

Zahl von Luftbläschen zu erklären gesucht, welche an der Oberfläche des Wassers plagen. Diese Erklärung ist gezwungen und wenig befriedigend; ich will nicht versuchen sie durch eine andere Hypothese zu ersetzen, aber ich will an die Analogie erinnern, die zwischen den aus dem Wachsen des Schalles gezogenen meteorologischen Wahrzeichen und einem anderen obwaltet, das von einer geringeren Schwächung des Lichtes hergenommen wird. Die Gebirgsbewohner verkünden eine Wetter-Veränderung, wenn bei ruhiger Luft ferne, mit ewigem Schnee bedeckte Berge plötzlich dem Beobachter genähert erscheinen, so daß ihre Umrisse sich mit außerordentlicher Bestimmtheit von dem azurenen Himmelsgewölbe abheben. Welches auch der Zustand der Atmosphäre sein möge, der diese Erscheinungen verursacht, so ist es nichtsdestoweniger merkwürdig darin eine neue Analogie zwischen den Bewegungen der Schallwellen und denen der Lichtwellen zu erkennen.

Zusätze aus dem Jahre 1853  
zu der im März 1820 im Institut zu Paris gelesenen  
Abhandlung.

Die nächtliche Zunahme des Schalles ist, nach meinen Beobachtungen, größer in den Ebenen und niedrigen Gegenden als auf hohen Gebirgs-Plateaus, größer auf dem festen Lande als auf dem Meere. In den Ebenen ist mir immer am auffallendsten gewesen die weite Entfernung, in der man in der Tropenwelt bei Nacht die gesellig lebenden Heul- oder Brüllaffen<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Die heerdenweise lebenden Affen, welche am meisten Lärmen bei Nacht in den Wäldern der Tropengegend von Südamerika machen, sind

(die härtigen Araguatos) oder das Geräusch der Wasserfälle vernimmt. Das Rauschen der Wasserfälle wie das Getöse einer Brandung wird, wie Deluc und Tyndall<sup>1</sup> bemerkten, hauptsächlich durch das Zerspringen der Luftblasen im Wasserstrahl erzeugt. Die Schwächung des Schalles auf dem Meere, wenn derselbe auf diesem selbst erregt wird, kann nicht, wie auf dem Continent, durch locale Verschiedenheit der Erwärmung der Oberfläche verursacht werden. Die Oberfläche des Meeres hat oft, nach meinen Beobachtungen, auf mehrere Hunderte von Quadratmeilen zwischen den Wendekreisen bis auf 0°,3 dieselbe gleichmäßige Temperatur. Differenzen der Dichtigkeiten von aufsteigenden Luftsäulen verschiedener Temperatur, in denen die Schallstrahlen oder Schallwellen sich brechen, sind hier nicht anzunehmen. Der schwächere Schall des Geschüzes auf der offenen See ist also wohl nur dem Mangel von Elasticität des flüssigen Bodens zuzuschreiben. Die Wirkung wollener Decken in einem Concertsaale; oder die Verminderung des Schalles, wenn Geschüz am Rande eines Kornfeldes, das in vollen Halmen steht, aufgestellt ist, bieten lehrreiche Analogien dar. Wenn nach Derham's Beobachtung ein Schneefall, d. i. Schneeflocken, die in der Luft schweben, die Intensität des Schalles vermindern; so schreibe ich dies allerdings einer Brechung der Schallwellen zu, wegen der veränderten Dichtigkeiten, welche der Schallstrahl

unter den Stentoren: der Araguato von Caracas, *Simia ursina* (Humboldt, Recueil d'Observations de Zoologie et d'Anatomie comparée Vol. I. p. 329); der Araguato des Magdalenaflusses, *Simia seniculus* (p. 354); und der Choro oder Araguato des Amazonenflusses in der Provinz Jaen de Bracamoros, *Simia flavicauda* (p. 343).

<sup>1</sup> In Poggendorff's Annalen Bd. 62. 1851 S. 303.

auf seinem Wege durch das mit Schneeflocken gefüllte Medium findet (ganz wie ein mit Champagner-Wein gefülltes Glas, angeschlagen, so lange nicht hell, ja nicht mehr wie Holz oder Horn, tönt, als Ströme von kohlensaurem Gas die tropfbare Flüssigkeit durchsetzen); wenn aber Schwächung des Schalles, ebenfalls nach Derham's Beobachtung, auch nach dem Schneefall bei weichem, frisch gefallenem Schnee nur so lange bemerkt wird, als die Schneefur noch nicht mit einer glänzenden Eisdecke überzogen ist: so offenbart sich hier wieder ein Phänomen der Resonanz der Bodenfläche. Wir vernahmen, Bonpland und ich, auf einem Schiffe im Februar 1803 in der Südsee, bei einer Entfernung von mehr als 42 geographischen Meilen, den Donner und das Krachen des Vulkans Cotopaxi während seines Ausbruchs viel stärker bei Nacht als bei Tage. Die Ursach dieser Erscheinung darf wohl nur in dem Theile des Weges des Schallstrahles gesucht werden, welcher aus einer Höhe von 17700 Fuß bis zu dem Meeresufer herabkam: also in Luftschichten, die auf dem Continent ruhen. Im Hafen von Guayaquil, wo das Getöse des Vulkans die Fenster durch Erschütterung klirren machte, obschon bei 37 Meilen Entfernung<sup>1</sup>, hörten wir, vor der Einschiffung nach Acapulco, ebenfalls den Schall dreimal stärker nach Mitternacht als um Mittag. Der nächtliche Schall war also auf dem Meere nur deshalb so stark, weil er in der Luftschicht senkrecht über dem Ufer, bei Tage aus den in der Abhandlung angegebenen Ursachen geschwächt, bei

<sup>1</sup> Die Entfernung ist auf die von mir verbesserte Länge der Stadt Quito (81° 5' 30'') und den genauen Meridian-Unterschied von Quito und Guayaquil (1° 12' 32'') gegründet; Humboldt, Recueil d'Observ. astron. Vol. II. p. 353 no. 437.

Nacht ungeschwächt ankam, und sich in derselben Intensität weiter gegen Westen bis zur Station des Schiffes fortpflanzte.

Eine Reihe sehr genauer, mit vieler Vorsicht angestellter akustischer Versuche über bewegte und unbewegte Luft besitzen wir von dem scharfsinnigen La Roche aus dem Jahr 1813. Auf einem Gebiete, wo noch so vieles unerklärt bleibt und wo, wie im Wasser, mehrere Wellensysteme trotz ihrer gegenseitigen Störungen sich gleichzeitig in demselben Raume<sup>1</sup> fortpflanzen können, ist es am wichtigsten wohl beobachtete Thatsachen an einander zu reihen und keine aus Vorliebe zu sogenannten unumstößlichen Theorien zu verwerfen. Nach den Versuchen von La Roche und Dunal, in denen zwei gleiche Töne in der Linie eines starken Luftstroms erregt und die Unterschiede ihrer Intensität aus der Entfernung geschlossen wurden, in welcher die gegen den Wind aufsteigende und die mit dem Winde herabkommende Schallwelle für das Ohr genau von gleicher Stärke schienen, war allerdings die Abnahme des Schalles geringer in der Richtung des Windes selbst als in der, welche dieser Richtung entgegengesetzt war; aber bei einer dem Schallstrahl perpendicularen Richtung des Windes war die Intensität selbst größer, als wenn die Erschütterung mit dem Winde kam, d. h. in der Richtung des Luftstromes. Daß nicht, wie der Volksglaube es annimmt, der Wind die bewegte Schallwelle beschleunigt oder gleichsam sie mit sich führt, lehrt die geringe Fortpflanzungs-Geschwindigkeit des Windes, die selbst bei sehr beträchtlicher Stärke desselben

<sup>1</sup> Die gleichzeitig erregten Wellensysteme des Schalles wirken durch Reflexion und Interferenz, wie es scharfsinnig Weber und Savart erwiesen haben; s. Comptes rendus de l'Acad. des Sciences T. VII. 1838 p. 1068.

noch 25mal geringer als die Geschwindigkeit des Schalles ist. Die Versuche von La Roche und Dunal haben aber auch gewisse Modificationen des Schalles offenbart, welche ganz unabhängig von der Bewegung durch Wind waren. Bei ganz ruhiger Luft wurden in gleicher Entfernung die größten Verschiedenheiten der Intensität bemerkt; auch wenn der Wind heftig und dabei gleichmäßig wehte und die Beobachter den Schall in der Richtung des Luftstroms erhielten, war derselbe intermittirend bald sehr intensiv, bald kaum hörbar.<sup>1</sup>

Nach den ersten, sehr unvollkommenen Versuchen über die Geschwindigkeit der Fortpflanzung des Schalles in der Ebene, von Mersenne, Gassendi und den Mitgliedern der Academia del Cimento, sah Cassini de Thury (1738) zuerst ein, als er seine Versuche in der Umgegend von Paris bei Fontenay aux Roses anstellte, daß ohne Wechselseitigkeit der gleichzeitigen Erregung des Schalles in zwei einander gegenüber liegenden Stationen keine Genauigkeit zu erlangen wäre; denn das Maasß der Schall-Geschwindigkeit sei „die halbe Summe der in jeder Station zwischen Blitz und Knall beobachteten Zeit“. Da der Wind auf die beiden Geschwindigkeiten den entgegengesetzten, beschleunigenden oder verlangsamenden, Effect ausübt; so ist das Resultat so

<sup>1</sup> De la Roche sur l'influence que le vent exerce dans la propagation du son, sous le rapport de son intensité, in den Annales de Chimie et de Physique 2<sup>me</sup> Série T. I. (1816) p. 178, 183, 189, 192 und 195. Die ältesten Florentiner Versuche mit Kanonen, die in Livorno abgefeuert und in Porto Ferrajo auf der Insel Elba, in 15 geogr. Meilen Entfernung, gehört wurden, haben das Resultat gegeben, daß bei ganz ruhiger Luft der Schall intensiver als bei bewegter war, selbst wenn der Wind von Livorno her nach Elba wehte.

beschaffen, als wäre es bei ruhiger Luft erhalten. Diese Gleichzeitigkeit in der wechselseitigen Erregung des Schalles wurde aber erst vollkommen in den Versuchen einer Commission des Bureau des Longitudes im Sommer 1822 auf Arago's Vorschlag erlangt; später, und zwar mit großer Genauigkeit, (Sommer 1823) von zwei holländischen Gelehrten, Moll und A. van Beek, in der Haide von Utrecht, wie in der Schweiz zwischen der Höhe des Faulhorns und dem Dorfe Tracht bei Brienz (Sommer 1844). Das Bureau des Longitudes hatte Gay-Lussac und mich eingeladen uns der Commission, die aus Arago, Mathieu, Bouvard und Prony bestand, anzuschließen und Theil an den Beobachtungen zu nehmen.<sup>1</sup> Die Stationen, wo das Geschütz aufgestellt wurde, waren der Hügel von Montlhéry, den schon Cassini benutzt hatte, und die Ebene von Villejuif; Entfernung, trigonometrisch gemessen, 9549,6 Toisen oder 18613 Meter. Unsere Versuche vom 21 und 22 Juni 1822 haben für 10° des hunderttheiligen Thermometers eine Geschwindigkeit von 337<sup>m</sup>,2 (173',01) gegeben: unter der Voraussetzung einer Temperatur-Correction von 0',321 für jeden hunderttheiligen Wärmegrad, also auf 0° reducirt 330<sup>m</sup>,9 (169',8). Arago glaubt, daß die Grenze der Genauigkeit nicht mehr als 1<sup>m</sup> sei.

Die bei Utrecht angestellten Versuche von Moll und

<sup>1</sup> Arago, Résultats des Expériences faites par ordre du Bureau des Longitudes sur la détermination de la vitesse du son dans l'atmosphère, in der Connaissance des tems pour l'an 1825 p. 361—371. — Wir bedienten uns zum ersten Mal bei diesen Schallversuchen auf dem Hügel von Montlhéry des punktirenden Zählers von Reguet, in welchem die Unvollkommenheit der gewöhnlichen Sperrung dadurch vernichtet ist, daß der Hebel, welcher den Punkt macht, von dem Uhrwerk ganz unabhängig, und folglich ohne Einfluß auf den Gang des Secunden-Zeigers ist.

A. van Beek<sup>1</sup> geben, auf 0° Temperatur und trockne Luft reducirt, 332<sup>m</sup>,05; die von Bravais und Martins auf dem Faulhorn (in einem verticalen Höhen-Unterschied von 2078 Metern), reducirt wie die eben genannten, gaben 332<sup>m</sup>,37 in der Secunde.<sup>2</sup> In diesen Versuchen zeigte sich, trotz der beträchtlichen Höhe des oberen Standorts auf dem Faulhorn, die Geschwindigkeit des aufsteigenden Schalls genau gleich mit dem des niedersteigenden. Für die Intensität und Grenze der Hörbarkeit des Schalles, die man nicht mit der Schnelligkeit verwechseln muß, hat es mir nach Erfahrungen geschienen, welche ich auf der hohen Andeskette einsammeln konnte, daß, wenn die Träger unserer Meßinstrumente weit unter uns im Erklimmen großer Anhöhen zurückblieben, der aufsteigende wärmere Luftstrom außerordentlich die Hörbarkeit vermehrte. Wir verstanden ihre Worte in großer Entfernung, wenn sie tief unter uns standen. Beim Herabsteigen von der steilen Silla de Caracas vernahmen wir in einer Höhe von mehr als fünf- oder sechstausend Fuß die aus dem Thale aufsteigenden Töne verstimmter Gitarren<sup>3</sup>, von denen man in allen von Einwohnern spanischer Herkunft eingenommenen Ländern verfolgt wird! Mein Freund Gay-Lussac vernahm im Luftball in funfzehn- oder siebzehntausend Fuß senkrechter Höhe das Bellen der Hunde; ja in Höhen, die er zu 7000 Fuß schätzte, selbst den Gesang kleiner, sich wenig über die Kornfelder erhebender Vögel.

Die ersten recht genauen, auf numerische Angaben

<sup>1</sup> Philos. Transact. for 1824 P. I. p. 456.

<sup>2</sup> Comptes rendus de l'Académie des Sciences T. XIX. 1844 p. 1171 und 1174.

<sup>3</sup> Humboldt, Voy. aux Régions équinoxiales. T. I. p. 616.

gegründeten Resultate über die Intensität des Schalles und den Unterschied dieser Intensität in den Tages- und Nachtstunden verdanken wir zweien vortrefflichen Beobachtern, Martins und Bravais.<sup>1</sup> Da ein Ton des Diapason's, z. B. das einmal gestrichene c, das aus 512 Vibrationen in der Secunde entsteht, in einem luftförmigen Medium von gleicher Dichte auch immer dieselbe Intensität hat, so giebt die Verschiedenheit der Entfernung, in der man aufhört den Ton des Diapason's zu vernehmen, bei ungleicher Dichtigkeit der Luftschichten, ein sicheres Maas für die Intensität. In einer Ebene bei dem Dorfe Saint-Chéron (Dép. de Seine et Oise) wurde der Ton des Diapason's nicht mehr gehört in einer Entfernung von 254 Metern. Die Ruhe der Luft war kaum bisweilen unterbrochen von einem sehr schwachen Südwinde, der aber in senkrechter Richtung die Linie durchschneidet, welche das Instrument von dem Hörenden trennte. Der Himmel blieb bedeckt, und die Luft-Temperatur war während der Versuche (1½ Uhr Nachmittags, den 22 Juni 1844) 24° Cent., Barom. 744<sup>mm</sup>,3. Die Versuche wurden um Mitternacht wiederholt; und obgleich durch das Summen und Schwirren der Insecten, das Fallen von kleinen Baumzweigen und vieles Bellen der Hunde die Stille der Nacht mehr als am Tage unterbrochen war, so konnte man sich doch um 125<sup>m</sup> weiter entfernen. Erst in der Entfernung von 379<sup>m</sup> war die Schallwelle nicht mehr vernehmbar (Therm. 17°, Barom. wieder 744<sup>mm</sup>,7). Während Cassini de Thury aus seinen ungenauen Versuchen von 1738 die nächtliche Zunahme des

<sup>1</sup> Martins sur l'intensité du son dans l'air rarifié des hautes montagnes, im Annuaire météorologique de la France pour 1830 p. 221—225.