Max Planck Research Group
Epistemes of Modern Acoustics

Sound & Science: Digital Histories

Mach, Ernst. "Über einige der Physiologischen Akustik angehörige Erscheinungen". Sitzungsberichte der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften: Mathematisch-Naturwissenschaftliche Classe Abteilung II 50 (1864): 342–362.

https://acoustics.mpiwg-berlin.mpg.de/node/399

Scan licensed under: CC BY-SA 3.0 DE | Max Planck Institute for the History of Science

MAX PLANCK INSTITUTE
FOR THE HISTORY OF SCIENCE

SITZUNGSBERICHTE

DER

MATHEMATISCH-NATURWISSENSCHAFTLICHEN CLASSE

DER KAISERLICHEN

AKADEMIE DER WISSENSCHAFTEN.

L. BAND. II. ABTHEILUNG.

JAHRGANG 1864. — HEFT I BIS V.

(Mit 9 Tafeln.)

WIEN.

AUS DER K. K. HOF- UND STAATSDRUCKEREI.

IN COMMISSION BEI KARL GEROLD'S SOHN, BUCHHÄNDLER DER KAIS. AKADEMIE DER WISSENSCHAFTEN.

1865.

Universitätsbibliothek * Freie Universität Berlin

Z 1956.926

AMERICAN GEOGRAPHICAL AND STATISTICAL SOCIETY

INHALT.

Seite

XIV. Sitzung vom 9. Juni 1864: Übersicht 3

Hlasiwetz und *Pfaundler*, Über das Morin, Maclurin und Quercitrin. (Mit 1 Tafel.) 6

Blažek, Transformation und Berechnung einiger bestimmten Integrale 60

XV. Sitzung vom 16. Juni 1864: Übersicht 85

Stefan, Über die Dispersion des Lichtes durch Drehung der Polarisationsebene im Quarz 88

XVI. Sitzung vom 23. Juni 1864: Übersicht 125

XVII. Sitzung vom 7. Juli 1864: Übersicht 127

Maly, Beiträge zur Kenntniss der Abietinsäure 130

Stefan, Über eine Erscheinung am Newton'schen Farbenglase 135

— Über Interferenzerscheinungen im prismatischen und im Beugungsspectrum 138

Oppolzer, Untersuchung über die Bahn des Planeten (73) „Clytia“ 143

XVIII. Sitzung vom 14. Juli 1864: Übersicht 168

Haidinger, Ein Mannaregen bei Karput in Klein-Asien im März 1864 170

Rollett, Über die successiven Veränderungen, welche elektrische Schläge an den rothen Blutkörperchen hervorbringen. (Mit 1 Tafel.) 178

Brücke, Die Intercellularräume des Gelenkwulstes der *Mimosa pudica* 203

Mac-Gillavry, Zur Anatomie der Leber (Mit 1 Tafel.) . . . 207

Unferdinger, Die Wurzelformel der allgemeinen Gleichung des vierten Grades 225

XIX. Sitzung vom 21. Juli 1864: Übersicht 235

Fritsch, Bericht über den verheerenden Hagelfall, der am 12. Juli zwischen 8—9 Uhr Abends bei Salzburg stattfand 238

Haidinger, Der Meteorstein von Manbhoom in Bengalen, im k. k. Hof-Mineraliencabinete aus dem Falle am 22. December 1863 241

Seite

Ludwig, E., Chemische Analyse der Mineralquellen von Johannisbrunn in Mähren 247

Rochleder, Über die Constitution des Caffeïn und Theobromin 259

— Vorläufige Notiz über den Gerbstoff von *Aesculus hippocastanum* L. 265

Schrötter, Über ein vereinfachtes Verfahren, das Lithium, Rubidium, Cäsium und Thallium aus den Lithionglimmern zu gewinnen 268

XX. Sitzung vom 6. October 1864: Übersicht 285

Haidinger, Ein vorhomerischer Fall von zwei Meteoreisenmassen bei Troja 288

Ditscheiner, Bestimmungen der Wellenlängen der Fraunhofer'schen Linien des Sonnenspectrums. (Mit 2 Tafeln.) 296

Mach, Über einige der physiologischen Akustik angehörige Erscheinungen. 342

XXI. Sitzung vom 13. October 1864: Übersicht 363

XXII. Sitzung vom 20. October 1864: Übersicht 367

Rosow, Über die Folgen der Durchschneidung des *Nervus opticus*. (Mit 2 Tafeln.) 369

Ditscheiner, Die Krystallformen einiger Platincyanverbindungen. (Mit 1 Tafel.) 373

XXIII. Sitzung vom 3. November 1864: Übersicht 377

Stefan, Ein Versuch über die Natur des unpolarisirten Lichtes und die Doppelbrechung des Quarzes in der Richtung seiner optischen Axe 380

— Über Nebenringe am Newton'schen Farbenglase . . 394

Lippich, Studien über den Phonautographen von Scott. (Mit 1 Tafel.) 397

Vlacovich e *Vintschgau*, Intorno ai sussidj meccanici meglio acconci a determinare con precisione il numero delle pulsazioni cardiache nei conigli 418

XXIV. Sitzung vom 10. November 1864: Übersicht 428

Schmidt, Julius, Über Feuermeteore; nach Zahlen, Detonationen, Meteoritenfällen, Schweifen und Farben, verglichen zur Höhe der Atmosphäre 431

XXV. Sitzung vom 17. November 1864: Übersicht 439

Wiesner, Untersuchung über das Auftreten von Pectinkörpern in den Geweben der Runkelrübe 442

Seite

XXVI. Sitzung vom 1. December 1864: Übersicht 455

Haidinger, Der Meteorsteinfall von Polinos in den Kykladen 458

Oppolzer, Über den dritten Kometen des Jahres 1864 . . . 459

Bauer, Über einige Reactionen des Monochloräthers . . . 470

Stefan, Über Interferenz des weissen Lichtes bei grossen Gangunterschieden 481

XXVII. Sitzung vom 9. December 1864: Übersicht 497

Brücke, Über den Verlauf der feinsten Gallengänge 501

XXVIII. Sitzung vom 15. December 1864: Übersicht 503

Stefan, Theorie der doppelten Brechung 505

Hlasiwetz, Mittheilungen aus dem chemischen Laboratorium zu Innsbruck. 1. Über die Einwirkung des Oxaläthers auf den Harnstoff 524

— 2. Über das Catechu und das Catechin 527

Winckler, Einige Eigenschaften der Transcendenten, welche aus der Integration homogener Functionen hervorgehen 531

Über einige der physiologischen Akustik angehörige Erscheinungen.

Von Dr. Ernst Mach.

(Vorgelegt in der Sitzung vom 26. Juni 1864.)

Die folgenden Zeilen beschäftigen sich mit einer Reihe von Erscheinungen, welche, so viel mir wenigstens bekannt ist, theils von mir zuerst beobachtet, theils aber von neuen Gesichtspunkten aus betrachtet wurden.

I. Ein durch die Kopfknochen zum Gehörorgane geleiteter Schall wird bei geschlossenen Gehörgängen stärker empfunden. Dieses von Lucae [1]) „Verstärkung der Knochenleitung" genannte Phänomen ist zwar so gewöhnlich und auffallend, dass es nicht leicht einem Beobachter entgehen kann, doch haben erst E. H. Weber [2]) und Wheatstone [3]) dasselbe einer ausdrücklichen Erwähnung werth gefunden.

Der genauere Hergang, wie er sich mir und einigen zu Rathe gezogenen Beobachtern darstellt, ist folgender. Eine mit den Zähnen gefasste Stimmgabel, gleichgiltig von welcher Tonhöhe, erklingt in einem stärkeren und volleren [4]) Tone, sobald ich meine Finger nur ganz nahe an die Gehörgänge bringe. Leichtes Schliessen ohne Druck verstärkt den Ton noch mehr. Bei stärkerem Drucke wächst anfangs ein klein wenig die Intensität, nimmt aber bei noch weiter wachsendem Druck immer mehr ab und ich kann zuletzt den Ton so zu sagen vollständig erdrücken [5]). Gleichzeitig wird der Klang leer und zieht scheinbar in die Höhe.

---

[1]) Lucae, Centralblatt f. d. med. Wissensch. 1863. Nr. 40 und 41.

[2]) Weber, Programm. coll. 42.

[3]) Wheatstone, Quarterly Journ. of Sc. vol. II. N. Sér. 1827.

[4]) Voll nenne ich nach Helmholtz einen Klang, bei dem der Grundton die Obertöne überwiegt; leer ist der Klang im umgekehrten Falle.

[5]) Lucae a. a. O. gibt dagegen an, dass der Ton bei stärkerem Druck zwar schwächer werde, aber immer noch stärker bleibt als bei offenem Ohre.

Eine Erklärung des Vorganges habe ich bereits in einer früheren Abhandlung versucht [1]). Es zeigt sich nämlich, dass man auf schallende, überhaupt auf schwingende Körper, demnach auch auf das Ohr einige Betrachtungen anwenden kann, die sonst nur in der Licht- und Wärmelehre gebräuchlich sind.

Denkt man sich eine Reihe von schwingungsfähigen Massen, zum Theil in Verbindung, in ein widerstehendes Medium eingetaucht, so erhält man für kleine Schwingungen dieses Systems eine Anzahl linearer Differentialgleichungen. Denkt man sich nun das Medium in einem permanenten Schwingungszustand von bestimmter Periode, so stellt sich alsbald ein dynamischer Gleichgewichtszustand her, indem das eingetauchte System ebenfalls in permanente Schwingungen von derselben Periode geräth. Dasselbe gilt analog, wenn das Medium Schwingungen von mehreren verschiedenen Perioden gleichzeitig ausführt. Und das Gesetz gilt darum für alle Perioden (alle Sinusschwingungen) zusammen, weil es für jede einzelne Periode (Sinusschwingung) gilt. Bei dieser permanenten Schwingungsweise (von constanter Amplitüde) kann man sich nun vorstellen, dass weder das eingetauchte System an das Medium noch umgekehrt lebendige Kraft abgibt, oder wenn man lieber will, dass beide fort und fort gleiche lebendige Kräfte austauschen. Es gilt also für solche schwingende Bewegungen das Gesetz der Gleichheit des Absorptions- und Emissionsvermögens [2]).

Man kann ferner zeigen, dass ein Körper desto leichter und rascher seine Schwingungen an das umgebende Medium abgibt, je leichter und rascher er solche von eben diesem Medium aufzunehmen vermag, und je mehr umgekehrt seine Bewegungsweise von der Bewegungsweise des Mediums regiert wird. Je leichter das Flügelrad einer Windmühle von der Luft in Bewegung gesetzt wird, desto leichter wird es umgekehrt die Luft in Bewegung setzen und dadurch umgekehrt seine etwa erlangte Eigenbewegung verlieren [3]).

---

1) Zur Theorie des Gehörorgans. Sitzb. d. Wien. Akad. 1863.

2) Vergl. Mach, vorläufige Bemerkungen, betreffend das Licht glühender Gase. Schlömilch's Zeitschr. 1864.

3) Zur Theorie des Gehörorganes. Sitzb. 1863.

Ich glaube nun, dass diese Betrachtungen zugleich die Erklärung der „Verstärkung der Knochenleitung“ einschliessen. Wird der Gehörgang geschlossen, so ist das Ohr weniger fähig Schall von aussen aufzunehmen, dafür aber in gleichem Masse unfähiger, von anderer Seite her zugeführten Schall nach aussen abzugeben. Fast gleichzeitig mit meiner oben erwähnten Abhandlung erschien jedoch ein Aufsatz von Lucae [1]), in welchem eine andere Erklärung aufgestellt wird. Lucae findet bei Verschluss des Gehörorganes ein Dumpferhören, das mir nie vorgekommen ist. Die Ursache dieses Dumpferhörens schreibt er der vermehrten Spannung und behinderten Schwingung des Trommelfelles zu. Die Ursache des Stärkerhörens jedoch sucht er, durch seine Versuche bestimmt, in der mit dem Verschlusse gleichzeitig eintretenden Druckveränderung im Labyrinth.

Die Versuche von Lucae sind so nett beschrieben, dass man die Richtigkeit und Klarheit der Ergebnisse nicht gut bezweifeln kann, so lange eben keine widersprechenden Beobachtungen vorliegen. Dennoch scheint mir noch manches zu bedenken. Ich glaube nämlich, dass der von mir betonte Umstand wenigstens einen sehr bedeutenden Antheil an der Erscheinung hat. Lassen wir das Experiment sprechen.

Alles was das Lumen des Gehörorganes verkleinert ohne ihn zu schliessen, also ohne irgend eine Druckveränderung hervorzubringen, bewirkt schon Verstärkung der Knochenleitung. Sehr wirksam ist schon ein leicht angelegtes steifes Papierblättchen oder ein in die Gehörgänge eingeschobenes kurzes Gummiröhrchen. Dieses Röhrchen kann man successive langsam zudrücken, ohne es vollständig zu schliessen und die gleichzeitige Verstärkung des Tones beobachten. Hier wirkt also offenbar blos der Verschluss ganz ohne Spannungs- oder Druckveränderung.

Dass aus dem Gehörgange wirklich eine ziemlich bedeutende Schallquantität entweicht, welche beim Verschluss zurückgehalten wird, habe ich bereits früher erwähnt [2]). Man erhält hübsche Erscheinungen, wenn man den Verschluss durch Röhren von verschiedener Länge bewirkt, welche aus einem Gehörgang in den andern führen. Diese Röhren verstärken je nach ihrer Länge in verschiedenem Grade

[1]) Lucae a. a. O.

[2]) Sitzungsberichte 1862.

den Ton der an die Zähne gesetzten Stimmgabel. Da es mir nicht gelungen ist, ein einfaches Gesetz zu finden, so führe ich blos ein Beispiel an. Fasst man eine Gabel, die das gewöhnliche Stimm-a gibt, mit den Zähnen und führt aus einen Gehörgang in den andern eine Röhre von 18″ Länge und 0·25″ Durchmesser, so erhält man eine Verstärkung, eine Schwächung aber fast bis zum Erlöschen des Tones, wenn man die Röhre in der Mitte zudrückt. Es liegt sehr nahe, hiebei an Interferenzen zu denken [1]).

Den Einfluss des Druckes auf das Trommelfell, eventuell auf das Labyrinth, habe ich auf eine besondere Weise untersucht. Von einer Handluftpumpe führte eine mit dem Quecksilbermonometer versehene, in zwei Zweige getheilte Gummiröhre luftdicht in beide Gehörgänge, jedoch ohne dieselben zu drücken oder sonst zu deformiren. Der Druck wurde successive bis auf zwei Zoll Quecksilber gesteigert. Die Töne aller von mir untersuchten Stimmgabeln, die ich mit den Zähnen fasste, wurden hiebei schwächer, leer, zogen etwas in die Höhe und erloschen ganz, bevor noch der Druck von zwei Zoll erreicht war.

Mein Freund E. Krischek, Professor am Gymnasium zu Graz, fand die Erscheinung genau so wie ich. Sie dürfte auf der vermehrten Spannung und verminderten Schwingungsfähigkeit des Trommelfelles beruhen. Welche Rolle dabei der veränderte Druck im Labyrinth für sich spielt, lässt sich nicht wohl entscheiden, da man auf das Labyrinth allein nicht gut einen Druck ausüben kann. Das aber scheint mir klar, dass die Verstärkung des Tones bei stärkerem Zudrücken der Gehörgänge nicht von einem Druck auf das Trommelfell und mittelbar auf das Labyrinth herrühren kann, indem der Druck mit der Luftpumpe gerade die entgegengesetzte Wirkung hat. Der Druck mit den Fingern verstärkt wahrscheinlich nur so lange, als er das Lumen des Gehörganges verkleinert oder denselben deformirt. Sobald die Spannung des Trommelfelles beginnt, wird der Ton schwächer.

---

[1]) Ein Experiment, welches ich vor einem Jahre etwa zehnmal mit Herrn Popper, Eleven des physikalischen Institutes, ganz unzweideutig erhielt, und welches ich auch in meiner erwähnten Abhandlung anführe, wollte mir nicht wieder gelingen. Ich meine die Schwächung des Schalles durch eine Verbindungsröhre zwischen beiden Gehörgängen. Ich muss also damals wohl einen mitspielenden Umstand übersehen haben.

Ich zweifle nicht, dass Lucae durch Druckveränderungen im Labyrinth Veränderungen der Hörfähigkeit erzielt hat und werde selbst eine Beobachtung anführen, welche hiefür spricht, doch scheint mir die Druckveränderung bei der Verstärkung der Knochenleitung gar keine oder nur eine untergeordnete Rolle zu spielen. Vorläufig kann ich also bei meiner Erklärung stehen bleiben [1]).

Betrachten wir nun noch die interessanten, von Lucae mitgetheilten pathologischen Beobachtungen.

„1. Das Phänomen (der Verstärkung der Knochenleitung) fehlte regelmässig:

a) Bei grossen Trommelfelldefecten und durchgängiger Tuba (mit Section).

b) Bei vollständiger Obturation des Gehörganges durch Cerumen (mit Section).

c) Bei chronischem Tubenkatarrh (ohne Section).

2. Das Phänomen war mehr oder weniger vollständig vorhanden:

a) In Fällen ohne nachweisbare wesentliche Veränderung im äusseren und mittleren Ohre (nur viermal ohne Section beobachtet).

b) Bei kleinen Trommelfelldefecten (mit Section).

c) Bei grösseren oder Totaldefecten des Trommelfelles und undurchgängiger Tuba (mit Section).

3. Das Phänomen fehlte oder es fand sogar eine Abnahme der Intensität statt:

a) Bei Adhäsion des Trommelfelles am Promontorium (mit Section).

b) Bei Ankylose des Steigbügels im ovalen Fenster (mit Section).

c) Bei Ankylosirung sämmtlicher Gehörknöchelchen (mit Section).

d) Bei Obturation der Nische des runden Fensters durch Bindegewebe (mit Section), vollständiges Verschwinden des Tones, vergl. Exp. B. 2 am todten Gehörorgane.

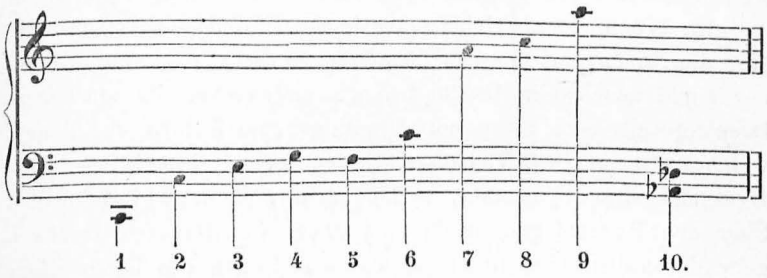
---

[1]) Früher trat ich einer Erklärung von Rinne entgegen. Dieselbe ist jedoch, wie ich jetzt finde, der meinigen verwandter, als ich anfangs dachte.

Einige von diesen Fällen würden sich, meiner Ansicht nach, ziemlich einfach erklären. Das Trommelfell erleichtert die Schallaufnahme sowohl als die Abgabe. Wo dasselbe wie in 1*a* fehlt, kann der Unterschied zwischen der Schallabgabe nach aussen bei offenem und geschlossenem Gehörorgane nur sehr gering sein, weil diese Abgabe überhaupt gering ist. Der Fall 1*b* scheint mir selbstverständlich. Es wird nämlich durch den Versuch kein Umstand verändert.

Dass das Phänomen in den Fällen 3, in welchem der Gehörapparat eine sehr geringe Schwingungsfähigkeit hat, erklärt sich nach meiner Ansicht ebenfalls sehr leicht. In diesen Fällen geht durch den Gehörgang immer nur eine kleine Quantität Schall in's Freie. Es ist also gleichgiltig, ob derselbe offen oder geschlossen ist. Ausserdem wird die Unterscheidung durch die gleichzeitige Schwerhörigkeit, die eben auf der Schwingungsunfähigkeit beruht, sehr erschwert [1]).

Schliesslich gebe ich noch die Töne der von mir in diesen und in den folgenden Versuchen benützten Stimmgabeln.



Alle Versuche wurden mit allen Gabeln 1—9 ausgeführt und etwa ein halbes Jahr später mit den Gabeln 5, 7, 8, 9 wiederholt. Die Töne 10 gehören einer Glocke an, von der später die Rede ist.

---

1) Zur Theorie des Gehörorganes, Sitzb. 1863, habe ich gezeigt, dass es physikalisch höchst wahrscheinlich ist, dass die Gehörknöchelchen wirklich schwingen und nicht Schallwellen leiten. Die Fälle von sehr hartnäckiger Schwerhörigkeit bei Ankylose des Steigbügels mit dem ovalen Fenster, wobei das Eindringen von Schallwellen in die Labyrinthflüssigkeit keineswegs gehindert ist, beweisen ganz exact, dass die Schwingung der Knöchelchen zum Hören nothwendig sei.

II. Wer die vorhin erwähnten Versuche mit gespannter Aufmerksamkeit ausführt, findet noch einige Eigenthümlichkeiten an dem Klange einer an die Zähne gesetzten Stimmgabel. Bei ganz leichtem Verschluss der Gehörgänge bemerkt man abwechselnd ein leichtes Anschwellen und Nachlassen des Tones, gleichzeitig ein Voller- und Leererwerden. Wie sich bei näherer Untersuchung zeigt, fällt die Periode dieses Wechsels genau mit dem Rhythmus des Pulses zusammen. Besonders auffallend ist die Erscheinung bei etwas aufgeregtem und vollem Pulse. Es gelang mir jedoch nicht, festzustellen, ob das Vollerwerden des Klanges mit dem Anschwellen zusammenfällt oder umgekehrt. Die Anschwellung fällt jedoch entschieden auf die Systole.

Sobald man dieses Schwanken des Klanges einmal gehört hat, findet man es bei hinreichender Aufmerksamkeit an jedem Klange wieder. Ich höre nun das Anschwellen und Nachlassen auch an einer Stimmgabel, die ich mir einfach vor das Ohr halten lasse, und zwar so deutlich, dass ich nach dem blossen Gehör sofort den Rhythmus meines Pulses angeben kann.

Eine Erklärung habe ich nicht. Die Erscheinung könnte aber wohl mit einer Druckveränderung im Labyrinth zusammenhängen.

III. Wenn man die Gehörgänge leicht mit den Fingern schliesst, gibt die Stimmgabel an den Zähnen einen fast constanten, vollen, nur leicht anschwellenden und abnehmenden Ton. Bei stärkerem Druck gesellt sich hiezu ein eigenthümliches Zittern des Tones, welches etwa in 8—9 Tonstössen in der Secunde besteht. — Entfernt man die Stimmgabel, so hört man blos die Blutgeräusche. Über den Pulsschlägen macht sich aber ein zitterndes Geräusch geltend von demselben Rythmus, wie das Zittern des Tones. Herr Professor Pless, dem ich dieses Experiment mittheilte, hat mich zuerst auf das Zusammenfallen der beiden Rhythmen aufmerksam gemacht. Ich habe die Beobachtung nachher immer bestätigt gefunden. — Bei sehr starkem Druck wird der Stimmgabelton wieder glatter und verschwindet zuletzt ganz.

Eine Erklärung ist mir bisher nicht gelungen. Die Erscheinung macht ganz den Eindruck, als ob in dem Gehörorgane etwas schlotterig würde und dadurch der Ton zum Zittern käme.

Man könnte die sub I, II, III angeführten Phänomene als Analoga der entoptischen Erscheinungen betrachten und demgemäss in eine Classe zusammenfassen.

IV. Bereits in drei älteren Abhandlungen [1]) habe ich den von Doppler zuerst aufgestellten Satz, welcher eine Abhängigkeit der Tonhöhe von der Geschwindigkeit der Tonquelle ausspricht, nach verschiedenen Richtungen hin theoretisch und experimentell geprüft. Es zeigt sich nun, dass die Tonhöhe scheinbar nicht nur von der Geschwindigkeit $\left(\frac{de}{dt}\right)$, sondern auch von der Entfernung (e) und der Intensität abhänge, in der Weise, dass ein aus grösserer Entfernung kommender oder ein schwächerer Ton mit einem näheren oder stärkeren von gleicher Beschaffenheit verglichen, stets höher erscheint. Ich kenne die Erscheinung seit etwa zwei Jahren, wie ich glaube ziemlich vollständig, und habe die Beobachtung auch bereits vor längerer Zeit Herrn Professor Ludwig mitgetheilt, der sie gelegentlich bestätigt fand; doch haben mich zwei kürzlich erschienene Notizen veranlasst, dieselbe nochmals genauer zu studiren.

Sydney Ringer [2]) veröffentlicht in Pogg. Ann. eine Untersuchung über die Änderung der Tonhöhe bei Leitung von Tönen durch verschiedene Medien. Manche Medien erhöhen den Ton bei der Durchleitung, andere vertiefen ihn, sagt Ringer. Wenn ich auch nicht auf die zum Theil sehr unphysikalischen Ansichten Ringer's eingehen kann, so scheint er mir doch eine sehr richtige Beobachtung gemacht zu haben, indem er sagt:

„Bei allen den Versuchen, bei welchen die Tonhöhe durch Leitung erhöht war, fand sich die Tonstärke vermindert proportional dieser Erhöhung; und sonach scheint es, dass alle Körper die Tonhöhe erhöhen proportional der Schwierigkeit, mit der sie Schwingungen aufnehmen und fortleiten."

Die Abhandlung enthält ausserdem zwei werthvolle Bemerkungen. Die erste bezieht sich auf das Echo eines musikalischen Tones, welches nach Ringer höher erscheint als dieser. Die zweite ist eine Mittheilung von Dr. Wylde. Nach Wylde ist es den Musikern längst bekannt, dass ein schwacher Ton sich als etwas höher gestimmt erweise.

---

[1]) Mach über die Änderung des Tones und der Farbe durch Bewegung. Sitzb. d. Wien. Akad. 1860. — Controverse zwischen Doppler und Petzval. Schlömilch's Zeitschr. 1861. — Pogg. Ann. 1863.

[2]) Sydney Ringer, Pogg. Ann. 1863. Nr. 4.

Dr. Stricker [1]) aus Frankfurt a. M. theilt mit, dass er oft aus grösserer Entfernung nur das helle Geräusch der Wagen, in der Nähe dagegen nur den tiefern Hufschlag der Pferde gehört habe. Dass der Hufschlag nur momentan, das Geräusch aber constant ist, kann, wie Dr. Stricker selbst bemerkt, keine genügende Erklärung bagründen, um so weniger, da ich gefunden habe, dass man fast ganz allgemein auch bei durchaus constanten Tönen aus der Entfernung nur die höheren, in der Nähe nur die tieferen hört. Dies ist namentlich an Stimmgabeln und Glocken leicht zu beobachten.

Die Erfahrungen, welche ich selbst gesammelt habe, stimmen nun zu den Angaben Ringer's und Stricker's sehr gut. Ich stellte Versuche an mit Stimmgabeln, Zungenpfeifen, gedeckten und offenen Labialpfeifen mit den Tönen der Violine und mit den nach der Methode von Helmholtz [2]) hergestellten sogenannten einfachen Töne, und zwar mit einer bedeutenden Anzahl sehr verschiedener Tonhöhen. Stets zeigte sich bei Entfernung des Tonwerkzeuges eine Erhöhung des Tones. Die Erscheinung ist so täuschend, dass einmal ein sehr feiner Musiker, dem ich ein Experiment produzirte, mir erklärte, die Stimmgabel klinge in der Entfernung einen halben Ton höher. Erst später bemerkte er die Täuschung. Auch an der grossen Schlossbergglocke zu Graz habe ich dieselbe Beobachtung gemacht. Sie klingt am Fusse des Schlossberges bedeutend höher, als oben am Fusse des Glockenthurms. Sie gibt nach der Bestimmung des Herrn Dr. Wilhelm Mayer, Directors des steiermärkischen Kunstvereins, die Töne 10 in der obigen Notenangabe. Man hört in der Nähe deutlicher as, in der Entfernung deutlicher des.

Dasselbe was die Entfernung der Tonquelle bewirkt auch die Schwächung des Tones. Ich führe zwei kurze weiche Gummiröhren in die Gehörgänge ein. Wenn ich die offenen Mündungen mit den Fingern langsam zudrücke, so höre ich natürlich die Töne von Stimmgabeln, Glocken, Labialpfeifen, Violinen, Clavieren, Zungenpfeifen schwächer und in gleichem Masse höher. — W. Weber [3])

---

[1]) Stricker, Pogg. Ann. 1864. Nr. 2.

[2]) Helmholtz, Tonempfindungen.

[3]) Diese Notiz ist in eine grosse Anzahl akustischer Werke übergegangen.

bemerkt, dass der Ton einer Stimmgabel mit dem Ausschwingen etwas in die Höhe ziehe. Er nimmt an, dass die Gabel kleinere Schwingungen rascher ausführe. Möglich, dass sich aus der Theorie schwingender Stäbe eine ähnliche Folgerung ziehen lässt. Da sich aber in mehreren Abhandlungen Weber's [1]) keine Angabe findet, wie das Factum constatirt wurde, so muss ich annehmen, dass es aus der Beobachtung mit dem blossen Ohre gefolgert worden sei. Dann ist aber die Angabe höchst wahrscheinlich falsch oder gehört wenigstens zu den physiologischen Erscheinungen. Denn einmal kann ich dasselbe bewirken, wenn ich die Gabel in gleicher Amplitude, also gleicher Schwingungsdauer fortschwingen lasse und den Ton blos subjectiv durch Zudrücken des Gummiröhrchens schwäche. Dann ist es mir wenigstens bei meinen vorläufigen Versuchen nicht gelungen, durch die optische Methode nach Lissajous einen Unterschied in der Schwingungsdauer zu constatiren. Wenn ich nach Wheatstone und Terquem einen Stab als Kaleidophon anwende, so zeigen sich wechselnde Schwingungscurven. Der Wechsel müsste rascher sein bei kleinen Schwingungen. Das ist er nicht, so weit meine Beobachtung reicht. Und doch ist diese Methode anerkannt weit feiner als das Ohr.

Woher kommt nun diese Erhöhung des Tones bei der Entfernung oder subjectiven Abschwächung? Zunächst sind wir darüber klar, dass die Tonhöhe nicht wirklich geändert werden kann, so fern wir unter Tonhöhe die Schwingungszahl verstehen. Die Erhöhung ist also nur subjectiv, scheinbar, physiologisch. Nach den Gesetzen, welche Poisson, Ostrogradsky und Petzval [2]) bezüglich der Erhaltung der Schwingungsdauer mathematisch bewiesen haben, kann dies keinem Zweifel mehr unterliegen. — Zum Überflusse kann man sich noch durch das Experiment hievon überzeugen. Obgleich eine Stimmgabel bei der Entfernung höher wird, dissonirt sie doch nicht mit einer gleichgestimmten in der Nähe. Geben zwei Gabeln mit einander Schwebungen, so bleibt die

---

1) Pogg. Ann. XIV. 174 — XIV. 397 — XVI. 193 — XVI. 415 — XVII. 193.

2) Petzval, über ein neues Princip der Undullationslehre. Sitzb. d. Wien. Akad. 1852. — Siehe meine experimentelle Beleuchtung des Principes in Pogg. Ann. 1863.

Zahl dieselbe, wenn man die eine entfernt. Es ist auch ganz unmöglich, anzugeben, um wie viel die Gabel höher wird.

Die Frage ist nunmehr eine andere. Woher kommt die Täuschung? Oder um richtiger zu sprechen, woher kommt die physiologische Erscheinung, da wir es mit keiner physikalischen mehr zu thun haben. — Es ist bekannt, dass Töne von ungleicher Klangfarbe schwer der Höhe nach zu vergleichen sind. Die mehr oder weniger hervortretenden Obertöne können das Ohr verführen, höher oder tiefer zu schätzen. Mit einem Worte, die hier in Frage kommende Erscheinung ist wahrscheinlich ein Wechsel der Klangfarbe, bedingt durch Intensitätswechsel der Obertöne.

Dass dem wenigstens in manchen Fällen so sei, davon kann man sich durch ein einfaches Experiment überzeugen. Ich construire mir eine sehr einfache Nörrnberg'sche Interferenzröhre, indem ich eine Gummiröhre in zwei Zweige auslaufen lasse, deren Längenunterschied in Bezug auf eine bestimmte Stimmgabel eine halbe Wellenlänge beträgt. Beide Zweige schliessen wieder in einer einzigen Röhre, welche in den Gehörgang gesteckt wird, während vor der andern Mündung die Stimmgabel schwingt. Es wird, wenn man durch beide Zweige hört, der Grundton der Stimmgabel fast ganz aufgehoben und der Ton schlägt fast in die Octave um. Dies beweist, dass die Stimmgabel beim Schwingen nicht nur einen einfachen Ton und unharmonische Obertöne, sondern auch harmonische Obertöne, und zwar geradzahlige auslöst; die Erscheinung wäre sonst nicht möglich. Dies stimmt auch mit den Entwickelungen von Helmholtz [1]). Wenn man nun die Länge der Zweige in unserer Röhre variirt, so kann man den Grundton beliebig schwächen und gleichzeitig die geradzahligen Partialtöne beliebig verstärken. Bei diesem Process zeigt sich aber eine scheinbare Erhöhung des ganzen Klanges, welche man erst nach längerem Studium als eine blosse Veränderung der Klangfarbe erkennt. Da aber nun ein Hervortreten der Obertöne schon in einem bestimmten Falle Erhöhung bewirkt, so ist es, so lange keine andere Erklärung aufzufinden ist, wenigstens höchst wahrscheinlich, dass die scheinbare Erhöhung überall durch dieselbe Ursache hervorgebracht werde.

---

[1]) Helmholtz, Pogg. Ann. Bd. 99, S. 538.

Wie soll aber durch die Entfernung der Tonquelle oder durch die subjective Schwächung des Tones ein Überwiegen der Obertöne zu Stande kommen? — Die Ursachen können verschiedene sein und es wirken wahrscheinlich mehrere zusammen. — Zunächst können diese Ursachen rein physikalisch sein, d. h. in der zum Ohre gelangenden Luftbewegung liegen. Betrachten wir die Stimmgabeln. Die Stimmgabeln bringen der Luft gleichzeitig stets entgegengesetzte Phasen von nahezu gleicher Intensität bei. Die Stellen aber, an welchen entgegengesetzte Phasen erregt werden, liegen auch bei den höchsten Stimmgabeln so nahe an einander, dass ihre Entfernung gegen die Wellenlänge verschwindet. Beschreibt man nun von diesen Stellen aus mit gleichen Radien Wellenflächen, so fallen diese desto mehr zusammen, je grösser die Radien sind. Je grösser die Entfernung, desto mehr heben sich die Schwingungen auf. Desshalb hört man die Stimmgabeln nicht weit. Aber gerade an jenen Stellen, an welchen sich die Grundtöne schwächen, also in grösserer Entfernung, müssen sich die geradzahligen Partialtöne verhältnissmässig verstärken. — Analoge Verhältnisse, wenn auch nicht in dem Masse, finden sich an allen schwingenden Körpern. Sowohl freie als auch auf Resonanzkästchen gesetzte Stimmgabeln zeigen die Erscheinung.

Man könnte nun ferner daran denken, dass verschiedene Partialtöne eines Klanges beim Durchgange durch die Luft ungleich geschwächt, absorbirt, in Wärme umgewandelt werden. Dann wäre aber a priori das Gegentheil von dem wirklich Beobachteten zu erwarten. Raschere Schwingungen werden doch wahrscheinlich rascher verzehrt. Überhaupt müsste diese Absorption, sollte der Unterschied so gross sein, überhaupt einen bedeutenden Werth erreichen und sich sonach auch sonst schon bemerkbar gemacht haben. Wir können also hievon vorläufig absehen.

Diese Ursachen könnten nur bei der Entfernung der Tonquelle wirksam sein. Die Erhöhung bei subjectiver Schwächung des Tones fordert eine andere Erklärung. Wenn ich das Gummiröhrchen im Gehörgange verengere, kann wohl nichts anderes geschehen, als dass alle Partialtöne eines Klanges in gleichem Verhältnisse geschwächt werden. Woher nun das Überwiegen der Obertöne? — Werden höhere Töne bei geringerer physikalischer Intensität verhältnissmässig stärker vom Ohre aufgenommen?

Wenn W. Weber's oben erwähnte Angabe richtig wäre, so könnten wir uns dies wohl vorstellen. Kleinere Schwingungen werden rascher ausgeführt. Demnach würden die Körper bei kleineren Schwingungen auch durch raschere Schwingungen verhältnissmässig mehr in's Mitschwingen versetzt. Das Phänomen könnte dann seinen Grund haben im Gehörnerv, im Labyrinth, in den Knöchelchen, im Trommelfell oder gar in allem zusammen. Aber das Ganze ist wie gesagt problematisch.

Dass die Erscheinung subjectiv sei, kann kaum einem Zweifel unterliegen. Ich will es versuchen, darüber eine Ansicht aufzustellen. Für die Schallempfindung gilt nach Fechner[1]) das E. H. Weber'sche Gesetz. Nennen wir y die Empfindungsintensität eines Tones von der physikalischen Intensität x, welcher bei der Intensität b auf die Schwelle tritt, so besteht die Gleichung

$$y = a. \log\left(\frac{x}{b}\right) \text{ und für eine andere Tonhöhe}$$

$$y_1 = a_1 \log\left(\frac{x}{b_1}\right).$$

Beide Gleichungen können als Gleichungen von Curven angesehen werden. Die Curven haben einen Durchschnitt, d. h. die psychologischen Intensitäten werden gleich, wenn

$$a \log\left(\frac{x}{b}\right) = a_1 \log\left(\frac{x}{b_1}\right), \text{ oder wenn}$$

$$x = \text{num. } \log\left(\frac{a \log b - a_1 \log b_1}{a - a_1}\right).$$

Für $b = b_1$ finden wir $x = b$. Die psychologischen Intensitäten wären gleich, wenn sie eben auf die Schwelle treten. Dieser Fall ist für uns werthlos, da wir ausserdem wissen, dass b und b_1 für ungleiche Tonhöhen ungleich sind. Der Durchschnitt fällt auf ein anderes x, wenn $b \gtrless b_1$, $a \gtrless a_1$ ist. Wir finden für die Differenz

$$y - y = \varphi = a \log\left(\frac{x}{b}\right) - a_1 \log\left(\frac{x}{b_1}\right) \text{ und}$$

$$\frac{d\varphi}{dx} = \frac{a - a_1}{x}$$

Die Differenz ändert sich also fortwährend in demselben Sinne, so lange sich x in demselben Sinne ändert. Schreiben wir a, b

[1]) Fechner, Psychophysik. II.

einem tiefern, a_1, b_1 einem höhern Ton zu, nehmen nach der Erfahrung an, dass $b > b_1$, so brauchen wir für die durch die Erfahrung noch unbestimmten Constanten a, a_1, blos festzusetzen, dass $a > a_1$ um sofort das Phänomen zu begreifen [1]). Bei geringerer Intensität überwiegen dann die höheren, bei grösserer die tieferen Töne. Wir sind berechtigt, diese Ansicht einstweilen als eine empirische festzuhalten, ohne uns zu entscheiden, wo die Constanten a, a_1, b, b_1, ihren Werth erhalten, ob im Gehörnerv oder in einem andern Theile des Ohres.

Die scheinbare Erhöhung bei Entfernung oder Schwächung eines Klanges ist also meiner Ansicht nach eine blosse Veränderung der Klangfarbe und hat ihren Grund in dem Überwiegen der Obertöne, welches theils durch physikalische, theils durch psychophysische Ursachen herbeigeführt wird. Man könnte nun einwenden, dass dann einfache Töne die Erscheinung nicht zeigen könnten. Sie tritt aber nur in geringerem Masse auf. Doch habe ich mich überzeugt, dass es ganz unmöglich ist, vollkommen einfache Töne hervorzubringen. Einmal weil die Stimmgabel, wie gezeigt wurde, auch ihre harmonischen Obertöne gibt. Dann weil diese Obertöne zwar wenig aber doch von den Helmholtz'schen Resonatoren verstärkt werden. Endlich weil wahrscheinlich jeder physikalisch einfache Ton im Ohre Obertöne auslöst.

Während des Druckes dieser Abhandlung stiessen mir zwei neue Beobachtungen auf, die ich mir vorläufig nicht zurechtlegen kann. Das Geklapper einer kleinen Windmühle schien tiefer zu werden, wenn ich die Ohren mit den Fingern zuhielt. Auf einem mit Watte verstopften Obre glaubte ich eine Stimmgabel tiefer zu hören als auf dem andern.

V. Bringt man zwei wenig in der Tonhöhe verschiedene Stimmgabeln vor ein Ohr, so hört man die bekannten Schwebungen. Hiebei hat man neben dem Intensitätswechsel deutlich den Eindruck, als ob bald der höhere, bald der tiefere Ton überwiegen würde. Da aber die Töne sich gegenseitig zerstören und schwächen, so ist dies eine Täuschung, welche auf der Veränderung der Klangfarbe beruht. Der geschwächte Ton erscheint etwas höher, schon dess-

[1]) Was die Constante a betrifft, vergl. meine Vorträge über Psychophysik. Österr. Zeitschr. f. prakt. Heilkunde. 1863.

halb, weil die geradzahligen Obertöne sich verstärken, wenn die Grundtöne sich schwächen.

Die gewonnenen Resultate enthalten zugleich die Erklärung einiger, in I, II angeführten Beobachtungen. Jeder Klang zieht bei der Schwächung, wie diese auch geschehen mag, scheinbar in die Höhe und wird gleichzeitig leer durch Überwiegen der Obertöne.

VI. Indem ich das Studium einiger von Scott-Alison [1]), Fechner [2]) und Anderen beobachteter akustischer Thatsachen, welche namentlich für die Psychophysik wichtig sind, für eine spätere Abhandlung verspare, betrachte ich hier noch eine Streitfrage, die mehrmals schon von Dove, Seebeck, Harless, Rinne und Fechner behandelt wurde.

Bringt man zwei der Höhe nach etwas verschiedene Stimmgabeln vor das Ohr, so hört man Schwebungen. Dieselbe Erscheinung tritt auf, obgleich etwas schwächer, wenn je eine Gabel vor ein Ohr gebracht wird. Die Sache ist auf den ersten Blick sehr räthselhaft, indem man die Gabeln durch die Luft nicht von einem Ohre zum andern hinüber hört. Man muss demnach an Durchleitung des Schalles durch die Kopfknochen oder an eine noch complicirtere Annahme denken. Die Durchleitung wird von manchen Forschern bestritten, da sie von vielen nicht direct beobachtet werden konnte. Wenn ich einem Gehilfen vor ein Ohr eine Stimmgabel halte und aus dem andern ein Röhrchen in mein Ohr führe, so höre ich selbst die Gabel nicht. Wohl aber habe ich eine hinreichende Anzahl anderer Beobachter gefunden, welche die Gabel hörten und um Täuschungen zu vermeiden mir den Ton angaben. Wenn Jemand die Gabel nicht hört, so dürfte daran nur seine Hörfähigkeit Schuld tragen. Die Annahme der Durchleitung, die sich überhaupt durch ihre Einfachheit empfiehlt, ist auch theoretisch wahrscheinlich. Der Gehörapparat ist vorzüglich geeignet, Schall auf die Kopfknochen zu übertragen.

Seebeck [3]) stellt drei mögliche Annahmen auf, um das Factum zu erklären:

---

[1]) Scott Alison, On the differential stetophone. Proceedings of the royal Soc. Vol. IX. Nr. 31, p. 196.

[2]) Fechner, Über das binoculäre Sehen. Abhandl. d. königl. sächs. Gesellsch. 1860.

[3]) Seebeck, Pogg. Ann. Bd. 68.

1. Die beiden Gehörnerven sympathisiren so, dass sich die Eindrücke verstärken, wenn beide Trommelfelle in gleicher Richtung schwingen;

2. die beiden Gehörnerven sympathisiren so, dass sich die Eindrücke verstärken, wenn beide Trommelfelle in entgegengesetzter Richtung schwingen;

3. es findet Durchleitung statt.

Die Annahme einer Sympathie ist für mich höchst unwahrscheinlich. Jede Gabel löst in jedem Ohr so zu sagen einen continuirlichen Empfindungsstrom aus, der gar nichts mehr von Vibration an sich hat. Wie kommen diese Empfindungsströme dazu, sich wie Schallwellen zu verhalten?

Seebeck selbst versucht eine Widerlegung der zwei ersten Punkte, indem er vor beiden Ohren zwei Sirenen aufstellt, welche abwechselnd gleiche und entgegengesetzte Schwingungsphasen von sich geben. Da sich kein Unterschied in der Schallstärke zeigt, so wäre die Annahme der Sympathie widerlegt. Seebeck vergisst jedoch, dass, falls das Experiment entscheidend wäre, nothwendig auch die dritte Annahme der Durchleitung mit aufgehoben wäre.

Seebeck's Methode ist eben unbrauchbar, weil man die Sirenen kreuzweise hinüber hört. Ich habe das Experiment anders ausgeführt. Eine Röhre, vor deren Mündung eine Stimmgabel schwingt, lauft in drei Zweige *a*, *b*, *c* aus, deren Längen beziehungsweise λ, $\frac{\lambda}{2}$, λ sind, wobei λ die Wellenlänge der Stimmgabel ist. Die Röhren *a*, *b* laufen in eine Mündung zusammen und führen zum linken Ohr, die Röhre *c* geht zum rechten. Jede der Gummiröhren kann zugedrückt werden. Höre ich blos durch *a*, *b*, so hebt sich der Schall fast ganz auf, denn ich habe dann eine Nörenberg'sche Röhre vor mir. Bei der Combination *a*, *b*, *c* ist der Schall schwächer, als bei *a*, *c*, oder *b*, c. Nehme ich abwechselnd *a c*, *b c*, so habe ich den Eindruck der Schwebungen, zwar nicht so deutlich wie ihn zwei Gabeln hervorbringen, aber doch merklich. Es treten nämlich hiebei abwechselnd gleiche und entgegengesetzte Phasen in beide Ohren. Das geringere Hervortreten der Schwebungen schreibe ich dem Umstande zu, dass bei so geringen Unterschieden, wie sie hier auftreten, die Unterscheidungsfähigkeit durch die kurze Pause, welche beim abwechselnden Zudrücken von *a* und *b* entsteht, verloren geht.

Ich habe das Experiment noch anders wiederholt. Es wurden durch eine Röhrenvorrichtung gleiche und entgegengesetzte Phasen von den verschiedenen Zinkenseiten einer und derselben Stimmgabel aufgefangen, was wohl nicht nöthig ist, besonders zu beschreiben. Der Erfolg war derselbe.

Das angeführte Experiment kann über Sympathie oder Durchleitung gar nicht entscheiden; es ist nur eine künstliche Nachahmung der zu untersuchenden Erscheinung. Die Annahme der Durchleitung ist aber so einfach und ausreichend, dass ich nicht anstehe, sie für die richtige zu halten.

VII. Vor Kurzem habe ich eine Ansicht aufgestellt, nach welcher das Ohr eine Accommodation für die Tonhöhe hätte, und nach welcher ferner die Tonhöhe nach dem Masse dieser Accommodationsanstrengung geschätzt würde. Ist die Ansicht richtig, so lässt sie pathologische Erscheinungen vermuthen, welche, wie ich glaube, wirklich vorkommen. Gerade so, wie Augenmuskellähmungen ein Seitwärtsgreifen nach dem gesehenen Gegenstande, ein Verfehlen des wahren Ortes zur Folge haben, gerade so müsste eine Accommodationslähmung des Ohres ein Überschätzen der Tonhöhe bewirken. In beiden Fällen wäre die gewöhnliche Muskelanstrengung, nach gewohntem Masse gemessen, das Verführende. Lassen wir die Thatsachen sprechen. Ich erlaube mir mehrere pathologische Fälle auszuführen.

1. Dr. Gruber [1]) erwähnt einen Fall, der einen Militärcapellmeister in der Nähe Wiens betraf. Derselbe verlor das Unterscheidungsvermögen für die Töne. Er hörte jeden angeschlagenen Ton um einen halben Ton höher.

2. v. Wittich [2]) berichtet über eine Beobachtung an sich selbst, die ich ihres Interesses wegen im Auszuge anführen muss. v. Wittich stellte an sich eine Reihe von Untersuchungen an, nachdem er vier Wochen früher von einer heftigen Entzündung des mittleren und später auch des äusseren Ohres befallen worden. Er hörte dann nur sehr schwach das Pochen der Taschenuhr mit dem kranken Ohre, und zwar blos dann, wenn er das Zifferblatt dicht an die Ohrmuschel drückte. Das Schlagen einer im Zimmer stehenden

---

[1]) Gruber, Österr. Zeitschr. f. prakt. Heilkunde. X. Jahrg. Nr. 3.

[2]) v. Wittich, Königsberger medicin. Jahrbücher. Bd. 3. 1861. S. 40—45.

Stockuhr vernahm er in nächster Nähe, wenn er derselben sein krankes Ohr zukehrte, nachdem das gesunde verstopft war. Er hörte das Geräusch des Klöpfels bei dem Anschlagen in einer Entfernung von vier Fuss mit dem kranken Ohr beträchtlich schwächer, als mit dem verstopften gesunden. Verschloss er das letztere, so bemerkte er die mechanische Arbeit einer schwachtönenden Tischglocke in einer Entfernung von $1\frac{1}{2}$ Fuss. Das Klingen wurde erst wenige Zoll vom Ohre wahrgenommen. Die Schwingungen einer zwei Zoll vom kranken Ohre befindlichen Stimmgabel hörte er äusserst leise, aber mit voller Schärfe. War sie auf A gestimmt, so klang sie einen halben Ton höher auf dem kranken, als auf dem gesunden Ohre. Zwei Stimmgabeln, von denen die eine A und die andere B gab, klangen gleichzeitig angeschlagen vollkommen gleich, wenn B vor dem gesunden und A vor dem kranken Ohre gehalten wurde. Alle Töne mittlerer Höhe der eingestrichenen Octave, die Wittich pfiff oder auf dem Claviere anschlug, klangen doppelt und zwar um einen halben Ton verschieden. Töne, die jenseits oder diesseits $\bar{d}$ — $\bar{\bar{d}}$ lagen, klangen einfach. Diese Ergebnisse änderten sich nicht, nachdem man den äussern Gehörgang des kranken Ohres mit Watte verstopft, mit Wasser gefüllt, Luft in die Eustach'sche Röhre gepresst, die Spannung des Trommelfells durch das Zusammenpressen der Kiefer geändert oder alle Kaumuskeln ruhig gelassen hatte. Wurde die in A tönende Gabel auf die Zähne des Unterkiefers bei offenem Munde gesetzt, so hörte Wittich zunächst sehr laut A, das allmählich verklingend nach B hinaufzog. Setzte er die tönende Gabel auf die Schädelknochen, so hörte er B oder A, das mit B verklang, je nachdem dies näher oder ferner dem kranken Ohre geschah. — Die allgemeine Gehörempfindung war nicht in gleichem Masse wie die musikalische Tonempfindung zerstört. Wittich konnte schwache Geräusche, die man sonst neben dem Klingen des Metalles kaum wahrnimmt, in einer Entfernung hören, in der er das Tönen einer Glocke nicht bemerkte. Die Schwerhörigkeit verschwand später langsamer als die Verstimmung des musikalischen Gehörs, die allmählich abklang.

3. Herr Professor E. H. Weber hat ebenfalls einen ähnlichen Fall an sich beobachtet und hatte die besondere Güte, mir das Protokoll hierüber zur Verwendung mitzutheilen, welches ich mit dessen eigenen Worten folgen lasse.

„Als ich in den ersten Tagen des Decembers 1857 in einem ungeheizten Zimmer sass und schrieb, nahm ich plötzlich eine Veränderung in meinem linken Ohre wahr. Ich hörte nämlich ein continuirliches gleichmässiges Geräusch wie ein Tosen. Bis dahin hatte ich niemals am Gehör gelitten. Nachdem diese subjective Empfindung vier Tage und Nächte fortgedauert hatte, machte ich mit dem kranken Ohre einige Versuche, aus welchen sich ergab:

a) dass ich eine Taschenuhr vor diesem Ohre in derselben Entfernung picken hörte, als vor dem gesunden, nämlich ungefähr bis zur Entfernung von 600 Millim.;

b) dass ich den Ton von zwei Stimmgabeln, welche angeschlagen das eingestrichene f und g gaben oder von Stimmgabeln, die einen noch tieferen Ton hervorbrachten, gar nicht hörte, wenn die Stimmgabeln vor dem kranken Ohre gehalten wurden, wohl aber sehr gut hörte, wenn sie dem gesunden rechten Ohre genähert wurden;

c) dass ich das eingestrichene b und alle noch höheren Töne, für welche ich besondere Stimmgabeln besass, sowohl vor dem gesunden als kranken Ohre hörte, dass indessen mir der Ton dann vor dem kranken linken Ohre etwas schwächer und etwas höher zu sein schien, als vor dem gesunden rechten;

d) nachdem dieser Zustand einige Tage fortbestanden hatte, bemerkte ich am 9. December eine Veränderung: Ich beobachtete nämlich, dass ich nun mit dem kranken Ohre wieder hören konnte, wenn die Stimmgabeln, die angeschlagen die Töne f und g gaben, vor dasselbe gehalten wurden, dass ich aber ihren Ton mit dem kranken Ohr beträchtlich höher, nämlich richtig um eine halbe Tonstufe höher hörte, als mit dem gesunden rechten Ohre. Da man den Ton der angeschlagenen in der Hand gehaltenen Stimmgabeln nur bei grosser Annäherung an das eine oder andere Ohr hören kann, nicht aber mit beiden Ohren zugleich, so liess sich der Unterschied der Tonhöhe, die man zu empfinden glaubte, sehr bestimmt ermitteln, wenn ich die tönende Stimmgabel abwechselnd vor das kranke und gesunde Ohr hielt;

e) der sub *d)* angegebene Zustand dauerte aber nur zwei Tage fort, dann trat der frühere Zustand bei dem kranken Ohre wieder ein, wo ich die Töne f und g gar nicht hörte, wohl

aber die Töne der früheren Stimmgabeln vom eingestrichenen b an, die mir jetzt mit dem kranken Ohre gehört schwächer aber nicht höher zu sein schienen, als mit dem gesundem Ohre;

f) am Pianoforte, wo der angeschlagene Ton gleichzeitig zu beiden Ohren drang, nahm ich nicht wahr, dass ich mit dem linken Ohre einen höheren, mit dem rechten einen tieferen Ton empfände, auch dann nicht, wenn ich das eine oder das andere Ohr abwechselnd zuhielt. Freilich hörte ich auch den Ton, wenn ich beide Ohren zu gleicher Zeit zuhielt.

Unstreitig richtete ich hierbei unwillkürlich meine Aufmerksamkeit auf den Ton, den ich mit dem gesunden Ohre vernahm und wendete sie von dem kranken Ohre ab, wie das nicht selten hinsichtlich der Augen bei Schielenden geschieht. Ich hörte also die Töne musikalischer Instrumente nicht doppelt;

g) die mit den Stimmgabeln ausgeführten Experimente griffen mein Nervensystem sehr an. Es entstand dadurch eine so grosse Reizbarkeit des Gehörs, dass ich mich mehrere Wochen in eine vollkommene Stille zurückziehen musste, da mir schon das Knistern des Feuers im Ofen, oder das Geräusch bei dem Zusammendrücken von steifem Papiere unangenehme Empfindungen verursachte. Dieses ist auch der Grund, warum ich diese Versuche nicht weiter fortgesetzt habe, obgleich jene Reizbarbeit wieder verschwunden ist;

h) die Tonbestimmung sub *d)*, nach welcher der mit dem linken Ohre gehörte Ton der genannten Stimmgabeln richtig um eine halbe Tonstufe höher war, als wenn dieselben Stimmgabeln vor das rechte Ohr gehalten und dann allein nur durch dieses gehört wurden, beruht nicht allein auf der unmittelbaren Schätzung, sondern wurde auch dadurch bestimmt, dass der mit dem linken Ohre gehörte Ton mit dem entsprechenden Tone auf einem Pianoforte verglichen wurde, den ich mit beiden Ohren zugleich und wie oben schon bemerkt wurde, richtig hörte, und dass eben so bei der Bestimmung des Tones verfahren wurde, den ich mit dem rechten Ohre allein hörte."

4. Ich habe häufig gehört, dass Leute mit Trommelfelldefecten auf einem Ohr meist ungleich hoch auf beiden Ohren hören. Es war

mir indess nicht möglich, hierüber Genaueres zu erfahren, da ich keinen hinreichend intelligenten Patienten dieser Art sprechen konnte. Nach dem vorher Besprochenen würde ich vermuthen, dass solche Leute auf dem verletzten also schwächeren Ohre etwas höher hören. Es würde hiebei die gewöhnliche Täuschung mitspielen.

Auf Rechnung dieser Täuschung allein lassen sich aber die sehr genau untersuchten Fälle 2, 3 nicht bringen. Ich kann sie also bis auf Weiteres einstweilen als Bestätigung meiner Theorie ansehen.

Die Fälle von Ungleichhören dürften nicht so selten sein, als man gewöhnlich glaubt; nur ist es meist schwer, verlässliche Angaben zu erhalten. Ja, nach Fessel [1]) scheint der Fall des Ungleichhörens freilich in weit geringerem Grade, sogar der normale zu sein. Fessel constatirte nämlich durch genaue Messungen, dass die meisten Leute auf dem rechten Ohre etwas höher hören [2]). Es ist dies ein Seitenstück zu Fechner's Beobachtung, nach welcher fast constant ein Ohr etwas schwerhöriger ist, als das andere. Eine solche Gesetzmässigkeit weist auf eine teleologische Bedeutung hin. Sollte die Natur so zu sagen durch eine absichtliche Asymetrie des Körpers Localzeichen für rechts und links ermöglicht haben?

Ich schliesse diese Betrachtung in der Hoffnung, mit Hilfe constantschwingender Stimmgabeln und einer neuen otoskopischen Methode, die eine Anwendung des Lissajon'schen ist, demnächst das Vorgetragene weiter verfolgen zu können.

Ich habe vor einiger Zeit auch Versuche angestellt, um die Theorie zu prüfen, welche jedoch erfolglos blieben. Ich versuchte vergebens durch Atropin und Kohlensäure eine momentane Lähmung der Muskel des mittleren Ohres herbeizuführen. Die aufgeführten Hamlet-Scenen gingen spurlos vorbei.

---

[1]) Fessel, Pogg. Ann. 1860, S. 189—191.

[2]) Durch die Güte des Dr. Jutmann in Graz kam mir zwar ein Patient zu, der der jedoch leider auf dem verletzten Ohre absolut taub gefunden wurde.

SITZUNGSBERICHTE

DER

MATHEMATISCH-NATURWISSENSCHAFTLICHEN CLASSE

DER KAISERLICHEN

AKADEMIE DER WISSENSCHAFTEN.

L. BAND. II. ABTHEILUNG.

JAHRGANG 1864. — HEFT I BIS V.

(Mit 9 Tafeln.)

WIEN.

AUS DER K. K. HOF- UND STAATSDRUCKEREI.

IN COMMISSION BEI KARL GEROLD'S SOHN, BUCHHÄNDLER DER KAIS. AKADEMIE DER WISSENSCHAFTEN.

1865.

Universitätsbibliothek * Freie Universität Berlin

Z 1956.926

AMERICAN GEOGRAPHICAL AND STATISTICAL SOCIETY

INHALT.

Seite

XIV. Sitzung vom 9. Juni 1864: Übersicht 3

Hlasiwetz und *Pfaundler*, Über das Morin, Maclurin und Quercitrin. (Mit 1 Tafel.) 6

Blažek, Transformation und Berechnung einiger bestimmten Integrale 60

XV. Sitzung vom 16. Juni 1864: Übersicht 85

Stefan, Über die Dispersion des Lichtes durch Drehung der Polarisationsebene im Quarz 88

XVI. Sitzung vom 23. Juni 1864: Übersicht 125

XVII. Sitzung vom 7. Juli 1864: Übersicht 127

Maly, Beiträge zur Kenntniss der Abietinsäure 130

Stefan, Über eine Erscheinung am Newton'schen Farbenglase 135

— Über Interferenzerscheinungen im prismatischen und im Beugungsspectrum 138

Oppolzer, Untersuchung über die Bahn des Planeten (73) „Clytia“ 143

XVIII. Sitzung vom 14. Juli 1864: Übersicht 168

Haidinger, Ein Mannaregen bei Karput in Klein-Asien im März 1864 170

Rollett, Über die successiven Veränderungen, welche elektrische Schläge an den rothen Blutkörperchen hervorbringen. (Mit 1 Tafel.) 178

Brücke, Die Intercellularräume des Gelenkwulstes der *Mimosa pudica* 203

Mac-Gillavry, Zur Anatomie der Leber (Mit 1 Tafel.) . . . 207

Unferdinger, Die Wurzelformel der allgemeinen Gleichung des vierten Grades 225

XIX. Sitzung vom 21. Juli 1864: Übersicht 235

Fritsch, Bericht über den verheerenden Hagelfall, der am 12. Juli zwischen 8—9 Uhr Abends bei Salzburg stattfand 238

Haidinger, Der Meteorstein von Manbhoom in Bengalen, im k. k. Hof-Mineraliencabinete aus dem Falle am 22. December 1863 241

Seite

Ludwig, E., Chemische Analyse der Mineralquellen von Johannisbrunn in Mähren 247

Rochleder, Über die Constitution des Caffeïn und Theobromin 259

— Vorläufige Notiz über den Gerbstoff von *Aesculus hippocastanum* L. 265

Schrötter, Über ein vereinfachtes Verfahren, das Lithium, Rubidium, Cäsium und Thallium aus den Lithionglimmern zu gewinnen 268

XX. Sitzung vom 6. October 1864: Übersicht 285

Haidinger, Ein vorhomerischer Fall von zwei Meteoreisenmassen bei Troja 288

Ditscheiner, Bestimmungen der Wellenlängen der Fraunhofer'schen Linien des Sonnenspectrums. (Mit 2 Tafeln.) 296

Mach, Über einige der physiologischen Akustik angehörige Erscheinungen. 342

XXI. Sitzung vom 13. October 1864: Übersicht 363

XXII. Sitzung vom 20. October 1864: Übersicht 367

Rosow, Über die Folgen der Durchschneidung des *Nervus opticus*. (Mit 2 Tafeln.) 369

Ditscheiner, Die Krystallformen einiger Platincyanverbindungen. (Mit 1 Tafel.) 373

XXIII. Sitzung vom 3. November 1864: Übersicht 377

Stefan, Ein Versuch über die Natur des unpolarisirten Lichtes und die Doppelbrechung des Quarzes in der Richtung seiner optischen Axe 380

— Über Nebenringe am Newton'schen Farbenglase . . 394

Lippich, Studien über den Phonautographen von Scott. (Mit 1 Tafel.) 397

Vlacovich e *Vintschgau*, Intorno ai sussidj meccanici meglio acconci a determinare con precisione il numero delle pulsazioni cardiache nei conigli 418

XXIV. Sitzung vom 10. November 1864: Übersicht 428

Schmidt, Julius, Über Feuermeteore; nach Zahlen, Detonationen, Meteoritenfällen, Schweifen und Farben, verglichen zur Höhe der Atmosphäre 431

XXV. Sitzung vom 17. November 1864: Übersicht 439

Wiesner, Untersuchung über das Auftreten von Pectinkörpern in den Geweben der Runkelrübe 442

Seite

XXVI. Sitzung vom 1. December 1864: Übersicht 455

Haidinger, Der Meteorsteinfall von Polinos in den Kykladen 458

Oppolzer, Über den dritten Kometen des Jahres 1864 . . . 459

Bauer, Über einige Reactionen des Monochloräthers . . . 470

Stefan, Über Interferenz des weissen Lichtes bei grossen Gangunterschieden 481

XXVII. Sitzung vom 9. December 1864: Übersicht 497

Brücke, Über den Verlauf der feinsten Gallengänge 501

XXVIII. Sitzung vom 15. December 1864: Übersicht 503

Stefan, Theorie der doppelten Brechung 505

Hlasiwetz, Mittheilungen aus dem chemischen Laboratorium zu Innsbruck. 1. Über die Einwirkung des Oxaläthers auf den Harnstoff 524

— 2. Über das Catechu und das Catechin 527

Winckler, Einige Eigenschaften der Transcendenten, welche aus der Integration homogener Functionen hervorgehen 531

Über einige der physiologischen Akustik angehörige Erscheinungen.

Von Dr. Ernst Mach.

(Vorgelegt in der Sitzung vom 26. Juni 1864.)

Die folgenden Zeilen beschäftigen sich mit einer Reihe von Erscheinungen, welche, so viel mir wenigstens bekannt ist, theils von mir zuerst beobachtet, theils aber von neuen Gesichtspunkten aus betrachtet wurden.

I. Ein durch die Kopfknochen zum Gehörorgane geleiteter Schall wird bei geschlossenen Gehörgängen stärker empfunden. Dieses von Lucae [1]) „Verstärkung der Knochenleitung" genannte Phänomen ist zwar so gewöhnlich und auffallend, dass es nicht leicht einem Beobachter entgehen kann, doch haben erst E. H. Weber [2]) und Wheatstone [3]) dasselbe einer ausdrücklichen Erwähnung werth gefunden.

Der genauere Hergang, wie er sich mir und einigen zu Rathe gezogenen Beobachtern darstellt, ist folgender. Eine mit den Zähnen gefasste Stimmgabel, gleichgiltig von welcher Tonhöhe, erklingt in einem stärkeren und volleren [4]) Tone, sobald ich meine Finger nur ganz nahe an die Gehörgänge bringe. Leichtes Schliessen ohne Druck verstärkt den Ton noch mehr. Bei stärkerem Drucke wächst anfangs ein klein wenig die Intensität, nimmt aber bei noch weiter wachsendem Druck immer mehr ab und ich kann zuletzt den Ton so zu sagen vollständig erdrücken [5]). Gleichzeitig wird der Klang leer und zieht scheinbar in die Höhe.

---

[1]) Lucae, Centralblatt f. d. med. Wissensch. 1863. Nr. 40 und 41.

[2]) Weber, Programm. coll. 42.

[3]) Wheatstone, Quarterly Journ. of Sc. vol. II. N. Sér. 1827.

[4]) Voll nenne ich nach Helmholtz einen Klang, bei dem der Grundton die Obertöne überwiegt; leer ist der Klang im umgekehrten Falle.

[5]) Lucae a. a. O. gibt dagegen an, dass der Ton bei stärkerem Druck zwar schwächer werde, aber immer noch stärker bleibt als bei offenem Ohre.

Eine Erklärung des Vorganges habe ich bereits in einer früheren Abhandlung versucht [1]). Es zeigt sich nämlich, dass man auf schallende, überhaupt auf schwingende Körper, demnach auch auf das Ohr einige Betrachtungen anwenden kann, die sonst nur in der Licht- und Wärmelehre gebräuchlich sind.

Denkt man sich eine Reihe von schwingungsfähigen Massen, zum Theil in Verbindung, in ein widerstehendes Medium eingetaucht, so erhält man für kleine Schwingungen dieses Systems eine Anzahl linearer Differentialgleichungen. Denkt man sich nun das Medium in einem permanenten Schwingungszustand von bestimmter Periode, so stellt sich alsbald ein dynamischer Gleichgewichtszustand her, indem das eingetauchte System ebenfalls in permanente Schwingungen von derselben Periode geräth. Dasselbe gilt analog, wenn das Medium Schwingungen von mehreren verschiedenen Perioden gleichzeitig ausführt. Und das Gesetz gilt darum für alle Perioden (alle Sinusschwingungen) zusammen, weil es für jede einzelne Periode (Sinusschwingung) gilt. Bei dieser permanenten Schwingungsweise (von constanter Amplitüde) kann man sich nun vorstellen, dass weder das eingetauchte System an das Medium noch umgekehrt lebendige Kraft abgibt, oder wenn man lieber will, dass beide fort und fort gleiche lebendige Kräfte austauschen. Es gilt also für solche schwingende Bewegungen das Gesetz der Gleichheit des Absorptions- und Emissionsvermögens [2]).

Man kann ferner zeigen, dass ein Körper desto leichter und rascher seine Schwingungen an das umgebende Medium abgibt, je leichter und rascher er solche von eben diesem Medium aufzunehmen vermag, und je mehr umgekehrt seine Bewegungsweise von der Bewegungsweise des Mediums regiert wird. Je leichter das Flügelrad einer Windmühle von der Luft in Bewegung gesetzt wird, desto leichter wird es umgekehrt die Luft in Bewegung setzen und dadurch umgekehrt seine etwa erlangte Eigenbewegung verlieren [3]).

---

1) Zur Theorie des Gehörorgans. Sitzb. d. Wien. Akad. 1863.

2) Vergl. Mach, vorläufige Bemerkungen, betreffend das Licht glühender Gase. Schlömilch's Zeitschr. 1864.

3) Zur Theorie des Gehörorganes. Sitzb. 1863.

Ich glaube nun, dass diese Betrachtungen zugleich die Erklärung der „Verstärkung der Knochenleitung“ einschliessen. Wird der Gehörgang geschlossen, so ist das Ohr weniger fähig Schall von aussen aufzunehmen, dafür aber in gleichem Masse unfähiger, von anderer Seite her zugeführten Schall nach aussen abzugeben. Fast gleichzeitig mit meiner oben erwähnten Abhandlung erschien jedoch ein Aufsatz von Lucae [1]), in welchem eine andere Erklärung aufgestellt wird. Lucae findet bei Verschluss des Gehörorganes ein Dumpferhören, das mir nie vorgekommen ist. Die Ursache dieses Dumpferhörens schreibt er der vermehrten Spannung und behinderten Schwingung des Trommelfelles zu. Die Ursache des Stärkerhörens jedoch sucht er, durch seine Versuche bestimmt, in der mit dem Verschlusse gleichzeitig eintretenden Druckveränderung im Labyrinth.

Die Versuche von Lucae sind so nett beschrieben, dass man die Richtigkeit und Klarheit der Ergebnisse nicht gut bezweifeln kann, so lange eben keine widersprechenden Beobachtungen vorliegen. Dennoch scheint mir noch manches zu bedenken. Ich glaube nämlich, dass der von mir betonte Umstand wenigstens einen sehr bedeutenden Antheil an der Erscheinung hat. Lassen wir das Experiment sprechen.

Alles was das Lumen des Gehörorganes verkleinert ohne ihn zu schliessen, also ohne irgend eine Druckveränderung hervorzubringen, bewirkt schon Verstärkung der Knochenleitung. Sehr wirksam ist schon ein leicht angelegtes steifes Papierblättchen oder ein in die Gehörgänge eingeschobenes kurzes Gummiröhrchen. Dieses Röhrchen kann man successive langsam zudrücken, ohne es vollständig zu schliessen und die gleichzeitige Verstärkung des Tones beobachten. Hier wirkt also offenbar blos der Verschluss ganz ohne Spannungs- oder Druckveränderung.

Dass aus dem Gehörgange wirklich eine ziemlich bedeutende Schallquantität entweicht, welche beim Verschluss zurückgehalten wird, habe ich bereits früher erwähnt [2]). Man erhält hübsche Erscheinungen, wenn man den Verschluss durch Röhren von verschiedener Länge bewirkt, welche aus einem Gehörgang in den andern führen. Diese Röhren verstärken je nach ihrer Länge in verschiedenem Grade

[1]) Lucae a. a. O.

[2]) Sitzungsberichte 1862.

den Ton der an die Zähne gesetzten Stimmgabel. Da es mir nicht gelungen ist, ein einfaches Gesetz zu finden, so führe ich blos ein Beispiel an. Fasst man eine Gabel, die das gewöhnliche Stimm-a gibt, mit den Zähnen und führt aus einen Gehörgang in den andern eine Röhre von 18″ Länge und 0·25″ Durchmesser, so erhält man eine Verstärkung, eine Schwächung aber fast bis zum Erlöschen des Tones, wenn man die Röhre in der Mitte zudrückt. Es liegt sehr nahe, hiebei an Interferenzen zu denken [1]).

Den Einfluss des Druckes auf das Trommelfell, eventuell auf das Labyrinth, habe ich auf eine besondere Weise untersucht. Von einer Handluftpumpe führte eine mit dem Quecksilbermonometer versehene, in zwei Zweige getheilte Gummiröhre luftdicht in beide Gehörgänge, jedoch ohne dieselben zu drücken oder sonst zu deformiren. Der Druck wurde successive bis auf zwei Zoll Quecksilber gesteigert. Die Töne aller von mir untersuchten Stimmgabeln, die ich mit den Zähnen fasste, wurden hiebei schwächer, leer, zogen etwas in die Höhe und erloschen ganz, bevor noch der Druck von zwei Zoll erreicht war.

Mein Freund E. Krischek, Professor am Gymnasium zu Graz, fand die Erscheinung genau so wie ich. Sie dürfte auf der vermehrten Spannung und verminderten Schwingungsfähigkeit des Trommelfelles beruhen. Welche Rolle dabei der veränderte Druck im Labyrinth für sich spielt, lässt sich nicht wohl entscheiden, da man auf das Labyrinth allein nicht gut einen Druck ausüben kann. Das aber scheint mir klar, dass die Verstärkung des Tones bei stärkerem Zudrücken der Gehörgänge nicht von einem Druck auf das Trommelfell und mittelbar auf das Labyrinth herrühren kann, indem der Druck mit der Luftpumpe gerade die entgegengesetzte Wirkung hat. Der Druck mit den Fingern verstärkt wahrscheinlich nur so lange, als er das Lumen des Gehörganges verkleinert oder denselben deformirt. Sobald die Spannung des Trommelfelles beginnt, wird der Ton schwächer.

---

[1]) Ein Experiment, welches ich vor einem Jahre etwa zehnmal mit Herrn Popper, Eleven des physikalischen Institutes, ganz unzweideutig erhielt, und welches ich auch in meiner erwähnten Abhandlung anführe, wollte mir nicht wieder gelingen. Ich meine die Schwächung des Schalles durch eine Verbindungsröhre zwischen beiden Gehörgängen. Ich muss also damals wohl einen mitspielenden Umstand übersehen haben.

Ich zweifle nicht, dass Lucae durch Druckveränderungen im Labyrinth Veränderungen der Hörfähigkeit erzielt hat und werde selbst eine Beobachtung anführen, welche hiefür spricht, doch scheint mir die Druckveränderung bei der Verstärkung der Knochenleitung gar keine oder nur eine untergeordnete Rolle zu spielen. Vorläufig kann ich also bei meiner Erklärung stehen bleiben [1]).

Betrachten wir nun noch die interessanten, von Lucae mitgetheilten pathologischen Beobachtungen.

„1. Das Phänomen (der Verstärkung der Knochenleitung) fehlte regelmässig:

a) Bei grossen Trommelfelldefecten und durchgängiger Tuba (mit Section).

b) Bei vollständiger Obturation des Gehörganges durch Cerumen (mit Section).

c) Bei chronischem Tubenkatarrh (ohne Section).

2. Das Phänomen war mehr oder weniger vollständig vorhanden:

a) In Fällen ohne nachweisbare wesentliche Veränderung im äusseren und mittleren Ohre (nur viermal ohne Section beobachtet).

b) Bei kleinen Trommelfelldefecten (mit Section).

c) Bei grösseren oder Totaldefecten des Trommelfelles und undurchgängiger Tuba (mit Section).

3. Das Phänomen fehlte oder es fand sogar eine Abnahme der Intensität statt:

a) Bei Adhäsion des Trommelfelles am Promontorium (mit Section).

b) Bei Ankylose des Steigbügels im ovalen Fenster (mit Section).

c) Bei Ankylosirung sämmtlicher Gehörknöchelchen (mit Section).

d) Bei Obturation der Nische des runden Fensters durch Bindegewebe (mit Section), vollständiges Verschwinden des Tones, vergl. Exp. B. 2 am todten Gehörorgane.

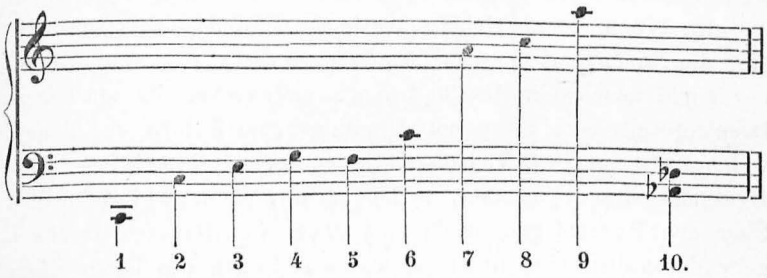
---

[1]) Früher trat ich einer Erklärung von Rinne entgegen. Dieselbe ist jedoch, wie ich jetzt finde, der meinigen verwandter, als ich anfangs dachte.

Einige von diesen Fällen würden sich, meiner Ansicht nach, ziemlich einfach erklären. Das Trommelfell erleichtert die Schallaufnahme sowohl als die Abgabe. Wo dasselbe wie in 1*a* fehlt, kann der Unterschied zwischen der Schallabgabe nach aussen bei offenem und geschlossenem Gehörorgane nur sehr gering sein, weil diese Abgabe überhaupt gering ist. Der Fall 1*b* scheint mir selbstverständlich. Es wird nämlich durch den Versuch kein Umstand verändert.

Dass das Phänomen in den Fällen 3, in welchem der Gehörapparat eine sehr geringe Schwingungsfähigkeit hat, erklärt sich nach meiner Ansicht ebenfalls sehr leicht. In diesen Fällen geht durch den Gehörgang immer nur eine kleine Quantität Schall in's Freie. Es ist also gleichgiltig, ob derselbe offen oder geschlossen ist. Ausserdem wird die Unterscheidung durch die gleichzeitige Schwerhörigkeit, die eben auf der Schwingungsunfähigkeit beruht, sehr erschwert [1]).

Schliesslich gebe ich noch die Töne der von mir in diesen und in den folgenden Versuchen benützten Stimmgabeln.



Alle Versuche wurden mit allen Gabeln 1—9 ausgeführt und etwa ein halbes Jahr später mit den Gabeln 5, 7, 8, 9 wiederholt. Die Töne 10 gehören einer Glocke an, von der später die Rede ist.

---

1) Zur Theorie des Gehörorganes, Sitzb. 1863, habe ich gezeigt, dass es physikalisch höchst wahrscheinlich ist, dass die Gehörknöchelchen wirklich schwingen und nicht Schallwellen leiten. Die Fälle von sehr hartnäckiger Schwerhörigkeit bei Ankylose des Steigbügels mit dem ovalen Fenster, wobei das Eindringen von Schallwellen in die Labyrinthflüssigkeit keineswegs gehindert ist, beweisen ganz exact, dass die Schwingung der Knöchelchen zum Hören nothwendig sei.

II. Wer die vorhin erwähnten Versuche mit gespannter Aufmerksamkeit ausführt, findet noch einige Eigenthümlichkeiten an dem Klange einer an die Zähne gesetzten Stimmgabel. Bei ganz leichtem Verschluss der Gehörgänge bemerkt man abwechselnd ein leichtes Anschwellen und Nachlassen des Tones, gleichzeitig ein Voller- und Leererwerden. Wie sich bei näherer Untersuchung zeigt, fällt die Periode dieses Wechsels genau mit dem Rhythmus des Pulses zusammen. Besonders auffallend ist die Erscheinung bei etwas aufgeregtem und vollem Pulse. Es gelang mir jedoch nicht, festzustellen, ob das Vollerwerden des Klanges mit dem Anschwellen zusammenfällt oder umgekehrt. Die Anschwellung fällt jedoch entschieden auf die Systole.

Sobald man dieses Schwanken des Klanges einmal gehört hat, findet man es bei hinreichender Aufmerksamkeit an jedem Klange wieder. Ich höre nun das Anschwellen und Nachlassen auch an einer Stimmgabel, die ich mir einfach vor das Ohr halten lasse, und zwar so deutlich, dass ich nach dem blossen Gehör sofort den Rhythmus meines Pulses angeben kann.

Eine Erklärung habe ich nicht. Die Erscheinung könnte aber wohl mit einer Druckveränderung im Labyrinth zusammenhängen.

III. Wenn man die Gehörgänge leicht mit den Fingern schliesst, gibt die Stimmgabel an den Zähnen einen fast constanten, vollen, nur leicht anschwellenden und abnehmenden Ton. Bei stärkerem Druck gesellt sich hiezu ein eigenthümliches Zittern des Tones, welches etwa in 8—9 Tonstössen in der Secunde besteht. — Entfernt man die Stimmgabel, so hört man blos die Blutgeräusche. Über den Pulsschlägen macht sich aber ein zitterndes Geräusch geltend von demselben Rythmus, wie das Zittern des Tones. Herr Professor Pless, dem ich dieses Experiment mittheilte, hat mich zuerst auf das Zusammenfallen der beiden Rhythmen aufmerksam gemacht. Ich habe die Beobachtung nachher immer bestätigt gefunden. — Bei sehr starkem Druck wird der Stimmgabelton wieder glatter und verschwindet zuletzt ganz.

Eine Erklärung ist mir bisher nicht gelungen. Die Erscheinung macht ganz den Eindruck, als ob in dem Gehörorgane etwas schlotterig würde und dadurch der Ton zum Zittern käme.

Man könnte die sub I, II, III angeführten Phänomene als Analoga der entoptischen Erscheinungen betrachten und demgemäss in eine Classe zusammenfassen.

IV. Bereits in drei älteren Abhandlungen [1]) habe ich den von Doppler zuerst aufgestellten Satz, welcher eine Abhängigkeit der Tonhöhe von der Geschwindigkeit der Tonquelle ausspricht, nach verschiedenen Richtungen hin theoretisch und experimentell geprüft. Es zeigt sich nun, dass die Tonhöhe scheinbar nicht nur von der Geschwindigkeit $\left(\frac{de}{dt}\right)$, sondern auch von der Entfernung (e) und der Intensität abhänge, in der Weise, dass ein aus grösserer Entfernung kommender oder ein schwächerer Ton mit einem näheren oder stärkeren von gleicher Beschaffenheit verglichen, stets höher erscheint. Ich kenne die Erscheinung seit etwa zwei Jahren, wie ich glaube ziemlich vollständig, und habe die Beobachtung auch bereits vor längerer Zeit Herrn Professor Ludwig mitgetheilt, der sie gelegentlich bestätigt fand; doch haben mich zwei kürzlich erschienene Notizen veranlasst, dieselbe nochmals genauer zu studiren.

Sydney Ringer [2]) veröffentlicht in Pogg. Ann. eine Untersuchung über die Änderung der Tonhöhe bei Leitung von Tönen durch verschiedene Medien. Manche Medien erhöhen den Ton bei der Durchleitung, andere vertiefen ihn, sagt Ringer. Wenn ich auch nicht auf die zum Theil sehr unphysikalischen Ansichten Ringer's eingehen kann, so scheint er mir doch eine sehr richtige Beobachtung gemacht zu haben, indem er sagt:

„Bei allen den Versuchen, bei welchen die Tonhöhe durch Leitung erhöht war, fand sich die Tonstärke vermindert proportional dieser Erhöhung; und sonach scheint es, dass alle Körper die Tonhöhe erhöhen proportional der Schwierigkeit, mit der sie Schwingungen aufnehmen und fortleiten."

Die Abhandlung enthält ausserdem zwei werthvolle Bemerkungen. Die erste bezieht sich auf das Echo eines musikalischen Tones, welches nach Ringer höher erscheint als dieser. Die zweite ist eine Mittheilung von Dr. Wylde. Nach Wylde ist es den Musikern längst bekannt, dass ein schwacher Ton sich als etwas höher gestimmt erweise.

---

[1]) Mach über die Änderung des Tones und der Farbe durch Bewegung. Sitzb. d. Wien. Akad. 1860. — Controverse zwischen Doppler und Petzval. Schlömilch's Zeitschr. 1861. — Pogg. Ann. 1863.

[2]) Sydney Ringer, Pogg. Ann. 1863. Nr. 4.

Dr. Stricker [1]) aus Frankfurt a. M. theilt mit, dass er oft aus grösserer Entfernung nur das helle Geräusch der Wagen, in der Nähe dagegen nur den tiefern Hufschlag der Pferde gehört habe. Dass der Hufschlag nur momentan, das Geräusch aber constant ist, kann, wie Dr. Stricker selbst bemerkt, keine genügende Erklärung bagründen, um so weniger, da ich gefunden habe, dass man fast ganz allgemein auch bei durchaus constanten Tönen aus der Entfernung nur die höheren, in der Nähe nur die tieferen hört. Dies ist namentlich an Stimmgabeln und Glocken leicht zu beobachten.

Die Erfahrungen, welche ich selbst gesammelt habe, stimmen nun zu den Angaben Ringer's und Stricker's sehr gut. Ich stellte Versuche an mit Stimmgabeln, Zungenpfeifen, gedeckten und offenen Labialpfeifen mit den Tönen der Violine und mit den nach der Methode von Helmholtz [2]) hergestellten sogenannten einfachen Töne, und zwar mit einer bedeutenden Anzahl sehr verschiedener Tonhöhen. Stets zeigte sich bei Entfernung des Tonwerkzeuges eine Erhöhung des Tones. Die Erscheinung ist so täuschend, dass einmal ein sehr feiner Musiker, dem ich ein Experiment produzirte, mir erklärte, die Stimmgabel klinge in der Entfernung einen halben Ton höher. Erst später bemerkte er die Täuschung. Auch an der grossen Schlossbergglocke zu Graz habe ich dieselbe Beobachtung gemacht. Sie klingt am Fusse des Schlossberges bedeutend höher, als oben am Fusse des Glockenthurms. Sie gibt nach der Bestimmung des Herrn Dr. Wilhelm Mayer, Directors des steiermärkischen Kunstvereins, die Töne 10 in der obigen Notenangabe. Man hört in der Nähe deutlicher as, in der Entfernung deutlicher des.

Dasselbe was die Entfernung der Tonquelle bewirkt auch die Schwächung des Tones. Ich führe zwei kurze weiche Gummiröhren in die Gehörgänge ein. Wenn ich die offenen Mündungen mit den Fingern langsam zudrücke, so höre ich natürlich die Töne von Stimmgabeln, Glocken, Labialpfeifen, Violinen, Clavieren, Zungenpfeifen schwächer und in gleichem Masse höher. — W. Weber [3])

---

[1]) Stricker, Pogg. Ann. 1864. Nr. 2.

[2]) Helmholtz, Tonempfindungen.

[3]) Diese Notiz ist in eine grosse Anzahl akustischer Werke übergegangen.

bemerkt, dass der Ton einer Stimmgabel mit dem Ausschwingen etwas in die Höhe ziehe. Er nimmt an, dass die Gabel kleinere Schwingungen rascher ausführe. Möglich, dass sich aus der Theorie schwingender Stäbe eine ähnliche Folgerung ziehen lässt. Da sich aber in mehreren Abhandlungen Weber's [1]) keine Angabe findet, wie das Factum constatirt wurde, so muss ich annehmen, dass es aus der Beobachtung mit dem blossen Ohre gefolgert worden sei. Dann ist aber die Angabe höchst wahrscheinlich falsch oder gehört wenigstens zu den physiologischen Erscheinungen. Denn einmal kann ich dasselbe bewirken, wenn ich die Gabel in gleicher Amplitude, also gleicher Schwingungsdauer fortschwingen lasse und den Ton blos subjectiv durch Zudrücken des Gummiröhrchens schwäche. Dann ist es mir wenigstens bei meinen vorläufigen Versuchen nicht gelungen, durch die optische Methode nach Lissajous einen Unterschied in der Schwingungsdauer zu constatiren. Wenn ich nach Wheatstone und Terquem einen Stab als Kaleidophon anwende, so zeigen sich wechselnde Schwingungscurven. Der Wechsel müsste rascher sein bei kleinen Schwingungen. Das ist er nicht, so weit meine Beobachtung reicht. Und doch ist diese Methode anerkannt weit feiner als das Ohr.

Woher kommt nun diese Erhöhung des Tones bei der Entfernung oder subjectiven Abschwächung? Zunächst sind wir darüber klar, dass die Tonhöhe nicht wirklich geändert werden kann, so fern wir unter Tonhöhe die Schwingungszahl verstehen. Die Erhöhung ist also nur subjectiv, scheinbar, physiologisch. Nach den Gesetzen, welche Poisson, Ostrogradsky und Petzval [2]) bezüglich der Erhaltung der Schwingungsdauer mathematisch bewiesen haben, kann dies keinem Zweifel mehr unterliegen. — Zum Überflusse kann man sich noch durch das Experiment hievon überzeugen. Obgleich eine Stimmgabel bei der Entfernung höher wird, dissonirt sie doch nicht mit einer gleichgestimmten in der Nähe. Geben zwei Gabeln mit einander Schwebungen, so bleibt die

---

1) Pogg. Ann. XIV. 174 — XIV. 397 — XVI. 193 — XVI. 415 — XVII. 193.

2) Petzval, über ein neues Princip der Undullationslehre. Sitzb. d. Wien. Akad. 1852. — Siehe meine experimentelle Beleuchtung des Principes in Pogg. Ann. 1863.

Zahl dieselbe, wenn man die eine entfernt. Es ist auch ganz unmöglich, anzugeben, um wie viel die Gabel höher wird.

Die Frage ist nunmehr eine andere. Woher kommt die Täuschung? Oder um richtiger zu sprechen, woher kommt die physiologische Erscheinung, da wir es mit keiner physikalischen mehr zu thun haben. — Es ist bekannt, dass Töne von ungleicher Klangfarbe schwer der Höhe nach zu vergleichen sind. Die mehr oder weniger hervortretenden Obertöne können das Ohr verführen, höher oder tiefer zu schätzen. Mit einem Worte, die hier in Frage kommende Erscheinung ist wahrscheinlich ein Wechsel der Klangfarbe, bedingt durch Intensitätswechsel der Obertöne.

Dass dem wenigstens in manchen Fällen so sei, davon kann man sich durch ein einfaches Experiment überzeugen. Ich construire mir eine sehr einfache Nörrnberg'sche Interferenzröhre, indem ich eine Gummiröhre in zwei Zweige auslaufen lasse, deren Längenunterschied in Bezug auf eine bestimmte Stimmgabel eine halbe Wellenlänge beträgt. Beide Zweige schliessen wieder in einer einzigen Röhre, welche in den Gehörgang gesteckt wird, während vor der andern Mündung die Stimmgabel schwingt. Es wird, wenn man durch beide Zweige hört, der Grundton der Stimmgabel fast ganz aufgehoben und der Ton schlägt fast in die Octave um. Dies beweist, dass die Stimmgabel beim Schwingen nicht nur einen einfachen Ton und unharmonische Obertöne, sondern auch harmonische Obertöne, und zwar geradzahlige auslöst; die Erscheinung wäre sonst nicht möglich. Dies stimmt auch mit den Entwickelungen von Helmholtz [1]). Wenn man nun die Länge der Zweige in unserer Röhre variirt, so kann man den Grundton beliebig schwächen und gleichzeitig die geradzahligen Partialtöne beliebig verstärken. Bei diesem Process zeigt sich aber eine scheinbare Erhöhung des ganzen Klanges, welche man erst nach längerem Studium als eine blosse Veränderung der Klangfarbe erkennt. Da aber nun ein Hervortreten der Obertöne schon in einem bestimmten Falle Erhöhung bewirkt, so ist es, so lange keine andere Erklärung aufzufinden ist, wenigstens höchst wahrscheinlich, dass die scheinbare Erhöhung überall durch dieselbe Ursache hervorgebracht werde.

---

[1]) Helmholtz, Pogg. Ann. Bd. 99, S. 538.

Wie soll aber durch die Entfernung der Tonquelle oder durch die subjective Schwächung des Tones ein Überwiegen der Obertöne zu Stande kommen? — Die Ursachen können verschiedene sein und es wirken wahrscheinlich mehrere zusammen. — Zunächst können diese Ursachen rein physikalisch sein, d. h. in der zum Ohre gelangenden Luftbewegung liegen. Betrachten wir die Stimmgabeln. Die Stimmgabeln bringen der Luft gleichzeitig stets entgegengesetzte Phasen von nahezu gleicher Intensität bei. Die Stellen aber, an welchen entgegengesetzte Phasen erregt werden, liegen auch bei den höchsten Stimmgabeln so nahe an einander, dass ihre Entfernung gegen die Wellenlänge verschwindet. Beschreibt man nun von diesen Stellen aus mit gleichen Radien Wellenflächen, so fallen diese desto mehr zusammen, je grösser die Radien sind. Je grösser die Entfernung, desto mehr heben sich die Schwingungen auf. Desshalb hört man die Stimmgabeln nicht weit. Aber gerade an jenen Stellen, an welchen sich die Grundtöne schwächen, also in grösserer Entfernung, müssen sich die geradzahligen Partialtöne verhältnissmässig verstärken. — Analoge Verhältnisse, wenn auch nicht in dem Masse, finden sich an allen schwingenden Körpern. Sowohl freie als auch auf Resonanzkästchen gesetzte Stimmgabeln zeigen die Erscheinung.

Man könnte nun ferner daran denken, dass verschiedene Partialtöne eines Klanges beim Durchgange durch die Luft ungleich geschwächt, absorbirt, in Wärme umgewandelt werden. Dann wäre aber a priori das Gegentheil von dem wirklich Beobachteten zu erwarten. Raschere Schwingungen werden doch wahrscheinlich rascher verzehrt. Überhaupt müsste diese Absorption, sollte der Unterschied so gross sein, überhaupt einen bedeutenden Werth erreichen und sich sonach auch sonst schon bemerkbar gemacht haben. Wir können also hievon vorläufig absehen.

Diese Ursachen könnten nur bei der Entfernung der Tonquelle wirksam sein. Die Erhöhung bei subjectiver Schwächung des Tones fordert eine andere Erklärung. Wenn ich das Gummiröhrchen im Gehörgange verengere, kann wohl nichts anderes geschehen, als dass alle Partialtöne eines Klanges in gleichem Verhältnisse geschwächt werden. Woher nun das Überwiegen der Obertöne? — Werden höhere Töne bei geringerer physikalischer Intensität verhältnissmässig stärker vom Ohre aufgenommen?

Wenn W. Weber's oben erwähnte Angabe richtig wäre, so könnten wir uns dies wohl vorstellen. Kleinere Schwingungen werden rascher ausgeführt. Demnach würden die Körper bei kleineren Schwingungen auch durch raschere Schwingungen verhältnissmässig mehr in's Mitschwingen versetzt. Das Phänomen könnte dann seinen Grund haben im Gehörnerv, im Labyrinth, in den Knöchelchen, im Trommelfell oder gar in allem zusammen. Aber das Ganze ist wie gesagt problematisch.

Dass die Erscheinung subjectiv sei, kann kaum einem Zweifel unterliegen. Ich will es versuchen, darüber eine Ansicht aufzustellen. Für die Schallempfindung gilt nach Fechner[1]) das E. H. Weber'sche Gesetz. Nennen wir y die Empfindungsintensität eines Tones von der physikalischen Intensität x, welcher bei der Intensität b auf die Schwelle tritt, so besteht die Gleichung

$$y = a. \log\left(\frac{x}{b}\right) \text{ und für eine andere Tonhöhe}$$

$$y_1 = a_1 \log\left(\frac{x}{b_1}\right).$$

Beide Gleichungen können als Gleichungen von Curven angesehen werden. Die Curven haben einen Durchschnitt, d. h. die psychologischen Intensitäten werden gleich, wenn

$$a \log\left(\frac{x}{b}\right) = a_1 \log\left(\frac{x}{b_1}\right), \text{ oder wenn}$$

$$x = \text{num. } \log\left(\frac{a \log b - a_1 \log b_1}{a - a_1}\right).$$

Für $b = b_1$ finden wir $x = b$. Die psychologischen Intensitäten wären gleich, wenn sie eben auf die Schwelle treten. Dieser Fall ist für uns werthlos, da wir ausserdem wissen, dass b und b_1 für ungleiche Tonhöhen ungleich sind. Der Durchschnitt fällt auf ein anderes x, wenn $b \gtrless b_1$, $a \gtrless a_1$ ist. Wir finden für die Differenz

$$y - y = \varphi = a \log\left(\frac{x}{b}\right) - a_1 \log\left(\frac{x}{b_1}\right) \text{ und}$$

$$\frac{d\varphi}{dx} = \frac{a - a_1}{x}$$

Die Differenz ändert sich also fortwährend in demselben Sinne, so lange sich x in demselben Sinne ändert. Schreiben wir a, b

[1]) Fechner, Psychophysik. II.

einem tiefern, a_1, b_1 einem höhern Ton zu, nehmen nach der Erfahrung an, dass $b > b_1$, so brauchen wir für die durch die Erfahrung noch unbestimmten Constanten a, a_1, blos festzusetzen, dass $a > a_1$ um sofort das Phänomen zu begreifen [1]). Bei geringerer Intensität überwiegen dann die höheren, bei grösserer die tieferen Töne. Wir sind berechtigt, diese Ansicht einstweilen als eine empirische festzuhalten, ohne uns zu entscheiden, wo die Constanten a, a_1, b, b_1, ihren Werth erhalten, ob im Gehörnerv oder in einem andern Theile des Ohres.

Die scheinbare Erhöhung bei Entfernung oder Schwächung eines Klanges ist also meiner Ansicht nach eine blosse Veränderung der Klangfarbe und hat ihren Grund in dem Überwiegen der Obertöne, welches theils durch physikalische, theils durch psychophysische Ursachen herbeigeführt wird. Man könnte nun einwenden, dass dann einfache Töne die Erscheinung nicht zeigen könnten. Sie tritt aber nur in geringerem Masse auf. Doch habe ich mich überzeugt, dass es ganz unmöglich ist, vollkommen einfache Töne hervorzubringen. Einmal weil die Stimmgabel, wie gezeigt wurde, auch ihre harmonischen Obertöne gibt. Dann weil diese Obertöne zwar wenig aber doch von den Helmholtz'schen Resonatoren verstärkt werden. Endlich weil wahrscheinlich jeder physikalisch einfache Ton im Ohre Obertöne auslöst.

Während des Druckes dieser Abhandlung stiessen mir zwei neue Beobachtungen auf, die ich mir vorläufig nicht zurechtlegen kann. Das Geklapper einer kleinen Windmühle schien tiefer zu werden, wenn ich die Ohren mit den Fingern zuhielt. Auf einem mit Watte verstopften Obre glaubte ich eine Stimmgabel tiefer zu hören als auf dem andern.

V. Bringt man zwei wenig in der Tonhöhe verschiedene Stimmgabeln vor ein Ohr, so hört man die bekannten Schwebungen. Hiebei hat man neben dem Intensitätswechsel deutlich den Eindruck, als ob bald der höhere, bald der tiefere Ton überwiegen würde. Da aber die Töne sich gegenseitig zerstören und schwächen, so ist dies eine Täuschung, welche auf der Veränderung der Klangfarbe beruht. Der geschwächte Ton erscheint etwas höher, schon dess-

[1]) Was die Constante a betrifft, vergl. meine Vorträge über Psychophysik. Österr. Zeitschr. f. prakt. Heilkunde. 1863.

halb, weil die geradzahligen Obertöne sich verstärken, wenn die Grundtöne sich schwächen.

Die gewonnenen Resultate enthalten zugleich die Erklärung einiger, in I, II angeführten Beobachtungen. Jeder Klang zieht bei der Schwächung, wie diese auch geschehen mag, scheinbar in die Höhe und wird gleichzeitig leer durch Überwiegen der Obertöne.

VI. Indem ich das Studium einiger von Scott-Alison [1]), Fechner [2]) und Anderen beobachteter akustischer Thatsachen, welche namentlich für die Psychophysik wichtig sind, für eine spätere Abhandlung verspare, betrachte ich hier noch eine Streitfrage, die mehrmals schon von Dove, Seebeck, Harless, Rinne und Fechner behandelt wurde.

Bringt man zwei der Höhe nach etwas verschiedene Stimmgabeln vor das Ohr, so hört man Schwebungen. Dieselbe Erscheinung tritt auf, obgleich etwas schwächer, wenn je eine Gabel vor ein Ohr gebracht wird. Die Sache ist auf den ersten Blick sehr räthselhaft, indem man die Gabeln durch die Luft nicht von einem Ohre zum andern hinüber hört. Man muss demnach an Durchleitung des Schalles durch die Kopfknochen oder an eine noch complicirtere Annahme denken. Die Durchleitung wird von manchen Forschern bestritten, da sie von vielen nicht direct beobachtet werden konnte. Wenn ich einem Gehilfen vor ein Ohr eine Stimmgabel halte und aus dem andern ein Röhrchen in mein Ohr führe, so höre ich selbst die Gabel nicht. Wohl aber habe ich eine hinreichende Anzahl anderer Beobachter gefunden, welche die Gabel hörten und um Täuschungen zu vermeiden mir den Ton angaben. Wenn Jemand die Gabel nicht hört, so dürfte daran nur seine Hörfähigkeit Schuld tragen. Die Annahme der Durchleitung, die sich überhaupt durch ihre Einfachheit empfiehlt, ist auch theoretisch wahrscheinlich. Der Gehörapparat ist vorzüglich geeignet, Schall auf die Kopfknochen zu übertragen.

Seebeck [3]) stellt drei mögliche Annahmen auf, um das Factum zu erklären:

---

[1]) Scott Alison, On the differential stetophone. Proceedings of the royal Soc. Vol. IX. Nr. 31, p. 196.

[2]) Fechner, Über das binoculäre Sehen. Abhandl. d. königl. sächs. Gesellsch. 1860.

[3]) Seebeck, Pogg. Ann. Bd. 68.

1. Die beiden Gehörnerven sympathisiren so, dass sich die Eindrücke verstärken, wenn beide Trommelfelle in gleicher Richtung schwingen;

2. die beiden Gehörnerven sympathisiren so, dass sich die Eindrücke verstärken, wenn beide Trommelfelle in entgegengesetzter Richtung schwingen;

3. es findet Durchleitung statt.

Die Annahme einer Sympathie ist für mich höchst unwahrscheinlich. Jede Gabel löst in jedem Ohr so zu sagen einen continuirlichen Empfindungsstrom aus, der gar nichts mehr von Vibration an sich hat. Wie kommen diese Empfindungsströme dazu, sich wie Schallwellen zu verhalten?

Seebeck selbst versucht eine Widerlegung der zwei ersten Punkte, indem er vor beiden Ohren zwei Sirenen aufstellt, welche abwechselnd gleiche und entgegengesetzte Schwingungsphasen von sich geben. Da sich kein Unterschied in der Schallstärke zeigt, so wäre die Annahme der Sympathie widerlegt. Seebeck vergisst jedoch, dass, falls das Experiment entscheidend wäre, nothwendig auch die dritte Annahme der Durchleitung mit aufgehoben wäre.

Seebeck's Methode ist eben unbrauchbar, weil man die Sirenen kreuzweise hinüber hört. Ich habe das Experiment anders ausgeführt. Eine Röhre, vor deren Mündung eine Stimmgabel schwingt, lauft in drei Zweige *a*, *b*, *c* aus, deren Längen beziehungsweise λ, $\frac{\lambda}{2}$, λ sind, wobei λ die Wellenlänge der Stimmgabel ist. Die Röhren *a*, *b* laufen in eine Mündung zusammen und führen zum linken Ohr, die Röhre *c* geht zum rechten. Jede der Gummiröhren kann zugedrückt werden. Höre ich blos durch *a*, *b*, so hebt sich der Schall fast ganz auf, denn ich habe dann eine Nörenberg'sche Röhre vor mir. Bei der Combination *a*, *b*, *c* ist der Schall schwächer, als bei *a*, *c*, oder *b*, c. Nehme ich abwechselnd *a c*, *b c*, so habe ich den Eindruck der Schwebungen, zwar nicht so deutlich wie ihn zwei Gabeln hervorbringen, aber doch merklich. Es treten nämlich hiebei abwechselnd gleiche und entgegengesetzte Phasen in beide Ohren. Das geringere Hervortreten der Schwebungen schreibe ich dem Umstande zu, dass bei so geringen Unterschieden, wie sie hier auftreten, die Unterscheidungsfähigkeit durch die kurze Pause, welche beim abwechselnden Zudrücken von *a* und *b* entsteht, verloren geht.

Ich habe das Experiment noch anders wiederholt. Es wurden durch eine Röhrenvorrichtung gleiche und entgegengesetzte Phasen von den verschiedenen Zinkenseiten einer und derselben Stimmgabel aufgefangen, was wohl nicht nöthig ist, besonders zu beschreiben. Der Erfolg war derselbe.

Das angeführte Experiment kann über Sympathie oder Durchleitung gar nicht entscheiden; es ist nur eine künstliche Nachahmung der zu untersuchenden Erscheinung. Die Annahme der Durchleitung ist aber so einfach und ausreichend, dass ich nicht anstehe, sie für die richtige zu halten.

VII. Vor Kurzem habe ich eine Ansicht aufgestellt, nach welcher das Ohr eine Accommodation für die Tonhöhe hätte, und nach welcher ferner die Tonhöhe nach dem Masse dieser Accommodationsanstrengung geschätzt würde. Ist die Ansicht richtig, so lässt sie pathologische Erscheinungen vermuthen, welche, wie ich glaube, wirklich vorkommen. Gerade so, wie Augenmuskellähmungen ein Seitwärtsgreifen nach dem gesehenen Gegenstande, ein Verfehlen des wahren Ortes zur Folge haben, gerade so müsste eine Accommodationslähmung des Ohres ein Überschätzen der Tonhöhe bewirken. In beiden Fällen wäre die gewöhnliche Muskelanstrengung, nach gewohntem Masse gemessen, das Verführende. Lassen wir die Thatsachen sprechen. Ich erlaube mir mehrere pathologische Fälle auszuführen.

1. Dr. Gruber [1]) erwähnt einen Fall, der einen Militärcapellmeister in der Nähe Wiens betraf. Derselbe verlor das Unterscheidungsvermögen für die Töne. Er hörte jeden angeschlagenen Ton um einen halben Ton höher.

2. v. Wittich [2]) berichtet über eine Beobachtung an sich selbst, die ich ihres Interesses wegen im Auszuge anführen muss. v. Wittich stellte an sich eine Reihe von Untersuchungen an, nachdem er vier Wochen früher von einer heftigen Entzündung des mittleren und später auch des äusseren Ohres befallen worden. Er hörte dann nur sehr schwach das Pochen der Taschenuhr mit dem kranken Ohre, und zwar blos dann, wenn er das Zifferblatt dicht an die Ohrmuschel drückte. Das Schlagen einer im Zimmer stehenden

---

[1]) Gruber, Österr. Zeitschr. f. prakt. Heilkunde. X. Jahrg. Nr. 3.

[2]) v. Wittich, Königsberger medicin. Jahrbücher. Bd. 3. 1861. S. 40—45.

Stockuhr vernahm er in nächster Nähe, wenn er derselben sein krankes Ohr zukehrte, nachdem das gesunde verstopft war. Er hörte das Geräusch des Klöpfels bei dem Anschlagen in einer Entfernung von vier Fuss mit dem kranken Ohr beträchtlich schwächer, als mit dem verstopften gesunden. Verschloss er das letztere, so bemerkte er die mechanische Arbeit einer schwachtönenden Tischglocke in einer Entfernung von $1\frac{1}{2}$ Fuss. Das Klingen wurde erst wenige Zoll vom Ohre wahrgenommen. Die Schwingungen einer zwei Zoll vom kranken Ohre befindlichen Stimmgabel hörte er äusserst leise, aber mit voller Schärfe. War sie auf A gestimmt, so klang sie einen halben Ton höher auf dem kranken, als auf dem gesunden Ohre. Zwei Stimmgabeln, von denen die eine A und die andere B gab, klangen gleichzeitig angeschlagen vollkommen gleich, wenn B vor dem gesunden und A vor dem kranken Ohre gehalten wurde. Alle Töne mittlerer Höhe der eingestrichenen Octave, die Wittich pfiff oder auf dem Claviere anschlug, klangen doppelt und zwar um einen halben Ton verschieden. Töne, die jenseits oder diesseits $\bar{d}$ — $\bar{\bar{d}}$ lagen, klangen einfach. Diese Ergebnisse änderten sich nicht, nachdem man den äussern Gehörgang des kranken Ohres mit Watte verstopft, mit Wasser gefüllt, Luft in die Eustach'sche Röhre gepresst, die Spannung des Trommelfells durch das Zusammenpressen der Kiefer geändert oder alle Kaumuskeln ruhig gelassen hatte. Wurde die in A tönende Gabel auf die Zähne des Unterkiefers bei offenem Munde gesetzt, so hörte Wittich zunächst sehr laut A, das allmählich verklingend nach B hinaufzog. Setzte er die tönende Gabel auf die Schädelknochen, so hörte er B oder A, das mit B verklang, je nachdem dies näher oder ferner dem kranken Ohre geschah. — Die allgemeine Gehörempfindung war nicht in gleichem Masse wie die musikalische Tonempfindung zerstört. Wittich konnte schwache Geräusche, die man sonst neben dem Klingen des Metalles kaum wahrnimmt, in einer Entfernung hören, in der er das Tönen einer Glocke nicht bemerkte. Die Schwerhörigkeit verschwand später langsamer als die Verstimmung des musikalischen Gehörs, die allmählich abklang.

3. Herr Professor E. H. Weber hat ebenfalls einen ähnlichen Fall an sich beobachtet und hatte die besondere Güte, mir das Protokoll hierüber zur Verwendung mitzutheilen, welches ich mit dessen eigenen Worten folgen lasse.

„Als ich in den ersten Tagen des Decembers 1857 in einem ungeheizten Zimmer sass und schrieb, nahm ich plötzlich eine Veränderung in meinem linken Ohre wahr. Ich hörte nämlich ein continuirliches gleichmässiges Geräusch wie ein Tosen. Bis dahin hatte ich niemals am Gehör gelitten. Nachdem diese subjective Empfindung vier Tage und Nächte fortgedauert hatte, machte ich mit dem kranken Ohre einige Versuche, aus welchen sich ergab:

a) dass ich eine Taschenuhr vor diesem Ohre in derselben Entfernung picken hörte, als vor dem gesunden, nämlich ungefähr bis zur Entfernung von 600 Millim.;

b) dass ich den Ton von zwei Stimmgabeln, welche angeschlagen das eingestrichene f und g gaben oder von Stimmgabeln, die einen noch tieferen Ton hervorbrachten, gar nicht hörte, wenn die Stimmgabeln vor dem kranken Ohre gehalten wurden, wohl aber sehr gut hörte, wenn sie dem gesunden rechten Ohre genähert wurden;

c) dass ich das eingestrichene b und alle noch höheren Töne, für welche ich besondere Stimmgabeln besass, sowohl vor dem gesunden als kranken Ohre hörte, dass indessen mir der Ton dann vor dem kranken linken Ohre etwas schwächer und etwas höher zu sein schien, als vor dem gesunden rechten;

d) nachdem dieser Zustand einige Tage fortbestanden hatte, bemerkte ich am 9. December eine Veränderung: Ich beobachtete nämlich, dass ich nun mit dem kranken Ohre wieder hören konnte, wenn die Stimmgabeln, die angeschlagen die Töne f und g gaben, vor dasselbe gehalten wurden, dass ich aber ihren Ton mit dem kranken Ohr beträchtlich höher, nämlich richtig um eine halbe Tonstufe höher hörte, als mit dem gesunden rechten Ohre. Da man den Ton der angeschlagenen in der Hand gehaltenen Stimmgabeln nur bei grosser Annäherung an das eine oder andere Ohr hören kann, nicht aber mit beiden Ohren zugleich, so liess sich der Unterschied der Tonhöhe, die man zu empfinden glaubte, sehr bestimmt ermitteln, wenn ich die tönende Stimmgabel abwechselnd vor das kranke und gesunde Ohr hielt;

e) der sub *d)* angegebene Zustand dauerte aber nur zwei Tage fort, dann trat der frühere Zustand bei dem kranken Ohre wieder ein, wo ich die Töne f und g gar nicht hörte, wohl

aber die Töne der früheren Stimmgabeln vom eingestrichenen b an, die mir jetzt mit dem kranken Ohre gehört schwächer aber nicht höher zu sein schienen, als mit dem gesundem Ohre;

f) am Pianoforte, wo der angeschlagene Ton gleichzeitig zu beiden Ohren drang, nahm ich nicht wahr, dass ich mit dem linken Ohre einen höheren, mit dem rechten einen tieferen Ton empfände, auch dann nicht, wenn ich das eine oder das andere Ohr abwechselnd zuhielt. Freilich hörte ich auch den Ton, wenn ich beide Ohren zu gleicher Zeit zuhielt.

Unstreitig richtete ich hierbei unwillkürlich meine Aufmerksamkeit auf den Ton, den ich mit dem gesunden Ohre vernahm und wendete sie von dem kranken Ohre ab, wie das nicht selten hinsichtlich der Augen bei Schielenden geschieht. Ich hörte also die Töne musikalischer Instrumente nicht doppelt;

g) die mit den Stimmgabeln ausgeführten Experimente griffen mein Nervensystem sehr an. Es entstand dadurch eine so grosse Reizbarkeit des Gehörs, dass ich mich mehrere Wochen in eine vollkommene Stille zurückziehen musste, da mir schon das Knistern des Feuers im Ofen, oder das Geräusch bei dem Zusammendrücken von steifem Papiere unangenehme Empfindungen verursachte. Dieses ist auch der Grund, warum ich diese Versuche nicht weiter fortgesetzt habe, obgleich jene Reizbarbeit wieder verschwunden ist;

h) die Tonbestimmung sub *d)*, nach welcher der mit dem linken Ohre gehörte Ton der genannten Stimmgabeln richtig um eine halbe Tonstufe höher war, als wenn dieselben Stimmgabeln vor das rechte Ohr gehalten und dann allein nur durch dieses gehört wurden, beruht nicht allein auf der unmittelbaren Schätzung, sondern wurde auch dadurch bestimmt, dass der mit dem linken Ohre gehörte Ton mit dem entsprechenden Tone auf einem Pianoforte verglichen wurde, den ich mit beiden Ohren zugleich und wie oben schon bemerkt wurde, richtig hörte, und dass eben so bei der Bestimmung des Tones verfahren wurde, den ich mit dem rechten Ohre allein hörte."

4. Ich habe häufig gehört, dass Leute mit Trommelfelldefecten auf einem Ohr meist ungleich hoch auf beiden Ohren hören. Es war

mir indess nicht möglich, hierüber Genaueres zu erfahren, da ich keinen hinreichend intelligenten Patienten dieser Art sprechen konnte. Nach dem vorher Besprochenen würde ich vermuthen, dass solche Leute auf dem verletzten also schwächeren Ohre etwas höher hören. Es würde hiebei die gewöhnliche Täuschung mitspielen.

Auf Rechnung dieser Täuschung allein lassen sich aber die sehr genau untersuchten Fälle 2, 3 nicht bringen. Ich kann sie also bis auf Weiteres einstweilen als Bestätigung meiner Theorie ansehen.

Die Fälle von Ungleichhören dürften nicht so selten sein, als man gewöhnlich glaubt; nur ist es meist schwer, verlässliche Angaben zu erhalten. Ja, nach Fessel [1]) scheint der Fall des Ungleichhörens freilich in weit geringerem Grade, sogar der normale zu sein. Fessel constatirte nämlich durch genaue Messungen, dass die meisten Leute auf dem rechten Ohre etwas höher hören [2]). Es ist dies ein Seitenstück zu Fechner's Beobachtung, nach welcher fast constant ein Ohr etwas schwerhöriger ist, als das andere. Eine solche Gesetzmässigkeit weist auf eine teleologische Bedeutung hin. Sollte die Natur so zu sagen durch eine absichtliche Asymetrie des Körpers Localzeichen für rechts und links ermöglicht haben?

Ich schliesse diese Betrachtung in der Hoffnung, mit Hilfe constantschwingender Stimmgabeln und einer neuen otoskopischen Methode, die eine Anwendung des Lissajon'schen ist, demnächst das Vorgetragene weiter verfolgen zu können.

Ich habe vor einiger Zeit auch Versuche angestellt, um die Theorie zu prüfen, welche jedoch erfolglos blieben. Ich versuchte vergebens durch Atropin und Kohlensäure eine momentane Lähmung der Muskel des mittleren Ohres herbeizuführen. Die aufgeführten Hamlet-Scenen gingen spurlos vorbei.

---

[1]) Fessel, Pogg. Ann. 1860, S. 189—191.

[2]) Durch die Güte des Dr. Jutmann in Graz kam mir zwar ein Patient zu, der der jedoch leider auf dem verletzten Ohre absolut taub gefunden wurde.