in einem so feinen Pulver nahmen, als wir uns nur verschaffen konnten.

XIII. Ueber die im Wasser hercorzubringenden Töne; von Hrn. Daniel Colladon.

(Aus den *Compt. rend. T. XIII p. 439*. Ein Schreiben an Hrn. Arago.)

Als ich, am Schlusse des Jahres 1826, meine ersten Versuche über die Erzeugung und Fortpflanzung der Töne im Wasser angestellt hatte, forderten Sie mich auf zu versuchen, ob man einen vom Boden eines Sees oder des Meeres reflectirten Ton hören könne, und im Stande sey, mittelst der verflossenen Zeit die Tiefe des Wassers zu messen.

Dieser Versuch ist im J. 1838 unternommen worden, an den Küsten der Vereinigten Staaten und auf Befehl der Admiralität, vom Herrn S. Bonnycastle, Professor an der Universität zu Virginien. Einen Abriss von seinen Versuchen findet man im *L'Institut* (1840), No. 316 p. 25 ¹).

Die Abhandlung des Hrn. Bonnycastle enthält eine Behauptung, die mir mit den Resultaten in Widerspruch zu stehen scheint, die ich 1826 erhalten habe, und in den *Annales de chimie et de physique* von 1827, so wie in den *Mémoires de L'Institut (Savants étrangers, T. V)* ausführlich beschrieben sind ²). Der amerikanische Professor schließt aus seinen Versuchen, daß *der Ton sich besser in Luft als in Wasser ver-*

1) Diese Versuche führten zu keinem Resultat, weshalb sie hier auch wohl einer näheren Auseinandersetzung nicht bedürfen. P.

2) Auch in den *Annal. Bd. XII, S. 171 und 186*.

breite, und er giebt als Gränze, bei welcher ein *Glockenschlag* nicht mehr unter Wasser hörbar sey, die Entfernung von acht bis zehn tausend Fuß.

Das Instrument, dessen sich Hr. Bonnycastle bediente, war offenbar sehr unvollkommen; denn bei meinen Versuchen im November 1826 konnte ich, mittelst einer Glocke von 65 Kilogrammen Gewicht, den Ton, ungeachtet des ziemlich starken Geräusches der Wellen, bis in einen Abstand von 13500 Metern verpflanzen.

Hört man nahebei den Schlag eines Hammers auf einen zum Theil in Wasser getauchten Körper, und bedient sich dazu eines solchen hydro-akustischen Apparats, wie er in *Tom. V des Savants étrangers* beschrieben und abgebildet ist ¹⁾, so vernimmt man deutlich zwei Geräusche; das erstere, durch das Wasser anlangende, ist kürzer, und scheint weniger intensiv als das zweite, von der Luft durchgelassene. So wie man sich aber entfernt, verändert sich das Verhältniß der beiden Intensitäten, und in einer hinlänglichen Entfernung *ist das erste, im Wasser wahrgenommene Geräusch weit intensiver als das zweite, in der Luft gehörte*. Bei fernerer Vergrößerung der Entfernung hört man noch deutlich das Geräusch im Wasser, selbst wenn es unmöglich ist, bei vollkommen ruhiger Luft und bei nächtlicher Stille, irgend einen von der Luft durchgelassenen Ton zu hören.

Schlägt man auf eine Glocke mit gleicher Kraft abwechselnd unter und über dem Wasser, so erhält man vollkommen analoge Resultate.

In der Luft hält es schwer, die Intensität der aufgefangenen Töne zu verstärken; für die vom Wasser durchgelassenen Töne aber habe ich ein Instrument beschrieben ²⁾, dessen verstärkende Kraft (*pouvoir grossissant*) bis zu einer noch unbekannten Gränze erhöht wer-

1) Annal. Bd. XII S. 179 und Taf. II. b. Fig. 9.

2) Ebendasselbst.

den kann, — wie mich neuere Versuche lehrten, weit über die früherhin erwartete. Ich besitze einen Apparat, dessen verstärkende Kraft doppelt so groß ist als die meines früheren Apparats, und ich bin gewiss, daß man sie noch viel weiter treiben kann.

Ich habe einen Apparat verfertigen lassen, bestehend aus einem Uhrwerk mit einer Glocke (*timbre*) von wenigstens 1 Kilogramm Gewicht. Ein vom Uhrwerk bewegter Hammer schlägt auf die Glocke unter Antrieb einer Feder, deren Spannkraft constant ist. Ich habe mich auch einer Spieldose von kleinen Dimensionen bedient, die unter Wasser spielt, man mag sie untertauchen oder in eine kleine Taucherglocke einschließen. Mit diesen beiden Instrumenten habe ich die oben erwähnten Resultate bestätigen können. Unter andern habe ich dabei gefunden, daß die *hohen Töne* leichter unter Wasser bei großen Entfernungen zu hören sind.

Die aus dünnem Metallblech gebildeten, unten verschlossenen Gefäße sind ohne Zweifel die zweckmäßigsten hydro-akustischen Instrumente; allein schon jeder feste, zum Theil in Wasser getauchte Körper, an welchen man den Kopf legt, vermag die im Wasser fortgepflanzten Töne zum Ohre überzuführen.

Wenn ein Körper unter Wasser ertönt, erlöschen seine Vibrationen keineswegs rasch, sondern sie beharren eine ziemlich lange Zeit, selbst wenn die Dichtigkeit des schallenden Körpers und die des Wassers wenig verschieden sind. Wenn man z. B. eine dünne Glasglocke von 18 Centim. Oeffnung durch einen Schlag unter Wasser zum Tönen bringt, so kann man sich versichern, daß die Schwingungen noch nach einer Secunde bestehen; denn wenn man die Glocke nach Ablauf dieser Zeit aus dem Wasser zieht, hört man einen sehr deutlichen Ton.

Eine große, ganz untergetauchte Glocke giebt beim Daraufschlagen einen Ton, der mehrere Secunden anhält.

Taucht man in geringer Entfernung von der Glocke einen Stab ein, den man zugleich mit der Hand anfaßt, so fühlt man eine sehr heftige Vibrationsbewegung, die sich durch das Wasser zum Stabe verpflanzt.

Gesprochenes pflanzt sich unter Wasser in einige Ferne fort; wenn aber die Person, welche spricht, sich in einer Taucherglocke befindet; so hört man nur verworrene Töne, ohne, im Abstand von einigen Metern, die Articulationen unterscheiden zu können.

Der Stofs eines Wasserfalls oder der von den Schaufeln eines Dampfschiffs von 100 und mehr Pferden erzeugt unter Wasser nur ein schwaches und verworrenes Geräusch, ein leichtes Brummen. Bei 50 Metern Abstand bewirken die Räder eines Dampfschiffs unter Wasser ein Geräusch wie das Summen einer Biene. In 1000 Metern Entfernung hört man kein deutliches Geräusch; und ich habe demnach Grund zu glauben, daß man nur mit Unrecht behauptet hat, das Geräusch der Dampfschiffe verscheuche die Fische.

Obgleich die vom Wasser fortgepflanzten und mit meinem Apparat wahrgenommenen Töne viel kürzer sind als die von der Luft durchgelassenen, so erkennt man doch mit größter Leichtigkeit nicht nur den Grad der Höhe des Tons, sondern auch den Klang des tönenden Körpers, und sehr oft kann man dessen Natur errathen, bis zu einem gewissen Grad selbst seine Dimensionen, und die Art, wie er zum Tönen gebracht worden ist. Das Geräusch einer unter Wasser rasselnden Kette unterscheidet man so gut, daß man es erkennt, wenn 4-5000 Meter entfernt, eine Barke ihren Anker lichtet. In einem Seekriege könnte diese Beobachtung einige Wichtigkeit haben.

In der erwähnten Abhandlung habe ich den schwächenden Einfluß von Scheidewänden (*tirants*) auf den durchgelassenen Ton nachgewiesen ¹⁾. Dieser Einfluß ist nicht absolut. Wenn die Schwingungen energisch sind, pflanzt

1) Annales, Bd. XII S. 189.

sich der Ton mit einer gewissen Intensität jenseits der festen Hindernisse fort, die er antrifft. Bei einem mit einer großen Glocke gemachten Versuch zählte man jeden darauf gethanenen Schlag in einem am Ufer, auf aufgeschüttetem Boden erbauten Hause, in einem Abstände von etwa 3000 Metern von der Glocke, obwohl diese durch ein Vorgebirge vom Hause getrennt war.

Es war mir erlaubt, eine 500 Kilogramm. schwere Glocke, die zu einer Kirche im Kanton Genf gehörte, auf einige Tage zu gebrauchen. Ich tauchte sie 3 Meter tief unter, an einem Ort wo die Wassertiefe 15 Meter betrug, an der Spitze von Promenthoux bei Nyon. Man schlug auf sie mit einem 10 Kilogr. schweren eisernen Hammer, mittelst einer langen, nach oben rechtwinklich gebogenen eisernen Handhabe, durch deren Knie eine Axe ging. Dieser Hammer ward beständig durch einen einzigen Mann in Bewegung gesetzt, der damit alle zwei Secunden einen Schlag gab.

Ich hatte gehofft, eine neue Reihe von Versuchen machen zu können über die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Tons im Wasser des Genfersees, der zwischen den beiden gewählten Stationen eine Temperatur von 17° C. besaß (bei meinen Versuchen im November 1826 war sie nur 8° C.). Die Leichtigkeit, mit welcher wir das Geräusch der Schläge auf die Glocke in der bedeutenden Entfernung von *fünf und dreißig tausend Metern* hören konnten, hatte mich bewogen, diese Entfernung als Zwischenraum beider Stationen zu wählen. Hr. Müller, Hilfsastronom an der Genfer Sternwarte und Prof. der Physik zu Nyon, begleitete mich bei diesem Versuch und hörte mit mir mittelst eines zweiten Apparats. Unglücklicherweise wurden wir an den beiden einzigen Tagen, die uns zu diesen Messungen verstattet waren, durch die Heiterkeit des Himmels und den Mondschein verhindert, die Pulversignale zu sehen, die uns in den nebligen Novembernächten so wohl gelungen waren.

Wir steigerten die verbrannte Pulvermasse bis zu einem Pfunde, ohne das Licht mit der Sicherheit zu sehen, daß wir eine Messung machen konnten.

Dieser, am 5. August zwischen Promenthoux und Grandvaux bei Cully gemachte Versuch hat jedoch bestätigt, was ich in meiner früheren Abhandlung über die Nützlichkeit dieses Verkehrsmittels aussprach. Wie ich voraussah, daß man mittelst seiner unter Meeren und Seen auf große Entfernungen würde correspondiren können, und wahrscheinlich auf größere als mittelst des Lichts oder mittelst des in Luft fortgepflanzten Schalls, so scheint es mir gegenwärtig erwiesen, daß man unter günstigen Umständen und mit kräftigen, wohl berechneten Hilfsmitteln werde auf eine Entfernung von *einigen hundert tausend Metern* correspondiren können. Es ist sehr wahrscheinlich, daß an vielen Orten die Stärke des Schalls im Meere nicht proportional dem Quadrat der Entfernung oder beinahe so abnehmen werde, weil der Schall sich in einer Wasserschicht fortpflanzt, dessen Ober- und Unterfläche fast die Gesamtheit der Schwingungen in dem Wasser zurückhalten, da diese Flächen unter sehr scharfen Winkeln von den Schwingungen getroffen werden.

Es ist vorauszusehen, daß die Vibrationen, durch Rückprall und Anhäufung an gewissen Punkten, auf dem Boden von Buchten ein sehr intensives Geräusch werden hervorbringen können. Ueberdies begreift man leicht, daß viele, diese telegraphischen Versuche erleichternde Anordnungen und künstliche Vorrichtungen möglich sind, die über kurz oder lang von maritimen Behörden werden benutzt werden ¹⁾.

Bei 35000 Meter Entfernung hörte man jeden Schlag auf die Glocke deutlich mit meinen beiden Apparaten, von denen einer der im J. 1826 gebrauchte war. Mit

1) Die Bewegung der Wellen stört die fast vollkommene Stille, welche unter dem Wasser des Meeres herrscht, nur sehr wenig. Diese Stille begünstigt die Communicationen unter Wasser sehr.

dem andern Apparat waren die Töne anhaltender; man erkannte das Nachklingen der Glocke, und unterschied recht wohl ihren Klang (*timbre*); mit dem älteren Instrument war der Schall schwächer und kürzer ²).

Weder Hr. Müller noch ich hörte irgend ein Echo, obwohl die Gestaltung des Sees annehmen liefs, dafs man mehre hören würde; allein Hr. Veret, ehemaliger Zögling der Ecole centrale de Paris, welcher während dieser Versuche, nur einige tausend Meter von der Glocke entfernt, auf einem Boote quer über den See fuhr, hörte, mit einem ähnlichen Apparate wie der meine, an gewissen Stellen wohl zwei intensive und sehr deutliche Echo. Meistens hört man kein anderes Echo, als einen Wiederschall (*retentissement*), veranlaßt durch die vom Ufer zurückgeworfenen Wellen. Dieser Wiederschall ist sehr vernehmbar, wenn man sich jenseits der Glocke stellt, senkrecht gegen das Ufer oder nahezu.

Meine Versuche über die Möglichkeit, ein vom Boden reflectirtes Echo zu hören, sind noch nicht zahlreich genug, um zu entscheiden, ob diefs ein wirksames Mittel zur Messung der Wassertiefe abgeben könne.

- 1) Für solche Versuche auf grofse Entfernungen ist es zweckmäfsig, die in das Wasser hinabgelassene Glocke luftleer zu machen. Diefs geschieht, ohne dafs man sie umkehrt, sehr leicht durch Einbringung eines Hebers.
-