

menheit der Arbeit, welche wir heute vorlegen. Aber dies Gefühl wird, weit entfernt uns zu entmuthigen, den Eifer, die Natur zu befragen und die hier mitgetheilten Untersuchungen zu vervollkommen, in uns nur verdoppeln.

Uebersicht der Resultate von der Zerlegung der Luft.

Tage, an welchen die Luft aufgefangen wurde	Temperatur nach dem hundert- theiligen Ther- mometer	Zustand der Atmosphäre	Absorption bei der Entfäul- ung von 200 Luft u. 200 Wasserstoff	Sauerstoff in 100 Th. Luft
17 Nov.	7,3	bedeckter Himmel; Ostwind	126,0 126,0	21,0 21,0
18	4,5	bedeckter Himmel; Ost-Süd-Ost-Wind	126,0 126,0	21,0 21,0
19	4,7	feiner Regen; sehr starker Südwest-Wind	126,0 126,0	21,0 21,0
20	10,0	feiner Regen; Südwind	126,0 126,5	21,0 21,1
21	12,5	bedeckter Himmel; Südwest-Wind	126,8 126,0	21,2 21,0
22	6,7	bewölkt, regnet; Südwest-Wind	126,0 126,0	21,0 21,0
23	1,5	bewölkt; Westwind	126,0 126,0	21,0 21,0
24	8,5	Regen; Südwind	126,3 126,5	21,0 21,1
25	10,6	bedeckter Himmel; Südwest-Wind	126,2 126,5	21,0 21,1
26	3,3	bewölkt; Ostwind	126,5 126,0	21,1 21,0
27	-1,6	Reif; Nordwind	126,0	21,0
28	-1,3	Schnee; Nordwind	126,5	21,1
1 Dec.	-4,1	Nebel; Nord-Nord-Ost-Wind	126,0	21,0
3	-2,3	bewölkt, dunstig; Ostwind	125,5	20,9
5	4,2	Regen; Südwind	126,0	21,0
7	3,1	dicker Nebel; Süd-Süd-West-Wind	126,0	21,0
13	9,6	Regen; Süd-Süd-West-Wind	126,0	21,0
19	-2,2	bedeckter Himmel; Nordost-Wind	126,0	21,0
23	1,0	Glätteis, dicker Nebel; Südost-Wind	126,0	21,0

Ueber die nächtliche Verstärkung des Schalles.

Abhandlung, gelesen in der Akademie der Wissenschaften zu Paris
am 13 März 1820,
von Alexander v. Humboldt.

Es giebt Naturerscheinungen, die man genauen Messungen und directen Experimenten unterwerfen kann; es giebt andere, welche, mit fremdartigen Umständen verwickelt, durch eine große Anzahl störender Ursachen gleichzeitig modificirt, nur auf dem Wege der Discussion und der Analogie erklärt werden können. Ich will als Beispiele der ersten Classe von Erscheinungen anführen die Intensität der magnetischen Kräfte, abnehmend vom Pole gegen den Aequator hin; die Beugungen des Lichtstrahls, welche die Luftspiegung (mirage) erzeugen; die Veränderungen der Temperatur der Luft; ihren Zustand positiver oder negativer Electricität in den mehr oder weniger vom Boden entfernten Schichten. Die zweite Classe von Erscheinungen begreift alles das, was sich auf die Insalubrität des Luftkreises bezieht, was in den höheren und unzugänglicheren Gegenden der Luft vorgeht: die Bildung der Wolken und des Hagels; die Fortdauer des blasenförmigen Dunstes bei einer Temperatur unter null; das Geräusch des Donners; die Vermehrung der Elasticität, welche erzeugt wird von der die Verbreitung des Schalles begleitenden Wärme-Entwicklung und welche aus der Zusammendrängung der Luft entsteht.

Als die Naturlehre noch nicht der strengen Methode folgte, welcher man die großen Entdeckungen des letzten Jahrhunderts verdankt, fiel alles, was nicht bestimmten und directen Messungen unterworfen werden konnte, in das Reich der unbestimmtesten und gewagtesten Hypothesen. Man vergaß damals, daß: wenn man jede einzelne der störenden Ursachen abwägt; wenn man in scheinbar verwickelten Phänomenen trennt, was durch fremdartige Umstände bewirkt wird; man auf dem Wege der Ausschließung vom Bekannten zum Unbekannten fortschreiten und so Naturgesetze bestimmen kann: sei es nach Betrachtungen, gezogen aus der mathematischen Analyse; sei es nach der Analogie von Experimenten und directer Messungen.

Die Verstärkung des Schalles während der Nacht, welche den Gegenstand dieser Abhandlung bildet, gehört zu den Problemen, deren Lösung sich nicht in den Werken der Physik findet. Ich werde versuchen eine Lösung zu geben, die abgeleitet ist aus den neuesten Forschungen über die Theorie der Schallwellen; aber ehe ich von den Ursachen des Phänomens rede, will ich hier die Beziehungen anführen, unter denen ich es betrachte.

Man hat seit dem höchsten Alterthum beobachtet, daß die Stärke des Schalles während der Nacht zunimmt. Aristoteles hat davon gesprochen in seinen Problemen¹, Plutarch in seinen Dialogen². Wir betrachten hier nur die Zunahme der Stärke bei ruhiger Luft; es ist nicht die Rede von der Zunahme, welche durch eine Veränderung des Windes während der Nacht erzeugt, und welche durch die Beziehung

¹ Aristot. Probl. sect. XI quaest. 5 und 33.

² Plut. Symposiac. lib. VIII cap. 3 (T. II. p. 720 ed. Francof. 1620 fol.).

modificirt wird, die zwischen der Richtung des Windes und der Richtung des Schallstrahles obwaltet. Unter derselben Zone, z. B. zwischen den Tropen, hat mir die nächtliche Zunahme der Intensität in den Ebenen größer erschienen als auf dem Rücken der Andes, in neun- oder zwölftausend Fuß Höhe über dem Niveau des Oceans; sie ist mir auch bedeutender erschienen in den niedrigen Gegenden, in der Mitte der Continente, als auf hoher See. Diese Schätzungen gründen sich auf das Getöse zweier Vulkane, des Guacamayo und des Cotopari, welche ich Gelegenheit gehabt habe Tag und Nacht zu hören: den einen auf einem Plateau, zwischen der Stadt Quito und der Meierei von Chillo; den anderen in der Südsee, 10 lieues westlich von der peruanischen Küste. Das Gebrüll (bramidos) der Vulkane der Cordilleren wiederholt sich gewöhnlich mit großer Gleichförmigkeit von 5 zu 5 Minuten. Es ist nicht von sichtbaren Auswürfen über den Rand des Kraters begleitet; und gleicht bald dem fernrollenden Donner, bald dem wiederholten Dröhnen des schweren Geschüzes. An den Orten, wo die Erde bei einem Wasserfall sich mit Schnee bedeckt, würde es interessant sein zu untersuchen, ob die nächtliche Zunahme des Schalles nicht minder bemerkbar während des Winters wäre als im Sommer, wo der Boden am Tage durch die Sonnenstrahlen stark erhitzt wird. In den Unterschieden, welche ich eben angezeigt zwischen den hohen und niedrigen Gegenden des äquinoctialen Amerika, betrachte ich nur die Intensitäts-Verhältnisse unter gleichem Luftdruck. Ich vergleiche nicht die absolute Intensität in verschiedenen Höhen, sondern den Unterschied zwischen der nächtlichen und der Tages-Intensität auf den Plateaus und in den Ebenen. Die Variationen absoluter Intensität, welche in verschiedenen Höhen in der Atmosphäre

beobachtet werden, sind ein Problem, das schon lange durch die mathematische Theorie des Schalles gelöst scheint. Poisson¹ ist sogar zu dem merkwürdigen Resultate gelangt: daß die Stärke des Schalles von oben nach unten oder von unten nach oben, senkrecht oder auf schrägen Schallstrahlen nur von der Dichtigkeit der Luftschicht abhängt, von welcher der Schall ausgegangen ist. Man muß nicht ganz verschiedene Probleme mit einander verwechseln.

Wenn man das Getöse der großen Cataracten des Orinoco in der Ebene, welche die Mission Atures umgibt, auf mehr als eine Meile Entfernung hört, so glaubt man an einer mit Felsen und Brandungen besetzten Küste zu sein. Das Getöse ist bei Nacht dreimal stärker als bei Tage, und giebt dieser einsamen Dertlichkeit einen unaussprechlichen Reiz. Was kann die Ursach dieser Vermehrung der Intensität sein in einer Einöde, wo nichts das Schweigen der Natur zu unterbrechen scheint? Die Schnelligkeit der Fortpflanzung des Schalles nimmt, statt sich zu vermehren, mit dem Sinken der Temperatur ab. Die Intensität vermindert sich bei einer Luft, die durch einen der Richtung des Schalles entgegengesetzten Wind bewegt wird; sie wird auch vermindert durch die Ausdehnung der Luft: sie ist schwächer in den hohen Gegenden des Luftkreises als in den niederen, wo die Moleculen erschütterter Luft auf gleichem Radius mehr Dichtigkeit und weniger Elasticität haben. Die Intensität ist dieselbe in trockener Luft und in einer mit Dünsten gemischten; aber sie ist schwächer in kohlensaurem Gas als in Gemischen von Stickstoff und Sauerstoff. Diesen Thatfachen zufolge, den einzigen, welche wir mit einiger Gewißheit kennen, ist es

¹ Journal de l'École Polytechnique T. VII. 1808 p. 328.

schwer eine Erscheinung zu erklären, die man bei jedem Wasserfalle in Europa beobachtet, und die lange vor meiner Ankunft in dem Dorfe Atures dem Missionar und den Indianern aufgefallen war. Die nächtliche Temperatur der Atmosphäre ist dort nur um 3° geringer als die Tages-Temperatur; zugleich mehrt sich bei Nacht die sichtbare Dunstmenge, und der die Cataracten bedeckende Nebel wird dichter. Wir haben gesehen, daß der hygroskopische Zustand der Luft durchaus keinen Einfluß auf die Fortpflanzung des Schalles ausübt, und daß die Erkaltung der Luft seine Schnelligkeit vermindert.

Man könnte glauben, daß, selbst an nicht von Menschen bewohnten Orten, das Summen der Insecten, der Gesang der Vögel, das Rauschen der von den leisesten Winden bewegten Blätter bei Tage ein verwirres Geräusch verursachen, das wir um so weniger wahrnehmen, als es gleichförmig ist und als unser Ohr beständig davon getroffen wird. Dieses Geräusch nun, so unmerklich es auch sein mag, kann die Intensität eines stärkeren Geräusches vermindern; und diese Verminderung kann aufhören, wenn während der Stille der Nacht der Gesang der Vögel, das Gesumme der Insecten und die Einwirkung der Winde auf die Blätter unterbrochen sind. Aber diese Causal-Betrachtung, wenn man selbst ihre Richtigkeit zugiebt, läßt sich nicht auf die Wälder des Orinoco anwenden: wo die Luft beständig von einer Unzahl von Moskiten erfüllt, wo das Gesumme der Insecten weit stärker bei Nacht als bei Tage ist; und wo der Wind, wenn er anders bemerkbar wird, nur nach dem Untergang der Sonne weht.

Ich glaube vielmehr, daß die Gegenwart der Sonne auf die Fortpflanzung und die Stärke des Schalles einwirkt: durch die Hindernisse, welche ihr die aufsteigenden Luftströme von

verschiedener Dichtigkeit, die partiellen Wellenschwingungen der Atmosphäre, verursacht durch die ungleiche Erwärmung der verschiedenen Theile des Bodens, entgegensehen. Bei stiller Luft, möge sie trocken oder mit, gleichmäßig vertheilten, blasenförmigen Dünsten vermischt sein, pflanzt sich die Schallwelle ohne Schwierigkeit fort. Wenn aber diese Luft in allen Richtungen von kleinen Strömungen wärmerer Luft durchzogen wird, so theilt sich da, wo die Dichtigkeit des Mittels plötzlich sich ändert, die Schallwelle in zwei Wellen; es bilden sich partielle Reflexe und Wiederhalle (Echos), die den Schall schwächen, weil eine der Wellen zu sich selbst zurückkehrt. Es entsteht eine jener Theilungen der Wellen, deren Theorie Poisson vor kurzem mit dem alle seine Arbeiten bezeichnenden Scharfsinn entwickelt hat.¹ Es ist also nicht die Translations-Bewegung der Lufttheilchen von unten nach oben in dem aufsteigenden Luftstrom, es sind nicht die kleinen Strömungen in schräger Richtung, die wir als sich durch einen Stoß der Fortpflanzung der Schallwellen widerlegend betrachten. Jeglicher der Oberfläche einer Flüssigkeit beigebrachter Stoß wird um das Erschütterungs-Centrum Kreise bilden, selbst dann, wenn die Flüssigkeit bewegt ist. Mehrere Arten von Wellen können sich in der Luft wie im Wasser durchkreuzen, ohne einander in ihrer Fortpflanzung zu stören; kleine Bewegungen legen sich verstärkend über einander (so superposit); und die wahre Urfach der geringeren Stärke des Schalles während des Tages scheint hauptsächlich der Mangel an Gleichartigkeit in dem elastischen Mittel zu sein. Es tritt plötzlich Unterbrechung der Dichtigkeit überall ein, wo schmale Luftströme von hoher Temperatur auf ungleich erwärmten Theilen des Bodens emporsteigen. Die Schallwellen

¹ Annales de Chimie et de Physique T. VII. 1817 p. 293.

theilen sich, wie die Lichtstrahlen sich brechen und überall, wo Luftschichten von ungleicher Dichtigkeit an einander angrenzen, Luftspiegelung bilden. Man muß wohl unterscheiden zwischen den Intensitäten des Schalles oder Lichtes und den Richtungen der Schall- oder Lichtwelle. Wenn diese Wellen sich durch Schichten von verschiedenen Dichtigkeiten fortpflanzen, werden zwei Wirkungen gleichzeitig hervorgebracht: es wird eine Veränderung in der Richtung der Fortpflanzung, und Schwächung des Lichtes und Schalles eintreten. Der Reflex, welcher jede Brechung begleitet, vermindert die Intensität des Lichts; die Theilung der Schallwelle verursacht partielle Wiederhalle: und der Theil der Welle, welcher da, wo die Dichtigkeit des Fluidums sich plötzlich ändert, in sich selbst zurückkehrt, wird bei sehr schwachen Geräuschen für unser Ohr unbemerkbar.

Bei der Luftspiegelung mit doppelten Bildern ist das Bild, welches die Brechung gegen den Boden hin erfahren hat, beständig schwächer als das direct gesehene Bild. Schichten von Flüssigkeiten sehr verschiedener Dichte können allerdings in der Weise abwechseln, daß die ursprünglichen Richtungen des Licht- und Schallstrahls dieselben bleiben; aber die Stärke des Lichtes und Schalles wird darum nicht weniger geschwächt sein. Während der Nacht erkaltet die Oberfläche des Bodens; die mit Rasen oder Sand bedeckten Theile nehmen eine gleichmäßige Temperatur an; die Atmosphäre wird nicht mehr durchkreuzt von jenen feinen Strömungen warmer Luft, die sich senkrecht oder schräg in allen Richtungen erheben. In einem gleichförmiger gewordenen Fluidum pflanzt sich die Schallwelle mit geringerer Schwierigkeit fort, und die Stärke des Schalles wächst, weil die Theilungen der Wellen und die partiellen Wiederhalle seltener werden.

Um eine genaue Vorstellung von der Urfach dieser Ströme

wärmer Luft zu geben, die bei Tage auf einem ungleich erwärmten Boden aufsteigen, will ich einige Beobachtungen¹ berichten, welche ich unter den Wendekreisen angestellt habe. In den Planos oder Steppen von Venezuela habe ich Nachmittags den Sand um 2 Uhr zu 52°,5 Cent., manchmal sogar zu 60° gefunden. Die Temperatur der Luft im Schatten eines Bombax war 36°,2; in der Sonne aber bei 18 Zoll Höhe über dem Boden 42°,8. Bei Nacht hatte der Sand nur noch 28°, er hatte also über 24° verloren. Bei den Wasserfällen des Orinoco wurde die mit Gramineen bedeckte Erde bei Tage nur auf 30° erwärmt, während die Luft 26° zeigte; aber die nackten Bänke von Granitfels, welche ungeheure Strecken ausmachen, wurden zu gleicher Zeit bis auf 48° erhitzt. Ich habe eine große Anzahl analoger Beobachtungen in der Uebersicht von Messungen bekannt gemacht, die ich über die Luftspiegelung in Cumana zu derselben Zeit angestellt, wo Wollaston sich in Europa im Experimentiren mit derselben Erscheinung beschäftigte.

Wenn die Ursach, die ich von der nächtlichen Zunahme des Schalles angebe, die wahre ist; so muß man sich nicht verwundern, daß in der heißen Zone diese Zunahme im Inneren der Länder größer ist als auf hoher See, in den Ebenen größer als auf dem Rücken der Cordilleren. Die Oberfläche der Aequatorial-Meere wird einformig und selten über 29° erwärmt: während die Oberfläche der Continente, ungleich gefärbt, und aus Stoffen zusammengesetzt, die verschiedenartig strahlen, dem Aequator nahe Temperaturgrade erhält, welche von 30° bis 52° variiren. Unter den Wendekreisen bleibt die Erde gewöhnlich die Nacht hindurch wärmer als die Luft; in der

¹ Relation historique du Voyage aux Régions équinoxiales T. I. p. 164 und 625, T. II. p. 201, 283, 303 und 376.

gemäßigten Zone wird der Boden in stillen und heiteren Nächten oft 4° bis 5° kälter als die Luft. Die Temperatur, statt sich zu mindern in dem Maaße, als man sich vom Boden entfernt, bietet in Europa bei Nacht eine wachsende Progression bis zur Höhe von 50—60 Fuß dar. Man muß sich daher nicht verwundern, daß die terrestrischen Strahlenbrechungen unter der gemäßigten Zone bei Nacht bisweilen fast eben so bedeutend sind als bei Tage. Es werden beständig Luftschichten von verschiedener Dichtigkeit da sein, welche horizontal auf einander ruhen; aber die feinen Ströme von warmer Luft, die in schräger Richtung den Luftkreis durchschneiden, sind bei Nacht seltener als bei Tage. Auf 9000 Fuß Höhe beträgt in dem unter dem Aequator liegenden Theile der Anden die mittlere Temperatur der Luft nur 14°; und die Kraft der Ausstrahlung gegen einen wolkenlosen Himmel, durch eine sehr trockne und reine Luft, hindert den Boden sich während des Tages beträchtlich zu erhitzen. Ich will nicht weiter bei diesen Local-Verhältnissen stehen bleiben; es reicht hin, daß wir im allgemeinen von der Theorie der Schallwellen und ihrer Theilungen die nächtliche Verstärkung des Schalles abgeleitet haben. Die ganze Erscheinung beruht auf dem Mangel an Gleichartigkeit in den senkrechten Säulen des Luftkreises, welche (nach der geistreichen Anwendung, die Arago von der Interferenz und Neutralisation der Strahlen gemacht hat) auch die wahre Ursach des schwächeren oder stärkeren Funkeln der Sterne ist. Man weiß übrigens, daß die Fortpflanzung des Schalles bedeutend verändert wird, wenn man in einer an einem Ende verschlossenen Röhre eine Schicht Wasserstoff-Gas über einer Schicht atmosphärischer Luft emporsteigen läßt.

Indem ich diese Ideen ausspreche, könnte ich mich auf

die Autorität eines Philosophen stützen, den die Physiker immer noch mit Gleichgültigkeit behandeln, obgleich die ausgezeichnetsten Zoologen seit langer Zeit dem Scharfsinn vieler seiner Beobachtungen eine glänzende Gerechtigkeit haben widerfahren lassen. „Warum“, sagt Aristoteles in dem merkwürdigen Buche der Probleme (Probl. XI, 33 p. 903 Bekker), das wohl als Compilation seiner Meinungen zu betrachten ist, „warum läßt sich der Schall besser bei Nacht hören? Es kommt nach Anaxagoras daher, weil bei Tage die von der Sonne erwärmte Luft zischt und rauscht, sie aber bei Nacht in Ruhe ist wegen des fehlenden Wärmestoffes (τῆς δὲ πυκτὸς ἡσυχίαν ἔχει ἅτε ἐκλελοιπὸτος τοῦ θερμοῦ).“¹ Diese Abwesenheit macht

¹ Ein in der Kenntniß der Alten sehr erfahrener Gelehrter, Herr Laurencit, hat an Biot eine Stelle des Plutarch mitgetheilt, welche die von mir im Aristoteles gefundene unterstützt. Es ist das Stück Symposiacon lib. VIII probl. (quaestio) 3 (Plut. Opera ed. Par. 1624 T. II. p. 720—722). Boëthius, der erste der sich dort Unterredenden, behauptet, die Kühle der Nacht mache die Luft erstarren und verdichte sie; und man höre bei Tage den Schall nur schlecht, weil dann weniger Leeres zwischen den Lufttheilchen vorhanden sei. Der zweite Redende (der in der ersten Person spricht) verwirft das Leere des Boëthius und nimmt mit Anaxagoras an: daß bei Tage die Sonne durch eine zitternde, immer klopfende Bewegung die Luft erschüttere; daß man bei Tage schlecht höre wegen der feinen Abgänge der Körper, der Sonnenstäubchen, die in der Luft schweben, und in Folge der Wärme zischen und rauschen; daß aber in der Nacht ihre Erschütterung, und ihr Schall aufhöre. Der dritte, Ammonius, rechtfertigt sich, den Anaxagoras verbessern zu wollen; aber er glaubt, daß man jenes Zischen der kleinen Körper aufgeben müsse, und daß es genüge deren zitternde Erschütterung und deren Bewegung im Lichte anzunehmen. „Weil die Luft sich als der Körper und die Substanz der Stimme zeigt; so führt sie, wenn sie ruhig ist, die geradeaus strebenden, glatten und stetig zusammenhängenden Theile und Bewegungen der Schalle weithin fort. Die Luftstille ist helltönend; das Gegentheil verhält sich entgegengesetzt. Denn oft läßt die unruhige Bewegung der Luft auch nicht irgend eine Art der Stimme articulirt und ausgebildet zur Auffassung

alles ruhiger und gemessener; denn die Sonne ist das Princip aller Bewegung. Aristoteles¹ hat eine unbestimmte Ahndung von der Ursach des Phänomens; aber er schreibt der Bewegung der Atmosphäre, dem Stöße zu, was nur den schnellen Wecheln der Dichtigkeit in den angrenzenden Luftwellen angehört. Weder Aristorenius aus Tarent in seinem Buche von der Musik, noch Seneca in den Quaestiones naturales, noch der späte Theophylactus Simocatta haben versucht die nächtliche Verstärkung des Schalles zu erklären. Wenn man den unvollkommenen Zustand der Physik der Alten und ihre Unwissenheit in der experimentirenden Methode erwägt; so erstaunt man um so mehr über die Zahl richtiger und oftmals feiner Bemerkungen, welche die Werke des Philosophen von Stagira enthalten über den Thau, über die Ursachen der Luftspiegelung, über die leitende Kraft der Metalle und der Asche für die Wärme, über die Höhe der Wolken, betrachtet als Wirkung der aufsteigenden Luftströmung, u. s. w.²

Die Bergbewohner der Alpen wie die der Andes halten eine außerordentliche Verstärkung des Schalles in stillen Nächten für ein sicheres Vorzeichen einer Witterungs-Veränderung. „Es wird regnen“, sagen sie, „weil man das Rauschen der Ströme näher vernimmt.“ Deluc³ hat diese Erscheinung durch einen Wechsel des barometrischen Luftdruckes, durch eine größere

gelangen; doch führt sie von der Menge und Größe immer etwas zu (ἀεὶ μὲν τοῖς τι τοῦ πλεονος πλεοναί καὶ τοῦ μειονος). . . .“ „Die Sonne, dieser große Anführer am Himmel, bewegt nicht im verborgnen und leise die kleinsten Theilchen der Luft; sondern offen hervortretend, erregt und bewegt die Sonne alle Dinge.“

¹ Aristoteles, Opera omnia ed. du Val 1639 T. II. p. 115—123.

² S. mein Recueil d'Observ. astron. Vol. I. p. 127.

³ Deluc, Modificat. de l'atmosph. § 1031 Ann. b.