I. *Bemerkungen zu N. Savart's Aufsatz über stehende Wellen; von A. Seebeck.*

Als N. Savart seine schönen Beobachtungen über die Knoten und Bäuche, welche bei der Zurückwerfung eines Tones wahrgenommen werden können, in den *Annal. de chim. et phys.*, T. LXXI, p. 20, mittheilte, konnte es wohl keinem Leser seiner Abhandlung zweifelhaft seyn, daß diese Erscheinungen durch eine Interferenz der zurückgeworfenen Wellen mit den directen entstehen, und Savart selbst sprach sich am Schlusse seines Aufsatzes in diesem Sinne aus, ohne sich übrigens auf eine nähere Vergleichung der Thatsachen mit den aus dieser Ansicht fließenden Folgerungen einzulassen. Da eine solche Vergleichung auf anscheinende Widersprüche zwischen den empirischen und theoretischen Resultaten führte, so habe ich einige Versuche über diesen Gegenstand angestellt, und gezeigt, daß jene Widersprüche sich heben, wenn man den Einfluß in Rechnung bringt, welcher durch das Umbeugen der Wellen um den Kopf des Beobachters bedingt wird. (Diese *Annal.*, Bd. 59, S. 177.) Dagegen hat Savart in einer unlängst erschienenen Fortsetzung seiner Untersuchungen (*Ann. de chim. et phys.*, 3^{me} S., T. XIV, p. 385) ¹⁾ jene Ansicht, daß hier eine Interferenz der directen und zurückgeworfenen Wellen wirksam sey, gänzlich aufgegeben, und stellt die Hypothese auf, »daß die stehenden Wellen ihren unmittelbaren Grund in den Schwingungen der Wand haben, und daß die aus der ursprünglichen Tonquelle kommenden Wellen nur in sofern einen Antheil an der Erscheinung haben, als sie der Wand eine schwingende Bewegung mittheilen«.

1) Es ist der im 11. Heft des letzten Jahrgangs dieser Annalen. P.
Poggendorff's *Annal.* Bd. LXVII.

Ich will nicht auf die Schwierigkeiten eingehen, welche dieser Ansicht entgegenstehen, wenn eine Mauer oder der Erdboden den Ton zurückwirft, sondern zeigen, daß die Erfahrungen, auf welche dieselbe sich stützt, ganz in Uebereinstimmung mit der Interferenztheorie stehe. Savart folgert nämlich seine neue Erklärung aus der Verbindung folgender drei von ihm beobachteten Thatsachen: 1) daß die Entfernung des tönenden Körpers von der Wand keinen Einfluß auf die Lage der Knoten hat; 2) daß die Knotenflächen eben und der Wand parallel sind; 3) daß der zurückgeworfene Ton eine Verschiedenheit des Klanges je nach der Natur der zurückwerfenden Fläche zeigt.

In Betreff der ersten dieser drei Erfahrungen bedarf es keiner Erläuterung, daß dieselbe ganz der Interferenztheorie gemäß ist, da es ja nur auf den Gangunterschied der directen und zurückgeworfenen Wellen ankommt, und dieser, bei senkrechter Zurückwerfung, gleich dem doppelten Abstände des Ohres von der Wand, also unabhängig ist von der Entfernung des tönenden Körpers. Was die zweite Erfahrung betrifft, so ergibt sich leicht, daß die Knotenflächen zwar nicht eben, sondern hyperbolisch gekrümmt seyn müssen, sich aber in der Nähe der Wand so wenig von Ebenen unterscheiden, daß die Verschiedenheit für die Beobachtung nicht merklich wird. Ein Blick auf Fig. 1 Taf. I wird hinreichen, dies zu erläutern. Die ausgezogenen Kreishbogen stellen die directen und zurückgeworfenen Wellen, und die punktirten Linien die daraus entstehenden Knoten dar; die letzteren sind Hyperbeln, welche in *A* (im tönenden Körper) ihren Brennpunkt, und in *B* (auf der Wand) ihren Mittelpunkt haben, wie sich sogleich aus der Constanz des Gangunterschiedes ergibt. — Was endlich die dritte Thatsache anlangt, so ist auch diese ganz der Theorie gemäß. Ich habe in einer Theorie des Mit-tönens gezeigt (diese Annal., Bd. 62, S. 302), daß eine Platte, welche auf einer Seite von einem Wellenzuge getroffen wird, auf der anderen Seite Wellen fortpflanzt, welche zwar dieselbe Länge, aber nicht dieselbe Form beibe-

halten, und man sieht sogleich aus jener Darstellung, daß dasselbe auch von den zurückgeworfenen Wellen gilt; daraus aber folgt, daß das Mitschwingen der zurückwerfenden Fläche keinen Einfluß auf die *Lage* der durch Interferenz entstehenden Knoten und Bäuche, wohl aber auf den *Klang* des wahrgenommenen Tones auszuüben vermag, ganz wie Savart's Beobachtungen dies ergeben haben. Es liegt also in jenen Erfahrungen kein Grund, die Interferenztheorie zu verlassen, vielmehr dienen sie derselben nur zur Bestätigung.

Schwieriger scheint allerdings die Erklärung jener Knoten und Bäuche zu seyn, welche, nach Savart, auch *hinter* der zurückwerfenden Wand, und zwar in ganz symmetrischer Lage, sich finden sollen, und wenn sich auch vermuthen läßt, daß hier der um die Wand gebeugte Schall in Betracht zu ziehen ist, so verbietet doch einerseits unsere unvollkommene Kenntniß von den akustischen Beugungsgesetzen und andererseits der Mangel aller näheren Angaben über die Bedingungen, unter denen dieser Versuch angestellt worden ist, ein genaueres Eingehen in diesen Gegenstand. Einstweilen scheint mir daher in dieser Beobachtung kein hinreichender Beweis gegen die Interferenztheorie zu liegen, da diese sich im Uebrigen in so vollständiger Uebereinstimmung mit den Thatsachen zeigt. In der That ist auch nicht abzusehen, wie Savart seine früheren Versuchsergebnisse über die Zu- und Abnahme des Tones, wenn der tönende Körper sich zwischen Ohr und Wand befindet, so wie seine schönen Beobachtungen über die Ausscheidung von Tönen aus einem Geräusch mit seiner jetzigen Hypothese in Einklang bringen kann, während diese Thatsachen sich durch die Interferenz vollständig erklären.

In den Knoten und Bäuchen erkennt Savart nicht sowohl eine Abwechslung schwächerer und stärkerer Schwingung, als vielmehr einen Uebergang von transversaler zu longitudinaler Schwingung, ohne übrigens eine Erklärung zu geben, wie dieser Wechsel entstehen könne. Ich stelle

die Möglichkeit desselben nicht in Abrede; allein ich bin der Ansicht, 1) dafs ein solcher Zustand nur eben der Interferenz seinen Ursprung verdanken kann; 2) dafs die Erfahrungen, welche Savart anführt, nicht hinreichen, auf jene Transversalbewegung zu schliessen, und 3) dafs man einfachere, der theoretischen Betrachtung zugänglichere Resultate erhalten wird, wenn man die Mitwirkung dieser transversalen Schwingungen ausschliessen. Nämlich:

1) Denkt man sich Schwingungen, welche in eine longitudinale und eine transversale Componente zerlegt werden können, so wird die longitudinale Bewegung bei der Zurückwerfung das Zeichen wechseln, nicht aber, wahrscheinlich, die transversale, woraus dann hervorgeht, dafs bei der Interferenz mit den directen Wellen die transversale Schwingung da ihr Maximum haben mufs, wo die longitudinale ihr Minimum hat, und umgekehrt. Diefs giebt eben jene Beschaffenheit der Schwingungen, welche Savart annimmt.

2) Wenn Savart fand, dafs das Ohr, in der Stellung, bei welcher die Medianebene des Kopfes rechtwinklig zur Wand ist, den Ton da am stärksten hört, wo meine Membran im Ringe, der Wand parallel stehend, einen Knoten gezeigt hatte, so folgt daraus nicht, dafs hier eine Transversalschwingung sey, vielmehr erklärt sich diefs auch bei ganz longitudinaler Schwingung dadurch, dafs die beiden Schallstrahlen, um in den Gehörgang einzudringen, um einen rechten Winkel umbogen werden müssen; da nun meine Versuche gezeigt haben, dafs dabei auch die Schwingungsrichtung umbogen wird, so werden die Bewegungen, welche an der Membran entgegengesetzt waren, im Gehörgange gleichgerichtet, und verstärken sich daher jetzt, da sie sich an der Membran aufgehoben. Das Umgekehrte mufs da stattfinden, wo die Membran ein Maximum, und das Ohr, bei der vorigen Stellung, ein Minimum zeigt. Man kann sich dasselbe auch so denken: Wo die Membran in Ruhe bleibt, da ist in der Luft eine Knotenfläche, also Verdichtung und Verdünnung; stellt man nun das Ohr rechtwinklig zu die-

ser Knotenfläche, so dringt die Verdichtung und Verdünnung in den Gehörgang ein, und muß, da sie auf das Trommelfell einseitig wirkt, dieses in Schwingung versetzen. Wo hingegen die Membran die stärkste Schwingung zeigt, da ist die Dichtigkeit der Luft keiner, oder doch der geringsten Aenderung unterworfen, so daß dem Trommelfell nur eine schwache Bewegung mitgetheilt werden kann.

3) Wenn die Schallstrahlen umgebogen werden müssen, z. B. wenn sie um den Kopf, dessen Medianebene der Wand parallel ist, herumgehen, so ist die Anwendung von rein longitudinalen Schwingungen vorzuziehen. Denkt man sich nämlich einen Schallstrahl zu einer Linie einfacher Krümmung umgebogen, und die transversalen Schwingungen senkrecht gegen die Ebene dieser Linie, so wird gewiß bei dieser Beugung die Richtung der Schwingungen ungeändert bleiben. Diefes wird aber nicht mehr der Fall seyn, wenn die Schwingungen zwar auch transversal sind, aber in der Ebene jener Linie liegen. Daher müssen die Interferenzen in diesen beiden Fällen verschieden werden. Beträgt z. B. die Biegung zwei rechte Winkel, so müssen im ersten Falle die Knoten und Bäuche eben so liegen, wie bei longitudinaler Schwingung, weil bei dieser zwei Zeichenwechsel (bei Zurückwerfung und Biegung) stattfinden, welche bei der Transversalschwingung beide wegfallen. Bei der zweiten Art der Biegung findet diefes nicht statt. Nun müssen bei dem Herumgehen der Schallstrahlen um den Kopf, sobald Transversalschwingungen da sind, nothwendig beide Arten der Biegung vorkommen, bald mehr die eine, bald mehr die andere, wodurch dann die Erscheinungen verwickelter werden und sich einer Vergleichung mit der Theorie weit mehr entziehen.

Aus diesem Grunde scheinen mir unter den Versuchen Savart's mit Glocken jene mehr Gewicht zu haben, wo der Glockenrand horizontal stand und der Ton durch ein dahinter gestelltes Gefäß verstärkt wurde, als wo der Rand vertical stand. Denn im ersteren Falle sind die horizontal fortgepflanzten Schwingungen überwiegend longitudinal, im

letzteren sind sie an ihrem Ursprunge transversal, und können auf ihrem Fortgange diese transversale Richtung zu einem gewissen Maasse beibehalten. Auch ist im letzteren Falle die Gefahr einer störenden Interferenz der von den vier Abtheilungen der Glocke ausgehenden Wellenzüge größer als im ersteren. Es erklärt sich wohl hieraus, warum Savart bei diesen beiden Stellungen einige Verschiedenheiten in der Lage der Knoten und Bäuche fand. Wenn derselbe aus den auf die letztere Art angestellten Versuchen den Schluß zieht, es müsse die Medianebene, wenn sie der Wand parallel ist, für die Knoten genau 1, 2, 3 etc. Halbwellen (*ondes*) von der Wand stehen, so wird ein Zweifel gegen die Allgemeingültigkeit dieser Behauptung durch die vorhergehenden Bemerkungen wohl gerechtfertigt erscheinen, und dies um so mehr, je mehr die bei der ersten Stellung der Glocke erhaltenen Resultate mit meiner Rechnung übereinstimmen. Savart führt nämlich die Beobachtungen an, die er an fünf Glocken mit horizontalstehendem Rande gemacht hat, in der Absicht zu zeigen, daß der Unterschied der ersten und zweiten Halbwelle desto kleiner ausfalle, je kleiner der Durchmesser der Glocke ist. Dies ist ganz in der Ordnung, nur rührt es daher, daß die kleineren Glocken höhere Töne geben. Ich habe aus den von Savart angegebenen Zahlenwerthen — den einzigen, leider, welche in dieser seiner letzten Abhandlung vorkommen, die Gangunterschiede berechnet, welche meine Correctionsformel (diese Ann., Bd. 59, S. 198) giebt; sie sind in der folgenden Tabelle zusammengestellt, wo:

No.	Durchmesser der Glocke.	Halber Gangunterschied für den	
		ersten Knoten.	zweiten Knoten.
1	0 ^m ,40	0 ^m ,309	0 ^m ,931 = 3 × 0,310
2	0 ,19	0 ,306	0 ,802 = 3 × 0,267
3	0 ,18	0 ,198	0 ,585 = 3 × 0,195
4	0 ,14	0 ,190	0 ,562 = 3 × 0,187
5	0 ,13	0 ,190	0 ,552 = 3 × 0,184

Die Uebereinstimmung ist bei No. 1, 3, 4 und 5 vollständig, und auch bei No. 2 geht der Unterschied wohl kaum über die Grenzen der Beobachtungsfehler.

Anders mag das Verhalten seyn, wenn mit beiden Ohren zugleich beobachtet wird, das eine der Wand zugewendet, das andere abgewendet. Die nähere Erörterung dieses Falles macht die Prüfung einer physiologischen Vorfrage nothwendig, auf welche ich künftig zurückzukommen gedenke. Jedoch kann ich vorläufig die Vermuthung aussprechen, daß diese Art der Beobachtung nicht für alle Töne gleich günstig, und das von Savart ausgesprochene Gesetz für den Abstand der Medianebene von der Wand nicht bei allen Höhen, sondern nur zwischen gewissen Gränzen gültig seyn werde.

Daß dieser Beobachter keinen Unterschied bemerkte, als er das Kopfprofil durch Wülste vergrößerte, entscheidet nichts gegen die Zulässigkeit meiner Berechnung des Gangunterschiedes, indem die Wülste schon einige Zolle hoch seyn konnten, ohne eine Verschiedenheit herbeizuführen, welche die Gränzen der Beobachtungsfehler überstiege. Um aber einen Umstand nicht mit Stillschweigen zu übergehen, welcher meiner Erklärung der Savart'schen Versuche, und namentlich jener Correctionsformel zu widersprechen scheint, so will ich nicht läugnen, daß die Beobachtung, es zeige sich ein Knoten bei derselben Stellung des Kopfes, man mag das der Wand zugewendete, oder das abgewendete Ohr verstopfen, mit meiner Berechnung des Gangunterschiedes nicht in hinreichender Uebereinstimmung steht. Sollte diese Erfahrung allgemein für alle Wellenlängen gültig seyn, so würde sie eine Modification meiner Erklärung von der Verschiedenheit der ersten Halb- oder Viertelwelle nothwendig machen. Doch würde sich diese Modification nur auf den physiologischen Theil der Erscheinung, keineswegs auf die objective Natur dieser stehenden Schwingungen erstrecken, da meine Versuche — welche ich eben deshalb von physiologischen Einflüssen ganz befreit habe — mir keinen Zweifel über das Wesen jener stehenden Schwingungen lassen. Uebrigens kann ich für jetzt die Nothwendigkeit jener Modification noch keineswegs zugeben, da die betreffenden Ver-

suchtsresultate nicht specieller vorliegen, hingegen alle wirklichen Zahlenangaben Savart's so vollständig mit meiner Berechnung übereinstimmen.

In dieser Beziehung verdient aufser den vorhin berührten Fällen noch folgende Vergleichung angeführt zu werden. Savart hörte, bei seinen früheren Versuchen, aus einem Geräusche den Ton $\bar{c}$, wenn der Abstand des Labyrinths von der Wand 55 Zoll war. Diefs giebt nach meiner Rechnung die halbe Wellenlänge $= 52",3$, dagegen nach Savart's Annahme, dafs die Medianebene sich im zweiten Bauche, $1\frac{1}{2}$ Halbwellen von der Wand, befinden müfste, nur $37",9$. Man kann die Halbwelle von $\bar{c}$ bei mittlerer Temperatur zu ungefähr $49"$ annehmen, was von meiner Berechnung nur etwa um einen halben Ton, dagegen von dem nach Savart's Annahme berechneten Werthe um fast eine Quarte differirt.

Da ich übrigens selbst nur das Verlangen hegen kann, zu prüfen, in wie weit meine Erklärung durch die Erfahrung bestätigt werde, und dieselbe in den Punkten, wo diefs nicht der Fall seyn sollte, zu berichtigen, so habe ich schliesslich den Wunsch auszusprechen, Savart möge eine vollständige Angabe seiner einzelnen Versuchsergebnisse und der Bedingungen, unter welchen sie erhalten worden sind, bekannt machen, ein Wunsch, welcher um so mehr gerechtfertigt erscheinen wird, je mehr Vertrauen in die Geschicklichkeit dieses Beobachters gesetzt werden darf.

II. Ueber die Oberfläche der Flüssigkeiten; von G. Hagen.

(Schluss von Seite 31.)

Mit weit gröfserer Schärfe läfst sich die Erhebung der Oberfläche zwischen zwei senkrecht und parallel aufgestell-