

# The Virtual Laboratory

**Max-Planck-Institute for the History of Science, Berlin**
**ISSN 1866-4784 - http://vlp.mpiwg-berlin.mpg.de/**

Helmholtz, Hermann. 1868-1871. Über die Schallschwingungen in der Schnecke des Ohres. Verhandlungen des naturhistorisch-medicinischen Vereins zu Heidelberg 5: 33-38

http://vlp.mpiwg-berlin.mpg.de/references?id=lit28910

dünne Flüssigkeit ist, die unter 0° gefahrlos gehandhabt werden kann, über 0° aber schon durch mechanische Einflüsse zu heftigen Explosionen Veranlassung geben kann. Sie konnte nicht ganz frei von Wasser dargestellt werden, und dadurch ist wahrscheinlich bedingt, dass sie stets etwas Chlorsäure (oder wohl die sog. Unterchlorsäure, $Cl_2O_4$) eingemengt enthält, und einen darnach veränderlichen Siedepunkt besitzt ($Cl_2O_4$ siedet nach Millon bei + 20°, die flüssige chlorige Säure bei 0 bis + 8°), da nämlich die chlorige Säure mit Wasser allmählig in Chlorsäure und Chlorwasserstoff zerfällt:

$$(ClHO_2)_3 = ClH + (ClHO_3)_2.$$

Besonders wichtig ist hier die Untersuchung des Herrn Brandau geworden, dass er zur Bestimmung des spec. Gewichts die Methode der Titrirung mit Jodflüssigkeit anwenden konnte. Die chlorige Säure zerlegt sich mit Jodwasserstoff in der Weise:

$$Cl_2O_3 + (JH)_8 = (ClH)_2 + (OH_2)_3 + J_8;$$

zur Berechnung dient daher die Gleichung:

$$x = \frac{a\,(nt - t')\,Cl_2O_3}{J_8}.$$

Herr Brandau hat das spec. Gew. des Chlorigsäure-Gases bei + 9° und 13° bestimmt, und zu 4.022 und 4.070 gefunden. Wenn die auf chemischen Wege wahrscheinlichste Moleculargrösse $Cl_2O_3 = 119$ dem Volumgesetze entsprechend als Gas 2 Volum misst, so folgt daraus das spec. Gew.:

| Berechnet | Gefunden |
|---|---|
| 4.123 | 4.046 (Mittel). |

Millon und später Schiel glaubten aus ihren Bestimmungen das spec. Gew. des Chlorigsäure-Gases zu 2.745 ableiten zu müssen, welches für die Moleculargrösse $Cl_2O_3 = 119$ einer Condensation auf 3 Volum entsprechen würde. Durch die Untersuchung des Herrn Brandau wird es wahrscheinlich, dass Beide ein mit Chlorgas gemengtes Gas untersuchten, und ist durch dieselbe nun diese scheinbare Abweichung von dem Gesetze der Condensation der im Molecul einer Verbindung enthaltenen gasförmigen Bestandtheile auf zwei Volume beseitigt und letztere sichergestellt.

---

4. Vortrag des Herrn Geheimerath H. Helmholtz: »Ueber die Schallschwingungen in der Schnecke des Ohres«, am 25. Juni 1869.

(Das Manuscript wurde sofort eingereicht.)

Zur Zeit der ersten Herausgabe meiner »Lehre von den Tonempfindungen« war die Untersuchung des Zusammenhangs

der einzelnen Theile, welche das Corti'sche Organ der Schnecke im Ohre zusammensetzen, so wie die Messung seiner Dimensionen in den verschiedenen Windungen der Schnecke noch nicht weit vorgeschritten. Da die physiologischen Thatsachen mich zu der Hypothese führten, dass verschiedene Nervenfasern des Nervus acusticus mit elastischen Anhängseln von verschiedener Abstimmung versehen sein möchten, schienen nach der damaligen Lage unserer Kenntnisse die Corti'schen Bögen diejenigen zu sein, denen man unter allen Theilen des Labyrinths am ersten die zu einer solchen Function nöthige Masse, Festigkeit und Isolirtheit zutrauen konnte. Obgleich nun ihre Form und Grösse nicht gerade grosse Unterschiede in den verschiedenen Abtheilungen der Schnecke zeigte, so konnte immerhin eine verschiedene Abstimmung derselben durch kleine Unterschiede in der Dicke, Form des Querschnitts, Spannung u. s. w. erreicht sein, Unterschiede, die bei der Präparation, namentlich bei der Anwendung erhärtender Reagentien, vollständig verschwinden konnten, so dass deren Mangel mir nicht als ein entscheidender Grund gegen meine Hypothese erschien; namentlich der damals noch sehr grossen Differenz in den Ansichten und Beschreibungen der einzelnen Anatomen gegenüber, die sich mit diesem Gegenstande beschäftigt hatten.

Seit jener Zeit haben die anatomischen Untersuchungen des genannten Organs sehr wesentliche Fortschritte gerade in Bezug auf diejenigen Verhältnisse gemacht, welche physiologisch wichtig sind, und es ist viel grössere Uebereinstimmung zwischen den verschiedenen Beobachtern zu Stande gekommen.

Von grosser Wichtigkeit für unseren Gegenstand waren namentlich die Untersuchungen von C. Hasse über die Schnecke der Vögel und Amphibien. Sie zeigten in allen übrigen Verhältnissen Uebereinstimmung mit den wesentlichen Zügen im Bau der Säugethierschnecke, nur gerade die Corti'schen Bögen fehlten dort vollständig. Da es andrerseits nicht zweifelhaft sein kann, dass Vögel, welche Melodien pfeifen lernen, auch Tonhöhen unterscheiden, so ging daraus hervor, dass Unterscheidung der Tonhöhen ohne Corti'sche Bögen möglich sei.

Andrerseits veröffentlichte V. Hensen eine Reihe von Messungen über die Dimensionen der Schneckenscheidewand und ihrer Annexa, aus denen hervorging, dass das fest ausgespannte Blatt der membranösen Scheidewand, die Membrana basilaris, sehr auffallende Unterschiede der Breite in den verschiedenen Abtheilungen der Schnecke zeigte. Dem runden Fenster gegenüber ist sie nämlich nur 0,04125 Mm. breit, an ihrem andern Ende am Hamulus unter der Kuppel dagegen 0,495 Mm., ist also dort etwa 12 Mal breiter. Die beiden Schenkel der Corti'schen Bögen und ihre Spannweite nehmen allerdings vom Anfang bis gegen das obere Ende der Schneckenscheidewand auch an Grösse zu, die Länge der

Bögen auf das Doppelte, ihre Spannweite auf das Vierfache, aber jedenfalls nicht in so auffallendem Maasse, als es die Breite der Membrana basilaris thut.

Deshalb hat auch schon Herr V. Hensen die Hypothese aufgestellt, dass die Abstimmung der schwingenden Theile, an denen die Nervenfasern enden, wesentlich von der verschiedenen Stimmung der betreffenden Theile der Membrana basilaris abhängig sein möchte, so dass die tieferen Töne in den oberen Theilen der Membrana basilaris gegen das Schneckengewölbe hin, die höheren in den unteren gegen das runde Fenster hin, resoniren würden.

Bevor diese, in vieler Beziehung sehr ansprechende Theorie acceptirt werden konnte, schien es mir aber noch nöthig zu untersuchen, ob eine hinreichende Begrenzung und Isolirung der schwingenden Theile auf einer solchen Membran möglich sei, so dass die Erregung durch Schwingungen von bestimmter Höhe auf ein hinreichend enges Gebiet von Nervenfasern beschränkt bliebe. Auf einer nach allen Richtungen hin gleichmässig gespannten Membran sieht man niemals, dass ihre Schwingungen auf einen einzelnen schmalen Theil derselben beschränkt bleiben, sondern sie breiten sich immer ziemlich gleichmässig über alle oder fast alle Theile der Membran aus, so dass höchstens einzelne Knotenlinien von der Bewegung ausgenommen bleiben.

Dies ist der Fall bei allen bisher zu akustischen Versuchen benutzten Membranen, und wird durch das Experiment so gut, wie durch die Theorie, bestätigt.

Eine Eigenthümlichkeit im Bau der Membrana basilaris leitete mich jedoch auf einen Ausweg aus dieser Schwierigkeit. Die Membran zeigt eine starke Streifung in radialer Richtung, und spaltet zich sehr leicht zwischen je zwei solchen Streifen. Das letztere seigt an, dass sie in der Richtung ihrer Länge, quer gegen ihre Streifen nicht stark gespannt sein kann. Wohl aber deuten die stark entwickelten Fasern, welche das gestreifte Ansehen erzeugen, darauf hin, dass sie einem ziemlich erheblichen Zuge in Richtung der Streifen Widerstand leisten kann. An einer geöffneten Schnecke fand ich ihre Spannung allerdings auch in dieser Richtung nicht sehr bedeutend; die Membran erschien ziemlich schlaff. Da aber ihr äusserer Ansatz mehr an dem vom Knochen sehr leicht sich lösenden Periost, als am Knochen selbst festhaftet, so ist es möglich, dass im lebenden Zustande die Membran viel beträchtlicher gespannt ist, so lange die vom Periost gebildeten Röhren durch den Druck der Labyrinthflüssigkeit in gespanntem Zustand erhalten sind.

Der Vergleich mit der gerade gestreckten Vogelschnecke zeigt, dass die spiralige Aufwindung des Schneckencanals kein wesentliches Moment für seine Function ist.

Ich habe deshalb die mathematische Analyse der Bewegungen einer Membran angestellt, die zwischen den Schenkeln eines Winkels

ausgespannt ist, deren Spannung in der Richtung der Halbirungslinie dieses Winkels am kleinsten, senkrecht dagegen am grössten ist, die durch eine periodische Kraft, welche gegen ihre ganze Fläche wirkt, erschüttert wird, und deren Bewegung gleichzeitig durch Reibung eine geringe Dämpfung erleidet.

Das Resultat, soweit es uns hier interessirt, ist, dass wenn die kleinere Spannung in Richtung der Halbirungslinie des Winkels verschwindend klein wird, die Membran schliesslich dieselben Bewegungen ausführt, als wenn sie aus einem System unabhängig von einander beweglicher Saiten bestände, welche alle senkrecht zur Halbirungslinie zwischen den Schenkeln des Winkels und mit gleicher Spannung ausgespannt wären. In einem solchen schwingen diejenigen Saiten stark mit, deren Eigenton der Tonhöhe des erregenden Tons entspricht; ihre Nachbarn etwas schwächer, in dem Maasse weniger, als ihre Tonhöhe von der des erregenden Tones mehr und mehr abweicht; und die weiter entfernten Saiten machen nur unendlich kleine Schwingungen. Die Breite der schwingenden Portionen hängt wesentlich ab von dem Grade der Dämpfung. Je geringer dieser ist, desto schwächer kann der erregende Ton sein, und desto schmaler ist die mitschwingende Stelle. Es finden hier dieselben Verhältnisse statt, die ich in meiner Lehre von den Tonempfindungen auf Seite 212 bis 219 auseinandergesetzt habe.

Bei einer solchen Beschaffenheit der Membrana basilaris würde also in der That die von Hensen aufgestellte Hypothese allen Anforderungen genügen.

Der Nutzen der Corti'schen Bögen in der Schnecke der Säugethiere ist dann vielleicht der, dass sie die Erschütterung der Membrana basilaris isolirt durch die ziemlich dicke weiche Masse der Papilla spiralis hindurch zu isolirten Orten von deren oberer Fläche leiten, wo die Nervenendzellen mit ihren haarähnlichen Fortsätzen liegen. In der Vogelschnecke ist diese Schicht viel dünner, und konnte ein solches Hilfsmittel entbehrt werden.

Ich gebe hier schliesslich noch die Hauptzüge der mathematischen Theorie

Die Halbirungslinie des Winkels sei die Axe der x, sein Scheitel der Nullpunct der x und y; die Zeit t; die Entfernung eines schwingenden Membranpunctes von seiner Gleichgewichtslage in der Ebene xy sei z, die Spannung der Membran in Richtung der x sei P, in Richtung der y sei sie gleich Q, dieselbe gemessen für einen Streifen, dessen Breite gleich der Längeneinheit ist. Die Masse der Flächeneinheit der Membran (eingerechnet das mitbewegte umgebende Medium) sei $\mu$, der Dämpfungscoefficient sei $\gamma$, und die periodische erregende Kraft sei $A \cdot \sin(nt)$.

Die Bewegungsgleichung ist alsdann:

$$P\frac{d^2z}{dx^2}+Q\frac{d^2z}{dy^2}=\mu\frac{d^2z}{dt^2}+\nu\frac{dz}{dt}-A\cos(nt).$$

Die Grenzbedingungen sind, dass z längs der Schenkel und im Scheitel des Winkels gleich Null, in unendlicher Entfernung endlich sei.

Wir setzen dannn

$$x = \sqrt{P}.r\cos w \text{ und } y = \sqrt{Q}.r\sin w$$

ferner z gleich dem reellen Theile von

$$z = e^{int}\,\Sigma\left[s_h \cos(hw)\right]$$

wobei die Werthe von h so gewählt werden müssen, dass cos hw längs der Schenkel des Winkels, in dem die Membran ausgespannt ist, gleich Null werde. Wenn der kleinste unter diesen Werthen von h gleich m ist, so sind die andern ganze Multipla von m, und A selbst ist zu entwickeln in die Reihe

$$A = \frac{4A}{\pi}\left\{\cos(mw) - \frac{1}{3}\cos(3mw) + \frac{1}{5}\cos(5mw)\,\text{etc.}\right\}$$

Setzen wir nun

$$B_h = (-1)^{\frac{h+m}{2m}}\,\frac{4Am}{\pi h}$$

so ist $s_h$ ein Integral der Differentialgleichung

$$\frac{d^2s}{dr^2} + \frac{1}{r}\frac{ds}{dr} + \left(n^2\mu - in\nu - \frac{h^2}{r^2}\right)s = B$$

mit der Bedingung, dass es Null sei für $r = o$, und endlich für $r = \infty$.

Dies Integral, welches auch übrigens leicht nach positiven oder negativen Potenzen von r entwickelt werden kann, lässt sich für unsern Zweck am passendsten in Form bestimmter Integrale geben und setzen wir

$$\sqrt{n^2\mu - in\nu} = 1 - i\lambda$$

wobei wir das Zeichen der Wurzel wählen, welches 1 positiv macht, und

$$\psi = \int_0^{\frac{\pi}{2}} e^{-(1-i\lambda)r\sin t}\sin(ht)\,dt$$

$$\varphi = \int_1^{\infty} u^{-h-1}\, e^{-\frac{1}{2}(1-i\lambda)r\left(u+\frac{1}{u}\right)}\,du$$

so ist

$$s = -\frac{B}{(1-i\lambda)^2}\left[h\psi + h.\cos\left(\frac{h\pi}{2}\right).\varphi - 1\right]$$

Setzen wir in diesen Gleichungen $r = h\varrho$, so wird h unendlich gross, wenn die Spannung Q gleich Null wird, $\varrho$ dagegen nähert sich asymptotisch einem endlichen Werthe, und s wird für ein unendliches h

$$s = -\frac{B\varrho^2}{1-(\omega^2\mu - in\nu)\varrho^2}$$

Dies wird ein Maximum, wo

$$n^2 \mu \varrho^2 = 1.$$

Ist der Winkel, in welchem die Membran ausgespannt ist, wie es in der Schnecke der Fall ist, an und für sich so klein, dass man den Unterschied seines Sinus und seiner Tangente vernachlässigen kann, und gleich $\varepsilon\pi$, so ist der niedrigste Werth von $h = \frac{1}{\varepsilon}$ und angenähert

$$\varrho = \frac{x\varepsilon}{\sqrt{Q}}$$

Also das Maximum tritt ein, wo

$$\mu n^2 x^2 \varepsilon^2 = Q$$

Es ist aber $x\varepsilon$ unter diesen Umständen die Länge der Saite, und die letzte Gleichung diejenige, die die Schwingungszahl einer Saite bestimmt.

---

Bericht des Herrn Dr. Mittermaier: »über das Kloakenwesen in Heidelberg«, erstattet am 2. und 9. Juli.

(Das Manuscript wurde am 16. Juli eingereicht.)

Die von dem naturhist.-med. Verein in Heidelberg im Jahre 1866 erwählte ärztliche Commission, »zur Untersuchung der Verunreinigung des Bodens, des Trinkwassers und der Luft, soweit dieselbe von den vorhandenen Abtrittgruben und Kanälen hiesiger Stadt abhängt«, legt den ausgearbeiteten Bericht vor.*)

Der Bericht wuchs während der Arbeiten dafür zu dem Umfang einer Denkschrift an, die als solche dem Druck übergeben werden soll.

Die Commission gewann mit Unterstützung der Gemeindebehörde Heidelbergs einen Plan der Stadt, in welchem alle bisherigen Strassenkanäle, so wie deren Zuleitungen aus den einzelnen Häusern genau verzeichnet sind. Ebenso wurden alle vorhandenen Abtrittgruben nach ihrer Lage zu den Wohnhäusern eingezeichnet.

Dieser Plan erleichterte ganz wesentlich das Studium der vorliegenden Frage. Die Zusammenstellung der Abtrittkanälchen aus den einzelnen Häusern und der Gruben, ergab ein buntes Durcheinander, welches eine Ueberwachung von Seiten der Sanitätsbehörde unmöglich macht. Es fehlen auch Abtrittkübel der primi-

*) In die Commission wurde vom Verein gewählt: Prof. Friedreich, Medicinalrath Mezger und Dr. Mittermaier. Cooptirt wurde Professor Moos. Für den plötzlich durch den Tod entrissenen Medizinalrath Mezger, trat der zum Physikus des Amtsbezirkes Heidelberg ernannte Prof. Knauff ein. Die Berichterstattung wurde Dr. Mittermaier übertragen.