V.

*Ueber die zunehmende Stärke des Schalls in
der Nacht;*

VON

ALEXANDER VON HUMBOLDT.

(Eine Vorles. gehalt. am 13. März 1820 in d. Akad. d. Wiss. in Paris). *)

Ueber viele Naturerscheinungen lassen sich genaue Messungen und direkte Versuche anstellen, einige aber sind mit fremden Umständen so vermengt und es wirken bei ihnen der störenden Ursachen so viele mit ein, daß man sich blos auf Nachdenken und Analogie bei ihrer Erklärung beschränkt sieht. Zu der ersten Art gehört die von den Polen nach dem Aequator zu abnehmende Stärke der magnetischen Kräfte, die Veränderung der Temperatur der Luft, die Beschaffenheit ihrer Elektricität in den höhern Luftschichten, und so ferner. Beispiele der zweiten Art giebt alles, was mit dem ungefunten Zustand der Atmosphäre in Verbindung steht, alles, was in den höhern unzugänglichen Regionen des Luftereises vorgeht, die Bildung der Wolken und des Hagels, das Bestehen bläschenartigen Dunstes in Temperaturen unter dem Froßpunkte, das Getöse des Donners, die Zunahme der Elasticität durch

*) Nach einem einzelnen Abdruck aus den *Ann. de Chim. et de Phys.*, den ich dem Verf. verdanke, frei übersetzt von Gilb.

Wärme-Entwickelung bei derjenigen Verdichtung, welche in der Fortpflanzung des Schalls vor sich geht, und dergl. mehr. Als man in der Physik noch nicht die strenge Methode befolgte, der wir die großen Entdeckungen des letzten Jahrhunderts verdanken, blieb alles, was sich nicht genau und unmittelbar messen ließ, ein Spiel gewagter und unbestimmter Hypothesen. Man bedachte damals nicht, daß sich durch ein genaues Erwägen jeder der störenden Ursachen, und durch Absondern dessen, was bei anscheinend verwickelten Phänomenen durch fremde Umstände bewirkt wird, auf dem Wege des Ausschließens von dem Bekannten zu dem Unbekannten gelangen lasse, und daß Naturgesetze nicht bloß durch Betrachtungen, welche auf mathematischer Analyse beruhen, sondern auch nach der Analogie von Erfahrungen und direkten Messungen können aufgefunden werden.

Die Zunahme der Stärke des Schalls während der Nacht, der Gegenstand dieser Abhandlung, ist eine der Fragen, auf die man in unsern physikalischen Werken keine Antwort findet. Ich will versuchen, eine Erklärung dafür aus den neuesten Untersuchungen über die Theorie der *Schallwellen* abzuleiten; doch bevor ich von den Ursachen der Erscheinung rede, muß ich die Bedingungen, unter denen ich diese Erscheinung selbst betrachte, angeben.

Schon im Alterthume wußte man, daß der Schall während der Nacht an Stärke zunimmt. Es sprechen davon Aristoteles in seinen Problemen (*sect. 11, quæst. 5 §. 55*) und Plutarch in seinen Dialogen (*Symposiac. l. 3 c. 5*). Es versteht sich, daß hier bloß von der zunehmenden Stärke des Schalls in der Nacht,

bei ruhiger, windloser Luft, und nicht von dem Einflusse des Windes auf die Stärke des Schalls die Rede ist.

Es hat mir geschienen, daß in der heißen Zone der Schall des Nachts in den Ebenen sich verhältnißmäßig mehr verstärkt, als auf dem Rücken der Andes in einer Höhe von 5000 Meter über dem Meere *), und auch in den niedrigen Gegenden mitten im festen Lande mehr als auf offener See; Schätzungen, zu denen mich das Getöse zweier Vulkane, des *Guacamayo* und des *Cotopaxi*, verholfen hat. Ich hörte dasselbe Tags und Nachts, das des einen auf einer Bergebene (*plateau*) zwischen der Stadt *Quito* und der Maierei *Chillo*, das des andern auf der Südfsee 10 franzöf. Meil. westlich von der Peruanischen Küste. Das Gebrüll (*bramidos*) der Vulkane der Cordilleren folgt auf einander in der Regel mit vieler Gleichförmigkeit von 5 zu 5 Minuten, ist von keinen über dem Rande des Kraters sichtbaren Explosionen begleitet, und gleicht bald ent-

- *) Es versteht sich, daß hier blos von den verhältnißmäßigen Unterschieden der Stärke des Schalls Nachts und Tages, und nicht von der absoluten Stärke des Schalls, in den Ebenen und auf den Höhen die Rede ist. Für die Abnahme des Schalls mit Zunahme der Höhe in der Atmosphäre, hat man längst die mathematische Theorie, und Hr. Poisson ist durch sie selbst zu dem merkwürdigen Resultate geführt worden, daß, es möge der Schall sich von oben nach unten, oder von unten nach oben, lothrecht oder in schiefen Richtungen fortpflanzen, die Intensität desselben immer nur allein von der Dichtigkeit derjenigen Luftschicht abhängt, von der er ausgeht. (*Journ. de l'école polytechn.* t. 7 (1808) p. 328.) v. H.

ferntem Donner, bald wiederholten Schüssen schweren Geschützes von großem Kaliber. Es würde interessant seyn, in Ländern, wo der Boden den Winter über mit Schnee bedeckt ist, in der Nähe eines Wasserfalles zu untersuchen, ob nicht das nächtliche Zunehmen des Schalls im Winter geringer sey, als im Sommer wenn der Boden des Tags über durch die Sonnenstrahlen stark erhitzt worden ist.

In der Ebene um die Mission von Aturès hört man das Getöse der über 1 franz. Meile davon entfernten großen Wasserfälle des Oronoco noch so laut, daß man sich in die Nähe der Brandung an einer felsigen Küste versetzt glaubt. Nachts ist dieses Getöse drei Mal stärker als während des Tags, und giebt diesen einsamen Orten einen unaussprechlichen Reiz. Welches kann die Ursache dieser Zunahme an Stärke des Schalls in einer Einöde seyn, wo, wie es scheint, nichts das Schweigen der Natur unterbricht? Die Geschwindigkeit des Schalls nimmt, wenn die Temperatur kleiner wird, nicht zu, sondern ab. Die Stärke wird geringer bei widrigem Winde, in verdünnter Luft, und in den höhern Regionen des Luftkreises, wo die Theilchen der erzitternden Luft in jedem Schallstrahle minder dicht und elastisch sind; Trockenheit und Feuchtigkeit der Luft sind dagegen ohne Einfluß auf die Stärke des Schalls; im kohlenfauren Gas ist diese aber geringer als in Mengungen von Stickgas und Sauerstoffgas. Aus diesen Thatfachen, den einzigen, welche wir mit einiger Gewißheit kennen, läßt sich schwerlich jenes Phänomen erklären, welches wir auch in Europa in der Nähe jedes Wasserfalles wahrneh-

men, und das schon lange vor meiner Gegenwart in dem Dorfe Aturès dem Missionair und den Indiern aufgefallen war. Die Temperatur ist dort 3° C. niedriger Nachts als Tags, und zugleich nimmt die sichtbare Feuchtigkeit des Nachts zu, und der Dunst, welcher den Wasserfall bedeckt, wird dichter. Ich habe aber schon bemerkt, daß der hygroskopische Zustand der Luft keinen Einfluß auf die Fortpflanzung des Schalls hat, und daß Erkältung der Luft die Geschwindigkeit derselben vermindert.

Vielleicht glaubt man, in diesen menschenleeren Gegenden mache das Summen der Insekten, das Gezwitscher der Vögel, und das Rauschen der beim leisesten Winde sich bewegenden Blätter Tags über ein verwirrtes Getöse, das man bei seiner Einförmigkeit nicht wahrnehme, das aber das Ohr beständig fülle und dadurch die Intensität eines stärkern Getöses vermindere; indeß diese Verminderung während der Stille der Nacht nicht Statt finde, weil dann Insekten, Vögel und Luft ruhen. Aber dieser Grund, auch wenn man ihn überhaupt als gültig zugeben wollte, findet auf die Wälder am Oronoco keine Anwendung. Hier ist die Luft stets von einer unzählbaren Menge Moskitos erfüllt und das Summen der Insekten Nachts viel stärker als am Tage, und läßt Wind hier je sich spüren, so ist das nicht anders als nach Sonnen-Untergang der Fall.

Ich bin vielmehr der Meinung, daß die Gegenwart der Sonne auf die Fortpflanzung und die Stärke des Schalls durch die Hindernisse einwirkt, welche beiden die Luftströme verschiedener Dichtigkeit und die

partiellen Undulationen der Atmosphäre entgegengesetzten, welche durch ungleiche Erhitzung der verschiedenen Theile des Erdbodens hervorgebracht werden. In einer ruhigen Luft, sie sey trocken oder sey gleichförmig mit bläschenartigem Dunst vermengt, pflanzt sich die Schallwelle ohne Schwierigkeit fort. Ziehen dagegen durch sie in mannigfaltigen Richtungen (*en tourmens*) kleine Ströme wärmerer Luft, so theilt sich jedes Mal da, wo die Dichtigkeit des Mittels sich plötzlich verändert, die Schallwelle in zwei Wellen, und es bilden sich partielle Echos, welche den Schall schwächen, weil eine der Wellen in sich selbst zurückläuft: Von solcher Theilung der Wellen hat Hr. Poisson kürzlich die Theorie mit dem ihm eigenen Scharfsinn gegeben *). Meiner Meinung nach schwächt also nicht die fortschreitende Bewegung der Lufttheilchen von unten nach oben in dem Tags über aufsteigenden Luftströme, und in kleinen schief ansteigenden Luftströmen, durch *Stöße* die Fortpflanzung der Schallwellen. Ein Stoß gegen die Oberfläche einer Flüssigkeit würde um den Mittelpunkt des Stoßes Kreiswellen bilden, selbst wenn die Flüssigkeit in Bewegung ist; mehrere Arten Wellen können sich in der Luft wie im Wasser durchkreuzen, ohne sich in ihrem Verbreiten zu hindern, und kleine Bewegungen gehen über einander fort, (*de petits mouvemens se superposent*); die wahre Ursache der geringern Intensität des Schalls am Tage scheint der Mangel an Homogenität zu seyn, der dann in dem

*) In einer Abhandlung, welche ich meinen Lesern in einem der folgenden Hefte vorlegen werde. *Gilbert.*

elastischen Mittel herrscht. An allen Stellen eines ungleich erhitzten Bodens, wo kleine Luftstreifen von höherer Temperatur aufsteigen, findet eine plötzliche Unterbrechung der Dichtigkeit Statt, und überall, wo Luftschichten von ungleicher Dichtigkeit mit einander in Berührung sind, theilen sich die Schallwellen, gerade so wie die Lichtstrahlen, wenn sie gebrochen werden, und bilden eine Art von Kimmung (*Mirage*). Bei den Schallwellen wie bei den Lichtwellen werden, wenn sie durch Mittel von ungleicher Dichtigkeit fortgehen, stets zugleich zwei Wirkungen hervorgebracht; Veränderung in der Richtung der Fortpflanzung, und Erlöschung (*extinction*) von Licht und von Schall. Die Zurückwerfung, welche bei jeder Brechung erfolgt, schwächt die Intensität des Lichts; eben so verursacht die Theilung der Schallwelle da, wo die Dichtigkeit der Luft sich plötzlich verändert, partielle Echos, und der Theil der Welle, welcher in sich selbst zurückläuft, bleibt bei sehr schwachem Schalle unserm Ohre unmerkbar.

Bei der Luftspiegelung (Kimmung, *Mirage*) mit doppelten Bildern, ist stets das Bild, welches durch Brechung zunächst am Boden entsteht, schwächer, als das direkt gesehene. Es können Luftschichten von sehr verschiedener Dichtigkeit so mit einander abwechseln, daß die ursprünglichen Richtungen des Lichtstrahls und des Schallstrahls dieselben bleiben, die Intensität des Lichts und des Schalls werden dann aber nichts desto weniger sehr geschwächt seyn. In der Nacht erkaltet die Oberfläche des Bodens; die mit Rasen oder mit Sand bedeckten Theile nehmen eine glei-

che Temperatur an, und es steigen nun nicht mehr Striche wärmerer Luft lothrecht oder schief aufwärts, nach mancherlei Richtungen in der kältern Luft. In einer mehr homogen gewordenen Flüssigkeit, pflanzt sich die Schallwelle mit minderer Schwierigkeit fort, und die Intensität des Schalles nimmt zu, weil der Theilungen der Schallwellen und der partiellen Echos weniger werden.

Um etwas Genaueres über die Ursach dieser Strömungen wärmerer Luft zu geben, welche Tags über von einem ungleich erwärmten Boden aufsteigen, will ich aus dem historischen Berichte meiner Reise nach den Gegenden unter dem Aequator (t. 1 p. 164, 625, t. 2 p. 201, 285, 305, 376) einige Beobachtungen mittheilen, welche ich zwischen den Wendekreisen gemacht habe. In den Llanos oder Steppen von Venezuela hatte der Sand um 2 Uhr Nachmittags eine Hitze von $52,5^{\circ}$, einige Mal selbst von 60° C. (48° R.), indeß die Temperatur der Luft im Schatten eines Bombax $36,2^{\circ}$, und in der Sonne, 18 Zoll über dem Erdboden, $42,8^{\circ}$ C. b trug. In der Nacht hatte der Sand nur noch eine Wärme von 28° , hatte also um mehr als 24° C. an Wärme verloren. Um die Wasserfälle des Oronoco ist die Erde mit Rasen bedeckt, und nimmt Tags über nur eine Wärme von 30° an, während die Luft 26° Wärme hat; aber der hier in bedeutender Ausdehnung anstehende Granit, erhitze sich während dessen bis 48° C. Ich habe eine große Menge ähnlicher Beobachtungen in meinem Berichte von den Messungen und Beobachtungen bekannt gemacht, welche von mir über die Mirage zu Cumana zu eben der Zeit

sind angestellt worden, als sich Dr. Wollaston mit diesem Gegenstande in England beschäftigte.

Ist die Urfach, welche ich für die nächtliche Zunahme des Schalls angebe, die wahre, so darf man sich nicht verwundern, daß diese Zunahme zwischen den Wendekreisen größer im Innern des Landes als auf offenem Meere, und größer in den Ebenen als auf dem Rücken der Cordilleren ist. Die Oberfläche der Meere um den Aequator wird gleichförmig von der Sonne erwärmt, und nicht bis über 29° C., indess die verschiedenfarbige, aus Materien von verschiedener wärmestrahhlenden Kraft bestehende Oberfläche des festen Landes hier Temperaturen annimmt, die von 30° bis 52° C. reichen. In den tropischen Ländern bleibt allgemein die Erde während der Nacht wärmer als die Luft. In den gemäßigten Zonen wird dagegen der Erdboden in ruhigen und hellen Nächten um 4 bis 5° C. kälter als die Luft, und es nimmt dann die Temperatur nicht vom Boden aufwärts ab, sondern anfangs zu, bis in Höhen von 50 bis 60 Fuß, daher manchmal die irdische Strahlenbrechung hier Nachts fast eben so stark als am Tage ist. Horizontale Luftschichten von verschiedener Dichtigkeit sind über einander immer vorhanden; aber die Streifen wärmerer Luft, welche durch die Atmosphäre in schiefer Richtung aufsteigen, sind Nachts seltner als am Tage. In dem unter dem Aequator liegenden Theile der Andes beträgt in 3000 Meter Höhe die mittlere Temperatur der Luft nur 14° C., und die Wärme-Ausstrahlung nach dem wolkenlosen Himmel, durch eine sehr trockene und

reine Luft hindurch, verhindert es, daß der Boden während Tags nicht bedeutend erwärmt wird.

Doch genug von solchen örtlichen Umständen. Es ist hinreichend, die nächtliche Verstärkung des Schalls aus der Theorie der Schallwellen und ihrer Theilung im Allgemeinen abgeleitet zu haben. Die ganze Erscheinung hat ihren Grund in eben dem Mangel an Homogenität der lothrechten Luftsäulen in der Atmosphäre, welche (nach der sinnreichen Anwendung, die Arago von der Lehre von der Interferenz und Neutralisirung der Lichtstrahlen gemacht hat) die wahre Ursache des mehr oder minder starken Funkelns der Fixsterne ist. Man weiß überdem, daß die Fortpflanzung des Schalls merklich geändert wird, wenn man in einer an ihrem einen Ende verschlossene Röhre eine Lage Wasserstoffgas über eine Lage atmosphärischer Luft steigen läßt.

Wenn *Aristoteles* in seiner interessanten Schrift: *Problemata*, auf die Frage: „warum hört man den Schall besser während der Nacht?“ antwortet: „das kommt daher, weil es dann mehr Ruhe giebt, wegen der Abwesenheit des Heißseften, welche Abwesenheit alles ruhiger und leidender macht, indem die Sonne das Princip aller Bewegung ist:“ — *) so scheint er die wahre Ursache geahnet zu haben. Ueberhaupt aber muß man die Menge richtiger, oft feiner Beobachtungen bewundern, welche dieses Werk des Philosophen von Stagira über den Thau, die Ursachen der Mirage, die Wärmeleitung der Metalle und der Asche, die Hö-

*) Arist. Opera omnia Ed. du Val. 1639 t. 2 p. 115 — 123.

he der Wolken als Wirkung aufsteigender Strömungen und dergl. mehr enthält, und wenn man dabei bedenkt, wie unvollkommen der Zustand der Naturlehre bei den Alten war, die in gänzlicher Unbekanntschaft mit der experimentalen Methode waren *).

Die Bewohner der Alpen und der Andes halten eine ungewöhnliche Verstärkung des Schalls während ruhiger Nacht für ein sicheres Vorzeichen eintretender Veränderung der Witterung. „Es wird regnen,“ sagen sie, weil man das Rauschen der Ströme näher

*) Man sehe meine Samml. astron. Beob. Th. I S. 127. Weder in Aristoxenes Buch von der Musik, noch in Seneca's *quaest. natur.*, noch bei Theophylactus Simocatta kommt die Frage vor, wohl aber bei Plutarch (Ed. Paris. 1624 t. 2 p. 721 D.) Der erste der mit einander Redenden, behauptet, die Kälte der Nacht figire und verdichte die Luft, und man höre den Schall am Tage schlecht, weil es weniger leere Räume gebe. Der zweite Redende verwirft diese leeren Räume und nimmt mit Anaxagoras an, während Tags setze die Sonne die Luft in eine zitternde und schlagende Bewegung, man höre am Tage schlecht, wegen des vielen Staubes, der dann in der Luft zische und murmele, in der Nacht aber höre die Erschütterung, und folglich auch das Zischen des Staubes auf. Doch müsse Anaxagoras darin berichtigt werden, daß man auf diesen Schall der kleinen Körperchen in der Erklärung Verzicht leiste, indem es hinreiche die Erschütterung und Bewegung derselben anzunehmen. Die Bewegung der Luft nehme von der Stimme immer etwas fort und entführe etwas von ihrer Stärke und Grösse. Der große Regierer und Heerführer am Himmel, die Sonne, setze alles, bis auf die kleinsten Lufttheilchen in Bewegung, und so bald er sich zeige, errege und bewege er alles.“ v. H.

hört.“ Herr Deluc hat dieses aus Veränderung des barometrischen Luftdrucks durch das Platzen einer größern Menge von Luftblasen an der Oberfläche des Wassers zu erklären gesucht (Ueber die Atmosphäre §. 1031 Anm. b.); dieses ist aber eine gezwungene, wenig genügende Erklärung. Ohne mich auf eine andere einzulassen, begnüge ich mich, auf die Analogie dieses Vorzeichens mit dem einer mindern Extinktion des Lichtes aufmerksam zu machen. Die Bergbewohner kündigen eine Veränderung der Witterung an, wenn bei ruhiger Luft die Schneeberge plötzlich dem Beobachter näher zu stehen scheinen, und ihre Umrisse gegen den blauen Himmel mit ungewöhnlicher Schärfe zeigen. Welche Beschaffenheit der Luft auch diese Erscheinungen veranlasse, immer ist es interessant, in ihnen eine neue Aehnlichkeit zwischen den Schallwellen und den Lichtwellen wahrzunehmen.