

Die Fortschritte in einigen Teilen der Physiologie des Gehörs.

Von

V. Hensen, Kiel.

Litteratur¹⁾:

1. Stein, S. v., Die Lehren von den Funktionen der einzelnen Teile des Labyrinths. Jena 1894. 697 Seiten. Ein zur Orientierung bequemes und wichtiges Werk. Venturini in Reils Archiv. Bd. V.
2. Urbantschitsch, V., Über Wechselwirkungen zwischen beiden Gehörorganen. A. f. O. Bd. 35. S. 1. Pflügers Arch. Bd. 31. S. 284.
3. Kessel, J., Über die Funktion der Ohrenmuschel. Über Verschiedenheiten der Intensität. . . . Über das Hören von Tönen und Geräuschen. A. f. O. Bd. 18. S. 120. ff.
- 3a. — — Über die vordere Tenotomie. A. f. O. Bd. 31. S. 131.
4. Bezold, Hörvermögen bei doppelseitiger angeborenen Atresie des Gehörgangs mit rudimentärer Muschel. Z. f. O. Bd. 26. S. 11.
5. Preyer, Die Wahrnehmung der Schallrichtung. . . Pflügers Arch. Bd. 40. S. 586.
6. Münsterberg, Beiträge zur experimentellen Psychologie. Heft II.
7. Kries, v., Über das Erkennen der Schallrichtung. Z. f. Psychol. u. Physiol. d. Sinnesorgane. Bd. I. Heft 4. u. 5.
8. Bloch, E., Das binaurale Hören. Z. f. O. Bd. 24. S. 25.
9. Hummel, Kapazitätsbestimmungen des Gehörgangs, A. f. O. Bd. 24. S. 263.
10. Lucae, A., Zur Lehre der cranio-tympanalischen Schalleitung. A. f. O. Bd. 50. S. 187.
- 10a. — — Das Oto-Stroboskop und seine physiologisch-diagnostische Bedeutung. A. f. O. Bd. 53. S. 39.
11. Fick, A., Betrachtungen über den Mechanismus des Paukenfells. A. f. O. Bd. 24. S. 167.
12. Nolda, A., Phonautographische Studien als Beiträge zur Physiologie der Membrana tympani. Diss. Würzburg. 1886.
13. Hermann, S., Zur Theorie der Kombinationstöne. Pflügers Arch. Bd. 49. S. 499.
14. Eitelberg, A., Resultate der Wägungen menschlicher Gehörknöchelchen. Monatsschr. f. O. 1884. Nr. 5 (und Urbantschitsch, A. f. O. Bd. 11).
15. Bezold, F., Experimentelle Untersuchungen über den Schalleitungsapparat des menschlichen Ohres. A. f. O. Bd. 16. S. 1.

¹⁾ Abkürzung: Archiv für Ohrenheilkunde = A. f. O. Zeitschrift für Ohrenheilkunde = Z. f. O.

- 15a. Straaten, G., Über die Mobilisation und Extraktion des . . . Steigbügels . . . und die Folgen für das Gehör. Diss. med. Halle a. S. 1894.
16. Grunert, Was können wir von der operativen Entfernung des Steinbügels . . . erhoffen. A. f. O. 41. S. 294.
17. Zuckermandl, Zur Morphologie des Musculus tensor tympani. A. f. O. Bd. 20. S. 104.
18. Poli, C., *Archivo Italiano di Otologia*. 1894.
19. Lucae, Über die Resonanz der lufthaltigen Räume des Gehörgangs. *Arch. f. Physiol.* (du Bois). 1883. S. 268
20. Derselbe, Historisch-kritische Beiträge zur Physiologie des Gehörorgans. A. f. O. 42. S. 177.
21. Hammerschlag, V., Über Athem- und Pulsationsbewegungen am Trommelfell. *Wien. med. Wochenschr.* Nr. 37 und 40. 1876.
22. Ostmann, Die Würdigung des Fettpolsters der lateralen Tubenwand. A. f. O. 34. S. 170.
23. Beckmann, H., Über Schliessung und Öffnung der Rachenmündung der Tuba Eustachii. Z. f. O. 1891. S. 83.
24. Bockendahl, A., Über die Bewegungen des M. tensor tympani. A. f. O. Bd. 16. S. 241.
25. Pollak, Jos., Über die Funktion des M. tensor tympani. *Medizin. Jahrbücher. N. F.* Jahrg. 1886. S. 257.
26. Hammerschlag, V., Über die Reflexbewegung des M. tensor tympani und ihre centralen Bahnen. *Sitzber. d. k. k. Akad. Abt. III. Bd. 108.* Jan. 1899.
27. Hensen, V., Über die Accommodationsbewegung im menschlichen Ohr. *Pflügers Arch.* Bd. 87. 1901. S. 355.
28. Ostmann, Über die Reflexerregbarkeit des M. tensor tympani durch Schallwellen und ihre Bedeutung für den Hörakt. *Arch. f. Anat. u. Physiol.* 1898. Heft I. u. II. S. 75.
29. Hammerschlag, Über den Tensorreflex. A. f. O. Bd. 46. S. 1.
- 29a. — — Die Lage des Reflexcentrums für d. M. tensor tympani. *Sitzber. d. Akad. Wien.* Bd. 110. Abt. III. Nov. 1901.
30. Ostmann, Bemerkungen zu vorstehender Arbeit des Hrn. Hammerschlag. *Ebenda.* S. 14.
31. Hammerschlag, Erwiderungen auf die Bemerkungen des Hrn. Prof. Ostmann. A. f. O. Bd. 46. S. 89.
32. Ostmann, Zur Funktion des M. stapedius beim Hören. *Arch. f. Physiol.* 1899. S. 546.
33. — — Über Beteiligung d. N. facialis beim Lauschen. A. f. O. Bd. 54. S. 209.
34. Bezold, Über den gegenwärtigen Stand der Hörprüfungen. Z. f. O. Bd. 29. S. 1.
35. — — Ein weiterer im Leben diagnostizierter Fall von doppelseitiger Steigbügelankylose . . . Z. f. O. Bd. 26. S. 1 und Bd. 24. S. 267.
36. Mader, L., Mikrophonische Studien am schalleitenden Apparat des menschlichen Gehörorgans. *Sitzber. d. Akad. Wien.* Bd. 109. Abt. III. Febr. 1900 u. 13. *Congrès internat. de médecine. Sect. d'otologie.* Paris. 1900.
37. Eichler, O., Anatom. Untersuchungen über die Wege des Blutstroms im menschlichen Ohrlabyrinth. *K. Sächsische Gesellsch. d. Wiss.* Bd. 18. Nr. 5. 1892.
- 37a. Matte und Schultes, Beitrag zur Bestimmung der normalen Hörschärfe. A. f. O. Bd. 42. S. 275.
38. Dennert, Zur Prüfung des Tongehörs mit Stimmgabeln. A. f. O. Bd. 43. S. 276.
39. Gradenigo, *Archiv. Ital. di Otologia.* Bd. 9. 1. Fasc. 1899.
40. Quix, H., *Onderzoekingen omtrent de Wize von Uittrillen van Stémmworcken.* *Nederl. Tijdschrift voor Geneeskunde.* 1901. Deel. 1. No. 8.
41. Jacobsen, L., Über die Abnahme der Schwingungsamplituden bei ausklingenden Stimmgabeln. *Verhandl. der physiol. Gesellschaft zu Berlin.* 1886—87. Nr. 16 und 17.
42. Derselbe, Über die Abhängigkeit der Hörschärfe von der Hörzeit. A. f. O. 24. S. 32 und ferner A. f. O. 25. S. 11 u. 307.
43. Derselbe, Über Hörprüfung und ein neues Verfahren zur exakten Bestimmung der Hörschwelle mit Hilfe elektrischer Ströme. *Arch. f. Physiol.* 1888. S. 189.
44. Barth, E., Das Dekrement abschwingender Stimmgabeln. Z. f. O. Bd. 18. S. 30.

45. Bezold und Edelm ann, Ein Apparat zum Aufschreiben der Stimmgabelschwingungen und Bestimmung der Hörschärfe nach richtigen Proportionen. *Z. f. O.* Bd. 33. S. 174.
46. Schmiegelow. Eine neue Methode, die Quantität des Hörvermögens vermittelst Stimmgabeln zu bestimmen. *A. f. O.* Bd. 47. S. 164 und Bezold: *Entgegnung . . .* Bd. 49. S. 8.
47. Lucae, Kritisches und Neues über Stimmgabeluntersuchungen. *A. f. O.* Bd. 23. S. 122.
48. Wead, C. K., Intensity of Sound. *American Journal of Science.* Nr. 126. S. 177. 188 und Nr. 141. S. 232. 1891.
49. Stefanini, Sulla legge di oscillazione del diapason e misura dell' intensità del suono. *Atti della Accademia Lucchese.* T. 25. S. 109. 237. 305. (Für die psychophysische Formel von Plateau.)
- 49a. Burckhardt-Merian, Vergleichende Versuche verschiedenartiger Hörprüfungen. *A. f. O.* 22. S. 177 und Bezold, Statistische Ergebnisse über die diagnostische Verwendbarkeit des Rinneschen Versuches. *Z. f. O.* Bd. 17. S. 153.
50. Hensen, V., Über die akustischen Bewegungen im Labyrinthwasser. *Münch. med. Wochenschr.* 1891. Nr. 14.
51. Deetjen, H., Akustische Strömungen der Perilymphe. *Z. f. Biol.* 39. S. 159.
52. Klein, F., Mechanische Wirkung schwingender Körper. *Sitzungsber. des physiol. Vereins. Kiel. Münch. med. Wochenschr.* 1899–1900.
3. Dennert, Akustische Untersuchungen zum Zwecke physiologischer und praktischer otologischer Fragen. *A. f. O.* 45. S. 27.
- 53a. Kayser, R., Über akustische Erscheinungen in flüssigen Medien. *Z. f. O.* Bd. 37. S. 217.
54. Guyot, Coup d'oeil synthétique sur les formes de la matière, *Presse Scientifique* 1861. T. III. p. 132 und *Annales de Chimie et de Physique.* T. 25. p. 200 und frühere Publikationen, die ich nicht erhalten konnte.
- Schellbach, K. H., Akustische Abstossung u. Anziehung. *Ann. d. Physik u. Chemie.* Bd. 137. S. 670. Bd. 140. S. 325. Bd. 141. S. 495.
- Guthrie, Fr., On Approach caused by Vibration. *Philosoph. Magazine.* Ser. June. 1871. S. 905. Neesen, *Tageblatt der naturforschenden Versammlung.* Strassburg. 1885.
- Dvorack, Über die akustischen Anziehungen und Abstossungen. *Ber. d. Akad. Wien.* 1875. Bd. 72. S. 213.
- Bjerknes, V., Vorlesungen über hydrodynamische Fernkräfte. Leipzig. 1900.
55. Overbeck, A., Untersuchungen über die Schallstärke. *A. d. P. u. Ch.* Bd. 249. S. 222.
56. Vierordt, K., Die Schall- und Tonstärke und das Schalleitungsvermögen der Körper. Tübingen. 1885.
57. Wien, M., Über die Messung der Tonstärke. *Diss. Berlin.* 1888 und *A. d. Ph. u. Ch.* Bd. (N. F.) 36. S. 894.
- 57a. Schaefer, K. L., Versuche über die Abnahme der Schallstärke mit der Entfernung. *Annalen d. Phys. u. Ch.* Bd. 293. S. 785.
58. Quix, F. H., Onderzoek voer de Gevoeligheid von het Oor door de Toonladder. *Neederl. Tidschrift voor Geneeskunde.* 1901. II. Nr. 25.
59. — — Over de intensiteit van het geluid van eene stemmwork, zoals die afhankelijk is van amplitudo en afstand. *Arbeiten d. Physiol. Laboratoriums Utrecht.* 5. Reecks. II.
60. Cuperus, N. J., De Gehoorgrens voor lage en hooge Tonen. *Diss. Leiden.* 1893.
61. Appunn, *Berichte der Wetterausischen Gesellsch. f. d. ges. Naturkunde.* 1887—88.*
62. Schwend, A., Experimentelle Bestimmungen der Wellenlänge und Schwingungszahl höchster hörbaren Töne. *Pflügers Arch.* Bd. 15. S. 346 und Bd. 76.
- 62a. Koenig, R., Über die höchsten hörbaren und unhörbaren Töne *Ann. d. Phys. u. Chem.* N. F. Bd. 69. 1899. S. 626 und S. 721.
63. Derselbe, Einige Beobachtungen über die hohe Grenze der menschl. Gehörwahrnehmung. *A. f. O.* Bd. 49. S. 1.
64. Zwaardemaker, H., Das presbyakusische Gesetz. *Z. f. O.* Bd. 24. S. 1.
65. Derselbe, Der Einfluss der Schallintensität auf die Lage der oberen Tongrenze. *Z. f. O.* 24. S. 303. (Die Abbildung Fig. 5 ist hieraus entnommen).
66. Derselbe, Sprachgehör und generelles Tongehör und die Messung des letzteren durch das Gradenigosche Hörfeld.

67. Bezold, Einige weitere Mitteilungen über die kontinuierliche Tonreihe, insbesondere über die physiologische obere und untere Tongrenze. *Z. f. O.* Bd. 23. S. 254 und Bd. 24. S. 25.
68. Krebs, Über die gegenseitige Erregung nahezu gleich gestimmter elastischen Körper. *Annalen d. Phys. u. Chem.* Bd. 255. (N. F. 19) S. 935.
69. Auerbach, F., Über die absolute Anzahl von Schwingungen, welche zur Erzeugung eines Tons erforderlich sind. *Annalen d. Phys. u. Chem.* Bd. 242 (N. F. 6) S. 591.
70. Martius, Goetz, Über die Reaktionszeit und Perceptionsdauer der Klänge. *Wundt, Philos. Studien.* Bd. 6 und: Über den Einfluss der Intensität der Reize auf die Reaktionszeit der Klänge. *Ebenda.* Bd. 7. *
71. Kohlrausch, Über Töne, die durch eine begrenzte Anzahl von Impulsen erzeugt werden. *Annalen d. Phys. u. Chem.* (N. F. 10). *
72. Meyer, M., Über Kombinationstöne und einige hierzu in Beziehung stehende akustische Erscheinungen. *Z. f. Psychol. u. Physiol. d. Sinnesorgane.* Bd. 11.
73. Abraham, O. und Brühl, L., Wahrnehmung kürzester Töne und Geräusche. *Z. f. Psychol. u. Physiol. d. Sinnesorgane.* Bd. 18. S. 177.
- 73a. Kries, J. v., Über das absolute Gehör. *Z. f. Psychol. u. Physiol. d. Sinnesorgane.* Bd. III. S. 257.
74. Urbantschitsch, V., Zur Lehre von der Schallempfindung. *Pflügers Arch.* Bd. 24. S. 1.
75. Derselbe, Über das An- und Abklingen akustischer Empfindungen, *Ebenda.* Bd. 25. S. 323.
76. Hensen, V., Untersuchung über Wahrnehmung der Geräusche. *A. f. O.* Bd. 13. S. 69. 1886.
77. Brücke, E., Über Wahrnehmung der Geräusche. *Sitzber. d. k. k. Akad. Wien.* Bd. 93. 9. Okt. 1884.
78. Barth, A., Zur Lehre von den Tönen und Geräuschen. *Z. f. O.* Bd. 17. S. 81.
79. Dennert, H., Zur Wahrnehmung der Geräusche. *A. f. O.* Bd. 41. S. 109.
80. Oesch, A., Was können wir ohne Schnecke hören? *Diss.* Basel. 1898.
81. Gradenigo, Die Erkrankungen des *N. acusticus*. *A. f. O.* Bd. 27. S. 124. citiert Sune y Molist. *Spanische Revue für Laryngologie.* 1886. Bd. II. Nr. 2.
82. Bezold, Das Hörvermögen der Taubstummen. *Wiesbaden.* 1896. Und zwei Nachträge. 1897 und 1900.
83. Urbantschitsch, Über Hördefekte bei Taubstummen. *Z. f. O.* Bd. 33. S. 224.
84. Ebbinghaus, Grundzüge der Psychologie. 1897. *
85. Baginsky, B., Zur Physiologie der Gehörschnecke. *Sitzber. d. k. preuss. Akad. d. Wiss.* 1883. 28. 14. Jun. Die Funktionen der Gehörschnecke. *Virchows Arch.* Bd. 94. S. 65.
86. Gradenigo, Über *Diplacosis monauralis*. *Z. f. O.* Bd. 23. S. 252.
87. Berthold, E., Über *Diplacosis monauralis*. *A. f. O.* Bd. 55. S. 17.
88. Koenig, R., *Quelques Expériences d'acoustique.* 1882. Selbstverlag. Bemerkungen über die Klangfarbe und: Zur Frage über d. Phasendifferenz . . . *Annalen d. Phys. u. Chem.* Bd. 250 u. 251.
89. Hermann, L., Beiträge zu der Lehre von den Klangwahrnehmungen. *Pflügers Arch.* Bd. 56. S. 467.
90. Ewald, Rich., Zur Physiologie des Labyrinths. *Pflügers Arch.* Bd. 76.
91. ter Kuile, E., Die Übertragung der Energie von der Grundmembran auf die Haarzellen. *Pflügers Arch.* 79. S. 146.
- 91a. Broca, A., Influence de l'intensité sur la hauteur du son. *Comptes rend. de l'Académie des sciences.* Paris. 1897. p. 1512.
92. Ewald, B., Physiologische Untersuchungen über d. Endorgan d. *N. octavus*. *Wiesbaden.* 1892.
93. Derselbe, Das Hören der labyrinthlosen Tauben. *Pflügers Arch.* Bd. 59. S.
94. Wundt, W., Akustische Versuche an einer labyrinthlosen Taube. *Wundt, Philos. Studien.* Bd. 9. S. 496.
95. Derselbe, Zur Frage der Hörfähigkeit labyrinthloser Tauben. *Pflügers Arch.* Bd. 61. S. 339.

96. Fano und Masini, Beitrag zur Physiologie des inneren Ohres. Centralbl. f. Physiol. Bd. 4. S. 787.
97. Hensen, V., Vortrag gegen den sechsten Sinn. A. f. O. Bd. 35. S. 161.
98. Matte, Experimenteller Beitrag zur Physiologie des Ohrlabyrinths. Pflügers Arch. Bd. 57. S. 437.
99. Bernstein, J., Über die spezifische Energie der Hörnerven. . . . Ebenda. S. 477.
100. Derselbe, Über das angebliche Hören labyrinthloser Tauben. Pflügers Arch. Bd. 61. S. 113.
101. Strehl, H., Beiträge zur Physiologie des inneren Ohres. Pflügers Arch. Bd. 61. S. 205.
102. Siebenmann, Über die centrale Hörbahn und über ihre Schädigung Z. f. O. Bd. 28. S. 28.
103. Baginsky, B., Über den Ursprung und den centralen Verlauf der N. acusticus d. Kaninchens. Sitzber. d. k. preuss. Akad. d. Wiss. 25. Febr. 1886.
104. Munk, H., Über die Funktionen der Grosshirnrinde. 1881 und 1890; und: Über die Hörsphären der Grosshirnrinde. Monatsschr. d. Akad. d. Wiss. Berlin Mai 1881.
105. Larionow, W., Über die musikalischen Centren des Gehirns. Pflügers Arch. Bd. 76. S. 608.
106. Lindig, Fr., Über den Einfluss der Phasen auf die Klangfarbe. Diss. Kiel 1902.
107. Hensen, V., Das Verhalten des Resonanzapparates im menschlichen Ohr. Sitzungsber. d. preuss. Akad. d. Wissensch. 38. 1902.

Die Fortschritte der Physiologie des Hörens, die seit 1879 erfolgt sind, erscheinen sehr mannigfaltig. Die Litteratur ist namentlich durch physiologische Untersuchungen von seiten der Ohrenärzte sehr vermehrt worden. Ein sehr grosser Teil aller Arbeiten beschäftigt sich mit der Zuleitung des Schalls. In der Diagnose der Art und Ursache der Störungen sowie in der ihres Grades hat die Otiatrie trotz eines sehr schweren Kampfes mit der Unvollkommenheit der Hilfsmittel erhebliche Fortschritte gemacht. Sie liess sich durch die Bedenken, die gegen die absolute Genauigkeit der Prüfungsmethoden erhoben werden konnten, nicht stören. Die physiologischen Kenntnisse der Schallzuleitung sind vermehrt und gefestigt worden.

Die Lehre von der Schallempfindung hat weit weniger Arbeiten zu verzeichnen, doch sind eine Reihe von Beiträgen zu nennen, die auch hierin Förderungen und selbst Entscheidungen gebracht haben. Im ganzen hat die Forschung sich weniger auf die Schallempfindung geworfen, als auf alle die Verhältnisse, die sich auf die Relationen zwischen Bewegung des Körpers und dem Gehörnerv beziehen. Diese sind aus vorliegendem Bericht völlig ausgeschieden.

Die Lehre von der Schallwahrnehmung ist namentlich von psychophysischer Seite sehr lebhaft in Angriff genommen. Eine scharfe Grenze zwischen Empfindung und Wahrnehmung zu ziehen ist nicht leicht, weil sich keineswegs immer entscheiden lässt, was bei dem Gehör dem akustischen Endapparat, was der Gehirnthätigkeit zuzuschreiben ist. Die vorgenommene Trennung und Verteilung wurde erleichtert durch die stetige Verbindung zwischen Dr. F. Krueger, der sich mit den Wahrnehmungen zu beschäftigen hat, und mir.

Die an Krankheitsfällen gewonnenen physiologischen Schlussfolgerungen sind hier nur wenig ausgenutzt. Die Angaben der verschiedenen Autoren stehen sich nicht selten schroff gegenüber, und wenn hin und wieder dem tympanalen Apparat die Funktion der Tonzuleitung abgesprochen wird, ist der wissenschaftliche Boden wohl zu leicht verlassen worden. Abgesehen davon sind die Aufnahmen des Status kurz vor dem Tode, die Erlangung eines genügend frischen Präparates, die Technik der Labyrinthuntersuchung so schwierig, dass eine physiologische Verwertung der Fälle nicht leicht ist. Das Ohr ist ein einfacheres Organ als das Auge, die Ohrenheilkunde wird daher die Physiologie besonders gut fördern können. Dennoch wird ein nachdrücklicher Widerspruch von ihr in bezug auf physiologische Lehren und Lücken abzuwarten sein, ehe eine starke Benutzung ihrer entsprechenden Erfahrungen mit Sicherheit geschehen kann¹⁾.

Der Schalleitungsapparat.

Äusserer Ohr und Gehörgang.

Seitdem Venturini 1802 feststellte (1), dass die Schallrichtung namentlich nur dann mit dem Ohr erfasst werde, wenn der Schall die beiden Ohren verschieden stark trifft, stimmen darin wohl alle besseren Beobachter überein. Urbantschitsch (2) hat festgestellt, dass beide Ohren zusammen die feinste Schallempfindung geben. Er leitete das Geräusch des Neef'schen Hammers von der sekundären Spirale, durch, mit Ansatzröhren versehene, Telephone, in die Ohren. Wenn 0 den Teil der Skale der sekundären Spirale bezeichnet, wo das Geräusch völlig unhörbar war, und die Spirale von da auf 100 Teile bis zur erreichbaren Stärke verschoben werden konnte, fand sich bei vier zuverlässigen Personen, A bis D folgendes.

Verschiebung der Spirale von 0.

	A.	B.	C.	D.
Rechtes Ohr	10	6	8	55
Linkes Ohr	10	7	8	55
Beide Ohren	5	3	5	51

Das Gehör war also binotisch erheblich feiner.

Kessel (3) fand dagegen, dass das beste Hören monaural in der Richtung des Gehörgangs stattfindet, was für Versuche ohne Telephon wohl zutreffen kann. Er (3a) betrachtet die Aushöhlung der Ohrmuscheln als Reso-

¹⁾ Wenn schon die Jahresberichte in unserer Zeit für ihre Referate eine einschneidende Auswahl treffen, so muss ein Bericht, der sich über mehr als 30 Jahre erstreckt, das in weit höherem Masse thun. Dabei kann man nicht allen gerecht werden. Es werden aber Beobachtungen und Verstandesergebnisse, die sich als wichtige Anfänge von Fortschritten erweisen, sicher sein können, später zu ihrem Recht zu kommen.

natoren, deren Abstimmung durch Bewegung von Tragus, Antitragus und Helix verändert werden könne. In dieser Richtung darf man die Anforderung doch nicht zu weit treiben. Bezold (4) hat Fälle von Atresie des Gehörgangs untersucht. (Dabei pflegen stets Trommelfell, Hammer und Ambos zu fehlen oder sie und Stapes sind stark verbildet. Störungen im Labyrinth sind häufig nicht nachweisbar.) Direkt am Ohr werden alle Zahlen, nur mit Ausnahme der geflüsterten Worte 5 und 9, verstanden. Konversationssprache wird in 12 bis 20 cm Entfernung verstanden. Ich habe einmal versucht, wie weit es möglich sei, das Ohr durch Zudecken zu eliminieren, habe zunächst mit warmem Siegelack den Gehörgang verschlossen und dann durch Auftragen einer mehrere cm dicken Schicht von nassem Thon die ganzen Muscheln rings eingehüllt. Die Verständigung beim Sprechen war dadurch so wenig erschwert, dass eine Nachfrage nicht nötig wurde, der Ton der Stimmgabel mittlerer Höhe wurde gut gehört und war es besonders bemerkenswert, dass der Ton immer viel lauter wurde, wenn die Gabel gerade vor den Gehörgang gehalten wurde. Es scheint eine offene Frage zu sein, wie der Gehörgang vor dem Eindringen des Schalls zu schützen sei, die Antiphone, runde Kugeln an Stielen, leisten auch keine besonders guten Dienste.

Von recht praktischem Interesse ist die Untersuchung des Vermögens: die Richtung zu bestimmen, aus welcher der Schall kommt. Ich habe mich überzeugt, dass man auf der See die Richtung, in welcher ein Schiff pfeift mit einer bis auf 10^0 übereinstimmenden Sicherheit nach dem Kompass bestimmen kann, abgesehen natürlich von etwa eingetretenen Verwerfungen des Schalls durch den Nebel. Es liegen Untersuchungen von Preyer (5), Münsterberg (6), Kries (7) und Bloch (8) vor. Die letztere, unter Leitung von v. Kries ausgeführt, ist sehr umfassend und manche Irrtümer zerstörend, es dürfte genügen von ihr zu berichten. Bloch findet, dass bei dem binotischen Hören eine wechselseitige Verstärkung eintritt, sogar vielleicht stärker, als es der einfachen Addition der Empfindungen entspricht. Die Empfindung — das Hörfeld — wird dabei in die Mitte des Kopfes verlegt, bei ungleicher Stärke des Schalles nach der entsprechenden Seite. Über diese Projektion liegen Berichte von verschiedensten Autoren vor, aber auf diese subjektiven Wahrnehmungen kann hier nicht eingegangen werden. Die Bestimmung des Schallortes wurde in der Weise ausgeführt, dass die Versuchsperson in der Mitte eines Kreises von 1 m Radius sass oder zweckentsprechend gelagert wurde. Der Kreis war in 16 Abteilungen geteilt. Von der Mitte jeder Marke wurde Politzers Hörmesser, (ein Stahlcylinder, der durch einen aus immer gleicher Höhe auffallenden Hammer ein immer gleiches leises Anschlaggeräusch giebt), auf dem Kreise hin und her bewegt. Es wurde verlangt, dass die Richtung, in der eine Verschiebung erfolgt sei, richtig angegeben werde. Bei den Verschiebungen gerade vorn und hinten wurde schon eine

Veränderung von etwa $4,5^\circ$ erkannt. An den Seiten war eine sechs- bis siebenfach grössere Verschiebung erforderlich. Dies sowohl, wenn der Kreis um die stehende, als auch um die liegende Person ging. Monaural waren die Verhältnisse relativ ähnlich aber absolut viel schlechter. Bei diesen Bestimmungen kommen hauptsächlich Intensitätsunterschiede der Entscheidung zu Hilfe, doch macht sich auch die Gestalt des äusseren Ohres geltend. Das ergaben am deutlichsten Versuche über das Hören in der Sagittalebene. Die Verschiebungen mussten etwa fünfmal grösser gemacht werden, um erkannt zu werden; aber die *Incisura tragica* und *supratragica* halfen sehr bei der Lokalisation, wie sich deutlich zeigte, wenn man sie ausfüllte. Auch wirkte es sehr auffallend, wenn die *Conchalage* verändert wurde. Die Bestimmung der Entfernung eines Schalles soll nach der Intensität der Teilklänge (Töne) bemessen werden, man täuscht sich dabei aber leicht.

Über die Länge des Gehörganges liegen Messungen vor, nach denen sie zwischen 21 und 26 mm beträgt, über die Kapazität berichtet Hummel (9) nach 200 Messungen, dass sie rechts 1,07, links 1,05 cm³ betrage und sich etwas nach der Körpergrösse richte. Über die Resonanz des Gehörganges scheint mir namentlich eine Arbeit von Lucae (10) einen Fortschritt gebracht zu haben. Sie widerlegt experimentell die Ansicht von Mach, dass ein dem Labyrinth durch die Kopfknochenleitung zugeführter Ton durch die Gehörknöchelchen abflüsse und daher verstärkt gehört werde, wenn dieser Abfluss durch Schluss des Gehörganges gehindert wird. Diese Ansicht erfordere, dass eine Schwächung der Empfindung eintrete, wenn man denselben, etwas tiefen, Ton gleichzeitig durch Knochenleitung und durch die Luft dem Ohr zuführt, da dann Wellen fast gleicher Phase von innen und von aussen das Trommelfell treffen müssen. Dabei trete nun in Wirklichkeit eine sehr deutliche Verstärkung der Empfindung ein. Dass es sich bei Verschluss des Ohres wirklich um die Bildung eines passenden Resonanzraumes handle, wurde dadurch nachgewiesen, dass durch Verlängerung des Gehörganges die Resonanz für tiefe Stimmgabeln sich sowohl subjektiv als auch bei Belauschung durch ein Nebenrohr verstärkt erwies und bei passender Wahl der Dimensionen zum Ton stärkster Resonanz zu bringen war. Es erklärt dies denn auch, weshalb die Verstärkung bei sehr hohen Tönen zu fehlen pflegt. Durch den Verschluss wird die Resonanz des Gehörganges bedeutend vertieft. Diese von Lucae klar erkannten Verhältnisse sind sehr häufig nicht genügend gewürdigt worden. Auf die Kopfknochenleitung komme ich später zurück.

Das Trommelfell.

A. Fick (11) vertritt eine neue Ansicht über den Mechanismus des Paukenfells, die später mannigfachen Nachhall gefunden hat. Da ein starker Knall einen geringeren akustischen Eindruck mache, als der kontinuierliche

Klang, z. B. einer Trompete, müsse in dem Schallübertragungsapparat eine Summierung regelmässiger Schwingungen stattfinden. Dass solche Übertragungseinrichtungen möglich seien, das bewiesen die Resonanzböden. Denke man sich das Trommelfell in lauter, radiär von dem Manubrium mallei ausgehende, Streifen zerlegt, so werde jeder dieser Streifen seine besondere Abstimmung haben. Schliesslich werde für jede empfindbare Höhe ein solcher Streifen da sein. Eine experimentelle Verfolgung dieser Ansicht an einer grösseren, entsprechend geformten Membran bestätigte diese Annahme; die einzelnen Teile dieser Membran gaben, wenn angeschlagen, eine kontinuierliche Tonreihe, die ganze Membran gespannt gab bei Durchtrennung des spannenden Fadens eine ganz aperiodische Bewegung. Phonautographisch benutzt wirkte solche Membran sehr befriedigend. (Die Membran meines Sprachzeichners hatte ich schon nach dem Prinzip des Trommelfelles herzustellen gesucht). Fick sagt endlich, das Gehörorgan sei anzusehen als eine Kombination zweier Resonanzapparate. Der Paukenapparat habe den Zweck, mit Begünstigung regelmässiger periodischen Schwingungen die Hammerstielspitze u. s. w. in Bewegung zu setzen. Aus der näheren Beschreibung der Versuche, die sein Schüler Nolda (12) giebt, wird ersichtlich, dass die Membranen 10 und 20 cm im Durchmesser hatten. Die Schrift ist nicht gerade schön zu nennen, und die Dimensionen stehen doch wohl zu weit ab von denen des Trommelfells. Meines Erachtens ist überhaupt folgendes zu sagen. Die stärkere Empfindung periodischer Bewegung wird bereits durch die Resonanz der Endapparate genügend erklärt. Ein Resonanzboden ist so dünn, dass er durch die wechselnde Wirkung der gespannten Saiten nicht als abgestimmter Streifen, sondern in grosser Ausdehnung mitschwingt und dadurch eine grosse Luftmasse in periodische Bewegung bringt, wäre es anders, so würde der Zweck nicht erfüllt. Wenn die einzelnen Radiärfasern für sich auf und mit ihrem Eigentone schwingen könnten, so würden, während die eine mitschwingt, alle anderen den Hammer festhalten und zwar stark, weil sie wegen ihrer Dissonanz stärker am Schwingen gehindert werden müssten, als wenn kein Ton sie trifft. Das Trommelfell ist aber eine so fest gewebte Membran, dass die isolierte Bewegung einer Radiärfaser nicht möglich erscheint.

Die Folge der unsymmetrischen Teilung und der Trichtergestalt der Membran ist jedenfalls die, dass sie die äusserst störenden Nachschwingungen nicht geben kann, oder dass sie wenigstens sehr leicht gedämpft werden. Sie steht in Lage durch ihre Steifigkeit und wird insofern eine schwache Abstimmung, etwa in den einzelnen Quadranten haben. Ein an einem Ende eingespannter, herabhängender Metalldraht hat infolge seiner Steifigkeit eine merkliche Abstimmung, jeder ebenso behandelte Zwirnsfaden muss dies aus gleichem Grunde auch haben, aber das wird sich nur im luftleeren Raume nachweisen lassen, weil seine Steifigkeit so gering ist, dass der Luftwiderstand ihre Wirkung auslöscht. Es liegen mehrfache Untersuchungen über

die Schwingungen des Trommelfelles vor, ob mit einer Abstimmung zu rechnen ist, erscheint nicht klar. In den längeren Radien muss wohl die Abstimmung etwas tiefer sein, als in den kürzeren, aber ob dies sichtbar geworden ist, lässt sich bezweifeln. Die Quadranten mit grösserer Fläche schwingen nach den Beobachtungen leichter und stärker, aber das können sie schon deshalb thun, weil sie dehnbarer sein dürften wegen der grösseren Länge der Fasern, und sie müssen es, weil sie von einer grösseren Anzahl von Luftmolekeln getroffen werden. Wäre das Manubrium ein unbeweglicher Steg, so könnten wohl bei höheren und leisen Tönen der eine oder der andere Quadrant allein schwingen, aber wie die Dinge liegen, scheint mir solche Schwingungsweise kaum möglich.

Kessel (3a) hat an sich selbst Versuche über das Hören bei gedrücktem und gezogenem Trommelfell angestellt. In und auf einem luftdichten Kasten waren Stimmgabeln und Geräuschapparate angebracht. Von dem Kasten ging ein Rohr in den Meatus, durch den zugleich Luft unter einem manometrisch ablesbaren Druck in den möglichst hermetisch geschlossenen Gang eintrat. Bei + 10 mm Hg. Druck wurden Töne zwischen 32 und 64 v. d. gelöscht, auch die Töne von 128 und mehr Schwingungen erheblich geschwächt. Viel höhere Töne nicht beeinflusst, nur über 12000 v. d. gehende Töne wieder gelöscht. Ebenso werden Geräusche abgeschwächt. Bei gleich hohem *Zug* werden die tieferen Töne bis c^{IV} geschwächt, höhere Töne entschieden verstärkt, ebenso Geräusche und zwar ohne Ausnahme. Bei einem Wechsel viel schwächeren Druckes wird ein Flattern des Trommelfells gefühlt und gesehen, auch giebt die Beobachtung der Membran das Bild beträchtlicher Verschiebungen namentlich des Processus brevis und seiner Umgebung sowie des hinteren, oberen Trommelfellsegments, während es erheblich höheren Druck erfordert, um die anderen Teile deutlich zu bewegen. Ob diese Verhältnisse ein Bild des Geschehens bei dem Hörakt geben, erscheint dem Verfasser wohl mit Recht zweifelhaft, indessen spricht er sich für eine Wirkung verschiedener Abstimmung der Membranteile aus. Lucae (10a) hat mit Hilfe stroboskopischer Beobachtung die Bewegungen des Trommelfells, das mit echter Goldbronze bepinselt war, studiert. Es wurde durch eine Pumpe geringer Hubhöhe und durch einen locker eingesetzten Sigleschen Trichter eine Reihe von Luftstössen mittelst eines, die Pumpe treibenden Elektromotors auf das Trommelfell geleitet, und zwar zwischen 7 und 30 Stösse in der Sekunde. Dabei ergab sich, dass der hintere obere Quadrant des Trommelfells und dadurch der Processus brevis des Hammers sehr ausgiebige Bewegungen machten, dass aber das Stroboskop auch noch deutliche, wenn gleich kleinere Bewegungen an den übrigen sichtbaren Teilen der Membran zeigte. Der Apparat soll noch vervollkommenet werden, weshalb hier auf seine Einrichtung nicht näher eingegangen wird. Bei den so langsamen Bewegungen dürfte eine Abstimmung der Membranteile nicht in Frage kommen

können, sondern lediglich deren verschiedene Exkursionsfähigkeit. Über bezügliche Versuche von Mader wird weiterhin berichtet werden.

Hermann (13) wendet sich gegen die Annahme von Helmholtz, dass die Kombinationstöne durch unsymmetrische Schwingungen des Trommelfells und das Spiel des Sperrgelenks zwischen Hammer und Ambos erzeugt werden. Für die bezügliche Bewegung des Trommelfells wird eine Berechnung gegeben, die dahin führt, dass die Bewegung nicht unsymmetrisch sein werde. Die verwickelten Bandverhältnisse lassen sich m. E. nicht durch Formeln meistern, aber Hermann betont, dass die Intensität der Kombinationstöne zuweilen fast grösser zu sein scheine, als die der Grundtöne. Nicht das Trommelfell und noch weniger das Sperrgelenk könnten sie erzeugen. Er fand es unmöglich, eine Stimmgabel durch Einrichtungen, die bewirkten, dass Bewegungen, die einem starken Kombinationston entsprachen, kräftig auf sie einwirken konnten, in Schwingung zu versetzen. Er glaubt daher den Nachweis geführt zu haben, dass diese Töne durch eine besondere Art der Erregung im Labyrinth entstehen müssten; dass dieses also bereits durch stossende Bewegungen zu Tonempfindungen angeregt werden müsse. Ich kann nach den Kurven von Schwebungen mir nicht das Vorhandensein von Stössen, sondern nur Intensitätsschwankungen des Zwischentons konstruieren, obgleich solche unzweifelhaft die Empfindung eines Stosses oder Schlages hervorrufen. (Vgl. 76.)

Die Kette der Gehörknöchelchen.

Nachdem von Urbantschitsch eine ausführliche Messung der Gehörknöchelchen gegeben worden ist, hat Eitelberg (14) Wägungen von physiologischem Interesse vorgenommen. Der Hammer wiegt im Durchschnitt 23, der Amboss 25, der Steigbügel 3 mg; die Variationen sind nicht erheblich, nur beim Steigbügel erreichen sie 100%. Im Alter werden die Knöchelchen etwas schwerer.

Bezold (15) hat nach dem Vorgang von Politzer, Weber-Liel u. a. die Beweglichkeit des Schalleitungsapparats durch Luftdruck an Präparaten untersucht. Er beobachtete die Flüssigkeitssäule in einem Kapillarrohr, das in den oberen Halbzirkelkanal eingekittet war und auch an einem Kapillarrohr, das auf dem Rand des Foramen ovale resp. rotundum klebte, und er benutzte ausserdem Fühlhebel, die auf den Knöchelchen festgeklebt waren. Die Flüssigkeit stand im ersteren Fall meistens genügend fest, aber einmal floss sie aus dem Aquaeduktus cochleae ab. Der A. vestibuli war wohl durch die distale Membran der Otolithensäcke verlegt, er scheint stets Flüssigkeiten leichter von der Schädelhöhle aus aufzunehmen. Als wesentlichstes Ergebnis der sorgfältigen Untersuchung wurde gefunden, dass die Knöchelchen dem Zuge ausgiebiger folgen, als dem Druck. Im Mittel aus bis 40 Präparaten fand sich als Maximalbewegung bei Druck vom Gehör-

gang aus für den Steigbügel bei geschlossener, für die anderen Knochen bei offener Paukenhöhle folgendes Verhältnis:

	Druck	Zug
Steigbügel	1	: 2,85 mm
Spitze des langen Ambossfortsatzes	1	: 2,18 „
Spitze des Manubrium mallei	1	: 2,27 „
Membrana tympani sekundaria	1	: 0,8 „

Diese Membran ist also insofern den Verhältnissen angepasst, als sie ja die umgekehrte Bewegung auszuführen hat, wie der Steigbügel. Die absoluten Bewegungsgrößen waren für den Steigbügel 0,04 mm, während Helmholtz sie zu 0,07 resp. 0,056 mm gefunden hat. Nach Entfernung des Ambosses hob sich die Beweglichkeit auf 0,065, nach Durchschneidung der Sehne des M. stapedius auf 0,125 mm. Die akustische Bewegung des Steigbügels wird also sehr klein sein, wenngleich die Messung auf Wasserverdrängung beruht, und daher das vordere Ende der Steigbügelplatte jedenfalls eine etwas grössere Bewegung gemacht haben muss, weil das hintere Ende fast unbeweglich ist. Der absolute Wert für die Bewegung der Spitze des manubrium mallei betrug 0,76 mm, (stärkste *Schwingung* fand ich¹⁾ 0,193 mm); die Spitze des langen Ambossfortsatzes ergab bei einer Art der Messung 0,21, bei einer anderen Art nur 0,04 mm, was nicht befriedigt. Nach Durchschneidung der Sehnen wird die Beweglichkeit erheblich grösser, namentlich auch die des Hammers, die Muskeln drücken die Gelenke etwas aneinander. Dass der Stapes etwas in die Fenestra ovalis hineingedrückt steht, wird auf eine Pressung seitens des Ambosses bezogen. Man kann wohl nichts dagegen einwenden, dass ein Ligament dauernd in gespanntem Zustand stehe, denn am Sehorgan ist dies Verhalten ja bekannt. Dagegen folgt aus solcher Spannung mit Notwendigkeit eine gewisse Abstimmung. In der That ergaben die Versuche von Schmidekam und mir¹⁾ für die einzelnen Knöchelchen besondere Schwingungsmaxima und sogar (l. c. S. 100) bei 94 v. d. des zugeleiteten Sirenentons eine Maximalschwingung von 0,055 mm der Steigbügelplatte sowie des Ambossfortsatzes. Es handelt sich aber um so sehr starke Töne bei meinen Untersuchungen und um so starken Druck bei Bezold, dass die Beobachtungen für gewöhnliches Hören wohl nicht gelten können. Bezold spricht sich schliesslich gegen die Lehre der Otiatrie aus, dass nach Analogie des Glaukoms ein dauernder Labyrinthdruck zu Taubheit führe. Dafür giebt es ja auch keinen Befund, abgesehen von schwersten Erkrankungen des ganzen Labyrinths.

Der Zuleitungsapparat bedingt die Feinhörigkeit. Es ist eine häufige Erfahrung der Ohrenärzte, dass eine nicht ganz schlechte Hörfähigkeit für jeden Schall sich finden kann, wenn nur noch der Steigbügel erhalten ist.

¹⁾ Arbeiten d. Kieler physiologischen Instituts. Kiel. 1867. Experimentelle Studien zur Physiologie d. Gehörgangs.

Ankylosiert dieser, so sinkt die Hörfähigkeit bis nahe an Taubheit hinab. Selbst dann kann nach Entfernung des Steigbügels, mit Hilfe einer neu gebildeten, das ovale Fenster schliessenden Membran das Gehör sogar für Flüstersprache in kurzer Entfernung sich herstellen, aber diese Sache scheint noch strengere Prüfung zu erfordern. Über die bezügliche Sachlage berichtet u. a. Grunert (16). Zu erwähnen ist noch, dass Straaten (15 a) die Kolumella bei Tauben herauszog. Es fand sich in den ersten acht Tagen tiefe Schwerhörigkeit, welche dann sehr abnahm, ohne vollständig zur Norm zurückzukehren. Die Fenestra ovalis fand sich dabei überhäutet.

Zuckerkandl (17) bestätigt einen älteren Befund von Magnus, nach welchem neben der Sehne des Tensor tympani ein sogen. Zwischenband vom Processus cochlearis an den Hammer geht und diesen kräftig an erheblicherer Auswärtsbewegung hindert. Es kann also wohl das Trommelfell bei Menschen sich weit ausbauchen, aber der Hammer folgt nicht, so dass das Sperrgelenk zwischen Hammer und Ambos in dieser Beziehung wenig zur Wirkung kommt.

Poli (18) findet, dass das Gehör der Neugeborenen seinen Flüssigkeitsinhalt meistens nach 48 bis 73 Stunden, zuweilen aber schon nach einer Stunde etwa verliert. Erkannt wurde dies an einer Zuckung der Lider auf Geräusch.

Wenn Lucae (19) ein Kautschoukröhrchen 5 mm tief in den Gehörgang einführt und hineinbläst, hört er ein Geräusch, das an Höhe zwischen der kleinen und eingestrichenen Oktave steht. Der Beobachtete selbst hat die Empfindung grösserer Tiefe. Findet sich eine offene Verbindung mit der Paukenhöhle oder macht man sie an einem Präparat, so vertieft sich das Geräusch um etwa eine Oktave. Daraus ergibt sich nun freilich nichts für die Resonanz der geschlossenen Paukenhöhle, indessen ein kleines Resultat hatte der folgende Versuch. Ein Resonator für c'' wurde mit Stücken von Badeschwamm gefüllt, dann wurde zwar der angeblasene Resonanzton geschwächt, behielt aber seine Höhe, während zugleich Untertöne gehört wurden. Es ist also zu schliessen, dass die Nebenräume des menschlichen Ohres gleichfalls die Resonanz der Paukenhöhle schwächen, was wohl für den Menschen, dem genaues Hören wichtiger als Feinhörigkeit sein dürfte, erwünscht ist.

Tuba Eustachii.

Die Frage, in wie weit die Tuba Eustachii offen oder geschlossen sei, erscheint noch immer nicht ganz erledigt. Lucae hatte früher häufig Respirationbewegungen an dem Trommelfell beobachtet und zwar bei Inspiration häufiger Blähung als Einziehung. Erstere Fälle zeigten begleitende Gaumenhebungen, letztere wenig energische Hebungen.

Hammerschlag (21) bemerkt dagegen, dass die Tuba offen sei und daher die Atmung auf das Trommelfell wirke. Hiergegen erklärt sich Lucae (20)

und bemerkt, dass zwar meistens die Luft der überfüllten Paukenhöhle ganz langsam von selbst zu entweichen pflege, aber nicht in die relativ leere Höhle von selbst einzudringen vermöge. Helmholtz hat sich entschieden für das Geschlossensein der Tuba erklärt, da bei ihm gepresste Luft aus der Paukenhöhle nicht von selbst entwich. Lucae fand, dass Helmholtz eine angeborene Exostose in den Gehörgängen hatte, die etwas auf den Processus brevis des Hammers schienen wirken zu können. Es kann also auch an der Tuba etwas gewesen sein, jedenfalls war die Hochhörigkeit unvollkommen, denn 12000 v. d. wurde nicht mehr gehört. Diese Mitteilung hat vielleicht für die Konsonanzlehre von v. Helmholtz einiges Interesse.

Ostmann (22) hat die Fettpolster der Tuba näher untersucht. Er kommt zu dem Schlusse, dass das Fettpolster der lateralen Tubenwand das Anlegen dieser an die mediale Wand mit bedinge. Dadurch möge sich auch wohl der individuelle Unterschied in der Festigkeit des Tubenverschlusses mit erklären. Es werde die Autophonie und die starken Respirationsbewegungen des Trommelfells in Fällen starker Abmagerung dadurch verständlich werden können.

Beckmann (22) versucht, die Eröffnung der Tuben-Rachenmündung klarer zu machen. Leider giebt er keine Zeichnungen, doch zieht er, so weit ich verstehe, zur Erklärung des Vorganges den oberen Schlundkopfschnürer herbei, was in der in meiner Physiologie gegebenen Abbildung bereits zum Ausdruck kommt.

Funktion der Muskeln des Paukenapparates.

Bockendahl (24) hat versucht, die Grösse der Bewegung, die der Tensor tympani während seiner Reaktion auf Schall macht, zu bestimmen. Das untersuchte Tier, der Hund, zeigt das merkwürdige Verhalten des Tensor, dass sein Ursprung in seiner Knochenhöhle nicht straff ist, sondern dass die sehnige Verbindung mit der Unterlage aus wellig verlaufenden Sehnenbündeln besteht, die erst straff gespannt werden müssen, ehe der Muskel nach aussen erheblich wirken kann. Sein Ursprung ist gleichsam federnd und erst wenn die Federn stark in Anspruch genommen sind, kann eine erhebliche Wirkung nach aussen stattfinden, oder anders ausgedrückt, sein Zug ist im Anfang weit geringer, als der bei anderen Muskeln. Die den Muskel überziehende Fascie drückt ihn so sehr in seine Knochenhöhle hinein, dass eben deshalb bei dem ruhenden Muskel die Ursprungssehne gewellt ist.

In diesem Verhalten liegt wohl der Grund, dass exakte Messungen seines Zuges nicht gelungen sind. Es wurde schliesslich versucht, aus den Bewegungen einer in die Muskelmasse eingepflanzten Nadel von 20 mm Länge die Grösse der Kontraktion annähernd zu bestimmen. Bei Tönen verschiedener Labialpfeifen von 72 bis zu 288 Schwingungen ergab sich eine Kontraktion von 0,006 mm, bei Tönen bis zu 576 stieg die Grösse bis zu 0,018 mm, weiter hinauf, bis

zu den Tönen der Klangstäbe von Koenig ging der Ausschlag auf 0,024; 0,03 mm, ja selbst etwas darüber hinaus. Die Länge der Fasern des gefiederten Tensor tympani fand Bockendahl zu 1,3 mm, es bleiben also die thatsächlichen Leistungen des Muskels in bezug auf die wohl annähernd zutreffenden Messungen sehr weit gegen das theoretisch Mögliche zurück. In Bockendahls Versuchen bedurfte es etwas stärkeren Schalles um sichtbare Reaktion zu erzeugen als in meinen Versuchen, doch mag das von dem Zustand der Tiere abgehangen haben; auf stärkeren Schall traten die Bewegungserscheinungen stärker hervor, die Ausschläge verstärkten sich etwas. Mit Entschiedenheit wird von Bockendahl betont, dass bei dauernden Tönen auch die Kontraktion andauere. Ich bin seiner Zeit auf diesen Widerspruch gegen meine Angaben nicht aufmerksam geworden. Die Möglichkeit, dass der Muskel sich dauernd kontrahieren kann, ist schon deshalb sicher, weil manche Menschen den Tensor willkürlich kontrahieren können. Bei Bockendahls Experimenten, die ich fast alle gesehen habe, bemerkte ich ein einziges Mal ein Stehenbleiben der Nadel bei andauerndem Ton. Es kann das Verhalten auf ungünstiger Einpflanzung der Nadel gelegen haben, aber es kann auch wirklich eine Dauerkontraktion (tetanisch ist die Zusammenziehung immer) vorgelegen haben, in meinen sonstigen Beobachtungen sank die Nadel bei dauerndem Ton in Ruhe zurück. Bockendahl fügt seinem Widerspruch gegen mich folgenden irrigen Satz hinzu: „Dieser Befund musste meiner Meinung nach durchaus gemacht werden, er war ein logisches Postulat der Theorie, weil ohne ihn in dem kausalen Verhältnis zwischen Tonerregung und Muskelzuckung eine bedenkliche Lücke war. Denn wird ein Ton nur wahrgenommen bei einem bestimmten Spannungszustand des Trommelfells, so wäre es nicht verständlich, wie ohne die Möglichkeit eines Muskeltonus dauernde Tonerregung wahrgenommen werden sollte“. Ich citiere diesen Satz, der den Wert seiner Angabe beeinträchtigt, weil ich auch sonst auf solche theoretischen Gegengründe stosse. Wie die Accommodation das Sehen verbessert, man aber doch auch ohne Accommodation sehen kann, so verschärft die Accommodation des Ohres das Hören für die betreffende Tonhöhe, aber dass man ohne Accommodation taub sein sollte, ist doch in keiner Weise möglich noch irgend zu begründen.

Pollack (25) bringt eine Reihe von Experimenten über die Accommodation und fand meine Beobachtungen bestätigt, aber über die letzterwähnte Sache giebt er keine Befunde. Er experimentierte mit einer 10 cm langen Nadel (die mir zu lang gewählt erscheint). Ein völlig tauber Hund reagierte nicht. Er wies ferner nach, dass bei Zerstörung der einen Schnecke der Muskel noch bei Schalleinwirkung auf das nicht operierte Ohr reagiert; wurde aber auch die andere Schnecke zerstört, so hörte jegliche Reaktion auf. Bei Zerstörung der Medulla oblongata hörten die Reaktionen auf. Bei einem Hunde wurde versucht vom Grosshirn aus den Muskel zu reizen,

doch ohne Erfolg. Nach Abtrennung des Muskels vom Hammer zeigten sich doch noch an diesem (der Muskel selbst bewegte sich stärker) kleine Reflexbewegungen, die von den Reflexen des *M. stapedius* herrührten.

Von V. Hammerschlag (26) sind sehr eingehende Untersuchungen über den Verlauf der reflektorischen Nervenbahnen für den Tensorreflex angestellt worden. Hammerschlag isolierte bei jungen Katzen und Hunden den Hammer, so dass er nur noch an der Sehne des Tensors hing; die Tensorbewegungen werden dabei ausgiebiger, doch muss nach jedem Versuch der Hammer wieder zurecht gelegt werden. Er zerstörte die Schnecke mit dem *N. acusticus*. Bei elektrischer Reizung von dem centralwärts laufendem Stamm des *Acusticus* aus war der Tensorreflex nicht zu erzielen. Daraus wird geschlossen, dass der Reflex vorläufig nur durch adäquaten Reiz des *Acusticus* zu erzielen sei. (Wahrscheinlich ist für die Reizung ein Induktionsapparat verwendet. Da nun der Reflex nach allen bisherigen Befunden durch tiefe Töne nicht hervorzurufen ist, stellt sich die interessante Frage, ob etwa entsprechend rasche Unterbrechungen des Stromes nicht doch den Reflex hervorbringen würden; ich möchte das erwarten.) Die Versuche stellen fest, dass neben der Reflexbahn auf der gleichen Seite noch eine solche da ist, die den *Acusticus*kern mit dem motorischen Trigeminuskern der anderen Seite verbindet, doch ist ein etwas kräftigerer Schall für diesen Weg erforderlich. Der Faserverlauf für die Übertragung nach der anderen Seite wurde physiologisch festgestellt. Von dem Grosshirn aus konnte ein Einfluss auf den Reflex weder durch Reizungen noch durch Abtragungen nachgewiesen werden, es zeigte sich im Gegenteil nach Durchtrennung der *Crura cerebri* und gänzlicher Lösung des Zusammenhanges mit den Vierhügeln und der *Medulla oblongata* der Reflex unverändert, die Bahn musste also in der letzteren liegen. Durch eine Reihe sorgfältiger Versuche an der Katze wurde dann festgestellt, dass die wirksame Durchschneidung in der Höhenlage der *Striae acusticae* geschieht. Es findet sich in dieser Höhe eine dorsale Bahn zwischen den seitlich an der *Medulla* liegenden Ganglien des *Tuberculum acusticum* und dem vorderen *Acusticus*- resp. *Cochleariskern*; und vermitteltst der *Fibrae arcuatae* nach der anderen Seite und von denselben Ganglien aus eine ventrale Bahn, die teils durch, teils unter der oberen Olive zur anderen Seite hinübergeht. Durchschneidungen der oberen Bahn resp. der *Striae acusticae* liessen den Reflex dem Anschein nach intakt, bei Durchschneidung der unteren Bahn war er aufgehoben. Die Verhältnisse werden durch Zeichnungen und Abbildung der Präparate instruktiv demonstriert. Bei dem Menschen dürften die anatomischen Verhältnisse nicht sehr verschieden liegen. Es muss erwähnt werden, dass zwar der Weg durch die unteren Querbahnen somit sicher nachgewiesen ist; da aber diese nicht isoliert durchschnitten wurden, ist noch nicht ausgeschlossen, dass auch durch die *Striae* Reflexfasern nach der anderen Seite hinüber gehen.

Die Lage des Reflexcentrums ist von Hammerschlag neuerdings (29 a) mit Hilfe von Schnitten quer durch die Medulla oblongata junger Katzen festgestellt worden. Die proximale Grenze reicht bis an die hinteren Vierhügel heran. Wenn die Länge zwischen Calamus scriptorius und dem die hinteren Vierhügel verbindenden Frenulum in drei gleiche Teile geteilt wird, so findet sich die distale Grenze zwischen kaudalem und mittlerem Drittel. Zur Orientierung diene die folgende Figur nach Hammerschlag.

Die berichteten, als gesicherte Thatsachen erscheinenden Beobachtungen blieben unbefriedigend, so lange man nicht am Menschen das Resultat dieser

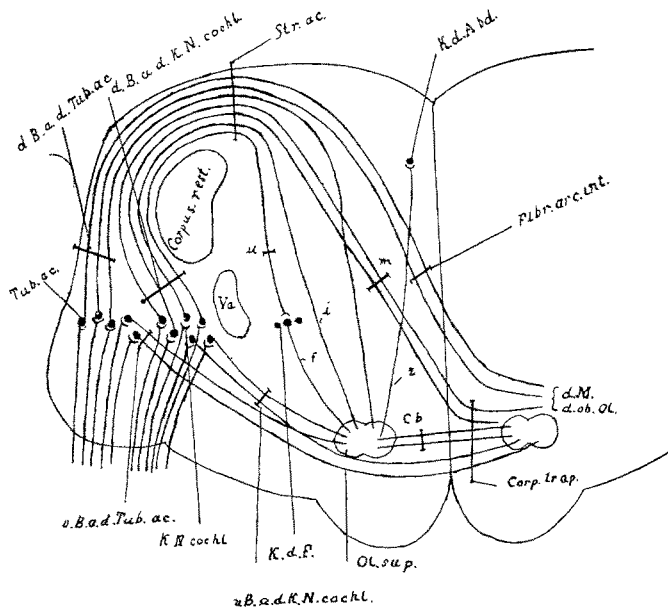


Fig. 1.

K. N. cochl. Kern des N. cochlearis. Die Linien, die von dort zu der Olive, Ol. sup., und weiter zum Corpus trapezoides, Corp. trap., gehen, stellen die Fasern vor, bei deren Durchschneidung der Reflex nicht mehr nach der anderen Seite hinüber geht. Str. ac.: Striae acusticae.

Muskelbewegungen, (ich habe gesehen, dass der Stapedius sich ebenso wie der Tensor verhält), als Accommodation nachweisen konnte. Nachdem ich lange Zeit der Frage meine Aufmerksamkeit zugewendet habe, ist es mir (27), wie ich nicht anders glauben kann, geglückt, den Vorgang zur Wahrnehmung zu bringen. Wenn man bedenkt, wie unbewusst die Accommodation des Auges vor sich geht, kann es nicht wundern, dass die Accommodation des Ohres schwer zur Beobachtung zu bringen ist. Es war nur das Licht der Hypothese, dessen Strahl ebensowohl sehend wie blind machen kann, das mich leitete. Hier möchte ich erwähnen, dass, wenn man einen sehr leisen Ton hört, dann das Ohr verschliesst und wieder frei giebt, erst nach einiger Zeit, oft nach mehr wie einer Sekunde der Ton wieder aufgefunden wird.

Ich hielt das für eine Accommodationserscheinung, denn ein lauterer Ton wird augenblicklich wieder gehört, aber der Zeitverlust bis zum Hören des Tons war so wechselnd, dass ich die Verfolgung der Sache aufgab. Es muss indessen nach meiner Hypothese durch die Accommodation eine, wenn auch vorübergehende, Verschärfung des Hörvermögens stattfinden. Es ergab sich etwas später, dass ein Ton von gegen 400 und mehr Schwingungen sich vorübergehend recht deutlich verstärkt, wenn gleichzeitig eine Pendeluhr oder besser ein Metronom schlägt, und man auf den Ton merkt. Die Erscheinung ist auffallend genug, um sie einem grossen Hörerkreis vorzuführen. Sie scheint nach einem Versuch als undeutliche Intensitätsänderung auch vom Steigbügel allein vermittelt werden zu können. Die Reaktion tritt verhältnismässig langsam auf, so dass sie sich bei Metronomschlägen von über 200 die Minute merklich verwischt. Ich denke, dass zunächst die Muskeln auf das Metronomgeräusch reagieren, dabei aber der Ton durch das Metronom übertäubt wird; vergeht das Geräusch, so tritt die Reaktion auf den Ton, also dessen Verstärkung ein. Der Vorgang setzt voraus, dass das Trommelfell nur infolge seiner Steifigkeit steht, also über die zugehörige Abstimmung, die, wenn überhaupt vorhanden, niedrig sein muss, hinaus durch Spannung abgestimmt werden kann und dann trotz der Erschlaffung des Muskels noch einige Zeit die der Abstimmung entsprechende Schwingung beibehält. Dies Verhalten lässt sich an gewissen Toninstrumenten leicht feststellen; z. B. eine Zungenpfeife schwingt unter einem Luftstrom, der zu schwach ist, sie zum Schwingen zu bringen, dauernd weiter, wenn man sie zunächst nur in Gang gebracht hat. Übrigens hat Mach für das Trommelfell direkt das geforderte Verhalten nachgewiesen. Dass das Trommelfell nicht eigentlich in Spannung, sondern gerade an der Grenze von Spannung und Erschlaffung steht, habe ich schon früher angegeben, es lässt sich bei Betrachtung im Sonnenlicht und leisester Berührung von innen leicht erkennen, dass sofort kleine Falten in der Membran entstehen. Obgleich ich die Metronom-Beobachtung auf Accommodationsbewegung bezog, war dabei doch die andere Möglichkeit nicht auszuschliessen, dass es sich um eine reine Kontrastwirkung handle. Da ergab sich aber, dass durch Mitbewegung, von der übrigens schon L. Fick und Lucae, neuerdings auch Stumpf berichtet hatten, eine entsprechende Erscheinung zu erzielen sei. Die genannten Autoren konnten damals nicht wissen, wie die Muskeln sich eigentlich bewegen, dass sie nur eine kurze tetanische Bewegung machen, ich hätte indessen ihre Angaben besser beachten können. Es zeigt sich, dass die Stimmgabel sofort eine Tonschwellung giebt, wenn man die Nasenflügel oder wenn man den Mund kräftig schliesst, besser vielleicht noch, wenn beides zugleich geschieht, doch ist die Verstärkung weniger deutlich als nach dem Metronomschlag. Selbst bei energischer Kontraktion der Extremitätenmuskeln wird eine Tonverstärkung durch Mitbewegung bemerklich. Ich fand aber weiter, dass eine Tonschwellung erfolgte, während ich zusah, wie andere

zur Prüfung der Erscheinung die Nasenflügel bewegten, und dieselbe Erscheinung hatten auch andere, wenn man sie aufforderte, während sie meine Bewegung beobachteten, zugleich auf den Ton zu achten. Diese Empfindlichkeit geht allerdings über meine Erwartung hinaus, aber sie entspricht denn doch dem, was wir über Mitinnervation beobachteter Bewegungen wissen und dem, was darüber Stricker geäußert hat. Darum braucht dennoch die Muskulatur des Cavum tympani nicht fortwährend in Thätigkeit zu sein, denn wie wir nur dann mit dem Auge accommodieren, wenn wir etwas besonders beobachten, so wird gleiches bei dem Ohr der Fall sein. Es mag auch sein, dass die Muskeln in Thätigkeit kommen, wenn wir nach einem Schall suchen, den wir vermuten oder nur undeutlich heraushören, also wenn wir lauschen, wobei freilich auch verschiedene Spannungen fortwährend durchlaufen werden müssen. Ich kann das aber noch nicht beweisen. Vielleicht ist es zum Teil Übung der Accommodation, wenn man aus einem Klang die Teiltöne heraus hören kann. Gegen die vielfach noch festgehaltene Hypothese von J. Müller, dass die Muskeln Schalldämpfer und Schützer seien, habe ich bemerkt, dass man Knall und sonstige gefahrbringende Explosionen in der Regel nicht im voraus wissen könne. Würde ein Schutzengel, ehe der Knall das Ohr trifft, eine Kontraktion veranlassen, so würde das ein falscher Schutz sein, denn eine gespannte Membran wird durch die hinzutretende Gewalt leichter zerrissen als eine ungespannte. Schutz würde doch wohl nur das Gegenteil, eine Relaxation geben können, selbst das Labyrinth würde dadurch mehr geschützt. Man könnte eine Analogie mit der Iris anrufen wollen, aber die enge Pupille verschärft das Bild, der Schutz gegen Licht ist weniger wichtig. Ostmann hat geglaubt, die Hypothese von Müller neu gefunden zu haben und hat sie in einer Arbeit über die Accommodation verfolgt. Hammerschlag hat in einer Polemik mit Ostmann dargelegt, dass darin kein Fortschritt der Wissenschaft liegt. Ich begnüge mich auf diese Veröffentlichungen zu verweisen (28—31).

Bezold (34) hat die Verhältnisse bei einer Person, die den Tensor willkürlich spannen konnte, untersucht. Dabei rückte die untere Tongrenze von 16 v. d. bis B_{-1} und E hinauf, A (vermutlich 55 v. d.) wird um 18'' verlängert gehört gegenüber dem normalen Verhalten.

Ostmann hat (32) einem Hunde das Trommelfell von aussen her frei gelegt und dann später die Beobachtung gemacht, dass wenn eine verborgen gehaltene Katze zum Miauen gebracht wurde, sofort eine Bewegung am Trommelfell eintrat. Diese Bewegung wird auf eine Zuckung des M. stapedius bezogen. In einer späteren Arbeit (33) werden Abbildungen lauschender Personen gegeben, da dabei gewisse Veränderungen des Gesichtsausdruckes beobachtet wurden, doch wird bemerkt, dass der Autor über die Beteiligung des Stapedius beim willkürlichen Lauschen noch zu keinem sicheren Urteil gekommen sei.

Kopfknochenleitung.

Ein Gegenstand ganz besonderer Schwierigkeit scheint die Knochenleitung zu sein. Es unterliegt keinem Zweifel, dass diese bei dem Hören immer in Betracht zu ziehen ist, denn wie nachgewiesenermassen von dem Knochen aus die schalleitenden Membranen in Bewegung gesetzt werden, so muss auch der umgekehrte Prozess stattfinden. Meiner Ansicht nach ist es unwahrscheinlich, dass der Schall von jeder beliebigen Wandungsstelle des Labyrinth aus wirksam in dieses eindringen könne; dass er eindringt, ist allerdings als sicher zu betrachten. Wir finden schon bei den Fischen bestimmte Wege für den Schalleintritt gebahnt: bei solchen mit Schwimmblase tritt von dort aus ein Weg in das Labyrinth; bei solchen ohne Schwimmblase tritt oft, wie das besonders die schönen Abbildungen von Retzius zeigen, der *Aquaeductus vestibuli* derart mit blasenartiger Erweiterung unter die Haut, dass ich hier den Weg für die Wirkung des Schalls auf das Labyrinth suchen möchte. Für den Menschen schien mir besonders folgende Beobachtung charakteristisch. Wenn man vom Kopfe aus den Schall einer tieferen Gabel etwa c' , 256 v. d. einleitet, die Ohren mit den in den Gang eingeführten Fingern schliesst und dann durch Verschieben der Finger die Membran periodisch nach aussen zieht, also schlaff macht, so *verschwindet gleichzeitig* der Ton. Dabei wird freilich zwar der Steigbügel wegen des Sperrgelenkes kaum bewegt werden, aber die Membran des runden Fensters kann eine Mitbewegung erleiden. Auch die Wasserleitungen können davon getroffen werden. Wenn diese nach Bezold's Untersuchungen am Präparat auch meistens ziemlich gut schliessen, so werden doch durch die Präparation kleine Verschiebungen der Dura eingetreten sein, die die Freiheit des Weges, der doch normal zum Offenstehen bestimmt sein dürfte, beengen.

Ich sehe das geringste Bedenken in einer Verlegung der Schalleintrittsstelle auf das runde Fenster. Es ist das eine Umkehr des Weges durch die Schnecke, aber in beiden Fällen, vom Stapes, wie von dort, liegt die Radix der Schnecke gleich günstig exponiert; nur müsste der fernere Weg der Massenbewegung der Labyrinthflüssigkeit durch die *Aquaeductus*, namentlich den des *Vestibulum* gehen. Ein dritter Weg wäre durch letzteren in das Labyrinth, auch er wäre möglich, und alle drei Wege werden durch den obengenannten Versuch betroffen. Dringt aber der Schall beliebig in das Labyrinth ein, so könnte man an eine schwingende Bewegung der *Lamina spiralis ossea* denken, die ja schon in früherer Zeit mit in Erwägung genommen wurde.

Bezold (35) berichtet über eine Reihe von Fällen von Stapes-Ankylose, die sowohl im Leben auf das Hörvermögen, als auch bei dem einige Wochen später erfolgten Tode sehr genau, manometrisch durch Einkitten einer Kapillare in den oberen halbzirkelförmigen Kanal, und in Schnittserien untersucht wurden. Bei sonst grosser Schwerhörigkeit ergab sich überein-

stimmend bei Ankylose auf beiden Ohren eine sehr nennenswerte Verbesserung der Knochenleitung für die tiefen Töne; so wurde das A 106 v. d. (?) 19 Sekunden länger gehört als normal, und höhere Töne mindestens gleich lang, trotzdem die Steigbügelplatte unbeweglich war und mehrere Knochenbrücken zu ihr hinüber führten. Die Membran des runden Fensters war gut beweglich, und Luftdruckveränderungen in der Paukenhöhle gaben recht gute Ausschläge. Solche Befunde sind von Bezold mindestens dreimal gemacht und von anderen Ohrenärzten bestätigt worden. Die Thatsache einer Verbesserung der Knochenleitung kann wohl nicht bezweifelt werden. Eine Erklärung kann in einer Verbesserung der Schalleitung, einer Hinwegräumung eines Hindernisses, oder in beiden gesucht werden. Eine Verdichtung des Knochengewebes wird zwar dabei zuweilen gefunden; indessen im Alter verdichtet sich das Gewebe und doch wird die Knochenleitung schlechter, so dass kaum an eine Verbesserung dadurch oder durch die sonstigen Befunde gedacht werden kann. Bei freier Beweglichkeit des Steigbügels lässt sich ein Hindernis konstruieren. Der Schall namentlich tieferer Töne kommt so an das Labyrinth, dass die Welle fast mit der gleichen Phase sowohl durch die Knochenleitung an rundes und ovales Fenster, wie durch Luftleitung an das runde Fenster kommt. Es beeinträchtigen sich also die Schwingungen beider Teile gegenseitig; das gilt auch für die durch den Aquaeductus vestibuli eintretenden Bewegungen. Fällt die Beeinträchtigung durch die Steigbügel-schwingungen aus, so *kann* die Membran des runden Fensters stärker schwingen. Sollte der Ton überall durch die Wände in das Labyrinth eindringen, oder würde die Lamina ossea direkt vom Knochen aus in Bewegung gesetzt, so würde der Vorgang durch Ankylose des Steigbügels kaum eine Verbesserung erfahren können. Mich befriedigt diese Erklärung, der sich, wie ich aus gelegentlicher Bemerkung entnehme, auch Bezold zuneigt, nicht sehr, aber sie weist doch weiteren Forschungen eine bestimmte Richtung.

Es ist hier der Ort über die einschlägigen Untersuchungen von Mader (36) zu berichten. Es wird von ihm eine neue und sehr genaue messende Untersuchung der Schallwirkung durch das Mikrophon eingeführt. Der Apparat besteht wesentlich in einem, durch Feinstellung an den zu untersuchenden schwingenden Teil angelegten, Stift c. Dieser sitzt an einem mit Kohlenstaub gefüllten Säckchen B, durch das ein galvanischer Strom geleitet wird, der weiterhin eine Bussole g umkreist und an ihr eine Ablenkung von 3° erzeugen soll, wonach sich die Stärke der Anpressung des Stiftes reguliert. Ein anderer Strom, der nur unter Ausschaltung des Bussolenstromes benutzbar war, ging in den Kreis einer Induktionsspirale y und erregte einen Telephonstrom, der an einem, in entferntem Raum aufgestellten, Telephon T gehört wurde und dessen Hörbarkeit. resp. Hördauer die Wirkung des Tones an dem geprüften Ort auf den Kohlenstaub resp. auf die Leitungsverbesserung desselben durch die Schwingung ermessen liess. Die eintretende Wirkung

hängt, wie Mader betont, nicht von der Amplitude, sondern von der Kraft, mit der die Kohlenteilchen an einander gedrückt werden, ab. Ich meine, dass also eine mehr oder weniger proportionale Wirkung mit der lebendigen Kraft, d. h. Masse mal Quadrat der Amplitude angenommen werden muss. Die Prüfungen geschahen in sehr vorsichtiger Weise durch Einleiten des Schalles vor oder in den Gehörgang des Präparates mittelst Kautschukschlauches, Erregung der Stimmgabel durch Ausreissen eines Sperrstabes oder durch den Auffall eines Kügelchens auf eine Branche aus konstanter Höhe. Es musste natürlich an Präparaten beobachtet werden, möglichst waren sie frisch. Auch wurden Resonatoren verwendet, die durch entsprechende Stimmgabeln erregt wurden, ausserdem wurde das Geräusch einer fallenden Kugel auf

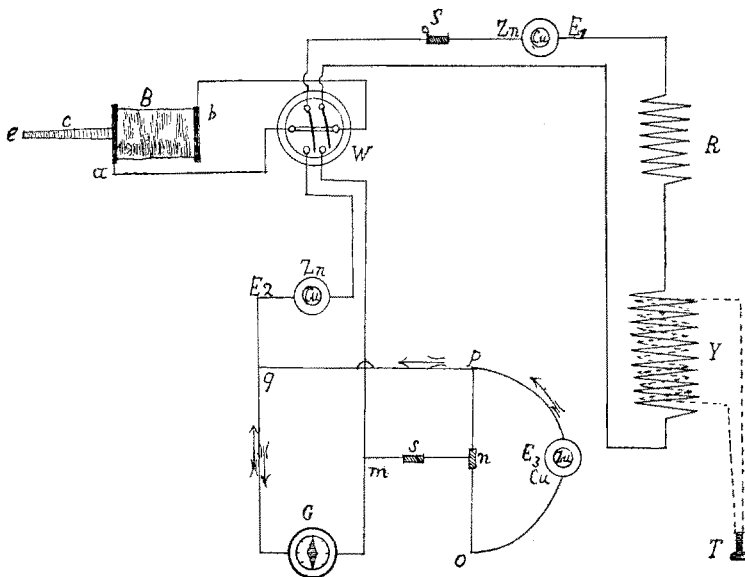


Fig. 2.

eine Mareysche Trommel benutzt. Es ergab sich am, von innen her nach Entfernung des Ambosses, untersuchten Trommelfell, dass sein hinterer unterer Abschnitt am stärksten wirkte, am schwächsten wirkte der vordere obere Abschnitt. Es wurde ferner der in der Fortsetzung des Manubrium liegende Radius untersucht; das am Hammer liegende Drittel gab die stärkste, das mittlere trotz grösserer Amplitude, schwächere, das äusserste Drittel noch etwas schwächere Wirkung. Untersuchung der Wirkung der Gehörknöchelchen von der Wurzel des langen Fortsatzes des Ambosses, vom Hammerkopf und von innen her an der Steigbügelplatte ergaben für niedere Töne und für Geräusche eine Wirkungsabnahme in der genannten Reihenfolge, nur für einen Ton von 600 v. d. (der tiefere Ton hatte 240 v. d.) war der Steigbügel ein wenig stärker wirkend, als die anderen Knöchelchen. Es müsste, wie Mader bemerkt, nach den Hebelverhältnissen eigentlich der Steigbügel am

kräftigsten wirken, doch ist vielleicht seine in Rechnung zu ziehende Masse etwas gering. Der sehr leise Ton 240 v. d. durch langen Schlauch in das eine Ohr einer frischen Leiche geleitet, wurde durch den aussen an den Warzenfortsatz der anderen Seite angelegten Stift noch unzweifelhaft gehört. Im allgemeinen fand sich, dass die kompakte Knochensubstanz den Schall immer besser leitet, weniger Verlust des eingedrungenen Schalles ergibt, als die Spongiosa. Mader spricht sich entschieden gegen Ewald für die Entstehung von Schwebungen durch Durchkreuzung der beiden Tonwellen mittelst Knochenleitung aus, so dass nicht erst im Sensorium diese Einwirkung entstehe. Wenn der Stift von innen auf die Stapesplatte gesetzt wurde und dann ein Ton durch Schlauchrohr bis dicht vor den Gehörgang geleitet wurde, so hörte man den Ton durch die Stapesplatte fast doppelt so lange, als nachdem das Trommelfell durchschnitten war; aber nach dem Durchschneiden war die Knochenleitung recht merklich, um 10% und mehr verstärkt. Es wurde dann eine Stimmgabel von 428 v. d. in die Schuppe eines Präparates eingeschraubt und ein Gewicht von 0,26 G. aus 7 cm Höhe auf die eine Branche fallen gelassen. Wurde der Stift auf die Mitte der Steigbügelplatte aufgesetzt, so war die Hördauer 11,6 Sek., wurde dann das Ambossteigbügelgelenk durchtrennt, so wurde die Dauer des Abklingens auf 10 Sekunden gekürzt. Daraus ergibt sich, dass die Schallübertragung vom Knochen auf den Steigbügel sehr bedeutend ist „und“, sagt Mader, „wenn wir von osteotympanaler Leitung sprechen, so kommt hierbei fast nur der Steigbügel in Betracht.“ Auf die Stärke der lebendigen Kraft, die vom Knochen aus direkt auf den Stift übertragen wird, legt Mader grosses Gewicht, doch ohne zu verkennen, dass beim Knochen die Masse, die wirkt, wohl als sehr gross der Amplitude gegenüber anzunehmen ist. Er tritt lebhaft für die direkte Knochenleitung auf das Labyrinth ein. Er betont die besondere Dichte des Knochengewebes um das Labyrinth herum; doch könnte, meine ich, dieser Umstand auch darin seine Erklärung finden, dass das Labyrinth ganz besonders gegen mechanischen Insult durch Ein- und Durchbiegungen der Wände geschützt werden soll. Mader sagt . . . „Da im Verhältnis zu den linearen Dimensionen des Felsenbeines die Schallwellen im Knochen sehr lang sind und die Geschwindigkeit, mit welcher sich jeder Anstoss derselben durch die kleine feste Masse des Felsenbeines verbreitet im Verhältnis zur Dauer der Schallschwingungen in der Regel so gross ist, dass man die in einem Momente vorhandenen Einwirkungen einer Schallwelle so gut wie durch die ganze Masse verbreitet annehmen muss, so haben wir uns den Effekt jeder Schallwelle als eine aufeinanderfolgende Verdichtung und Verdünnung der Masse vorzustellen, somit auch als Verkleinerung und Vergrösserung der in das Felsenbein eingebetteten Hohlräume. Jede solche Verkleinerung wird das Labyrinthwasser unter erhöhten Druck setzen, d. h. die Membran des runden Fensters ausbauchen, die Vergrösserung wird um-

gekehrt wirken. Dadurch sind die Bedingungen für die Erregung des Cortischen Organs gegeben.“ Wie mir scheint, führt diese Anschauung darauf, dass der Knochen selbsttönend werde, aber das trifft nicht zu, es wird doch nur der Knochen von den Schallwellen durchsetzt. Falls nicht etwa Reflexionen des Schalles in dem Knochen eine Rolle spielen, so kann doch nur der Unterschied der Wellenphase an den gegenüberliegenden Wänden des Labyrinths seine Erweiterung oder Verengung und somit eine Verschiebung des Labyrinthwassers bewirken. Die Elongation der Labyrinthwand muss äusserst klein sein, denn gelegentlich der später zu erwähnenden Untersuchungen von Deetjen zeigte sich, dass bei Zuleitung eines starken Tones weder an der Labyrinthwand mikroskopisch die geringste Bewegung zu sehen war, noch ein Spiegelbild auf kleinen Quecksilbertropfen, die auf der Knochenwand lagen, die geringste Verzerrung erkennen liess, während die Steigbügelplatte in beiden Fällen eine starke Bewegung zeigte. Nehme ich die Elongation zu 0,0002 mm, also noch mikroskopisch sichtbar, die Wellenlänge im Knochen 1 m, den Abstand der Labyrinthwände zu 5 mm und die stossende Labyrinthwand zu 20 mm² Oberfläche an, so finde ich den Phasenunterschied der Welle zu höchstens 2° und es berechnet sich die Verdrängung des Wassers zu 0,00007 mm³. Die Raumbewegung in 0,01 Sekunde durch den Arterienpuls möchte ich für erheblich höher veranschlagen¹⁾, und die Wasserverschiebung durch den Steigbügel, die Helmholtz zu 0,16, Bezold zu 0,11 mm³ veranschlagt, wird bei schwacher Tonintensität auf die oben genannte Grösse noch lange nicht herabsinken. Ich bin daher der Ansicht, dass die von Mader entdeckten Thatsachen noch nicht zu der Annahme einer Hörempfindung durch Eintritt von Schallwellen von der Labyrinthwand aus zwingen.

Die Gehörempfindung.

Die Methoden der Gehörprüfung.

Die Veröffentlichungen der Ohrenärzte über die Gehörprüfung sind sehr zahlreich. Ich kann darüber nicht ausführlich berichten, so sehr ich auch das ernste und, wie ich glaube, mit ausreichendem Erfolg gekrönte Streben hochachten muss. Die Prüfung geschieht zum Teil mit der Sprache, sie ist natürlich nicht genau zu machen, aber für den Patienten ist das Sprachgehör das wichtigste. Laute Sprache kommt nur bei recht Schwerhörigen in Betracht, die Flüstersprache wird nach dem Vorgange Wolfs in ausgedehntem Masse benutzt. Die normale Hörweite, die, wie erwähnt, etwas strittig ist, was ja

¹⁾ Leider ist die schöne Darstellung der Labyrinthgefässe von Eichler (37) für die physiologische Beurteilung nicht geeignet, weil keine Messungen gegeben werden und weil nicht gut ersichtlich ist, welche Gefässe dem Druck der Endolympe ausgesetzt sind.

nicht wundern kann, dient bei der Protokollierung als Nenner, die gefundene Hörweite als Zähler. Die erforderlichen Entfernungen bei einigermaßen gutem Gehör sind noch etwas gross und die Ruhe in der Umgebung dürfte häufig zu wünschen lassen, aber es ist ein grosser Vorteil, dass das Gehörte wiederholt werden kann. Als Entfernung, in welcher Flüstern noch gehört wird, gilt 18 m, beim Militär 23 m. Nach Matte (37a) wurden von normal hörigen Soldaten noch in der Entfernung von 35 bis 40 m geflüsterte Zahlen sicher verstanden. Am gebräuchlichsten sind Zahlworte. Für akustischen Schall empfiehlt sich, wenn gut gearbeitet, Pollitzers Hörmesser. Auf einen kleinen, über Hörbereich hoch tönenden Stahlcylinder fällt aus stets gleicher Höhe ein kleines Hämmerchen und erzeugt ein tickendes Geräusch, das wenn gleichmässig an allen Apparaten, dem Ticken einer Taschenuhr vorzuziehen sein dürfte. Für Klangprüfung hat eine wohlausgestattete Klinik eine Stimmgabelreihe von Bezold und Edelmann, die von 14 v. d. beginnend bis zu c''' gehen. Höher hinauf vertritt jetzt wohl meistens die geaichte und modifizierte Galtonpfeife, die bis mindestens 40000 v. d. geht, die Koenigschen Klangstäbe. Die Stimmgabeln werden verwendet, indem man die Hörzeiten, während deren ein gesundes und das kranke Ohr sie nach möglichst gleichmässigem Anschlag noch hört, feststellt und indem man ihren Stiel auf einen Kopfknochen, meistens Proc. mastoideus setzt. Bei letzterem Verfahren wird unterschieden der Webersche Versuch: Verschluss des einen Ohres, wo bei Gesunden der Klang, der sonst in die Mitte des Kopfes verlegt wird, in das verschlossene Ohr verlegt und lauter gehört wird; der Rinnesche Versuch, der als Norm ergibt, dass man eine dicht vor dem Ohr abschwingende Stimmgabel dort, also durch die Luft, länger hört, als wenn sie auf den Kopf gesetzt wird, den umgekehrten Fall bezeichnet man als negativen Rinne; der Schwabachsche Versuch, der verlangt, dass bei Schalleitungshindernissen die Stimmgabel bei Kopfknochenleitung länger als normal gehört wird; ist dies dann nicht der Fall, so leidet auch das Labyrinth. Endlich ist gebräuchlich der Gellésche Versuch. Bei diesem wird die Luft im äusseren Gehörgang durch Ballondruck bei geschlossenem Gang so stark verdichtet, dass die Kopfleitung geschwächt erscheint, vermeintlich wegen Druckes auf das Labyrinth. Ist der Steigbügel ankylosiert, so tritt die Abschwächung nicht ein. Auf diese Methodik gehe ich nicht weiter ein, nur in bezug auf den Rinneschen Versuch habe ich eine Bemerkung zu machen. In meiner Physiologie hatte ich den Versuch so modifiziert angegeben, dass ich zunächst die Stimmgabel ziemlich dicht ans Ohr bringe; ist sie hier verklungen, so hört man den Ton noch von den Zähnen aus, endlich hört man ihn noch wieder, wenn man den Stiel in den Gehörgang einführt. Wie Lucae richtig erkannt hat, ist die Gabel nur deshalb ziemlich dicht am Ohr zu halten (beim Gesunden!), um den Versuch abzukürzen. Die wesentliche Modifikation liegt doch darin, dass der Stiel allein benutzt wird, *weil Branchen- und Stielton nicht direkt ver-*

gleichbar sind. Es fehlt bisher ein Versuch, die beiden Tonstärken vergleichbar zu machen. Dies ist auch um so schwerer, als die von Weber entdeckten Interferenzen an den Kanten der Gabeln eine grosse Erschwerung bilden würden. Dennert (38) führt die Stimmgabeln vor dem Ohr mit konstanter Geschwindigkeit hin und her, um die Zeit zu ermitteln, die der Ton nach gewisser Abschwächung braucht, um gehört zu werden; aber diese Interferenzen müssen doch recht hinderlich werden. Bei dem Einführen des Stieles in den Gehörgang besteht der bedenkliche Umstand, dass die Resonanz des Ganges dabei geändert wird. Das geschieht freilich auch, wenn man die Branche möglichst dicht an das Ohr hält; bringt man den Zwischenraum zwischen den Branchen vor das Ohr, so hat man wieder ganz andere Intensitäten. Vorteilhaft ist, dass der eingeführte Stiel Aussengeräusche fernhält.

In meiner Physiologie des Ohres (S. 120) hatte ich meinen Befund erwähnt, dass die Stimmgabeln nicht in gleicher Weise und nicht genau in geometrischer Weise abschwingen. Da nunmehr in dieser Richtung ungemein viele Untersuchungen angestellt worden sind, bedauere ich, mein Verfahren nicht angegeben zu haben. Ich beklebte die Spitzen der beiden Branchen mit etwas dunklem Glimmer in der Weise, dass die schräggelassenen oder ausgezackten Blätter bei der Schwingung übereinander griffen, und also genau der Augenblick ersehen werden konnte, wo bis zu bestimmten Graden ein Abschwingen stattgefunden hatte. Beobachtet wurde mit 200facher Vergrößerung, die Zeiten wurden mit Hippischen Chronographen bestimmt. Es ist jetzt ein Verfahren von Gradenigo (39), das in dem ersten Teil dem meinen sehr ähnlich ist, und das sehr gelobt wird, beschrieben worden. Auf die eine Branche wird die Figur eines A angebracht (doch wohl mit einigen Teilstrichen mehr) und dann nach den optischen Formen, die die Figur bei dem Schwingen annimmt, die Amplitude bestimmt. Quix (40) giebt davon eine Darstellung. Quix erwähnt gelegentlich einer anderen Untersuchung, dass er ein Gleichbleiben des logarithmischen Dekrements nicht genügend haben finden können. Es handelt sich ja kaum, im Gegensatz zu den Pendelschwingungen, um den Widerstand der Luft, sondern um Reibungen am Stiel und in der Gabel. Da die beiden Branchen absolut gleich nicht hergestellt werden können, mögen sogar periodische Verstärkungen der Widerstände das Abschwingen beeinflussen. Es ist eine sehr ausgedehnte Litteratur über die Stimmgabelschwingungen entstanden, verschiedene Apparate zur Beobachtung des Abschwingens sind erfunden. Jacobsen (41—43) und Barth (44) haben die Schwingungen photographiert, andere haben sie kontinuierlich oder periodisch (Bezold und Edelmann 45) aufschreiben lassen, Schmigelow (46) hat das Abschwingen nach Hörschwellen bestimmt und so ist sehr viel Arbeit auf die Frage verwendet worden. Ich habe mein ausgearbeitetes Referat über diese Untersuchungen gestrichen und begnüge mich, einige Litteratur anzugeben, weil ich zu der Ansicht gekommen bin, dass für strenger wissen-

schaftliche Untersuchungen selbst elektrisch getriebene Stimmgabeln, die immer etwas interferieren, nicht so recht zu brauchen sind. Wegen der zusammengebogenen Form ist auch die Tonintensität nur äusserst mühevoll abzuleiten. Die Stimmgabel des Otologen wird ihn in seinen Diagnosen nicht leicht täuschen, aber über diesen praktischen Gebrauch hinaus zu gehen, erscheint misslich.

Für Erzielung gleich starken Anschlages sind federnde Hämmer, Sperrhölzer, Klammern und anderes vorgeschlagen, gewiss für die Praxis genügend, aber doch kaum vollkommen sicher. Die Schnelligkeit des Abklingens, die Ermüdung bedingende Dauer des Tones sind gleichfalls Momente, die Einfluss gewinnen können. Zur Orientierung über die Lage der Stimmgabelprüfungen sind zunächst die Schriften unter 47 bis 49 a zu empfehlen.

Wirkung der Steigbügelbewegung.

Es liegen einige Beobachtungen über die Massenbewegung im Labyrinthwasser vor, von mir (50), Deetjen (51) und Klein (52). Wir fanden, dass

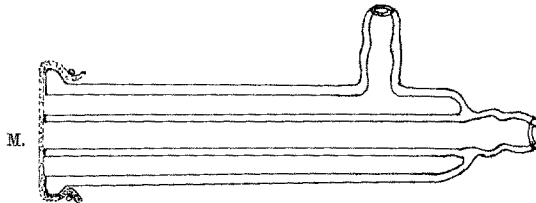


Fig. 3.

eine tönende Membran, wie sie durch Kleins Membranpfeife (52) hergestellt wird, feste Körper an ihre Mitte mit recht grosser Energie heranzieht, dagegen an ihrer Peripherie abstösst, vorausgesetzt, dass sie schwerer sind als das Medium, Luft oder Wasser, in dem sie sich befinden.

Ein Glasrohr, wie es die Fig. 3 zeigt, wird mit einer starken Kautschukmembran, M. überbunden, doch kann man den Apparat auch von Metall machen und eine dünne Metallplatte auflöten. Es entsteht ein kräftiger Klang verschiedener Höhe, je nachdem man Luft oder Wasser, sei es von dem inneren oder von dem äusseren Rohr aus einströmen lässt. Die Pfeife tönt ebensogut in Wasser, wie in Luft.

Für die Versuche (50) wurde das Labyrinth von oben-innen so angefeilt, dass die Steigbügelplatte sichtbar wurde, auf die Wundfläche wurde ein Glasrohr dicht aufgekittet und der Raum mit Wasser gefüllt. Fein zerriebenes Glas häufte sich auf der Mitte der Stapesplatte an, wurde aber seitlich, namentlich von dem Membranring des Stapes fortgetrieben oder war hier in lebhafter Bewegung. Weber-Liel hat letzteres Verhalten bereits gesehen; es zeigt aber nicht an, dass vor allem in der Membran die Hauptbewegung liege, die Platte selbst wirkt am mächtigsten. An einem Coconfaden wurde

eine Perle von etwa $\frac{3}{5}$ des Volumens der Labyrinthhöhle vor der Platte aufgehängt. Bei Toneinfluss geriet sie, wohl weil nicht völlig rund, in rotierende Bewegung. Wurde sie bis 1 mm an die Platte herangebracht, so wurde sie nach deren Mitte herangezogen, eventuell selbst gehoben. Dies geschah so sicher, dass die Erscheinung im physiologischen Verein gezeigt werden konnte. Es war, als wenn die Perle von Eisen und die Stapesplatte magnetisiert worden wäre. Bei wirklicher Berührung erhielt dann die Perle einen Stoss und flog ab, um sich bald darauf wieder anzulegen. Es ist daran die Bemerkung geknüpft worden, dass die Otoliten dem Steigbügel nahe genug liegen, um von ihrer Unterlage mehr oder weniger gehoben zu werden, bei Aufhören der Bewegung wieder in die Ruhelage zurück sinkend. Deetjen hat (51) die Untersuchung etwas weiter geführt. Er eröffnete die knöchernen Halbzirkelkanäle am Kalbskopf, leitete den Klang einer Membranpfeife oder einer Zungenpfeife (etwa 256 v. d.) in oder an das Ohr und beobachtete, dass eine Strömung von dem Ampullenende aus nach dem weiter vom Steigbügel abliegenden glatten Ende des Kanales ging. Gleichzeitig rotierten und vibrierten Blutkörperchen in der Perilymphe sehr lebhaft. Der horizontale Kanal war der Untersuchung nicht zugänglich, wurde aber am Taubenkopf untersucht. Auch hier verlief die Strömung nach dem glatten Ende hin, doch wurde bei sehr starken Tönen eine Umkehr der Stromesrichtung beobachtet.

Die glatten Enden liegen im allgemeinen der Steigbügelplatte gegenüber, während die Ampullen ihr näher und zu seiten liegen. Deetjen glaubt, dass die Bewegungen sich unbedingt auch der Endolymphe mitteilen müssen. Da ich angegeben habe, dass eine Quecksilbermasse in starke Bewegung gerät, wenn man sie in einem Roseschen Glasrohr in, durch die Membranpfeife in Schwingung versetztes Wasser hält, ist es genügend sicher, dass die Schallbewegung die Wände der häutigen Kanäle durchsetzt wird. Da bei Vögeln die Ampulle den knöchernen Kanal fast abschliesst, möchte ich sogar glauben, dass hier die beobachtete Bewegung von den häutigen Kanälen aus der Perilymphe übermittlelt worden ist. Nachdem auf diese Weise der direkte Nachweis geglückt ist, dass der Schall eine erhebliche Bewegung im Wasser des Labyrinths hervorbringt, erscheint es Deetjen unmöglich, die Erregung der Nervenenden in den Kanälen durch Schall fernerhin zu leugnen. Hätten die akustischen Bewegungen ausschliesslich auf die Schnecke zu wirken, so würde, meine ich, eine Lamelle, nach Art der Lamina modiolii, diesen Teil des Labyrinths von der Schnecke *abgesperrt* haben, um wenigstens den Eintritt von Massenbewegungen zu hindern. So weit sich das beurteilen lässt, werden doch bei der Entwicklung der Sinnesorgane Schwierigkeiten weit höherer Ordnung wie spielend überwunden.

Es sind noch Versuche von Dennert (53) und von Kayser (53a) zu erwähnen über den Einfluss des Wassers auf in ihm erzeugte Töne.

Ersterer fand, dass eine mit Wasser belastete Gabel a' durch eine in Luft schwingende Gabel f' vom Stiel aus in gutes Mitschwingen versetzt wurde. Kayser arbeitete mit Telephonen, deren eines völlig in Wasser getaucht und damit gefüllt war. Die Intensität des Tones von letzterem war dabei bedeutend verringert, aber der Ton war frei von Klirrtönen geworden. Der Versuch gelang, trotzdem das Wasser im Telephon keinen Ausgang hatte.

Die *akustische* Anziehung durch tönende Membranen ist neu, auch ist das Verhalten im Wasser nur sehr wenig untersucht. Im übrigen ist die Wirkung pendulierender Bewegungen schon seit 1883 durch Guyot (54) bekannt geworden. Die Untersuchungen werden von den Akustikern wenig beachtet, sind aber doch physiologisch beachtenswert und neuerdings durch Bjerknes, der freilich nur von pulsatorischen An- und Abstossungen handelt, theoretisch klargestellt. Ich möchte daher durch Einfügung fast aller bezüglichen Arbeiten in das Litteraturverzeichnis (54) die weitere Verfolgung der Sache etwas erleichtern.

Fortpflanzung des Schalles und die Empfindlichkeit des Ohres.

Die Verhältnisse der Fortpflanzung des Schalles haben für die Physiologie des Ohres nicht gerade grosse Bedeutung, aber es muss doch etwas auf die bezüglichen Untersuchungen eingegangen werden. Der Theorie nach müsste wohl die Intensität des Schalles mit dem Quadrat der Entfernung, in der er aufgefangen wird, abnehmen, aber es sind allzuvielen Nebenumstände vorhanden, um dies Verhalten rein zur Beobachtung kommen zu lassen. Es wird die Bewegung grosser Luftmassen etwas Kraft, also Schallintensität absorbieren, ausserdem ist die Luft nicht immer überall gleich dicht, wodurch Veränderungen in der Ausstrahlung des Schalles und Reflexionen erfolgen, ferner entstehen Störungen durch Wind und kleine Geräusche, und vor allem sind Einwirkungen des Bodens unvermeidlich. Kommen dann noch Reflexionen an Wänden vor, die bei Tönen, weniger zwar bei manchen Geräuschen zu Interferenzen verschiedenster Art führen müssen, und bedenkt man schliesslich, dass die Schallquelle nicht leicht für punktförmig gelten kann, so ist es klar, dass man praktisch nicht zu sehr auf die theoretische Notwendigkeit rechnen darf. Kommt nun noch der Gehörgang und der Schalleitungsapparat mit seinen weiteren Komplikationen dazu, so müssen die Ansprüche auf Übereinstimmung von Theorie und Erfahrung sehr herabgemindert werden.

Overbeck (55) hat mit Hilfe einer mikrophonischen Einrichtung und Ablenkung einer Bussolennadel durch die Schallwirkung Intensitätsmessungen ausgeführt. Wie ich glaube, haben die Resultate mit dem schwierigen Apparat nicht ganz den Erwartungen entsprochen, doch hat sich für akustische Geräusche, Fallen einer Kugel, mit Bestimmtheit ergeben, dass die Intensität des Schalles langsamer als die Fallhöhe, vielleicht sogar nur mit der Quadratwurzel aus dieser, anwächst.

Vierordt (56) hat ein Werk über die Schallstärke hinterlassen, das mit jener Gründlichkeit und jenem Fleiss, die wir an ihm gewohnt sind, die Materie umfasst. Sein zu früher Tod hat verhindert, dass ein ganz befriedigender Abschluss gewonnen wurde. Es wird für die Versuche der kurze Schall einer Schiefer-, Zinn-, Eisentafel, die von einer fallenden Bleikugel getroffen wird, benutzt. Auf solche Tafeln wurde ein Conductor aufgesetzt, und der Schall durch diesen, und nicht wie in analogen Versuchen von Schafhäutl durch die Luft, dem Ohr zugeführt. Es ergab sich zunächst, dass nicht die lebendige Kraft des fallenden Kügelchens beim Gewicht p und der Fallhöhe h , also $p \cdot 2 g h$ in Schall umgesetzt wurde, sondern dass statt h ein anderer Ausdruck H einzusetzen war. Der Exponent für h ergab sich nach vielen Versuchen je nach den Gewichten und den Materialien der Platten etwas verschieden und zwar zwischen 0,548 und 0,66; er musste bei vielen Versuchen besonders bestimmt oder doch kontrolliert werden. Es werden mit diesem Apparat die individuellen Hörschärfen bestimmt, die Vierordt als Dynamien bezeichnet, und die den Schwellenwert, bis zu welcher Grenze der Schall noch wahrgenommen wird, bedeuten. Diese Versuche können auch umgekehrt zur Messung der Intensität eines Schalles dienen, wenn man den Schall durch, am Conductor angebrachte, Leitungswiderstände so herabmindert, dass er eben noch an die Hörbarkeitsschwelle tritt. Die Werte der Dynamie sind sehr klein gefunden, bei H. Vierordt etwa 6 mm Fallhöhe eines Gewichts von 0,5 Milligramm. Innerhalb längerer Zeiten wechselt die Hörschärfe nicht bedeutend, am Anfang der Versuche pflegt sie etwas grösser zu sein, als im Verlauf. Jüngere Menschen hören erheblich schärfer. Versuche, die zunächst wesentlich den Zweck verfolgten, die beste Form der ärztlichen Hörrohre zu finden, ergaben, dass ein solider Stab ebenso gut leitet wie ein Rohr, wenn die Massen beider gleich gross sind. Sehr eingehend wird die Widerstandsbestimmung nach theoretischer und praktischer Seite geprüft. Bei ein und demselben Leiter von überall gleichem Querschnitt ist der Verlust an Schallstärke einfach proportional der Länge der leitenden Schicht. Verschiedene feste Körper, Blei, Marmor, Holzarten, schwächen den Schall sehr verschieden, Wasser in Rinnen schwächt den Schall für 1 cm Länge um 0,2344 und für den Querschnitt für je 1 cm² um 1,0595, falls der Schall bei seiner Fortleitung zugleich aufgezehrt wird.

Auch in Luft findet Vierordt eine Schallschwächung für die Längeneinheit und ausserdem für den Querschnitt. Er findet endlich, dass die Schallstärken sich nicht im Verhältnis des Quadrates des Abstandes des Ohres von der Schallquelle vermehren müssen, um sich am Schwellenwert zu erhalten, sondern dass es nur erforderlich ist, dass sie den Entfernungen entsprechend, also arithmetisch an Intensität zunehmen. Ich verweise zum Beleg dafür auf seine Tab. 103. Während die Schallstärken wie 1, 4, 9, 16 und die Differenzen wie 3, 5, 7, 9, wachsen sollten, zeigen die Versuche

Vierordts ein umgekehrtes Verhalten. Vierordt sagt dazu: „dem Einwand, dass meine Aufstellungen mit den Gesetzen der Physik absolut unverträglich seien“, müsste er entgegenhalten, dass er sich nicht auf theoretische Gründe stütze, sondern ausschliesslich nur auf experimentell gewonnene That-sachen, die nicht einfach abgeleugnet werden können. „Ist doch auch meine nur auf Versuche gegründete Behauptung, dass das übliche Mass der Schallstärke falsch sei, in vollem Widerspruch mit der als zweifellos geltenden Theorie.“ Ich gestehe, dass zwei so scharfe, nicht zu erklärende Widersprüche etwas viel sind. Wenn es sich wirklich um „Gesetze“ der Physiker handelte, ginge es noch an, aber es handelt sich um *Notwendigkeiten*, die mathematisch abzuleiten sind. Entweder breitete sich der Schall in einer Kugelwelle aus, dann war in Vierordts Messungen ein Irrtum verborgen, oder er breitete sich nicht als Kugelwelle aus, dann käme es vor allem darauf an, diese Thatsache festzustellen. Die Beobachtungen sind ja sicher richtig, es fragt sich nur, ob nicht unbemerkt gebliebene Fehler, etwa die Auffassung der Schallabgabe als Exponentialfunktion, oder eine geringe, aber wirksame Deformierung der Bleikugel eine andere Deutung ermöglichen können.

Eine sehr eindringende Arbeit hat M. Wien (57) in seiner Dissertation geliefert. Er hat das Ohrende von drei Resonatoren, deren stärkster Resonanzton bei 220, 337 und 440 Schwingungen lag, erweitert und mit einer je auf die genannten Töne abgestimmten Kapsel, die der Wand eines Aneroidbarometers entnommen war, zugelötet. Die Schwingung dieser Kapsel auf den zugehörenden Ton konnte zwar mit 500facher Vergrösserung gesehen, aber nicht mehr gemessen werden; daher wirkte die Kapselschwingung auf eine über ihrer Platte befestigte Uhrfeder, die ein Spiegelchen trug, dessen Bewegung mit Fernrohr an dem, durch ersteres reflektierten, hell beleuchteten Spalt gemessen werden konnte. Ein Skalenteil hatte den Wert von 0,00018 mm und es konnte noch ein Zehntel dieser Grösse geschätzt werden. Diese Resonatoren dienten dazu, ähnlich wie das Ohr die Intensität eines Tones in der Luft zur relativen Vergleichung zu bringen; doch wurde dafür auch ein absolutes Mass gewonnen, durch sogen. absolute Resonatoren, an denen die schwingende Membran so hoch gestimmt war, dass keine Summierung der periodischen Anstösse des Tones stärkster Resonanz stattfinden konnte. Durch Versuche und Rechnungen, auf die hier nicht eingegangen werden kann, ergab sich, dass der Ausschlag eines Skalenteils im Resonator 220 v. d. dem Druckwert von 0,000017 mm Quecksilber entsprach, für den Resonator 440 v. d. war der Druckwert gut dreimal höher. Daraus berechnet Wien schliesslich, dass ein Ausschlag von n Skalenteilen bei dem Resonator 220 den Wert einer Tonintensität an der Öffnung des Resonators von $0,000058 n^2$ mg. mm hat. Er glaubt, dass diese Ableitung höchstens um 8% fehlerhaft sein könne. Als konstante Tonquelle wurde die Wirkung einer elektrisch getriebenen Stimmgabel auf ein in deren elektrischen Strom eingeschaltetes

Telephon resp. auf zwei in Stromesarme eingeschaltete Telephone benutzt, und es zeigte sich, dass durch diese Tonquellen eine gleichmässige Schwingung des Spiegelchens auf den Resonatoren erzielt wurde. Mit dieser Ausrüstung versuchte Wien die Unterschiedsempfindlichkeit für Klänge zu finden, indem er die Tonstärken für Untermerklichkeit und Übermerklichkeit bestimmte. Es ergab sich, dass für den Ton 440 bei den nachfolgenden, in der oberen Zeile gegebenen Intensitäten die Prozente, um die die Intensitäten eines gleich nachfolgenden Tones vermehrt oder vermindert werden mussten um den Unterschied richtig erkennen zu lassen, wie folgt waren:

10^2	10^3	10^4	10^5	10^6	10^7	10^8	10^9	10^{10}
11,2	11,8	11,6	13,1	14,0	15,3	16,1	17,8	22,5%

Es stimmt also das Fechnersche Gesetz nur annähernd. Wien entwickelt eine verwickeltere Formel, die die verlangte Gleichheit der Unterschiedsempfindlichkeit für gleichen prozentischen Zuwachs verschiedenster Reizgrössen ergibt. Wenn man die Empfindlichkeit des Ohres für den Ton 440 von mittlerer Stärke = 10^5 zu 100 setzt, so würde die Empfindlichkeit für 337 v. d. sich zu 74,4 und für 220 zu 37,4 stellen.

Wien findet, dass ein Reiz von der Stärke 1,6 seiner Einheiten der Empfindungsschwelle entspricht, und er berechnet, dass der Reizumfang für das Ohr 625 000 Millionen beträgt; ein stärkerer Ton würde dann keine stärkere Empfindung mehr hervorrufen, höchstens ihr noch eine schmerzliche Empfindung hinzufügen. Für den leisesten Ton berechnet er eine Kraftwirkung auf das Trommelfell von $0,08 \mu \mu$ mg. Die Luftdruckänderung in einer Schwingung würde $0,59 \mu \mu$ Quecksilbersäule betragen. Die Zahlen stimmen ziemlich gut mit denen, die Rayleigh angiebt, wenn bei letzteren die in Betracht zu ziehenden Verluste mit verrechnet werden. Wien hat endlich noch Versuche über die Intensitätsabnahme mit der Entfernung von der Schallquelle angestellt. Die Schallquelle für die im freien Felde angestellten Versuche war eine gedackte Orgelpfeife. Die Resultate sind völlig unabhängig vom Ohr und daher besonders wichtig. Es ergab sich die folgende Tabelle. Die Werte, die in den Entfernungen zwischen 25 und 140 m erhalten wurden, sind mit A, die Werte, die sich berechnen, wenn die Intensitäten proportional dem Quadrat der Entfernung abnimmt mit A', endlich ist mit A'' die Zahlenreihe bezeichnet, die sich ergeben müsste, wenn die Intensität, wie Vierordt will, proportional der Entfernung abnehmen würde.

A	21,3	14,4	9,5	7,0	4,5	2,7
A'	21,3	14,5	10,0	7,8	5,6	3,5
A''	21,3	17,0	15,2	13,9	12,1	8,8

Dass letzteres nicht zutreffend war, sieht man sofort, im Gegenteil nimmt der Schall noch etwas rascher ab, als die Ausbreitung desselben in Form einer Kugelwelle erfordert haben würde. Wien schiebt dies Verhalten auf Störungen durch Reibung an dem mit Gras bewachsenen Boden und

durch Unebenheiten des Terrains. Ich verstehe dies nicht recht. Es handelt sich um die Schallstrahlen, die geradeswegs zum Resonator gehen; würden vom Boden Schallstrahlen dorthin reflektiert werden, so würde eher eine Verstärkung als Schwächung des Schalles gewonnen worden sein, eine Absorption durch das Gras, falls es nicht den geraden Weg durchsetzte, kann die quadratische Abnahme kaum durchstehend vermehren. Es wird hier doch wohl ein Intensitätsverlust durch innere Reibung herbei zu ziehen sein, doch hat wohl mehr noch der Wind Störungen verursacht.

K. L. Schaefer (57 a) hat mittelst Übertönung des Tickens einer Uhr durch telephonisch zugeführtes Geräusch eines Schlitteninduktoriums die Abnahme der Schallstärken nach Entfernungen bestimmt. Wir wissen von Übertäubung noch recht wenig, doch haben die Versuche regelmässig aussehende Resultate ergeben. Es wurde gefunden, dass zwischen 2 und 5 m Distanze die Abnahme weniger rasch als quadratisch erfolgt, während von dort bis zu 13 m Entfernung die Intensitätsabnahme etwas rascher erfolgt, als es dem Quadrat der Entfernung entspricht. Der Grund dieses Verhaltens ist nicht klargelegt worden. Ich glaube erwähnen zu dürfen, dass bei einem Versuch mit meiner Wellenscheibe das quadratische Verhältnis sich für die Entfernungen 1,5—2,12—3 m und die als relativ punktförmig zu erachtenden Plattenfläche von 49 qmm recht gut bewährte.

Von Quix (58 und 59) ist die Frage der Empfindlichkeit des Ohres gegen Töne durch umfassende Untersuchungen mit Stimmgabeln in Angriff genommen. Durch ein binaurales Stetoskop wurde die Stimmgabelbranche auskultiert, während gleichzeitig ein anderer Beobachter die Amplitude der Schwingung registrierte, und sich daraus die Amplitude zur Zeit, wann der Ton verschwindet, berechnen liess. Auf Grund einer recht verwickelten Formel (zum Teil von Stefanini) berechnet sich die noch eben hörbare Energie zu nachfolgenden Zahlen. Von den so gefundenen Energien würde ein kleiner aber konstanter Bruchteil in das Ohr dringen.

Tonhöhe	32	64	96	128	192	256	384	512	768	1024
Energie beim Ver-										
schwinden d. Tones	450,8	36	3,1	1,7	4,85	0,151	1,712	0,462	0,252	0,259

Sehr befriedigend sind diese Zahlen noch nicht; ich sehe auch nicht ein, dass, abgesehen von den Bedenken, die der Verwendung von Stimmgabeln entgegenstehen, die Resonanz in den Schläuchen, die den Ton zu den Ohren leiten, ohne Einfluss geblieben sein könnte. Indessen die Untersuchungen scheinen mir mit grösster Ausdauer und Sorgfalt geführt zu sein.

Über eine demnächst erscheinende bezügliche Untersuchung glaube ich schon berichten zu dürfen, weil sie noch eine andere Seite aufklären wird. Auf einer Scheibe von 18 cm Durchmesser sind 100 Sinuskurven eingefraist; die Fig. 4 zeigt einen Abschnitt A der Peripherie. Hält man dicht an die

rotierende Scheibe einen festen Körper, so giebt der Luftschlag einen sehr leisen, aber mit etwas blasendem Geräusch, das schon die frei rotierende Scheibe allein giebt, und mit wenig Obertönen behafteten Klang, dessen Höhe genau der Häufigkeit entspricht, mit der die Kuppen die Körperfläche passieren. Die Luft fließt etwa in der Weise, wie es die Pfeile andeuten über

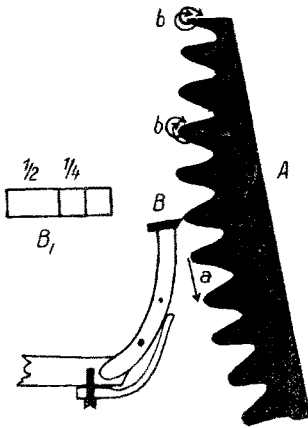


Fig. 4.

die Kuppe und schlägt also mit einer (um gut 30%) verminderten Geschwindigkeit auf die Platte B. Ich habe die lebendige Kraft des Schlages gewogen, mit entsprechend eingerichteter, geschützter Wage, deren vom Schlage getroffene Fläche, genau gleich der des Klangtischchens Fig. 4 B, 2,5 mal 14 mm betrug. Die Kurve der Wägungsreihe, die von 144,1 bis 2838,4 Schwingungen geht, schliesst sich ziemlich gut einer Parabelkurve $px = y^2$ an; fügt man ein Glied mit qx^2 an die Formel, so wird der Anschluss erheblich fehlerhafter. (Wenn als Längeneinheit der Abstand der Wellengipfel, also der Pfeile a genommen wird, der also zugleich mit

dem Mass der Geschwindigkeit die Tonhöhe angiebt, so war der Wert von p für Milligramme = 42200). Es ist wenig wahrscheinlich, dass die lebendige Kraft $m v^2$ und damit die Quote derselben, die den Ton giebt, ganz genau nach dem Quadrat der Geschwindigkeit ansteigt; aber die Abweichung ist von 250 v. d. an so gering, dass ich ihres Sinnes nicht sicher bin, sie daher innerhalb der genannten Tonhöhen vorläufig vernachlässigen muss. Steigt die Empfindung in arithmetischer Reihe, wenn der Reiz in geometrischer Reihe steigt, und ist die Empfindlichkeit für die verschiedenen Tonhöhen gleich, so muss der Schwellenwert S für verschiedene Tonhöhen proportional den entsprechenden Gewichten x sein. Das Klangtischchen B ist, wie Fig. B zeigt, so eingerichtet, dass man es halbieren und vierteln kann. Die dabei für S gefundenen Werte S, S_{II}, S_{III} müssen sich verhalten

wie die Gewichte x, $\frac{x_{II}}{2} : \frac{x_{III}}{4}$ oder die entsprechenden Tonhöhen $v, : v_{II} : v_{III}$, müssen sein $v, : v_{II} : v_{III} = \sqrt{2} : 2 v,$

Die Versuche, bei denen ich Herrn Dr. F. Krueger für die Hilfe seines geübten Ohres zu danken habe, verlaufen, wie das folgende Beispiel zeigt. Die gefundenen Gewichte entsprechen dem Schwellenwert der gefundenen Tonhöhe.

Abstand des Ohrs	Freies Ohr			Verstopftes Ohr	
	Ganze Platte	Halbe Platte	Viertel Platte	Ganze Platte	Viertel Platte
Berechnete Tonhöhe . .	270,6	382,7	541,2	542,4	1084,8
Gefundene Tonhöhe . .	270,6	366,5	529,4	542,4	1097
Gefundene Gewichte: mg	1,734	1,573	1,458	6,965	6,82

Die Werte sind an zwei verschiedenen Scheiben gewonnene Mittelwerte aus nicht über 4% abweichenden Serienbeobachtungen, angestellt am späten Abend. Die Viertelplatte ist nur 3,5 mm breit, daher dürften Wirbel an der Kante den Ton etwas verwischen. Bei der Beobachtung mit verstopftem Ohr wurde die halbe Platte noch nicht verwendet. Eine Abnahme der Empfindlichkeit mit der Tonhöhe ist jedenfalls, nach den Schwellenwerten zu rechnen, nicht vorhanden, eher eine Zunahme. Die Gewichte sind durch Interpolation ermittelt.

Grenzen des Tongehörs.

Über die Grenzen des Tongehörs liegen mehrfache Untersuchungen vor, durch die der Bereich der wirksamen Tonbewegung erweitert wird. Es ist jedoch zu bedenken, wie damit nicht bewiesen wird, dass der Resonanzapparat des Ohrs entsprechend mehr resonierende Teile hat; denn man kann an diesen Grenzen nicht mehr entscheiden, ob das, was gehört wird, wirklich auch als etwas Höheres oder Tieferes empfunden wird. Es zeigt sich ja völlig unzweifelhaft, dass die Grenzen nur durch Verstärkung der Tonquellen resp. Verbesserung der Tonerzeugung erweitert worden sind. Ein Resonanzapparat, z. B. ein Resonator, oder eine Stimmgabel gewinnt um so mehr an Breite der Ansprechbarkeit, je stärker der wirkende Ton ist; und wenn der Eigenton des tiefsten Resonanzelementes z. B. 20 v. d. ist, so kann er dennoch sehr wohl durch erheblich langsamere Schwingungen erregt werden, wenn diese Schwingungen nur recht kräftig sind. Das lässt sich praktisch an einem gewöhnlichen Resonator leicht nachweisen, und unser Ohr hat, nach meinen später zu erwähnenden Versuchen, eine noch grössere Ausdehnung der Resonanz seiner resonierenden Apparate. Die untere Tongrenze hat Cuperus (60) in einer Untersuchung an 189 normalen Ohren mit Hilfe einer 420 mm langen, 12 mm breiten, 1 mm dicken Appunnschen (61) Metalllamelle zu 9 ganzen Schwingungen festgestellt, die noch von 29 Personen als Ton gehört wurden. Diese Tiefhörigkeit ergab sich indessen nur bei jungen Individuen zwischen 10 und 30 Jahren, bei älteren wurden bis 16, ja selbst im Alter über 60 Jahren bis zu 19 Schwingungen erforderlich. Der Apparat muss besonders günstig arbeiten, denn mit den schweren Stimmgabeln von Koenig

komme ich nicht unter 16 Schwingungen und Bezold berichtet auch nicht von tieferen Tönen. Für die höchsten Töne findet Zwaardemaker (64) mit Galtonpfeife im jugendlichen Alter 20480 Schwingungen, in höherem Alter abnehmend auf 12280 Schwingungen. Mit der neuen Galtonpfeife von Edelman und Schwendt (62) kommt man (63) weiter: auf 48000 Schwingungen und mehr. Es richtet sich dies etwas nach der absoluten Intensität, die aufgebracht werden kann. Zwaardemaker (64—66) bezeichnet als sein presbyakusisches Gesetz die Erfahrung, dass mit dem Alter sich die Hoch- und Tiefhörigkeit in regelmässiger Weise um ein gewisses Mass herabmindert, meistens nicht über 16 und unter 11000 v. d. = f^{VI} . Es ist dabei von Interesse, dass die höchsten Töne ungemein schwachen Eindruck machen, während (Einfluss der Schallintensität) relativ geringe Näherung an tiefere Töne die Hörweite ungemein verbessert.

So berichtet Zwaardemaker von einer Person, die einen Ton, der $\frac{1}{4}$ Ton höher war als dis^7 nur in 1 cm Entfernung hörte, dass sie dis^7 noch in 3 m und daher diesen Ton über 300 mal besser hörte als jenen. Auch ändert sich überhaupt die Tonempfindlichkeit in diesen Höhen leicht um das tausendfache. Ich möchte, wie schon gesagt, die Erklärung dafür, dass an den Grenzen nur noch durch gewaltige Vermehrung der Tonintensität weiter zu kommen ist, darin finden, dass Resonatoren und Resonanzapparate überhaupt noch durch, von ihrem Eigenton weit abstehende, Tonschwingungen erregt werden können, wenn nur der erregende Ton möglichst kräftig ist. Danach wäre also die Skala der Resonatoren nicht ganz so ausgedehnt wie unser Tonfeld. Es steht dieser Annahme das presbyakusische Verhalten entgegen, da das Tonfeld sich im Alter um mehr als eine Quint von oben und unten beschränkt und doch auch dabei nach Zwaardemakers Kurven das Intensitätsbedürfnis ähnliche Verhältnisse zeigt. Mit der Figur 5 hat Zwaardemaker seine Befunde über die Feinhörigkeit, für höchste Töne, die sich aus den beigesetzten Entfernungen ableitet, dargelegt. Die Figur ist so instruktiv, dass sie am besten das Verhalten erläutert. Ein Starrerwerden des Tonleitungsapparates giebt keine genügende Erklärung, da eine Erkrankung desselben bei weitem kein solches Intensitätsbedürfnis hervorruft, wie es sich in dem Grenzgebiet zeigt. Hier wird man doch vielleicht gezwungen, an eine Schädigung der am Ende stehenden Resonatoren zu denken, falls es sich überhaupt um solche bei der Klangempfindung handelt. Bei verschiedenen Personen sind die äussersten Resonatoren nicht gleich weit gehend. Bezold (67) und andere geben die Richtigkeit des presbyakusischen Gesetzes nicht zu. Auf die grosse Litteratur darüber kann hier nicht eingegangen werden. Die untere Tongrenze scheint etwas genauer bestimmt werden zu können, als die obere, da nach Krebs (68) Stimmgabeln und Saiten noch durch etwas verstimmte tiefere Töne zum Mitschwingen gebracht werden können, das Umgekehrte aber nicht stattfindet.

Zahl der für die Tonwahrnehmung nötigen Schwingungen.

Auerbach (69) kommt auf seine und v. Kries' Untersuchungen über die Anzahl von Schwingungen, die genügen, eine Tonempfindung zu erregen, zurück. Ich verstehe seine Ableitung nicht vollkommen, doch findet er, dass wahrscheinlich zwanzig Schwingungen zur Erzeugung eines charakteristischen Tones erforderlich sind. Gegen solche Untersuchungen nach Reak-

Meter

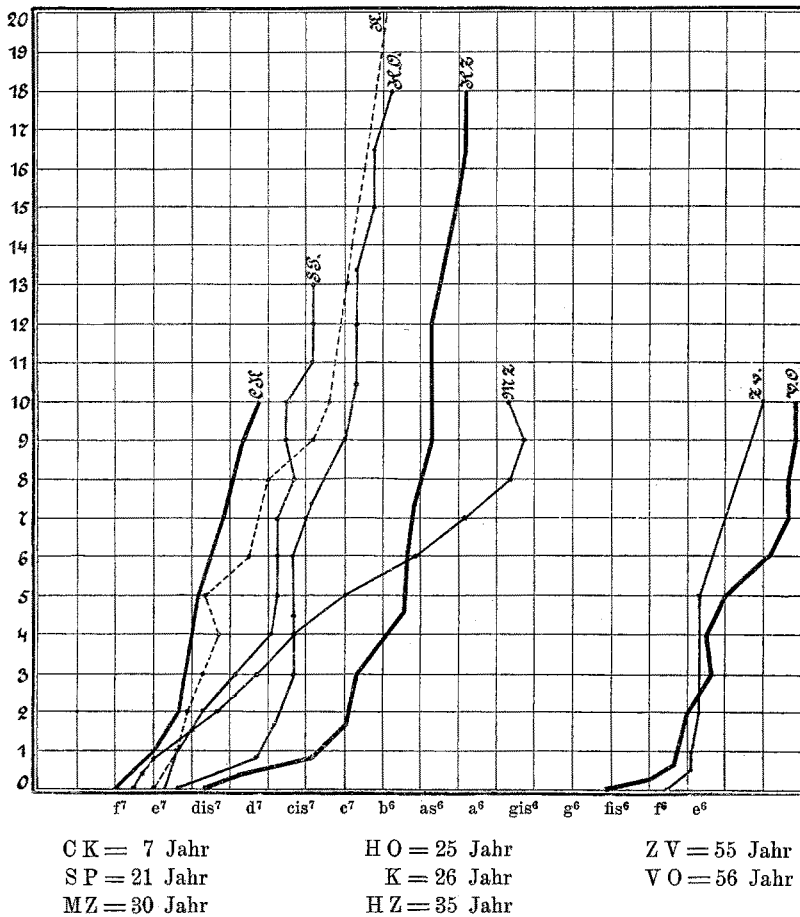


Fig. 5.

tionszeit wendet sich Martius (70) und weist wohl mit Recht auf die grossen Schwierigkeiten hin, aus der absolut so kurzen, dabei schwankenden, von der Intensität der Empfindung und der Übung abhängigen Reaktionszeit sichere Schlüsse zu ziehen. Seine Zahlen ergeben eine nach der Höhe abnehmende Perceptionszeit. Kohlrausch (71) hat durch Zähne, die an einem schwingenden Pendel befestigt waren und ein Kartenblatt streiften, die Schwingungszahlen bestimmt. Durch Vergleichung der so innerhalb des Intervalls von 81—244 erzeugten Schwingungen mit dem Ton eines

Rheochords fand er, dass zwei Zähne genügen, um einen nach Höhe bestimm-
baren Ton zu erzeugen. Meyer (72) verstopfte die 88 Löcher seiner Sirenen-
scheibe mit Korkstücken und fand auf diese Weise, dass für Hervorbringung
des Tones 176 fünf, des Tones 352 drei, des Tones 704 zwei offene Löcher
genügten. Abraham und Brühl (73) wenden dagegen ein, sie hätten bei
Nachprüfung der Versuche gefunden, dass die Korkstücke in den Löchern
auch bei Verstopfung aller Löcher einen Ton gaben; auch fanden sie, dass
die Genauigkeit der Sirenenbewegung nicht ausreichend gewesen sei. Sie
selbst kamen zu etwas anderen Resultaten. Sie benutzten namentlich die
Fähigkeit von Abraham, die Töne direkt nach ihrer Höhe erkennen zu
können, also sein sogen. absolutes Gehör. (Darüber v. Kries [73a]). Sie
benutzten als Sirene eine Aluminiumscheibe. Während Meyer eine Holzscheibe
von 30 cm Durchmesser mit 4 mm Lochgrösse verwendet hatte, nahmen sie
eine Scheibe von 80 cm Durchmesser und Löcher von 2 mm; für die tiefen
Töne allerdings Löcher von 1 cm Durchmesser mit Abständen gleich dem
Lochdurchmesser. Daneben hatten sie zur Bestimmung der Tonhöhen eine
mitdrehende Scheibe, die die tiefere Sexte ergab. Durch Verkleben der
Löcher, worüber Genaueres nicht mitgeteilt wird, fanden sie, dass die Kontra-
oktave bis zur Mitte der viergestrichenen Oktave mit zwei offenen Löchern
erkennbare Tonhöhe ergab, wenn man durch ein Rohr mit dem Munde anblies.
Sie kamen mit zwei Löchern bis 3168 Schwingungen; bis 3960 v. d. mussten
drei Löcher gebraucht werden, bis 5020 vier Löcher, bis 6000 fünf Löcher
und bis 7040 zehn Löcher. Es würden sich vielleicht einige Bedenken wegen
der Obertöne und ihrer Differenzöne nennen lassen, auch geben die ver-
klebten Löcher wohl noch zu schwachen Schwingungen Anlass. Jedenfalls er-
heben sich viele Stimmen dafür, dass sehr wenige Schwingungen für eine Ton-
wahrnehmung ausreichen; daher muss damit gerechnet werden. Ein Loch
allein offenstehend erzeugt nur einen Knall. Dabei ist die negative Schwingung
offenbar sehr unvollkommen, so dass eine Sinnsbewegung nicht erwartet
werden kann. Kommt man in die Nähe der oben genannten Grenzen, so
findet eine Oktaventäuschung statt, indem man glaubt, der Ton liege eine
Oktave tiefer, als er ist. Interessant ist, dass der Ton von 3168 Schwingungen
die kürzeste Zeit für seine Wahrnehmbarkeit verlangt, nämlich 0,00063 Sekunden.
Nach der Höhe, wie nach der Tiefe zu steigt diese Dauer, so dass sie
schliesslich auf 0,00142 Sekunden hinaufgeht.

Ermüdung und Abschwingen.

Urbantschitsch (74) hat ältere Versuche von Dove und J. Müller
über die Ermüdung des Ohres fortgeführt. Er findet, dass das Ohr nur für
den gehörten Ton ermüdet, für einen Ton anderer Höhe frisch bleibt.
Diese Art der Ermüdung wird also wahrscheinlich in den peripheren End-
apparat zu verlegen sein. Zwei mit ihrem freien Ende dicht aneinander

liegende Schläuche konnten den Ton einer Stimmgabel je dem einen Ohr zu leiten. Die ziemlich leicht eintretende und dem Anschein nach nicht unerhebliche Ermüdung des einen Ohres erwies sich dadurch, dass das frische Ohr den Ton noch sehr lange und deutlich hörte, wenn er aus dem ermüdeten Ohre verschwunden war. Nach 2 bis 5 Sekunden scheint sich das ermüdete Ohr wieder vollständig erholt zu haben.

Urbantschitsch (75) hat auch mit Hilfe eines durchbohrten Pendels, das bei seiner Schwingung zwei mehr oder weniger dicht aneinander liegende tonleitende Röhren passierte, Untersuchungen über die Dauer des Abklingens angestellt. Er bestimmte die Zeitintervalle, die erforderlich waren, um die zugeleiteten Töne deutlich getrennt zu hören, wo also der zuerst zugeleitete Ton bereits den Schwellenwert erreicht hatte. Die Schwingungszahlen sind nicht angegeben, doch finde ich nach einem Beispiel, dass der Ton 66 v. d. monaural nach 6, binaural nach 7,4 Schwingungen, Ton 132 monaural nach 11,2, binaural nach 13,3 Schwingungen verklungen war. Bei diesen Versuchen kommt es wohl sehr auf die Intensität, vielleicht auch etwas auf die Güte des zum Ohr hinleitenden Apparates an.

Das Hören bei Veränderung der Tonhöhe.

In einer Arbeit (76, S. 83) habe ich angegeben, dass eine musikalische Empfindung bestehen bleibe, wenn man eine Doppelsirene in 1 Sekunde von 1000 Schwingungen auf 20 herabdämpfe. Das Experimentum crucis, der Beweis des Vorhandenseins eines Resonanzapparates, würde geglückt sein, wenn ich die Hemmung in höchstens 0,2" hätte ausführen können. Wenn man an dem Fig. 4 skizzierten Apparat eine starke Beschleunigung oder Verzögerung bewirkt, so verschwindet die musikalische Empfindung total (107).

Eine grosse Reihe von tonfolgend abgestimmten Helmholtz'schen Resonatoren kann in gewisser Weise mit unserem Resonanzapparat verglichen werden. Erzeugt man einen steigenden Ton, so werden sie alle in ihrer Reihenfolge resonieren, steigt der Ton zu rasch, so werden sie alle schweigen. Was für alle, ist auch für den einzelnen gültig. Ich habe daher einige Resonatoren zum Vergleich herbei gezogen und gebe in nachfolgender Tabelle eines der Resultate mit ihnen. Die Tonsteigerung wird um so leichter die Resonanz aufheben, je kleiner die Resonanzbreite und je geringer die Tonintensität ist. Einen starken Ton erhält man, wenn man durch ein Spaltrohr den Scheibenrand anbläst, doch ist eine mit gleichem Druck angeblasene Labialpfeife erheblich lauter. Der Ton nimmt zwar in der Höhe an Intensität zu, aber nicht so sehr, wie der Ton am Tischchen (vgl. l. c. S. 468). Die Scheibe wurde entweder durch ein schweres Gewicht am Flaschenzug und mit Übersetzungen zu beschleunigter Drehung gebracht, oder durch entsprechende Hemmvorrichtungen im Lauf genügend verzögert. Für starken Ton und menschliches Ohr zogen zwei Menschen an der Riemenscheibe des Apparates,

die Zugzeit, mit dem Chronoskop gemessen, ergab sich zu 0",25 bis 0",3, wobei der Ton von 0 bis 1200 stieg; dieser Zug wird als gleichmässig wirkend angesehen. Mit Hilfe der Formeln des Fallgesetzes, und des Zählerwerkes an meinem Apparat Fig. 4 lässt sich die jedesmalige beschleunigende Kraft G bestimmen und daraus alles zu wünschende berechnen.

A p p a r a t	Resonanzfeld		G in Kuppel- distanzen = 5,6413 mm	Zunahme der Tonhöhe bei 500 v. d.	o/o der Zu- nahme bei Ton 500 v. d.
	am Tischchen	starker Ton			
Resonator vor Tischchen	424,6—475,6 v. d.		90,9	{ 499,8 500	0,038
Resonator bei starkem Ton		413—504	165,2	{ 499,67 500	0,066
Ohr vor Tischchen . .			161,14	{ 499,68 500	0,064
Ohr bei starkem Ton .			1670,5	{ 496,7 500	0,673

Um das Verständnis zu erleichtern, habe ich die Veränderung bei dem Ton 500 registriert, obgleich nicht gerade in diesem Moment die Kuppe des Tischchen B zu passieren braucht. An dem Ende der Beschleunigung tritt in einem registrierten Moment der Ton hervor, zuerst schwach, bald aber in scheinbar voller Stärke, weil mit der Tonhöhe die Intensität wächst. Während des Versuches, der leider bei starkem Ton so kurze Zeit dauert, hört man ein tonloses Geräusch, das aber sehr leise ist. Es wurde von einem Laien ganz passend als „schurren“, d. h. jenes Geräusch, mit dem ein Boot auf Sand aufläuft, bezeichnet. Ich selbst höre es am Tischchen nicht mehr, weil es zu leise ist. Ob dies Geräusch immer da ist und nur übertönt wird, oder ob es erst entsteht, kann ich nicht entscheiden, doch wäre mir letzteres Verhalten unverständlich. Es wird durch vorstehende Versuche besonders stark betont, dass stets eine grosse Breite der Membrana basilaris in schwingende Bewegung gesetzt wird. Da wir dennoch eine sehr feine Unterschiedsempfindlichkeit für Tonhöhen beobachten, muss wohl ein Apparat da sein, der ermöglicht, den Ort des Maximums der Schwingung zu erkennen. Ich vermute ihn, wie vor mir schon Andere, in der sehr erheblichen Zahl der longitudinal verlaufenden Nerven, für deren Vorhandensein dann umgekehrt die Erklärung gefunden sein würde.

Empfindung der Geräusche.

Es ist mit recht gutem Willen der Nachweis versucht worden, dass die Schnecke genüge, auch Geräusche zu empfinden, doch scheint mir die Not-

wendigkeit, dass sie diese Empfindung gebe, nicht nachgewiesen zu sein. Wenn man keinen deutlichen Ton, sondern nur Geräusch hört, falls viele Tasten des Klaviers mit der Elle gleichzeitig angeschlagen werden, was Helmholtz hervorhebt, so scheint mir damit nur der Nachweis geliefert, dass das Resonanzorgan aus vielleicht verständlichen Gründen nicht musikalisch reagiert hat, der Nachweis, dass es, und nicht etwa ein Geräuschorgan auf das entstehende Wellenwirrwur reagiert habe, ist damit nicht geführt.

Brückes (77) Untersuchung betrifft namentlich das Verhalten des Knalles und die Weise, wie derselbe zur Wahrnehmung komme. Er stützt sich dabei auf die Untersuchungen von Exner, die, nach fast allen neueren Beobachtungen, eine viel zu grosse Anzahl von Schwingungen für die Wahrnehmung eines Tones verlangen, nämlich 56 Schwingungen. Brücke überspannte eine Koenigsche Gaskapsel mit einer durch aufgelegten Stab stark gedämpften Glimmerplatte, beobachtete die Flammenbewegung und fand, dass bei manchem Knall durch Händeklatschen oder durch Sprengen von Knallgasseifenblasen nur *eine* Welle erzeugt wird, die aber doch nach Höhe einen sehr erheblich verschiedenen Eindruck hervorbringt. Da nun die Schnecke von der Schallbewegung getroffen werden muss, da sie durch eine einzelne Schwingung keine Klangempfindung erzeugt, und weil die einzelne Schwingung eine Höheempfindung giebt, so müsse die Schnecke die Knallempfindung bewirken. So weit ich Brückes Arbeit verstehe, ist dies deren wesentlicher Inhalt. Brühl und Abraham bezweifeln neuerdings, dass den Brückeschen Knallarten weitere Schwingungen ganz fehlten, ich habe jedoch in meiner Arbeit (76) schon darauf hingewiesen, dass man durch einfaches Eintreiben des Ohrläppchens oder Fingers in den Gehörgang, oder durch Berührung des Trommelfells mit einer Sonde einen Knall erhalte, wo von Nachschwingungen, die für andere Fälle nachweisbar sind, absolut nicht die Rede sein kann. Ich habe gegen Brücke eingewendet, dass die Schnecke in mehrwelligem Knall die Obertöne analysieren und empfinden müsste, dass sie dies aber nicht thue, spreche gegen Beteiligung der Schnecke; nur bei übermässigem Knall klingt das Ohr. Es sei bedenklich, einem Nerven die doppelte Funktion, bald Klang, bald Knall- oder Geräuschempfindung zuzugestehen, wie dies Brücke will. Man müsse überdies bei jedem mit maximaler Intensität beginnendem Ton zunächst einen Knall hören, dies sei aber keineswegs immer der Fall, z. B. nicht bei der Zither, auch sei bei den Klangstäben der Schlag durchaus vom Ton getrennt. Dass die Knallbewegung die Schnecke treffen müsse, sei wohl sicher, ob diese aber darauf reagiere, vermochte damals nicht festgestellt zu werden. Da die Schnecke von der Knallwelle getroffen werden muss, stellt sich die Frage, warum sie dadurch **nicht** erregt wird. Trifft der Stoss die Schnecke, so geht zunächst der ganze Sinnesapparat nach der tympanalen Seite hin. Dabei brauchen sich die Stäbchen nicht von der Membrana Corti zu trennen. Ist der Knall sehr

heftig, dann allerdings werden wohl einige Stäbchen an die Leisten der Membran anschlagen, aber dann hat man auch Klingen des Ohres. Es findet dabei häufig ein langes Nachklingen statt — die Jugend macht solche Erfahrungen gelegentlich des Knalles einer Ohrfeige. (Urbantschitsch (75) hat über das positive und negative Nachtönen Untersuchungen angestellt, doch wäre eine ausgiebigere Bearbeitung des Themas erwünscht.) Folgt dagegen ein zweiter Stoss nach kurzer Zeit, so trifft er die Papille und die Membranteile entweder in Rückbewegung oder in bereits gewonnenem Ruhezustand. Nur an entsprechend gestimmten Teilen bewirkt ein zweiter Stoss eine Summierung. Das dicke Polster der Membrana Corti summiert nicht, weil es keine Abstimmung hat und weil es an beiden Seiten durch die anders gestimmten Teile des Sinnesapparats hoch gehalten wird. Der von der Zona pectinata aus getroffene konsonante Teil der Membrana basilaris muss summieren; die diesem Bereich aufsitzenden Stäbchen der Cortischen Zellen trennen sich daher von der Membrana Corti, um in der negativen Phase ihrer Schwingung gegen die Membrana Corti anzuschlagen und somit eine musikalische Empfindung zu erregen. Dazu können schon zwei Tonstöße genügen. Näheres darüber giebt die Abhandlung (107).

Ich vermag darin, dass der Knall eine gewisse Höhenempfindung giebt, keinen Einwand gegen die Existenz eines Geräuschapparates — der daneben noch andere Funktionen erfüllen kann — zu finden. Ich habe (76), nicht ganz bezeichnend, für diesen Apparat verlangt, dass er ungedämpft sei, es soll damit nur gesagt sein, dass er, ohne Eigenton zu besitzen, jeder Bewegung bis zu gewissem Grade folgen könne. Ein solcher Apparat kann, so viel ich sehe, nur die Intensität und die Häufigkeit, respektive Rauhigkeit und Unregelmässigkeit zur Empfindung bringen, ob ein Apparat für dies Alles genügt, erscheint zweifelhaft. Dass ein Summationsapparat die geeignete Einrichtung für genannte Aufgaben sei, ist sehr unwahrscheinlich. Zwaardemaker und Cuperus erwähnen, dass man bei sehr tiefen Tönen deutlich die Stöße der Schwingungen wahrnehme, was wohl jeder damit Beschäftigte bestätigen muss; ich höre bei starkem Anblasen der Wellenscheibe noch mindestens bis zu 120 v. d. neben dem Ton den Ausschlag beim Passieren der Wellenkuppe, wenn ich dem knallartigen Schlag besondere Aufmerksamkeit schenke. Dafür brauche ich einen besonderen Apparat im Ohr, wenn ich nicht, noch etwas weiter gehend als Brücke, annehmen soll, dass derselbe Nerv gleichzeitig Ton und Geräusch dem Centrum zu übermitteln vermag.

Dennert (74) und Barth (75) legen namentlich Gewicht darauf, dass in den Geräuschen Töne zu hören seien, und sprechen deshalb der Schnecke die Aufgabe zu, auch die Geräusche zu hören. In der That wird der Resonanzapparat bei der Charakterisierung der Geräusche wegen deren Tongehalt *mit* thätig sein, doch ist zu bedenken, dass wie ein Ton Geräusche, so auch ein

Geräusch Töne zu übertäuben vermag. Von Oesch (76) ist eine recht vollständige Zusammenstellung der Beobachtungen über das Hörvermögen nach nekrotischer Ausstossung einer oder gar, in zwei Fällen, beider Schnecken gegeben. Er kommt zu dem Resultat, dass Verlust der Schnecke gleichbedeutend sei mit völliger Taubheit. In einigen Fällen partieller Nekrose der Schnecke sind noch unbedeutende Reste von Klangempfindung festgestellt worden, dies scheint mir ein Beweis dafür zu sein, dass trotz der schweren Erkrankung Labyrinthteile leistungsfähig bleiben können. Dass aber die Erkrankung jedesmal so günstig verlaufe, ist kaum wahrscheinlich.

Wie eigentlich auf Funktion der Otolithen und Halbzigkelkanäle zu prüfen sei, ist schwer zu sagen, so lange man sich über deren eventuelle akustische Funktion kein sicheres Bild machen kann. Ich würde glauben, dass der Schlag bei den Schwebungen schwerer tiefer Gabeln, der nach meinen Untersuchungen (76, S. 87) eintritt, wenn das Maximum der Tonstärke gerade überschritten wird, von den Otolithen percipiert wird. Die Praxis kann bei der Frage nach der Prüfungsart zu Hilfe kommen. Sune y Molist (76) beobachtete in einem Fall von Tabes, dass das Geräusch der Worte, *aber nicht der Ton in diesen*, ferner das Kratzen der schreibenden Feder, Zerreißen von Papier, Anschlag zweier Geldstücke (der Knall?) gehört wurde. Die Prüfung auf Knall hat das bedenkliche, dass dieser leicht Gefühlsnerven erregt. Wenn der Fall von Molist genügend sicher beobachtet wäre, hätten wir davon wohl längst noch weitere Beispiele; daher kann ich wenig Gewicht darauf legen, aber das Prüfungsverfahren scheint doch praktisch zu sein.

Untersuchungen über die Art, wie die Schnecke funktioniert.

Bezold (82) hat mit Hilfe seiner kontinuierlichen Tonreihe eine grosse Zahl von Untersuchungen an Taubstummen durchgeführt. Er fand mehr oder weniger beträchtliche Einengungen der Tonskala an ihrem oberen oder unteren Ende, auch wohl an beiden zugleich. In manchen Fällen fand er ein oder auch zwei grössere Lücken innerhalb der Skala und in noch selteneren Fällen Inseln in der Mitte eines sonst ganz tauben Bezirkes. Bezold deutet diese Befunde ganz im Sinne des Vorhandenseins eines Resonanzapparates. Eine Schädigung des Centralapparates ist wohl nach dem Krankheitsverlauf in so vielen Fällen auszuschliessen, dass der Rückschluss auf Defekte der Schnecke gemacht werden kann, indessen schliesst Larionow (105) auf Schädigungen des Grosshirnes. Als für das Sprachgehör unentbehrlich werden die Töne zwischen b' und g'' bezeichnet. Es fanden sich jedoch Fälle, in denen das Gehör für genannte Strecke zwar nicht ganz fehlte, indessen besonders schlecht war, während das Gehör für tiefer liegende Töne vorzüglich gefunden wurde: diese Kinder verstanden dennoch die Sprache relativ gut. Die Abweichung von der gefundenen Regel versucht Bezold durch eine Modifikation der Resonanzhypothese zu erklären, die Ebbinghaus

empfohlen hat. Ebbinghaus (84) nimmt an, dass die breiteren Querabteilungen der *M. basilaris* auch durch den ersten Oberton zum Mitschwingen gebracht werden können, wobei sie sich also in zwei entgegengesetzt schwingende Teile mit einem Knoten etwa in der Mitte teilen müssten. Ich kenne solche Form des Mitschwingens fester Körper nicht, bemerke aber, dass ich das Original von Ebbinghaus nicht einsehen konnte. Urbantschitsch (83) hat mit einer grossen Harmonika bei Prüfungen von Taubstummen etwas günstigere Resultate als Bezold gefunden; in einem Fall umfasste der Hörbereich nur die tiefsten Töne bis zum Contra A.

Die Diplakusis scheint für die physiologische Verwertung nur geringen Wert zu haben, weil sie nicht selten durch alleinige Erkrankung des Leitungsapparates zu entstehen scheint. Es wird unterschieden (Gradenigo [86]) *D. dysharmonica*; das eine Ohr hört $\frac{1}{2}$ bis 2 Töne tiefer oder höher oder beides aber in verschiedene Tonlage, als das andere Ohr. *D. harmonica*, wobei es sich um Klangfarbendifferenzen handelt. *D. echotica*, wobei der eine Ton nachhallt. Fälle, wo nur das eine Ohr falsch hörte, ergaben, dass neben g'' das tiefere e'' , neben f'' das höhere c''' gehört wurde. Berthold (87) fand bei einem Musiker eine Verschiebung von a' auf e'' , von d'' auf a'' , von fis'' auf g'' ¹⁾.

Von experimentellen Untersuchungen ist namentlich über die von Munk (103) und Baginsky (104) gemachten, neuerdings auch von Ewald (90) bestätigten Befunde zu berichten. Nachdem H. Munk schon beiläufig ermittelt hatte, dass Hunde bei Zerstörung der Schneckenspitze tiefe und bei Zerstörungen an der Schneckenbasis hohe Töne nicht mehr hörten, unternahm Baginsky eine grössere Untersuchungsreihe. Die Schnecke der einen Seite wurde zerstört und dann wurde auf der anderen Seite entweder die Spitze zerstört oder mit grosser Vorsicht ein Stückchen des Promontorium neben der *Fenestra rotunda* fortgebrochen. Ob dies die schwer zugängliche *Radix* der Schnecke zerstört hat, wird nicht ersichtlich. Der Erfolg im ersteren Fall war der, dass nach zwei Tagen die Tiere nur Knall eines Zündhütchens und stärkere Geräusche hörten, später stellte sich auch das musikalische Gehör ein, zunächst für die höchsten Töne c^v und c^{iv} , nach einigen Wochen wurde auch c''' und seltener c'' gehört; unter diese Höhe kam es in keinem Fall. Bei Fortnahme an der Schneckenbasis stellte sich zunächst Gehör für die tiefen Töne ein, aber schliesslich konnten auch wieder hohe Töne gehört werden. Fortnahmen mittlerer Windungen gaben keine deutliche Tonlücke, wohl ein Beweis für die Schwierigkeit der Untersuchung. Die Sektionen bestätigten die beabsichtigten Zerstörungen.

Die Litteratur weist eine ganz erhebliche Zahl von Hypothesen für die Art der Erregung der Schnecke auf. Es wird z. B. von Ewald (90) be-

¹⁾ Vrgl. namentlich: Stumpf, Beiträge zur Akustik und Musikwissenschaft. Heft III. S. 47.

zweifelt, ob die Grundmembran überhaupt die erforderliche tiefe Abstimmung haben könne. Helmholtz hat die Angelegenheit ja einer Rechnung unterworfen und dabei diese Schwierigkeit nicht gefunden. Wenn man Glasfäden ziemlich fein auszieht und auf eine tiefe Stimmgabel klebt, so muss man sie ausserordentlich kürzen, wenn sie frei von Knoten bleiben sollen. Die Dinge liegen für Tiefenabstimmung im Labyrinth noch günstiger, denn wir haben hier höchst feine, organisierte Fäden oder Röhren in Wasser oder Gallert, deren Spannung so gering werden kann, als wenn das eine Ende frei wäre.

Von Koenig (82) sind Untersuchungen mit Stimmgabeln und mit seiner grossen Klang sirene über die Möglichkeit, Phasendifferenzen mit dem Ohr zu empfinden, angestellt worden, die diese Möglichkeit fest zu stellen scheinen. Hermann konnte die Versuche nicht bestätigen. Eine neuere Arbeit von ter Kuile (81) spricht sich sehr entschieden dafür aus, dass das Ohr unter bestimmten Umständen den besonderen Eindruck, den die mehr oder minder weitgehende Auslöschung der Teiltöne durch Phasenverschiebung hervorbringen könnte, bemerkt habe. Dies steht aber, wie er ausführt, an sich nicht im Widerspruch mit der Resonanztheorie. Lindig (106) hat mit einem, dem Anschein nach für die Untersuchung besonders geeignet gebauten, Telephon-Apparat den Nachweis geführt, dass eine Phasenverschiebung vollständig ohne Einfluss auf den Klang ist. Die von den Autoren beobachteten Klangunterschiede bei Phasenverschiebungen rühren lediglich von Interferenzen der Obertöne her. Die Arbeit von Lindig erledigt, wie ich glaube, die Frage, ob Phasenverschiebungen die Klangempfindung verändern, definitiv entsprechend der Ansicht von Helmholtz, also in negativem Sinn. Diese Wahrnehmungen erfordern eine besondere Berichterstattung, doch wollte ich sie kurz berühren.

Von Ewald (90) ist ein eingehender Versuch gemacht, die Klangfiguren, wie sie z. B. die Kundtschen Röhren zeigen, für die Theorie der Funktion der Schnecke zu verwerten. Er zeigt durch Versuche mit Gummibandmembranen, dass sich auf diesen Wellenbäuche und Knotenlinien in sehr hübscher, graphisch reproduzierter Weise ausbilden, und dass auch mehrere Töne zugleich ein charakteristisches Bild zu geben vermögen. Je höher der Ton, desto enger legen sich Knoten und Bäuche zusammen, bis endlich die Starrheit der Membran eine Wellenbildung nicht mehr gestattet. Wird der Bandstreifen verkürzt, so erhöht sich der tiefste Ton, der noch auf dem Bande einen Knoten erzeugen kann, entsprechend. Es lässt sich, wie Ewald ausführlich begründet, eine Nerveneinrichtung denken, die aus Lage, Länge und Häufigkeit der Knoten deren akustische Ursache abzufühlen vermag. Ich finde mich freilich nicht genügend darüber unterrichtet, wie es wird, wenn Membranlänge und Tonhöhe schlecht stimmen, was namentlich bei tiefen Tönen in der Mehrzahl der Fälle eintreten wird. Ewald nimmt besonders den unter den Pfeilern gelegenen Teil der *M. basilaris*, die *Zona arcuata*, für seine Wellenbildungen in An-

spruch und schreibt den Cortischen Pfeilern zu, dass sie den Tunnel mit ihren Fussleisten abschliessen und dass sie durch eine ihnen zugeschriebene Kontraktion die Zone zu spannen vermögen. ter Kuile (91) wendet ein, dass die Pfeiler den Tunnelraum nach aussen nicht dicht abschliessen, und dass bei Vögeln schon kein Tunnel mehr vorhanden sei. Dagegen liesse sich indessen anführen, dass gerade bei den niederen Wirbeltieren auf dem der Zona arcuata entsprechenden Membranteil Nervenendzellen liegen, was bei den Säugern nicht der Fall ist. Die Befunde bei Taubstummen, die Toninseln, der Fall von Urbantschitsch, sprechen stark gegen Ewalds Theorie, aber man kann, mindestens bis die Sektionsbefunde vorliegen, die Beweiskraft dieser Fälle ablehnen.

ter Kuile (91) geht von der nicht zu leugnenden Thatsache aus, dass Massenwellen in die Schnecke eintreten, und dass deren Längenerstreckung der Tonhöhe proportional sein muss. Seine Arbeit zeichnet sich durch sehr sorgfältige Verwertung der Strukturverhältnisse aus. Er lässt dementsprechend die Welle namentlich auf die Aussenzone, *Z. pectinata*, wirken. Es würden nach Kuile je tiefer der Ton, desto mehr Nerven-elemente, und dadurch die Tiefenempfindung erregt. Er zeigt ausführlich, wie vollständig diese Annahme die Wahrnehmung und Analyse der Klänge zu erklären gestattet. Die Welle wird allerdings mit dem Wachsen der Intensität wachsen, aber je schwächer die Intensität, desto höher erscheint der Ton. Es fragt sich freilich, ob diese Erklärung genügt. Broca (91a) findet für c' , c'' , c''' und c'''' eine Vertiefung um je $\frac{1}{5}$ Ton, wenn man die Intensität möglichst in die Höhe treibt oder umgekehrt, wenn man durch Veränderung am Resonanzkasten, Verstopfen des Ohrs u. s. w. sie herabsetzt. Mir scheint ausserdem, dass die zu beobachtende Feinhörigkeit nicht recht durch die notwendig sehr dünne vorderste Grenze der Welle und durch die recht kurze Zeit, während deren sie hier drücken kann, zu erklären ist. Sollte nicht doch die Welle ihren Druck zu Gunsten des Momentandrucks, den der Steigbügel im ganzen Labyrinth bewirkt, auf die abgestimmten Teile zur Geltung bringen können?¹⁾

Für die Schnecken niederer Tiere stimmt die Breitenhypothese recht ungenügend, man muss gewaltige Spannungsunterschiede postulieren. Die Frösche sind basshörig, wie man wenigstens glauben möchte. Sollte ich die Froschseele etwas verstehen, so wird sie durch einen Vorsänger von tiefem Bass ganz besonders erfreut. Die Membrana basilaris ist bei ihnen rund und sehr klein, so dass die Breitenhypothese schlecht zu passen scheint und mir immer etwas Misstrauen eingeflösst hat. Ewalds Hypothese passt dafür freilich noch schlechter. Ich wünsche recht sehr eine dahin gehende Gemeinschaft der Ansichten der Physiologen, dass wir die alte, zwar mit einigen Lücken behaftete, aber doch als recht nützlich bewährte Wohnung nicht

¹⁾ Vgl. Max Meyer, Zeitschrift f. Psychologie und Physiol. Bd. 16 und Pflüger's Arch. Bd. 81.

niederreißen lassen, ehe die Physiologie das nötige Kapital zum Neubau besitzt. Diese Einschränkung behindert nicht die Vorlage von Plänen zum Neubau.

Nervus acusticus.

Ewald (92) hat an labyrinthlosen Tauben experimentiert und hat in, nach der Beschreibung durchaus umsichtigen, Versuchen gefunden, dass noch mit dem Akustikusstumpf gehört werde. Wundt (94, 95) hat an einer von Ewald ihm übergebenen Taube diese Angabe bestätigt, und nach einer Zusammenstellung seiner Versuchsverzeichnisse, findet Matte (99) sogar, dass Wundt's operierte Taube eine deutlich starke bis deutliche Reaktion gab, auf Klänge 11, auf Geräusche 10mal, während die normale Vergleichstaube nur je 7mal erkennen liess, dass sie gehört habe. Die kranke Taube ergab bei der Sektion, zwei Monate nach der letzten Operation, starke Atrophie der N. acustici und der zugehörigen Hirnteile und völlige Entfernung des häutigen Labyrinths. Auch Fano und Massini (96) haben bemerkt, dass labyrinthlose Tauben noch hören können. Ich (97) habe die Ansicht gehabt und habe sie, dass in Fällen dieser Art vor allem die physiologische Logik zu konsultieren sei. Ich habe auf gewisse Inkongruenzen der Beobachtung, auf den grossen Widerspruch gegen alles, was wir von den Sinnesorganen wissen, und auf die Möglichkeit, dass Erschütterungen den Gehörnerven erregt hätten, aufmerksam gemacht. Will man alle Erregungen des Gehörnervenstumpfes „hören“ nennen, so liegt die Sache etwas anders, denn es handelt sich dann um ein Hören, das nicht dem Schall in der Aussenwelt zu entsprechen braucht und von dessen Qualität nichts in Erfahrung bringt. Es ist wohl nicht unmöglich, dass der eine oder andere Nervenfaden von seiner Unterlage aus dann besonders leicht erregt werde, wenn diese in der Weise ihn stösst, wie es der Frequenz von Anstössen entspricht, die er physiologisch dem Gehirn als Reiz zu übermitteln hatte. Dafür ist aber der Weg der Untersuchung ungünstig; besser wäre es wohl, sich dabei an den Tensorreflex, der nur auf höhere Töne erfolgt, zu halten, um zu ermitteln, ob die Nerven resonieren.

Es sind experimentelle Gegenversuche angestellt worden; und wenn Bernstein (99) sagt, dass diese erforderlich geworden waren, so mag er recht haben. Versuche, die Matte (98) unter seiner Leitung angestellt hat, ergeben, dass bei sorgfältigstem Schutz des Tieres gegen taktile Erschütterungen kein Zeichen einer Schallempfindung zu erhalten ist, bei deutlichsten Zeichen der Gehörsempfindung von normalen Vergleichstauben. Nur bei offenen Pfeifen von der Höhe d'' kam immer eine Reaktion (100), doch war dieselbe bei Verschluss der Ohren ganz unverändert, so dass auf unvermeidliche taktile Wirkungen geschlossen wird. Nebenbei sei bemerkt, dass Matte S. 461 mit vollster Bestimmtheit aussagt, es werde bei dem Vergleich von nur cochlealosen mit labyrinthlosen Tauben völlig deutlich erkannt,

dass erstere auf Knall reagierten, letztere nicht. Fano und Massini (96) treten auch für die Hörfähigkeit nach Fortnahme der Cochlea ein, aber sie vertreten die Resonanz des Acusticus. Bernstein erklärt Tauben ohne Cochlea für völlig taub, warum, ist nicht ersichtlich. Ist es nicht mindestens gleich schwierig, dem N. cochlearis die Übermittlung von sowohl Tönen wie Geräuschen zuzumuten, als den Vestibularapparaten Raumsinn oder sonstiges Unakustisches und daneben Schallempfindung zuzugestehen? Strehl (101) hat mit Ewalds Tauben Versuche angestellt. Er kann zwar Ewalds Angaben im wesentlichen nur bestätigen, neigt sich aber doch der Ansicht zu, dass es sich dabei um rein taktile Erregungen gehandelt habe. Hier stehen also Experimentaluntersuchungen mit positivem und negativem Erfolg gegeneinander; jedenfalls lernen wir, dass man in der Entscheidung der Frage, ob hören oder nichthören, sehr vorsichtig sein muss. Es sei noch

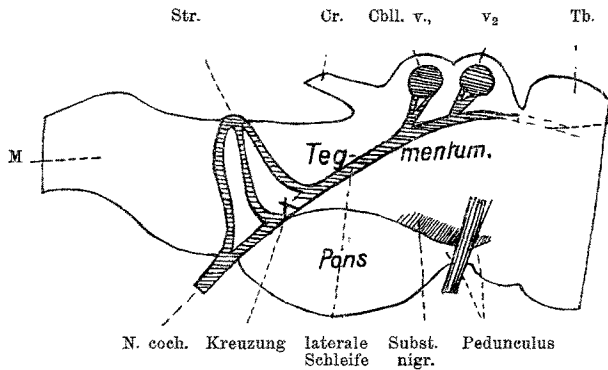


Fig. 6.

an die Hallenser Arbeit Stratens (15a) erinnert, der findet, dass Tauben nach Fortnahme der Columella einige Tage lang taub sind.

Verlauf und Ende des Acusticus im Gehirn.

Einen ausführlichen Bericht über die betreffenden Arbeiten habe ich nicht mehr beschaffen können. Ich gebe nur Einiges zur Orientierung.

Siebenmann (102) hat eine Zusammenstellung über den ersten Verlauf des N. cochlearis in der Medulla gegeben, mit deren Hilfe man sich über die bezüglichen Beobachtungen weiter unterrichten kann. Ich entnehme der Abhandlung die Fig. 6, die den Verlauf in allerdings sehr schematischer Weise übersehen lässt.

Der Nerv giebt, nachdem er in die Fig. 1 angedeuteten Ganglienhaufen eingetreten ist, nach den Striae acusticae (Str.) einige Fasern, mit anderen geht er an der „Kreuzung“ auf die andere Seite hinüber, läuft dann weiter, um sich mit dem hinteren (v.) und, was wohl weniger sicher ist, auch mit dem vorderen Vierhügel v_2 zu verbinden, mit noch anderen Fasern weiter laufend.

Baginsky (102) hat bei Kaninchen die Schnecke der einen Seite völlig zerstört und dann den Verlauf der atrophischen Nerven im erhärteten Gehirn festzustellen gesucht. Es zeigte sich eine Durchkreuzung der atrophisch gewordenen Fasern, die wesentlich von dem atrophischen vorderen Acusticus kern der verletzten Seite her kamen. In der Richtung zum Grosshirn war auf der entgegengesetzten Seite ein erheblicher Faserschwund in der Schleife, die zu dem hinteren Vierhügel geht, zu beobachten, und dieser selbst erschien atrophisch. Am Corpus geniculatum internum der gesunden Seite war ein Faserschwund deutlich. Am Thalamus, dem Corp. geniculatum externum war kein Faserschwund merklich. von Monakow hat als Folge der Exstirpation des Schläfelappens bei neugeborenen Kaninchen die zugehörigen Stabkranzbündel, ihre Fortsetzung in die innere Kapsel und schliesslich wiederum das Corp. geniculatum internum atrophisch gefunden, so dass der Weg bis zur Hörsphäre Munk's klargelegt erscheint. H. Munk (104) hat durch seine ausgezeichnet sorgfältigen Untersuchungen festgestellt, dass das Gehirnrindenfeld des Ohres in dem Schläfelappen sich findet, und zwar weiter hinten die tiefen, vorne die hohen Töne ihr Seelenfeld haben. Larionow (105) bestätigt Munk's Entdeckungen durch Versuche an Hunden, nur fand er bei seinen Tieren nicht die Erscheinungen der Seelentaubheit, glaubt daher nicht ganz in das Gebiet, das Munk fortnahm, eingedrungen zu sein. Er giebt Abbildungen über die Lage der Flächen, an welche die Hörfähigkeit für die einzelnen Töne A, A, c, e, g', a', b', h', c'', a'', c''', gebunden sind. Die Zone läuft S förmig fast an der unteren Spitze des Lappens hin, mit Konvexität nach unten, wie schon H. Munk angegeben hat. Hoffen wir, dass diese Bestimmungen weitere Bestätigungen finden.
