Damm bei Biarritz, erzählt Palaà, wurden Felsblöcke von 34 Tonnen Gewicht 10—12 Meter weit weggeworfen und schon früher haben wir des Felsblockes von Barra-Head Erwähnung gethan, der, wiewohl 43 Tonnen schwer, beinahe um 5 Fuss deplacirt wurde<sup>1)</sup>. Selbstverständlich kann die Folge dieser gewaltigen Stärke der Wellen keine andere sein, als eine fortwährende Erosion und Zertrümmerung der Küsten. Freilich nicht überall gestaltet sich dieser zerstörende Einfluss der Brandung auf gleiche Weise. Vieles hängt dabei ab von dem geologischen Bau und den Gesteinsarten, aus welchen die Küsten bestehen, und wiederum von der Grösse des an denselben brandenden Meeres. „Die Zerstörung der Küsten“, sagt Bischof<sup>2)</sup>, „die eine gleiche Härte besitzen, steht fast immer in einem Verhältnisse zur Ausdehnung des Meeres, an dem sie liegen“; ferner ist sie direkt von der Härte der Gesteine abhängig; „die mürberen Schichten weichen dem Andringen der Brandung, während die härteren ihren Platz für längere Zeit behaupten“. Da die untere Rückwärtsströmung stets die

kleineren Gesteinsfragmente, Gerölle und Sand mit sich weiter in's Meer fortreisst und sie, ihrem specifischen Gewicht entsprechend, der Reihe nach absetzt, so bilden sich oft aus den am Fusse der Felsen liegen gebliebenen Felsblöcken die Dämme, die wiederum stark genug sind, die Küste einige Zeit lang gegen das Andringen der Wogen zu schützen. Endlich hängt, wenn die Küste aus homogenen Schichten gebildet ist, viel von ihrer Neigung gegen die Brandung ab; wo der Neigungswinkel gegen das Meer gering ist, da ist auch die Zerstörung verhältnissmässig gering. Allein wie mannigfaltig auch die Küsten gegen die Wirkungen der Brandung ausgerüstet sind, so vermag dennoch nichts, sie für die Länge vor dem ruhelos vor sich gehenden Zerstörungs-Prozesse und somit vor der beständigen Umgestaltung ihrer Umrisse erfolgreich zu schützen. Die Wellen branden, um mit Dana<sup>1)</sup> zu sprechen, an den Küsten mit der Heftigkeit gleichsam eines Kataraktes, von dem man sich alle Continente und oceanische Inseln umgürtet zu denken hat. In stürmischen Meeren erreichen sie wohl die Stärke eines Niagara-Falles, aber mit viel grösserer Wirkung, denn der Niagara stürzt hinunter in einen wässrigen Abgrund, während die Küsten für jeden Wellenstoss blossgestellt daliegen. Es ist daher nicht zu verwundern, dass selbst die härtesten felsigen Uferländer mit der Zeit durch die brandenden Wellen unterwaschen und abgetragen werden, dass die vorspringenden Felsecken zu Nadeln, Zacken und Zähnen abgenagt, dass ganze Felswände in Klippen, Felsäulen, Obelisksen, Felsthore und Höhlen verwandelt, dass aus Vorgebirgen Landzungen, aus Landzungen Inseln werden, dass auch diese nach und nach in einzelne Fels-trümmer sich auflösen, die wiederum zu Geröllen abgeschliffen und zu Schotter, Sand und Schlamm zerrieben werden<sup>2)</sup>, dass endlich die festesten Dämme und ganze Dünenreihen durchbrochen werden und den stürmischen, verheerenden Meereswogen auf diese Weise oft der Weg tief landeinwärts geöffnet wird.

Lyell hat durch eine Menge von Beispielen diese zerstörende Wirkung der Wellen zur Genüge illustriert, insbesondere aber gezeigt, wie rapiden Schrittes die Zertrümmerung der Shetlands- und Orkney-Inseln, der Ostküste von Schottland, der Küste von Yorkshire, Norfolk, Suffolk, Essex, Kent &c. vor sich geht. An der Küste von Yorkshire allein, zwischen Bridlington und Spurn Pt., wo nach den Berechnungen Prof. Phillip's der jährliche Verlust an Land circa 30 Acres beträgt, ist das Meer seit der Eroberung von York durch die Römer bereits 2 Meilen landeinwärts vorgerückt. An der Stelle der ehemaligen Dörfer und Städte sind gegenwärtig nur noch die Sandbänke zu

<sup>1)</sup> Dana, p. 654; Reclus II, p. 67—69; Klöden I, S. 618.

<sup>2)</sup> „Chemische und physikalische Geologie“ I, S. 487—488.

<sup>1)</sup> „Manual of geology“, p. 656.

<sup>2)</sup> Hann, Hochstetter und Pokorny „Allgem. Erdkunde“, S. 194.



finden. Bei Sherringham in Norfolk wurde in einem einzigen Jahre 1824 ein 17 Yards breites Landstück weggeschwemmt, so dass heutzutage, an der Stelle, wo noch vor etwa 50 Jahren eine 50 Fuss hohe Klippe stand, eine Tiefe von 20 Fuss gefunden wurde <sup>1)</sup>. In Jütland haben die stürmischen Wogen schon 4 Mal in historischen Zeiten die Sanddünen und Sandbarren durchbrochen, die den Lymfjord von dem Meere trennen; die letzte Irruption fand 1824 Statt. Die Inseln Nordstrand, Sylt und Föhr waren noch am Anfange des XIII. Jahrhunderts mit einander und mit dem Festlande verbunden und bildeten die Halbinsel „Nord-Friesland“, 9—11 geographische Meilen von Nord gegen Süden und 6—8 Meilen von Ost gegen Westen sich erstreckend. Erst 1240 wurde diese Halbinsel vom Continent abgerissen, und 1634 zerfiel sie unter heftigem Andrang des Meeres in 3 kleine Inseln <sup>2)</sup>. Eben so weist die Insel Helgoland eine rapide Zusammenschumpfung auf; heutzutage bloss 0,55 Q.-Kilometer gross, soll sie noch zu Zeiten Adam's von Bremen ein Areal von 900 (?) Q.-Kilometer besessen haben <sup>3)</sup>. Ferner verdankt ja der Jahdebusen dem Sturm im Jahre 1218 seinen Ursprung; in Folge der Stürme 1277, 1278, 1281—1287 ist auch der Dollart entstanden, und indem 1282 am 26. November der Seesturm die Landzunge zwischen Nordholland und Friesland durchbrochen hat ist es zur Bildung des heutigen Zuider-See's gekommen <sup>4)</sup>. Neben der säcularen Senkung, wie diejenige der Nordküste von Deutschland <sup>5)</sup>, mögen wohl unstreitig auch die Gezeiten in diesem Zerstörungsprozess keine unbeträchtliche Rolle mitgespielt haben; dennoch, bemerkt A. C. Godwin-Austen, finden ja gerade die mächtigsten Unterwaschungen der Küsten dann Statt, wenn mit der Fluth zugleich auch die starken Winde zusammentreffen und mitwirken <sup>6)</sup>. Begeben wir uns übrigens in ein Meer, wo die Gezeiten so gut wie gar nicht wahrnehmbar sind, so finden wir auch dort die zerstörende Wirkung der Brandung keineswegs geringer, als an den oceanischen Küsten. So schreibt Dan. Gottl. Thebasius bereits in der Mitte des vorigen Jahrhunderts: „Die Ostsee greift fortwährend die Rügen'schen und Vorpommerischen Küsten an . . . die Felder und Trümmer der im IX. Jahrhundert untergegangenen Stadt Wineta auf Usedom, der Peene-Mündung gegenüber, liegen jetzt über 1/2 Meile weit in der See. Die Insel Usedom bestand vordem aus 3 Provinzen, wovon die westliche, Wantzlowe,

gar nicht mehr vorhanden ist . . . Auch die Insel Wollin hat an der West- und Nordseite viel gelitten; das Gebiet der ehemals grossen Handelsstadt Julin ist nicht mehr ganz vorhanden; die 300 Bürger zählende Handelsstadt Regamünde hat bereits im 14. Jahrhundert während eines Sturmes ihren Untergang gefunden . . . Nirgends an der ganzen Pommer'schen Küste zeigt sich ein Zuwachs" <sup>1)</sup>. Nicht ohne Grund, wie wir sehen, benennen denn auch noch jetzt die Bewohner der Pommer'schen Küste die heftigen Sturmfluthen der Ostsee „Seebären" <sup>2)</sup>. Nicht Besseres berichtet H. Berg-haus in Bezug auf die Ostsee-Küste von der Weichselmündung bis zur Grenze von Pommern. „Die Ostsee dringt noch fortwährend in's Land ein. Beim Dorfe Oxhöfft wurde 1810—1812 eine Schanze angelegt, die jetzt durch Unterspülung des Ufers nur noch zur Hälfte übrig ist, während die Gemeinde 30 Morgen Land verloren hat; am steilen Strande von Oxhöfft bis Mechlinken, an jenem von Hochredlau und Steinberg sieht man bei jedem Sturme unterwaschene Erdmassen herabstürzen. Im Meerbusen von Putzig ist allmählich ein Theil der alten Festungswerke und das Seethor fortgespült, ein alter nach dem gegenüberliegenden Schwarzau führender Damm schon seit Menschengedenken verschwunden und auch der seit 100 Jahren angelegte neue Damm wieder gefährdet, da bei jedem Sturme Theile des vorliegenden Grundes weggespült werden. Die nach alten Karten einst breite Halbinsel Hela ist jetzt schmal und die Stelle der alten Stadt dieses Namens von Wasser bedeckt. Ja, ganze Dünen verschwinden bei jedem Sturme . . ." <sup>3)</sup>.

Gewiss liesse sich die Zahl ähnlicher Beispiele aus anderen Meeren und Welttheilen noch bedeutend vermehren. Allein die angeführten reichen schon hin, um die furchtbare Gewalt der Brandung ermessen zu können. Wird demnach von Marchal das alljährlich an den Küsten Nord-Frankreichs abgenagte und durch die Kanalströmung fortgeschaffte Material auf 10 Millionen Kubikmeter geschätzt <sup>4)</sup>, so ist das ohne Zweifel, wie gross auch der Betrag an sich erscheint, eine verschwindend kleine Grösse im Vergleich zur totalen Gesteinsmasse, deren Verlust auf ähnliche Weise die gesammten übrigen, der zerstörenden Brandung ausgesetzten Küsten bloss in der Spanne eines Jahres erleiden. Aber die Natur hat dafür gesorgt, dass dieser Verlust keineswegs gleichbedeutend mit dem allmählichen Verschlingen der Continente durch die brandenden Meere werde. Derselbe Unheilstifter — der Wind — ist ja gleich-

<sup>1)</sup> „Principles of geology" I, p. 507 und ff.

<sup>2)</sup> Lyell „Principles of geology" I, p. 560—561.

<sup>3)</sup> Reclus „La Terre" II, p. 188—190.

<sup>4)</sup> A. Balbi „Chronologische Übersicht der wichtigsten Veränderungen der Seeküste vom 8. Jahrhundert bis auf unsere Tage" im „Jahrbuch für Geologie, Paläontologie und Mineralogie" 1832, S. 437—439.

<sup>5)</sup> cf. Peschel „Probleme der vergl. Erdkunde", S. 101—104.

<sup>6)</sup> Lyell „Principles of geology" I, p. 537.

<sup>1)</sup> s. „Jahrbuch für Geologie, Paläontologie u. Mineralogie" 1839, S. 359—361.

<sup>2)</sup> „Globus" XXII, 1872, S. 214—217.

<sup>3)</sup> „Jahrbuch für Geologie, Paläontologie und Mineralogie" 1839, S. 109—110.

<sup>4)</sup> Reclus „La Terre" II, p. 175.

zeitig, wie wir uns früher überzeugt haben, eine landaufbauende Macht ersten Ranges. Die Bruchstücke, die Trümmer einer Küste sind für ihn an einer anderen Stelle gerade das Material zur Konstruktion neuer Uferlinien auf Kosten der Meere; Dank dem Winde baut das Meer vielleicht schon morgen einen Damm gegen sich selber, wo es heute noch im siegreichen Fortschreiten gegen das Land begriffen war. In der That, die launische Windwelle ist es, die nimmt, um wiederum zu geben, die zerstört und fortschafft, um dafür anderswo ganze Areale aus den ozeanischen Tiefen zu heben und trocken zu legen; sie ist

es, die gegenüber dem Bestehenden das Princip der fortwährenden Umwandlung unablässig bethätigt und die Contouren der Festländer gleichsam nach ihrem eigenen Sinn umzugestalten trachtet. Wahrlich, verdanken die Winde ihre mannigfachen Störungen in ihrer Vertheilung und Richtung der horizontalen Gliederung der Continente, so muss man wohl mit Reclus <sup>1)</sup> auch das Entgegengesetzte zugeben: „Die Bewegungen der Atmosphäre sind es, durch welche man die äussere Gestalt der Continente zu erläutern hat.“

<sup>1)</sup> II, p. 166: C'est par les mouvements de l'atmosphère, qu'il faut expliquer la forme des continents“.

### III. Theil. Mittelbare, mechanische und klimatische Wirkungen der Winde.

Nachdem wir auf diese Weise die unmittelbaren Wirkungen der Winde einmal in klimatisch-meteorologischer, dann in mechanischer Beziehung betrachtet haben, bleibt uns noch zu erörtern übrig, in wie weit die Winde in dieser doppelten Beziehung auch mittelbar ihre Wirkung auf gewisse geologische Erscheinungen bethätigen.

Die mechanischen Wirkungen der Winde bestehen nicht nur darin, dass die Winde als bewegte Luftmassen die Bewegung dem Wasser und manchen festen Körpern mitzutheilen vermögen. Wir haben bereits im I. Theile dieser Schrift betont, dass die Winde — und sie lassen sich bekanntlich auf zwei Hauptluftströme, Polar- und Äquatorialströme, reduciren — je nachdem sie von Norden oder von Süden kommen, unmittelbar auch den Luftdruck beeinflussen und bestimmen. Durch die Polarströme, als kalte, trockene und schwere Luftmassen, wird der Luftdruck stets erhöht; durch die feuchten, warmen und leichteren Äquatorialströme jedesmal erniedrigt. Dadurch sind manche wichtige geologische Erscheinungen bedingt.

#### Luftdruck und das Wasserniveau.

Vor Allem ist es das Niveau einer Wasserfläche, welches dem jedesmaligen Wechsel des Luftdruckes Rechnung trägt. Entspricht nämlich, wie bekannt, eine Quecksilbersäule von 28 Zoll Höhe einer Wassersäule von 32 Fuss oder 384 Zoll Höhe, so entspricht auch ein Unterschied im Barometerstande von 1 Zoll einer Depression oder einer Hebung der Wassersäule um etwa 13,9 Zoll. Die Folge davon ist aber keine andere, als dass der Äquatorialstrom an gewisser Stelle einer grösseren Wasserfläche, wie diejenige der Meere, eine merkliche Anschwellung, der Polarstrom ein Sinken der Wasserfläche nach sich ziehen, während gleichzeitig an einer anderen Stelle, wo gerade entgegengesetzte Windverhältnisse herrschen, dem entsprechend auch das Wasserniveau bald ein Fallen, bald ein Steigen

aufweist. Die Winde brauchen also nicht lediglich durch den Transport der Wassertheilchen leewärts eine Aufstauung und windwärts eine Depression des Wasserniveaus zu bewirken; indirekt rufen sie dieselben Erscheinungen hervor, indem sie den Luftdruck erniedrigen oder steigern. Freilich ist das Verhältniss zwischen dem Barometerstande und dem Stande einer Wasserfläche keineswegs immer genau dasselbe; bei Liverpool steigt das Meer 11 Mal so stark, als das Barometer fällt, bei London 7 Mal, an den Küsten von Devonshire 16 Mal so stark <sup>1)</sup>, — denn viel scheint dabei von der Ausdehnung der betreffenden Wasserfläche abzuhängen; immerhin bewährt sich im Allgemeinen das Gesetz überall. Daher kommt es, dass jedesmal im windstillen Centrum eines über dem Meere wüthenden Orkanes eben in Folge des Luftdruck-Minimums eine merkliche Hebung des Meeresspiegels erzeugt wird <sup>2)</sup>; daher kommt es ferner, das z. B. der Mälar-See bei höherem atmosphärischen Druck in die Ostsee abfliesst, da dieselbe zu dieser Zeit einen niedrigen Stand hat, während im Gegentheil beim verminderten Luftdruck die Meeresfläche einen höheren Stand gewinnt und dem zufolge das Wasser der Ostsee in den Mälar-See strömt <sup>3)</sup>. Kapitän J. C. Ross beobachtete im Arktischen Meere, dass der Wechsel des Luftdruckes auch auf die Gezeiten nicht ohne Einfluss ist. Namentlich ergaben die Beobachtungen von 47 Tagen eine Schwankung im Wasserstande von 9 Zoll, was  $\frac{2}{3}$  eines Zolles im Barometerstande entspricht <sup>4)</sup>. Eben so will man die beobachteten Niveauschwankungen resp. das Steigen des Wasserspiegels an den Küsten von Sicilien, wo man es „marubia“ nennt, an den Nord-Amerikanischen See'n, so wie am Genfer-See, wo dieses Steigen des Wasserspiegels „les Seiches“

<sup>1)</sup> s. Klöden „Handbuch der Erdkunde“ I, S. 662.

<sup>2)</sup> Mohn „Lehrbuch der Meteorologie“, S. 252.

<sup>3)</sup> Klöden „Handbuch der Erdkunde“, I, S. 662.

<sup>4)</sup> Dana „Manual of geology“, p. 632.

benannt wird <sup>1)</sup>, und am Boden-See, wo es unter dem Namen „Russ“ bekannt ist, auf den Einfluss des Luftdruckes reduciren und betrachtet dieselben geradezu als einen Vorboten der Wetteränderung, also etwa als ein natürliches Barometer <sup>2)</sup>.

#### Luftdruck-vulkanische Eruptionen und Erdbeben.

Für ein ähnliches Barometer gelten in manchen Gegenden selbst die Vulkane. So z. B. sagen die Einwohner der Insel Stromboli, gestützt auf eine Reihe von Erfahrungen, dass eine grössere Unruhe des Vulkanes ihnen stets den nahebevorstehenden Sturm ankündigt, und wiederum dass die Ausbrüche des Vulkanes bei heiterem Wetter viel schwächer und seltener sind, als während des stürmischen Wetters. Wenn es im Winter (d. h. der Regenzeit der subtropischen Zone mit Barometerdepression) zu einem Ausbruche kommt, gestaltet sich derselbe daher so heftig, dass die ganze Insel gleichsam in ihren Grundfesten zu zittern scheint. Dasselbe wissen die Leute vom Volcano (Liparische Ins.) zu erzählen, dessen Dampfexhalationen in der Regel vor den Stürmen viel bedeutender sind als nach denselben. Auf der Insel Chiloe versicherte man Fitzroy, dass die Eruption des Osorno immer schönes Wetter verkündigt (d. h. einen Polarstrom mit hohem Luftdruck). Die Ausbrüche der Vulkane von Ternate, Taal &c. (Molukken) sind stets am heftigsten zur Zeit der Äquinocien, wenn also die Sonne gerade über denselben senkrecht steht und der Luftdruck in Folge des aufsteigenden Luftstromes am niedrigsten ist. Nach Sartorius von Waltershausen ist der Ätna im November, überhaupt im Winter (also bei vorherrschenden SW.-Winden) am thätigsten, und aus der Menge der Dampfexhalationen desselben versuchte bereits 1827 der Sicilianer Scuderi die Witterungserscheinungen vorherzusagen <sup>3)</sup>. Diese und andere ähnliche Thatsachen vergleichend, stellte denn auch P. Scrope die Behauptung auf, dass es allerdings dem Einflusse des Luftdruckes zuzuschreiben sei, wenn manche Vulkane bald stärker, bald schwächer ihre Unruhe bezeugen, da auch die Lavamasse im Krater dem atmosphärischen Drucke Rechnung tragen muss und somit bald bei dem höheren Luftdruck mehr Widerstand findet, bald — bei niedrigem — desto leichter sich heben und hervorbrechen

<sup>1)</sup> Bereits Saussure und Vaucher haben die „Seiches“ des Genfer-See's als ein in Folge des Wechsels des Luftdruckes erzeugtes Phänomen erklärt; neulich ist auch Dr. Forel (in Lausanne) nach längeren, eingehenden Beobachtungen zu demselben Resultate gekommen (Bull. de la Soc. vaud. des Sciences natur; T. XII und XIII), s. „Nature“ Vol. XII, p. 134.

<sup>2)</sup> Reclus „La Terre“ I, p. 522—523; Klöden „Handbuch der Erdkunde“ I, S. 586—587.

<sup>3)</sup> Reclus, ibidem, p. 664—665; Fuchs „Vulkanische Erscheinungen der Erde“, S. 326.

kann <sup>1)</sup>. Fügen wir noch bei dieser Gelegenheit hinzu, dass auch die Grubengas-Explosionen in den meisten Fällen bei einer Barometerdepression stattzufinden scheinen <sup>2)</sup>.

Unleugbar besteht auch auf ähnliche Weise ein gewisser Zusammenhang zwischen dem Luftdruck und dem Erdbeben. So hebt bereits P. Merian hervor, dass in der Schweiz den meisten Erdbeben die Barometerdepression vorangeht, wie z. B. demjenigen von Basel am 5. November 1836. Beim Erdbeben vom 12. September 1830 in Württemberg fand dasselbe Statt <sup>3)</sup>. Fuchs sagt ausdrücklich <sup>4)</sup>: „Heftige Windstöße herrschten während der Erdbeben von 1810 in Italien und von 1795 in England. In 84 Fällen von Erdbeben in der Schweiz wehte starker Föhn, und einer der lebhafteren Erdstöße von Grossgerau (Hessen-Darmstadt), in der Nacht vom 19./20. Januar 1873 trat bei sehr niedrigem Barometerstande und Sturm ein. Es hat demnach unzweifelhaft Fälle gegeben, wo Erdbeben zur Zeit einer ungewöhnlichen Bewegung der Luft und eines tiefen Barometerstandes sich ereigneten.“ Auch die „Studien über Erdbeben“ (1875) von J. Schmidt in Athen ergaben, dass die Erdbeben vorwiegend mit dem tiefen Barometerstande zusammentreffen <sup>5)</sup>. Eben so wissen die Einwohner der Antillen zu erzählen, wie häufig die Cyklone von Erderzitterungen begleitet werden. Während des Cuba-Orkanes 1844 machte sich denn wirklich das Erdbeben in Havana fühlbar, ähnlich wie während des Orkans vom 6. September 1865 in Marie Galante und Guadeloupe <sup>6)</sup>. „Überhaupt hat man, bemerkt Mohn <sup>7)</sup>, nicht selten erlebt, dass während ein Cyklon mit niedrigem Luftdruck über die Erde hinging, unterirdische Kräfte frei wurden und Erderschütterungen veranlassten“. Gewiss ist dieser Einfluss des Luftdruckes nicht bei allen Erdbeben wirkend; doch wäre das noch kein Beweis gegen einen Zusammenhang zwischen den Erdbeben und den Winden, sondern höchstens, um mit Dr. Emil Kluge <sup>8)</sup> zu sprechen, „ein Beweis dafür, dass verschiedene Erdbeben von verschiedenen Ursachen herrühren können.“

#### Regenwinde — Erdbeben und vulkanische Eruptionen.

Die Winde vermögen aber noch auf eine andere Art und zwar bei Weitem entschiedener ihren Einfluss auf das

<sup>1)</sup> s. Lyell „Principles of geology“ II, p. 232.

<sup>2)</sup> „The Nature“ Vol. XIII, p. 336.

<sup>3)</sup> s. „Jahrbuch für Geologie, Paläontologie u. Mineralogie“ 1839, S. 581—588.

<sup>4)</sup> „Vulkane und Erdbeben“, S. 163.

<sup>5)</sup> Gümbel „Über Erdbeben und ihre Ursachen“ im „Ausland“ 1876, No. 11.

<sup>6)</sup> Reclus „La Terre“ I, p. 706—707.

<sup>7)</sup> „Lehrbuch der Meteorologie“, S. 253.

<sup>8)</sup> s. „Jahrbuch für Geologie, Paläontologie und Mineralogie“ 1861, S. 831.

Erdbeben zu bethätigen. Da ja die Erdbeben zum grossen Theil nur als Folge unterirdischer Unterwaschungen und Einstürze angesehen werden <sup>1)</sup>, so ist es selbstverständlich, dass ein feuchter Äquatorialstrom, ein Regenwind, der zugleich in höheren Breiten das Schmelzen des Schnee's nach sich zieht, für das Erdbeben viel förderlicher sein muss als der trockene und kalte Polarstrom. Daher lesen wir auch: „Viel häufiger fallen Erdbeben mit andauernden Regen zusammen. Die Sommermonate 1755, die dem Erdbeben von Lissabon vorausgingen, waren sehr regnerisch. In der Dauphiné sollen die Erdbeben im Frühling, wenn der Schnee schmilzt, vorkommen. Das Erdbeben vom 5. Februar 1851 in der Schweiz, in Tirol und einen Theil von Italien wurde auch von heftigem Regenfall begleitet. Von 87 Tagen, welche in der Erdbebenperiode von 1869—73 in Grossgerau durch viele oder durch heftige Erdstösse ausgezeichnet waren, fallen 73 in die feuchte Jahreszeit vom 1. Oktober bis 30. April und nur 14 in die Zeit vom 1. Mai bis 30. September. Der Glaube an den Zusammenhang des Regenwetters mit Erdbeben ist in Peru und auf den Molukken so verbreitet, dass man die Regenzeit besonders befürchtet und die Bewohner — namentlich mancher Molukken-Inseln — um diese Zeit ihre Wohnungen aus den Häusern in leicht gebaute Hütten verlegen sollen <sup>2)</sup>.“

Eben so dürfen wohl die Regenwinde auch manchen vulkanischen Eruptionen Veranlassung geben; denn wie wohl vor Allem das Meer es ist, welches dem vulkanischen Herde die zur Dampfbildung erforderlichen Wassermengen hauptsächlich liefert, — was gerade das Auftreten aller Meeressalze unter den Produkten der vulkanischen Thätigkeit zur Genüge beweist, — „so soll damit nicht ausgeschlossen sein, dass auch Ansammlungen von süssem Wasser zur Erregung vulkanischer Thätigkeit beitragen können.“ In Süd-Amerika will man die Beobachtung gemacht haben, dass nur die der Küste nahe liegenden Vulkane Salzsäure erzeugen und dass dieselbe bei den weiter östlich in den Anden gelegenen fehlt <sup>3)</sup>. Auf Island sind gerade milde Winter (d. h. bei vorherrschenden Äquatorialströmen) den Ausbrüchen günstig; so ging der Eruption des Hekla 1766 ein besonders milder Winter voran <sup>4)</sup>. Dr. Emil Kluge kommt daher, nachdem er die Periodicität vulkanischer Ausbrüche näherer Prüfung unterzogen hat, zu dem Schlusse: „Es besteht ein nicht wegzuleugnender Zusammenhang vulkanischer Eruption mit gewissen Witterungsverhältnissen, der namentlich an den Schlammvulkanen, als denjenigen, deren Herd wohl in der geringsten Tiefe zu suchen ist,

zu Tage tritt. Viele Beobachtungen liegen darüber noch nicht vor; immerhin ist es sicher, dass die furchtbarsten und zahlreichsten Eruptionen auf Island in Sommern nach gelinden Wintern eintreten, dass auch im Indischen Archipel die stärksten Eruptionen nach der Regenzeit oder in dieselbe fallen, dass immer thätige Vulkane während dieser Zeit eine grössere Aufregung zeigen. So wie die Nähe des Seewassers, ist somit auch das Eindringen des Meteorwassers von Einfluss auf die vulkanische Thätigkeit <sup>1)</sup>.

#### Winde-Elektricität und Erdmagnetismus.

Schliesslich sei hier noch einer anderen Wirkung der Winde Erwähnung gethan, der Erzeugung der Elektricität. Bereits Lyon und Duveyrier haben in der Sahara die Erfahrung gemacht, dass der trockene Wüstenwind ungemein reich an Elektricität ist. Neuerdings hat auch Rohlf's sowohl nördlich von Fezzan, als auch in der Mitte der Wüste dieselbe auffallende Erscheinung beobachten können. Die Ansammlung der Elektricität zeigte sich dabei so reichlich, dass aus allen Decken und Kleidungsstücken beim Schütteln Funken heraussprangen. Rohlf's schreibt nun dieses Phänomen geradezu der Wirkung der trockenen Winde zu <sup>2)</sup>. J. R. Mayer drückt sich hierüber etwa folgendermaassen aus: Dass die Erde eine elektrische Strömung hat, ist eine wohlbekannt Thatsache, eben so dass dieselbe stets verbraucht wird. Dem bedeutenden Verbrauch von elektrischer Action muss aber ein fortlaufender bedeutender Ersatz entsprechen. Diesen Ersatz verdanken wir nun den Passatwinden. Die unterste Schichte der Passatwinde nimmt durch Reibung mit der Meeresoberfläche eine dem Wasser entgegengesetzte elektrische Beschaffenheit an; diese Luft erhebt sich wieder nach oben, um gegen die Pole hin abzufliessen, wo sie durch die elektrische Spannung die prächtige Erscheinung des Polarlichtes hervorrufft. Der Umstand aber, dass bekanntlich der meteorologische Äquator keineswegs mit dem geographischen coincidirt und im Laufe des Jahres fortwährend eine Verschiebung erleidet, hat zur Folge, dass zugleich auch die magnetischen Pole sowohl als die Declination die bekannten Veränderungen erleiden — Veränderungen, die aber parallel laufen mit gleichzeitig entsprechenden Veränderungen unseres meteorologischen Äquators. „Hierin,“ sagt Mayer, „würde nun der Nachweis bestehen für die Hypothese von den Passatwinden als der Hauptursache des Erdmagnetismus“ <sup>3)</sup>. Fügen wir noch hinzu, dass ein überaus wichtiges Pendant hierfür wohl zweifellos in dem kürz-

<sup>1)</sup> cf. Credner „Elemente der Geologie“, S. 168.

<sup>2)</sup> Fuchs „Vulkane und Erdbeben“, S. 163—164.

<sup>3)</sup> Ibidem, S. 125—132.

<sup>4)</sup> Fuchs „Vulkan. Erscheinungen der Erde“, S. 326—327.

<sup>1)</sup> „Über die Periodicität vulkan. Ausbrüche“ im „Jahrbuch für Geologie, Paläontologie und Mineralogie“, 1862, S. 582—589.

<sup>2)</sup> „Reise durch Nord-Afrika &c.“ in Petermann's Ergänzungsheft, No. 25, S. 17.

<sup>3)</sup> „Mechanik der Wärme“, S. 313—315.

lich im Arktischen Ocean festgestellten Einfluss der Nord- und Südwinde auf die Abweichung des Kompasses <sup>1)</sup> anzusehen ist.

Werfen wir nun einen Rückblick auf unsere Betrachtungen über die Wirkungen der Winde auf die Gestaltung der Erde. Ihren Ursprung der ungleichen Vertheilung der Wärme verdankend, in ihrer Richtung durch die Erdrotation, in ihrem Wechsel und Charakter durch die Lage, Ausdehnung und plastische Gliederung der Festländer beeinflusst, traten die Winde doch wiederum als ein besonderer Faktor uns entgegen, mächtig genug, um überall die stärkste Wirkung zu bethätigen. Feucht — erscheinen sie gleichsam als ein Band zwischen dem Ocean und den entferntesten Punkten auf den Continenten und bedingen somit geradezu alle die Wohlthaten und Erscheinungen, die das Wasser mit sich bringt; trocken dagegen — sind sie im Stande sogar Meere in Dampfform aufzulösen und den so entblösten alten Meeresgrund in verödete, unbelebte Räume zu verwandeln. Und wiederum als ein Ausdruck der bewegten Luftmassen bemächtigen sich die Winde bald der in Sand und Staub verwandelten Gesteine, bald aller Wasserflächen der Erde, um so, sei es durch Zuschüttung mit dem fortgerissenen Material, sei es durch den aufbauenden oder zerstörenden Wellenschlag die Physiognomie der Festländer fortwährend umzugestalten. Selbst die Erdbeben, die vulkanischen Eruptionen und der Erdmagnetismus wissen von ihrem Einfluss Manches zu erzählen. In der That — einem derartigen Faktor gebührt wohl eine der hervorragenden Stellen unter den übrigen geologischen Agentien.

<sup>1)</sup> Kapitän's W. H. Kelley Bericht (in „Hawaiian Gazette“) s. „Mittheilungen d. k. k. geograph. Gesellschaft in Wien“ 1875, S. 583—584.

Zwar haben wir im Laufe unserer Betrachtungen vor Allem unsere Aufmerksamkeit auf die Thätigkeit der Winde in der geologischen Gegenwart gerichtet, und, abgesehen davon, dass wir selbst hie und da, namentlich bei Besprechung der Wüsten, in das Zeitalter des Diluviums, ja sogar tief in die Tertiärperiode hinübergreifen mussten, bleibt doch den Fachmännern noch die eingehendere Beantwortung der interessanten Frage überlassen, in wie weit Spuren der Wirkungen der Winde auch in den älteren geologischen Perioden, insbesondere also in der meso- und paläozoischen verbreitet sind. Seitdem nur in der historischen Geologie von einer Landflora und Landfauna und von dem schlechtweg sogen. „Meeresniederschlag“, also von dem Aufbau der Sedimentsschichten die Rede ist, erkennen wir darin zugleich eben so viele unzweifelhafte Belege für die Existenz der Regen und der Flüsse und demnach für diejenige der Winde. Sogar damals, als die Erde noch einen glühend-gasigen Ball bildete, könnte man sich den Wind als ein bereits wirkendes geologisches Agens denken — unter der Bedingung freilich, dass die Theorie (Faye, Reye), welche die Sonnenflecken für cyklonenartige Gebilde hält, oder dass die Ansicht, die Temperatur der Sonne sei am Äquator höher (um  $\frac{1}{10}$ ) als jenseit des 30. Breitengrades, sich bewähren. Mittlerweile aber erhebt P. Secchi <sup>1)</sup> gegen die erstere eben so schwerwiegende Einwände wie J. Ericsson <sup>2)</sup> gegen die Annahme Secchi's <sup>3)</sup>, als sei die ungleichmässige Wärmestrahlung der Sonne in verschiedenen Breiten der Sonnenscheibe gerade die Folge der ungleichmässigen Absorption der strahlenden Wärme durch die Sonnenatmosphäre.

<sup>1)</sup> „Le Soleil“ I. Partie (Paris 1875), p. 89—91, 163—165.

<sup>2)</sup> s. „The Nature“ Vol. XII, p. 517—520; Vol. XIII, p. 224—226.

<sup>3)</sup> „Le Soleil“ I. P., p. 158, 195 u. ff.

Druck der Engelhard-Reyher'schen Hofbuchdruckerei in Gotha.



# WELT-KARTE

zur ÜBERSICHT der LUFT-STROMUNGEN, BODENBESCHAFFENHEIT &c.

Petermann's Geographische Mittheilungen

Ergänzungsheft N° 48.

