XI.

Ueber die Functionen der verschiedenen Theile des menschlichen Gehörorgans

vom anatomischen Standpunkt aus betrachtet.

Von

Dr. med. Ernst Weinland

in Hohen-Wittlingen (Württ.).

(Mit 2 Abbildungen.)

(Von der Redaction übernommen am 18. Juli 1894.)

Unser physiologisches Verständniss der Sinnesorgane hat im Laufe der letzten 30 Jahre gewiss dem physiologischen Experiment eine Fülle von Thatsachen zu verdanken, die es in seinem ganzen grossen Werthe hervorheben. Vielleicht ist dabei aber doch hin und wieder die andere Stütze der Physiologie, nämlich die Anatomie und zumal die Histologie, weniger zu ihrem Rechte gekommen; ja wir möchten behaupten, dass eine Menge genauester anatomischer Beobachtungen physiologisch noch kaum verwertet sind.

Das physiologische Experiment lässt leicht mehrere Deutungen zu, und es muss nicht gar selten dem Urtheil des Beobachters überlassen bleiben, welche von denselben er zu der seinigen machen will. Eindeutige physiologische Experimente sind vielleicht nicht so häufig, als man oft anzunehmen geneigt ist, und es ist deshalb bei einer grossen Reihe und mitunter sogar gerade vielleicht bei den feineren unter den Vorgängen in unserem Körper sehr schwer, sie auf diesem Wege unserem Verständniss näher zu bringen.

Leichter wird wohl diese Aufgabe immerhin, wenn wir, ähnlich wie der Ingenieur, der aus dem Bau einer Maschine ihre Wirkungsweise herleiten kann, zunächst nur von dem anatomischen Verhalten aus die Thätigkeit eines Organs zu er-

mitteln streben. Wenn wir dabei genügend genaue Angaben über jeden einzelnen Theil des Apparates zu bekommen in der Lage sind, so wird diese Methode der Functionsuntersuchung eines Organs viel weniger Irrthümern und vor Allem keinen Verwechslungen ausgesetzt sein, wie dies bei physiologischen Experimenten — so gross ihre Erfolge im Allgemeinen sind — bekanntlich manchmal der Fall gewesen ist.

Ein zunächst nur anatomischer, d. h. über die Anatomie führender Weg zur Erkenntniss der Aufgabe der Organe wird mit einem Worte sicherer sein, als der sich von vornherein im Wesentlichen auf das Experiment stützende, vorausgesetzt nur, dass er genau auf dem anatomischen Boden fusst und nirgends unterbrochen ist.

Ein solcher Weg wird, während er auf der einen Seite die zweifelhafte Seite am Werth des physiologischen Experimentes, nämlich seine heuristische Bedeutung, bei Seite lässt, auf der anderen Seite die beweisende Kraft des physiologischen Experimentes um so mehr für sich nutzbar machen können, als nun das Experiment nicht mehr die Aufgabe enthüllen, sondern die Probe sein soll, ob die vom Techniker aus der Construction abgeleitete Function des Organs wirklich demselben zukommt.

Im Folgenden wollen wir es versuchen, für das menschliche Gehör, wesentlich auf dem anatomisch Gegebenen fussend, die Function oder die Functionen ¹⁾ abzuleiten; dabei sollen die experimentellen Thatsachen jeweils in der Form von Beweisen an der gehörigen Stelle eingelegt werden.²⁾

Die Ohrmuschel ist beim Menschen trotz ihrer Muskeln so gut wie unbeweglich, sie tritt dem Schall, der aus bestimmter Richtung kommt, als immer gleichbleibender Schirm entgegen.

1) Die Otolithen und die Bogengänge bleiben von den nachfolgenden Betrachtungen ausgeschlossen, als nicht zum eigentlichen Gehörorgan gehörig, sofern dieselben, wie anatomisch und experimentell nachzuweisen ist, der Orientirung über die Stellung des Körpers im Raume dienen (Goltz, Mach, Engelmann, Yves Delage, Grützner u. s. w.).

2) Dass die zur Zeit verbreitetste, im Wesentlichen v. Helmholtz zu verdankende Auffassung keine einheitliche und deshalb keine genügende ist, dafür führe ich hier nur das Eine an, dass die feineren Gebilde in der Schnecke für sie so gut wie zwecklos sind, ja dass sie nicht einmal unterscheiden kann, ob nicht neben der dem Hören dienenden Schnecke die Otolithenapparate mit dem Hören von „knipsenden“ u. s. w. Geräuschen zu thun haben; es ist dies v. Helmholtz (Die Lehre von den Tonempfindungen.

Ausgabe. S. 250) sogar wahrscheinlich. Andere hierhergehörige Punkte siehe weiter unten!

Sie wird den von hinten kommenden Schallwellen eine andere Richtung geben, als denen, die von vorn kommen, ja sie wird den Schall, aus welcher Richtung er immer kommen mag, in einer bestimmten, dieser Richtung eigenthümlichen Weise reflectiren, aber sie wird ihn, wenn er von einer bestimmten Richtung kommt, immer in derselben Weise reflectiren, nicht wie die beweglichen Ohren der Säugethiere je nach ihrer Stellung denselben in verschiedener Weise weiterwerfen. Nur aus relativ wenig Richtungen wird die Schallmasse direct, ohne vorher in mehr oder minder grossem Bruchtheil an der Ohrmuschel angeprallt zu sein, in den äusseren Gehörgang einlaufen.

Ebenso wie dem Licht kommt dem Schall eine geradlinige Fortpflanzung zu; er wird deshalb in einem Cylinder, den die Schallmasse an seinem Eingang unter einem beliebigen bestimmten Winkel getroffen hat, in gerader Richtung weiterziehen und an einer entgegenstehenden Fläche in derselben Weise, wie das Licht am Spiegel, reflectirt werden müssen (Fig. 1), bis er am Ende dieses Cylinders auf eine dort angebrachte quere Fläche aufstossen wird. Es fällt dabei sogleich auf, dass die Schallmasse nicht, wie die Autoren anzunehmen pflegen, die ganze Fläche der Endfläche bestreicht, sondern nur einen Theil derselben. So oft wir diese Construction des Schallweges wiederholen, bei jeder einzelnen bestimmten Richtung trifft der Schall einen ganz bestimmten Abschnitt dieser Fläche; in ihrer ganzen Ausdehnung trifft er sie nur, wenn seine Richtung genau mit der Längsaxe des Cylinders zusammenfällt, oder wenn die Membran an einer Stelle (z. B. A Fig. 1) ausgespannt ist, wo der Schall wie am Eingang die ganze Breite des Rohres ausfüllt; dies Letztere kann jedoch bei einer bestimmten Localisation der Membran nur für eine geringe Breite von Schwankungen in der Richtung der Fall sein.

Fig. 1.

Beim menschlichen Ohr verläuft das ein wenig über 2 Cm. lange, etwas ovale Rohr nicht in gerader Richtung, sondern ist in horizontaler und verticaler Richtung gebogen; ferner ist das Rohr nicht überall gleich weit, sondern hat (an der Knorpel-Knochengrenze) eine engste Stelle, von der aus es sich nach aussen und innen etwas erweitert. Die den Gang

am Ende abschliessende Membran ist nicht senkrecht, sondern sehr schief zur Axe des Rohres gestellt und damit vom Eingang des Ohres an ihren verschiedenen Stellen ungleich weit entfernt. Zudem ist die Membran keine Ebene, sondern bildet ungefähr einen Kegelmantel mit der Spitze nach dem Mittelohr zu.

Diese Besonderheiten heben das Wesentliche an der oben abgeleiteten Erscheinung nicht auf, verstärken die beschriebene Folge vielmehr in einiger Hinsicht:

Fig. 2.

1. ist durch die Schiefstellung der Abschlussfläche (Fig. 2) vermieden, dass Strahlen, die den Eingang des Rohres ausfüllen, jemals eine homologe Fläche der Eingangsebene parallel im Innern finden, eine Fläche, die sie an allen ihren Stellen in der nämlichen Intensität belegen könnten. Wie wir auch durch Fig. 2 die Ebene legen, immer ergibt sich eine ungleiche Belastung an verschiedenen Stellen der Fläche;

2. ist durch die grössere Ausdehnung der abschliessenden Fläche (Fig. 2) eine grössere Fläche geschaffen für die Aufnahme der Schallmasse, und es ist damit eine grössere Differenz in der Wirkung der einzelnen aus verschiedenen Richtungen eintreffenden Schallströme ermöglicht. Dies ist besonders wichtig für Ströme ähnlicher

Richtung, die bei querer Membran fast genau dieselbe Stelle belegen, jetzt aber eher eine kleine Verschiedenheit in der Localisation und Ausdehnung der von ihnen occupirten Fläche aufweisen werden;

3. wird diese Tendenz der Erzielung einer möglichst grossen Verschiedenheit in der Wirkung der einzelnen Schallrichtungen weiter begünstigt dadurch, dass die Fläche trichterförmig nach dem Mittelohr zu vorspringt (vgl. Fig. 2). Dies bewirkt einestheils eine weitere Vergrösserung des aufnehmenden Feldes und wirkt so in derselben Weise wie Punkt 2, anderentheils aber bewirkt es für viele, besonders für die in sehr schiefer Richtung zu einem ebenen Trommelfell auftreffenden Schallströme eine Localisation auf eine viel geringere

Fläche, wie aus Fig. 2 ohne Weiteres ersichtlich ist. Ein Schallstrom aber, welcher auf die eine Seite des Trichters ziemlich senkrecht auffällt, wird, wenn er zugleich die andere noch mittrifft, diese unter sehr schiefe Winkel und damit mit relativ geringer Intensität treffen, so dass dieser Theil seiner Wirkung nur wenig in Betracht kommen wird. Durch dies Mittel erhalten wir also eine zweite Erhöhung der Verschiedenheit in der Wirkung der einzelnen Schallrichtungen, und zwar auf entgegengesetztem Wege wie oben: dort war es die Vergrösserung der gesammten aufnehmenden Fläche, hier ist es die engere Begrenzung der einzelnen Schallmassen auf der vergrösserten Aufnahmeplatte;

4. haben wir zwei Krümmungen und eine Verengerung im Gehörgang. Dies dürfte wichtig sein einmal in der Hinsicht, in der überhaupt ein äusserer Gehörgang von grossem Nutzen ist, dass die Verletzungen des Trommelfelles von aussen her erschwert werden, weil in gerader Richtung eindringende Gegenstände meistens aufgehalten werden, dann dadurch, dass es (aus demselben Grunde) dem Schall, wenn er in der Richtung der Längsaxe des Gehörgangs kommt, unmöglich gemacht wird, direct und in ganzer Ausdehnung die aufnehmende Fläche zu treffen. Auch dies ist aber, ebenso wie die oben angeführten Punkte, für die Gewinnung möglichst eng umschriebener Localisationsfelder von Wichtigkeit. Den Einfluss, den die erwähnte Art des Baues des Gehörgangs auf die Schallbrechung hat, wollen wir hier nicht weiter in Rechnung ziehen.

Wir haben gesehen, dass der Schall durch den Gehörgang so geleitet wird, dass er je nach der Richtung, aus der er kommt, eine genau bestimmte Partie des Trommelfells trifft¹⁾; diese trifft er bei gleichbleibender Schall-

1) Obgleich ich nicht die Absicht habe, auf das Hörorgan der Thiere hier näher einzugehen, da dies eine eigene ausführliche Behandlung verlangt, so muss ich hier doch, um einem Einwand, der von mancher Seite gemacht werden wird, zu begegnen, eine Bemerkung über die Wirkung der beweglichen äusseren Ohren der (Land-) Säugethiere machen.

Es ist ohne Weiteres klar, dass je nach der Stellung eines solchen Schalltrichters zum Kopf die Projection des Schalles einer bestimmten Richtung auf das Trommelfell ganz verschiedene Stellen auf demselben treffen muss. Es liegt damit der Schluss nahe, Trommelfell und Existenz eines äusseren Gehörgangs könne bei den Thieren mit beweglicher Ohrmuschel nicht auf das Richtungshören bezogen werden, denn bei diesen treffe der Schall unabhängig von der Richtung, aus der er kommt, beliebige Stellen des Trommel-

richtung immer wieder, unabhängig von der Intensität und Qualität des Schalles. Umgekehrt kann der Schall bei keiner anderen Richtung genau dasselbe Feld

felles. Da aber beim Menschen das Trommelfell ziemlich ähnlich gebaut sei wie bei den Säugethieren, so werden bei ihm ebensowenig wie beim Thier Beziehungen des Trommelfelles zum Richtungshören bestehen können.

Hiergegen sprechen neben den Versuchen von Ed. Weber (1851) Versuche, die ich in Gemeinschaft mit meinem Bruder Dr. med. G. Weinland angestellt habe (siehe auch S. 223). Wir beobachteten, dass beim Menschen durch das Vorsetzen eines Schalltrichters vor das eine Ohr (bei Totalverschluss des anderen) die Localisation des Schalles durch die Versuchsperson vollständig wechselt, wenn die Stellung des Schalltrichters geändert wird, dass also in diesem Falle meistens irrthümlich localisirt wird. Die Erklärung, dass dies auf die wechselnde Intensität, mit der der Schall das Ohr erreicht, zurückzuführen sei, ist hinfällig, denn diese könnte (s. S. 222) für das Hören der Richtung nur dann in Anspruch genommen werden, wenn beide Ohren in Gebrauch sind, denn nur dann könnte aus der Differenz der Intensitäten auf beiden Ohren ein hierher zielender Schluss gemacht werden. Bei unseren Versuchen ist das eine Ohr vollständig verschlossen und hört nichts, es ist dem Hörenden nicht möglich zu wissen, ob nicht die Schallquelle selbst verschieden stark angeschlagen ist, oder ob sie nicht weiter entfernt worden ist, deshalb ist er nicht in der Lage, aus der Intensität auch noch auf die Schallrichtung zu schliessen, er muss sich aus ihr über die Entfernung und über die Stärke der tönenden Schallquelle unterrichten. Thatsächlich giebt aber die Versuchsperson nicht etwa keine, sondern eine ganz bestimmte — wenn auch falsche — Richtung an, aus der der Schall kommen soll, sie muss also eine besondere Quelle haben, aus der sie sich über die Schallrichtung unterrichtet.

Wir haben gesehen, dass beim Menschen mit der Stellung des Schalltrichters die Vorstellung von der Richtung, aus der der Schall kommt, sich ändert. Da aber nach unserer obigen Ableitung mit der Aenderung der Stellung des Schalltrichters die Stelle des Trommelfelles, die getroffen wird, wechseln muss, so folgt hieraus, dass der obige Versuch beim Menschen nicht nur unsere Auffassung nicht widerlegt, sondern dass er sie sogar stützt, dass beim Menschen wenigstens jede Stelle des Trommelfelles directen Bezug hat zu einer bestimmten Richtung des Schalles.

Gehen wir weiter! Für das menschliche Ohr mit seinem im Wesentlichen unbeweglichen Schalltrichter giebt es, wie wir sahen, nur eine Art, wie eine jede Schallrichtung auf das Trommelfell projectirt werden kann. Wenn sich jetzt ein Theil des äusseren Gehörgangs bewegt (und etwas Anderes ist die Bewegung der Ohröffel beim Thiere nicht), so wird für jede Stellung dieses beweglichen Ohröffels jeder Schallrichtung eine andere bestimmte — für die gleiche Ohrenstellung immer die nämliche — Trommelfellpartie zugeordnet sein. Das heisst: Wir haben nicht wie bei dem menschlichen Ohr eine einzige Scala von Richtungsprojectionen auf das Trommelfell, sondern deren viele.

Dies hebt zunächst scheinbar die Wahrnehmbarkeit der Richtung auf,

des Trommelfelles wiedertreffen. Eine theilweise Deckung zweier Felder ist aber natürlich damit nicht bestritten und sehr wohl möglich. — Ob es eine Art „Blinden Fleck“ des Trommelfelles giebt, d. h. eine Stelle, die vom Schall in keinem Falle bestrichen würde, muss zunächst dahingestellt bleiben.

Den äusseren Gehörgang schliesst das Trommelfell ab. Welches ist die Wirkung des Schalles auf dasselbe? Zunächst wird er, nachdem er dasselbe von der einen Seite getroffen hat, dasselbe durchdringen, und darauf auf der anderen Seite das Trommelfell wieder verlassen und sich in der Luft der Paukenhöhle weiter verbreiten, wie wir dies bei jeder

aber auch nur scheinbar. Die Bewegung der Ohrlöffel geschieht durch Muskeln. Wenn die Stellung des Ohrlöffels jedesmal, bei jeder Erschütterung einer bestimmten Trommelfellpartie wahrgenommen wird, oder besser, wenn sie immer im entsprechenden Centrum des Centralnervensystems bekannt ist, so wird sie mit der Nachricht des Acusticus verknüpft werden können. Damit ist es durch das Zusammenwirken von Muskelempfindung und Gehörempfindung genau und eindeutig zu erkennen möglich, dass ein Schall aus einer bestimmten Richtung gekommen ist, mag er auch nach einander die verschiedensten Stellen des Trommelfelles (bei stets wechselnder Stellung des äusseren Ohrs) getroffen haben.

Man kann dieser Darstellung eine gewisse Complicirtheit des Vorgangs vorwerfen, aber ich erinnere daran, dass etwas vollständig Homologes — nämlich die Verknüpfung der Empfindungen des Muskels mit denen des Sinnesorgans — für das Auge allgemein angenommen wird.

Diesen Ausführungen zufolge ist das Gehörorgan vieler Säugethiere ebenso wie das Auge ein bewegliches Organ, beim Menschen aber hat es jedenfalls diese Eigenschaft verloren, und seine Function ist dadurch etwas einfacher geworden. Vielleicht hat bei jenen Thieren die Ohrmuschel neben der Zuführung einer grösseren Schallmenge auch die Aufgabe, durch ihre Stellung den Schall auf die Stelle des Trommelfelles zu werfen, welche für feine Unterschiede in der Richtung den schärfsten und grössten Unterschied ergiebt, ebenso wie die Augenmuskeln das Auge so stellen, dass das Bild des Objectes, das die Aufmerksamkeit auf sich zog, auf den empfindlichsten Theil der Retina, auf den gelben Fleck falle. Auf die Gründe der Vereinfachung beim Menschen will ich hier nicht eingehen und nur noch das Eine erwähnen, dass nicht, wie vielfach angenommen wird, durch Ausprobiren der Stellung, in der die Ohrmuschel am meisten Schall aufnimmt, durch die Thiere die Richtung, aus der das Geräusch kommt, wahrgenommen wird, sondern dass die Ohrmuschel, wie wir oftmals, unter Anderem auch an einem zahmen Reh, beobachten konnten, sogleich die richtige, für die Schallrichtung passende Stellung einnimmt, ohne vorher zu schwanken. Schon ehe das Ohr seine Bewegung ausführt, ist die Richtung des Schalles wahrgenommen. — Die Bewegung hat bei jedem Ohr unabhängig statt: ist das eine nach vorn, so kann das andere gleichzeitig nach hinten gerichtet sein.

Schallwelle, die eine Membran trifft, kennen. Wir kommen später (s. S. 215) auf den weiteren Verlauf dieser Schallwellen zurück. Einer Flächenausbreitung des Schalles im Trommelfell selbst steht neben Anderem schon der einer gleichmässigen Fortpflanzung des Schalles ungünstige Bau dieser Membran im Wege; dieselbe soll deshalb nicht weiter berücksichtigt werden.

Zweitens wird der Schall dasjenige Feld des Trommelfells, das er getroffen hat, in Mitschwingungen versetzen, welche dem getroffenen Orte nach, ferner der Qualität und Intensität nach verschieden sind.

Betrachten wir zuerst die Wirkung der Verschiedenheit im getroffenen Ort des Trommelfelles! Das Trommelfell ist durch seine Ausspannung in der Luft, und zwar in einer Luft, die auf beiden Seiten desselben normaler Weise unter gleichem Druck steht, ganz besonders geeignet, auch den kleinsten Bewegungen nachzugeben. Je nachdem die eine oder andere Stelle des Trommelfelles sich in Schwingung befindet, wird der Zustand, genauer die Stellung, oder Lage der nicht erschütterten Stellen desselben infolge des von der schwingenden Stelle auf den übrigen Theil der Membran ausgeübten Zuges verschieden sein, auch wenn die Qualität und Intensität der Erschütterung nicht wechselt. Umgekehrt wird (s. unten), wenn auch Qualität und Intensität des Schalles wechselt und nur seine Richtung gleich bleibt, die Stellung des nicht bewegten Trommelfelltheiles dieselbe sein. Damit aber, dass die Stellung der nicht schwingenden Trommelfellpartie sich ändert, muss sich auch die Stellung des Trommelfelles im Ganzen ändern; es wird also auch die Stellung der Gegend desselben, die uns besonders interessirt, wo der Hammer dem Trommelfell anliegt und mit demselben fest verwachsen ist, sich ändern müssen. Auf den Hammergriff und auf seine Stellung wird es demnach von Einfluss sein, welche Stelle des Trommelfelles sich in Schwingung befindet, und die veränderte Lagerung des Trommelfelles und damit des Hammergriffs wird so lange gleichmässig fort dauern, als die bestimmte Stelle des Trommelfells sich in Bewegung befindet.

Wir kommen zweitens zur Wirkung der Intensität des Schalles auf das Trommelfell. Je nach der Intensität, die der Schall besitzt, wird er die von ihm betroffene Stelle in verschieden starke Bewegung setzen, und es liegt nahe anzunehmen, dass er damit auch infolge des ausgeübten verschieden starken Zuges auf die Umgebung des Angriffsfeldes die Stellung des Trommelfelles und

des Weiteren des Hammergriffs u. s. w. beeinflussen könne. Allein die anatomische Thatsache deutet auf etwas Anderes: Durch die radiären und circulären Bindegewebsbalken, die eine sehr feste Membrana propria von sehr geringer elastischer Ausdehnbarkeit bilden, ist eine sehr früh zu erreichende Grenze für die Stellungsveränderung des Trommelfelles gesetzt: nur so lange, bis diese Balken straff gespannt sind, wird die Vergrößerung der Intensität von Einfluss auf die Stellung des Trommelfelles und Hammergriffs sein. Jede weitere Steigerung der Intensität wird in dieser Hinsicht wirkungslos bleiben.

Anders läge die Sache, wenn die Membrana propria des Trommelfelles aus elastischem Gewebe bestände, dann wäre das soeben Gesagte nicht möglich, und die Lageänderung des Trommelfelles steigerte sich mit der Intensität des wirkenden Schalles; so aber, da die Membran aus Bindegewebe hergestellt ist, muss sie früh der Wirkung der Intensität eine Grenze setzen.¹⁾

Es ist nun die Frage: Welche Intensität muss der Schall haben, damit die schwach gewölbte Membran jeweils nicht mehr weiter in ihrer Stellung verschoben werden könne, also in ihre extreme Stellung komme? Aller Wahrscheinlichkeit nach dürfte hierfür bei der Structur des Trommelfelles schon eine relativ sehr geringe Stärke des Schalles genügen²⁾, so dass allermeistens, wenn ein Laut ertönt, das Trommelfell seine äusserste Stellung erreicht und einnimmt.

Aus unserer Ableitung würde sich somit ergeben, dass der Wechsel in der Intensität so gut wie keinen Einfluss auf die Stellungsänderung des Trommelfelles und Hammergriffes u. s. w. ausüben kann.

Was drittens die Qualität des Schalles betrifft, so ist sie die Eigenschaft desselben, die am meisten Mannigfaltigkeit besitzt und von ihrem Aufnahmeapparat die Fähigkeit verlangt, ausserordentlich feine und kleine Unterschiede genau und unverändert festzuhalten. Halten wir damit den Umstand zusammen, dass für gewöhnlich nicht das ganze Trommelfell, häufig vielleicht nicht einmal die den Hammergriff umgebenden Stellen desselben direct vom Schall getroffen werden, sondern andere, mehr entfernt liegende, so müssen wir sagen, dass durch diese Einrichtung das

1) Die bei der Einwirkung sehr starker Schallmassen beobachtete Ruptur des Trommelfelles deutet auch darauf hin, dass das unelastische Trommelfell keine sehr bedeutenden Excursionen zu machen im Stande ist.

2) Vgl. das auf S. 210 beim Tensor tympani Bemerkte.

zu Uebertragende je nach dem Ort der Einwirkung des Schalles in sehr ungleicher Weise wird übertragen werden müssen, auch wenn der Klang ganz derselbe geblieben ist, dass aber ferner auch die Genauigkeit der Uebertragung der Schallwellen von diesen verschiedenen Stellen aus zum Hammergriff natürlicher Weise je nach deren Lage eine sehr verschiedene sein wird. Dies wird in dem Grade der Fall sein, dass das eine Mal, wenn der Hammergriff und Umgebung getroffen sind, die Uebertragung auf denselben ziemlich genau erfolgt, das andere Mal, wenn derselbe und seine nächste Umgebung nicht getroffen sind, die Qualität des Schalles — die sich in diesem Falle fast nur in der Art des Zuges am Hammergriff bemerkbar machen könnte — beinahe spurlos an denselben vorübergeht.

Dass eine solche Einrichtung nicht dazu geeignet ist, die Qualität des Schalles unserem menschlichen Hörapparat zu übermitteln, leuchtet ein. — Auf die Ursache, durch welche die oben genannte eventuelle, der Qualität entsprechende Bewegung des Hammergriffs ihre Bedeutung verliert und zum Verschwinden kommen dürfte, werde ich später (s. S. 209) zu sprechen kommen.

Für diese unsere obige Deduction, dass das Trommelfell nicht das eigentliche Schallaufnahmewerkzeug (für Intensität und Qualität) ist, spricht neben Anderem besonders auch die sogenannte Kopfknochenleitung des Schalles und die allen Ohrenärzten bekannte Thatsache, dass manche Individuen ohne Trommelfell wohl noch zu hören im Stande sind.

Wir haben gesehen, dass der Schall je nach der Richtung, aus der er kommt, das Trommelfell in eine bestimmte Stellung bringt, die dieser Richtung eigenthümlich ist, und von Intensität und Qualität des Schalles so gut wie unabhängig ist. Diese bestimmte Stellung des Trommelfelles giebt Veranlassung zu einer bestimmten Stellung des mit ihm durch Bindegewebsbündel fest verbundenen Hammergriffs.

Wäre der Hammergriff im Mittelpunkt des kreisrund gedachten Trommelfelles und nur in diesem befestigt, so müsste, wenn Stellen getroffen werden, die vom Mittelpunkt gleich weit entfernt sind, die Stärke des Druckes auf den Hammergriff die nämliche sein. Dabei käme die durch die Verschiedenheit in der Localisation der getroffenen Felder ausgedrückte Schallrichtung nicht in jedem Fall, in dem sie verschieden wäre, zu verschiedener Wirkung.

Beim menschlichen Trommelfell ist der Hammergriff in einer langen gebogenen Linie mit dem Trommelfell verbunden, auch liegt das Ende des Manubrium (dem Nabel des Trommelfelles entsprechend) nicht in der Mitte des Paukenfelles. So kommt es, dass, auch wenn zwei vom Mittelpunkt gleich weit entfernte oder zur ganzen Insertionslinie (wenn sie gerade verlaufen würde) symmetrisch gelegene Stellen getroffen werden, doch der Ausschlag am Hammergriff ein verschiedener ist.

Es ist somit durch die Art der Befestigung und durch die Form des Hammergriffs erreicht, dass jede Schallrichtung eine andere bestimmte Hammerbewegung¹⁾ hervorbringt.

Wie die kleine Bewegung des Hammers durch den Amboss dem Steigbügel übergeben wird, wollen wir nicht verfolgen. Nur eins sei dazu bemerkt: Wenn es richtig ist, dass der Amboss die Auswärtsbewegungen des Hammergriffs (Trommelfelles) nicht mitzumachen braucht, so scheint es fraglich, wie dies mit der Theorie, dass die Gehörknöchelchen der eigentliche schallleitende Apparat seien, zu vereinigen sei. Dagegen ist es mit unserer Auffassung sehr leicht zu vereinigen, ja es erscheint für dieselbe als eine Vervollkommnung des Apparates. Es wird auf diese Weise dem oben (s. S. 208) genannten Fall begegnet, in welchem der Hammergriff die Oscillationen des Trommelfelles mitmachen muss. Wenn nämlich diese Schwingungen schon überhaupt durch das Vorhandensein von Gelenken (s. S. 212) alterirt werden, so werden sie durch ein Gelenk, welches nur jede Einwärtsbewegung des Hammers überträgt, den Amboss aber nicht zwingt, dessen Auswärtsbewegungen mitzumachen, aufgehoben werden. Es kommt gewissermaassen nur eine dauernd veränderte Stellung des Trommelfelles, nicht eine oscillirende Bewegung desselben zur Wirkung auf den Amboss. Also auch hier wird nur eine Stellung des Trommelfelles durch den Hebelmechanismus weiter befördert.

Den Gehörknöchelchen sind zwei Muskeln beigegeben. Der eine setzt gegenüber dem kurzen Fortsatz des Hammers an

1) Dem Trommelfell selbst die Wahrnehmung der Richtung des Schalles zuzuthellen, scheint mir unzulässig; es müsste in diesem Fall möglich sein, dass ein Individuum, das das Gehör verloren hat, noch im Stande ist, die Schallrichtung wahrzunehmen, worüber meines Wissens nichts bekannt ist.

diesem an und zieht den Hammergriff nach innen in die Paukenhöhle hinein. Dabei muss, wie schon aus den meisten Figuren deutlich ist, der Kopf des Hammers auf den Amboss, specieller, es müssen die beiden Gelenkflächen auf einander festgepresst werden. Ausserdem wird dabei das Trommelfell etwas nach innen gezogen werden.¹⁾ Dadurch wird das Trommelfell etwas stärker gespannt, und die Folge davon wird sein, dass eine noch geringere Intensität des Schalles als gewöhnlich hinreichen wird, um die extreme Stellungsänderung des Trommelfelles hervorzu-
bringen (s. S. 207). Dies ist eine Wirkung, die bei schwachen Lauten einen nützlichen Erfolg haben wird.

Der zweite Muskel setzt am Steigbügel an und zieht an demselben nach hinten, etwa im rechten Winkel zum langen Fortsatz des Amboss, der von unten nach oben gerichtet ist. Derselbe spannt erstens die Ringmembran des ovalen Fensters, so dass die Fussplatte des Steigbügels nicht in demselben hin- und herschlottern kann, sondern jede Bewegung eine ganz exacte Reaction erzielt; zweitens wird er im obigen Fall, wenn Hammer und Amboss durch den Tensor tympani fest auf einander und damit auch auf den Steigbügel gedrückt sind, den Kopf des Steigbügels am Ausweichen verhindern.

Auf diese Weise würde die gleichzeitige Zusammenziehung beider Muskeln eine feste Spannung des ganzen Apparates vom Trommelfell bis zum Steigbügel bewirken, so dass sich nur in ganz regelmässiger Weise, ohne alle zufällige Ungenauigkeit infolge ungenügender Fixation, z. B. Schlotterns, der einzelnen Theile die Bewegung vom Trommelfell — besonders auch wenn die Erschütterung desselben eine sehr schwache ist²⁾ — auf das Labyrinthwasser übertragen würde. Wird die Contraction der Muskeln eine noch stärkere, so dass der ganze Apparat nur noch ein einziges festes Stück darstellt, so dürfte dies leicht — ebenso wie Ankylosen der Gelenke, besonders des Hammer-Ambossgelenkes — zu oscillirenden Bewegungen der Ge-

1) Doch ist nach Gruber (Studien über das Trommelfell. Wien 1867) diese Einziehung des Trommelfelles nicht immer nothwendiger Weise der Fall: der Hammer kann etwas nach einwärts gehen, ohne dass das Trommelfell mitzugehen braucht. Auch wäre, wenn dies die einzige und Hauptaufgabe des „Tensor“ wäre, eine Insertion so weit vom Mittelpunkt des Trommelfelles entfernt eine ungünstige, zu einem gleichmässigen Zug auf das Trommelfell ungeeignete.

2) Dass der M. stapedius ein Lauschmuskel sei, sagt auch, wenngleich in anderem Sinne, T o y n b e e.

hörknöchelchen und damit zu Gehörstörungen (Geräuschen u. s. w.) führen.

Die Beobachtung von Hensen, dass der Tensor nur bei Beginn eines jeden Geräusches (reflectorisch) zuckt (Katze), lässt sich mit unserer Auffassung gut vereinigen, denn wir müssen bedenken, dass das Thier nicht wissen kann, wie lange der Schall fort dauert, und dass es also schon aus dem ersten schwachen Geräusch möglichst viel und ganz besonders die Richtung desselben kennen lernen muss. Ferner kann sich der Ort, wo das Geräusch entsteht, fortwährend verändern; aus diesem Grunde ist das hörende Thier sogar während eines fort dauernden Geräusches, z. B. bei jeder neuen Silbe, gezwungen, die Fixation des ganzen Richtungs-hörapparates zu wiederholen, um sich nicht verhängnissvollen Täuschungen auszusetzen. Eine dauernde Fixation wäre von den Muskeln kaum zu leisten, ausserdem ist sie aber nachtheilig wegen der mit ihr gewöhnlich einhergehenden stärkeren Spannung des Trommelfelles, die die Weiterleitung des Schalles, der es durchdringen muss, abschwächt. Demzufolge dürfen wir wohl annehmen, dass die Aufnahme der Schallrichtung einerseits und des Schalles selbst andererseits sich gegenseitig etwas im Wege sind, und dass deshalb der Richtungs-hörapparat immer nur von Zeit zu Zeit mit Hülfe der speciell zu diesem Zweck vorhandenen Muskeln reflectorisch¹⁾ in Thätigkeit gesetzt wird.

Wollten wir im Gegensatz zur obigen Darstellung annehmen, dass die Hörknöchelchen auch die Qualität²⁾ und Inten-

1) Als die Orte, von denen aus dieser Reflex ausgelöst wird, dürfen wir wohl die Ohrmuschel, den Gehörgang und besonders das an Sinnesapparaten reiche Trommelfell betrachten. Hierfür spricht besonders ein Fall von Gellé (La semaine méd. 1886. No. 42), der einen Mann der Charcot'schen Klinik mit absoluter Unempfindlichkeit der beiden Trommelfelle und Gehörgänge ausser Stande fand, die Richtung des Schalles, den er wohl hörte, anzugeben. Doch ist hier nicht ausgeschlossen, dass die Innervation der Muskeln des Mittelohres gestört war, oder eine andere Anomalie bestand.

Ob auch die Schnecke, nach deren Zerstörung Pollack (Jahrb. d. k. k. Ges. d. Aerzte in Wien. 1886) die Muskelbewegungen im Mittelohr vermisste, ähnliche reflectorische Beziehungen hat, lasse ich dahingestellt, da die Grösse des Eingriffs den Versuch nicht einwandfrei erscheinen lässt.

Ob der Apparat auch willkürlich in Bewegung gesetzt werden kann, möchte ich dahingestellt sein lassen.

2) Ob den an Präparaten beobachteten Bewegungen der Knöchelchen bei Tönen eine physiologische Bewerthung zugesprochen werden kann, möchte ich sehr bezweifeln.

sität des Schalles dem Labyrinthwasser zutragen, so wäre das Vorhandensein eines einzigen Hörstabes von Trommelfell bis Labyrinth, wie dies beim Vogel der Fall ist, für diesen Zweck viel geeigneter, als die Uebertragung des Schalles durch Knöchelchen, die sich in Gelenken an einander verschieben; denn einmal könnten diese Knöchelchen in den Bewegungen ihrer Schenkel die Zahl der Schwingungen der höheren und gar der höchsten Töne, wie dies schon Bezold ausgesprochen hat, nicht mehr mitmachen, es müssten also fast fortwährend die beiden Muskeln in Thätigkeit sein, um aus den drei Stücken eins zu machen. Zudem würden sehr schnelle Bewegungen die Gelenke rasch zerstören. Auch ist zu bedenken, dass die Knöchelchen ebenso oft in der Secunde sich hin- und herbewegen müssten, wie die Zahl der Schwingungen des Tones in der Secunde beträgt. Dazu würde aber wegen ihrer Masse eine relativ bedeutende Kraft nöthig sein, wie sie wohl für gewöhnlich nicht in den Schallwellen, die ins Ohr kommen, vorhanden sein dürfte. Dagegen ist, wie schon oben bemerkt wurde, für derartige Bewegungen die Uebertragung viel genauer, wenn sie durch einen massiven Stab stattfindet. Dies erkannte Hensen richtig, als er sagte: „Bei den Säugethieren wird das in dieser Richtung (bei den Vögeln) Erreichte theilweise wieder aufgegeben“, indem nämlich an Stelle der einen Columella drei Stücke treten.

Handelte es sich bei dem Trommelfellapparat nur um die Weiterleitung des Schalles, so wäre diese complicirte Einrichtung allerdings unnöthig; anders aber wird die Sachlage, wenn es sich darum handelt, dass die Wirkung, die die Verschiedenheit in der Richtung des Schalles hat, nicht verloren gehe; dass dies schwer zu erreichen sei, ist begreiflich. In diesem Sinne erscheint der ganze Apparat sehr zweckmässig gebaut: den Gehörknöchelchen kommt nur eine langsame Bewegung zu; solche Bewegungen werden durch einen Hebelmechanismus sehr exact und schon in geringster Grösse übertragen.

Für solche langsame Bewegungen ist es verständlich, dass sie, wie Weber und mit ihm die Autoren angenommen haben, eine Strömung, eine Bewegung der ganzen Masse der Flüssigkeit im Labyrinth erzeugen, nicht aber Schwingungen der in demselben befindlichen Flüssigkeitsmasse.

Ob ferner die Thatsache, dass bei den Insectivoren die Arteria carotis externa durch den Steigbügel geht, für dessen Function als schallübertragender Apparat günstig ist, scheint sehr frag-

lich¹⁾, sie dürfte zweifelsohne manche Störung in diese Thätigkeit bringen; für unsere Auffassung ist die Thatsache belanglos.

Wir haben gesehen, dass der Steigbügel, je nach der Richtung, aus der der Schall kommt, verschieden starke, langsame Bewegungen im ovalen Fenster machen muss. Diese Bewegungen üben einen Druck auf die Perilymphe aus, die das membranöse, eigentliche Gehörorgan umspült. Dadurch wird dieselbe veranlasst, nach irgend einer Richtung einen Ausweg zu suchen, d. h. es entsteht durch sie eine Strömung nach dem Orte hin, wo die Flüssigkeit ausweichen kann. Solcher Orte sind es zwei, die nahe bei einander liegen: der Eingang des Aquaeductus cochleae und die Haut des runden Fensters.²⁾ Dagegen ist der mit dem Innern des membranösen Gehörorgans communicirende Ductus endolymphaticus hierfür zunächst ohne Bedeutung.

Nach dem Eingang des Aquaeductus cochleae und nach dem runden Fenster zu wird sich also eine Strömung bilden. Dieselbe wird den Weg durch die Scala vestibuli aufwärts³⁾, dann durch das Helicotrema hindurch, und dann in der Scala tympani wieder abwärts nehmen, bis sie an ihrem Ziele angekommen ist.⁴⁾

Zwischen den Kanälen der beiden Scalen, in denen sich die Flüssigkeit unter einem stärkeren Druck befindet, liegt der im Querschnitt etwa dreieckige eigentliche Schneckenkanal. Dieser ist von dem Vorhofskanal nur durch eine sehr zarte, dünne, blutgefässlose Wand, die Membrana Reissneri, geschieden. Es ist deshalb keine Frage, dass der Druck in dem Vorhofskanal durch dieses Häutchen hindurch auf die im Schneckenkanal enthaltene Flüssigkeit (Endolympe)

1) Das Nachtheilige einer solchen Einrichtung tritt noch deutlicher hervor, wenn wir bedenken (s. S. 216), dass in der Scala tympani Arterien ganz vermieden sind.

2) Der feine zwischen Periost und Wand des Ductus endol. liegende Aquaeductus vestibuli dürfte im Vergleich zu den beiden genannten nicht als Ausweichstelle in Betracht kommen, vielmehr nur als eine lymphatische Hülle des Ductus endolymphaticus aufzufassen sein.

3) Die Beobachtung von Politzer, der bei Trommelfell-, bzw. Stapesbewegung Bewegung der Flüssigkeit im abgebrochenen oberen Bogengang sah, ist natürlich nur möglich, wenn der Bogengang eröffnet ist. Anderenfalls ist die Flüssigkeit dorthin auszuweichen nicht in der Lage.

4) Hier ist auf die Beobachtung von Retzius hinzuweisen, der beim Frosche (*Rana esculenta*) schon beim leisesten Druck Injectionsmasse vom Ductus perilymphaticus — der hier dem Aquaeductus cochleae homolog ist — zum Hirn dringen sah.

wirken wird. Dieselbe wird dem continuirlichen Druck auszuweichen streben; sie kann dies nicht nach dem Gipfel der Schnecke zu, da der Schneckenkanal dort geschlossen ist, sondern nur nach dem Grunde der Schnecke zu, wo diese durch den *Canalis reuniens* mit dem *Sacculus* in Verbindung steht. Aus dem *Sacculus* entspringt der *Ductus endolymphaticus*, der durch ein engeres Kanälchen auch mit dem *Utriculus* zusammenhängt und an der hinteren Fläche der *Pars petrosa* in dem zwischen *Durablättern* gelegenen *Sacculus endolymphaticus* endigt. Durch diese Verbindungen ist die Möglichkeit eines Ausweichens der Endolymph für alle Fälle gesichert.

Demnach entsteht in dem Schneckenkanal, ebenso wie im Vorhofskanal und im Mittelohrkanal (*Scala tympani*), eine Strömung, und zwar in entgegengesetzter Richtung wie im Vorhofskanal, nämlich von oben nach unten.

Es ist die nächste Frage: Welcher Art wird die Wirkung dieser Strömung auf den Inhalt des Schneckenkanals sein müssen? Strömungen suchen Alles mitzureissen, was in sie hereinkommt, sowohl frei flottirende Bildungen, als auch solche, die etwas befestigt sind. Solcher Bildungen liegen in der Endolymph des Schneckenkanals zwei: die Deckmembran (*Membrana tectoria*) und das Corti'sche Organ. Wir haben zu untersuchen, ob sie beide, ob nur eine von beiden, oder ob keine derselben geeignet ist, sich von einer Strömung mehr oder minder stark mitreissen zu lassen.

Die mit ihrem inneren Theil dem *Limbus spiralis* fest angekittete *Membrana tectoria* ist compact; dies begünstigt ein Mitgerissenwerden nicht. Die cuticularen Fasern, welche sie zusammensetzen, laufen von innen basal- nach aussen kuppelwärts; dies arbeitet einer Verschiebung von der Kuppel nach dem Grunde der Schnecke entgegen. Endlich ragt die Deckmembran, die ein plattes, mit der Stromrichtung gleichlaufendes Spiralband darstellt, auf dem Querschnitt betrachtet, als nur schmales Blatt in die Strömung herein und bietet deshalb der Strömung sehr wenig Angriffspunkte; diese kann demnach keinen beträchtlichen Stoss, der die ganze Bildung mitrisse, auf sie ausüben. Es ist somit sehr wenig wahrscheinlich, dass die Deckmembran von der Strömung mitgerissen werden wird.

Das Corti'sche Organ ist keine compacte Bildung, es ist in seinem Innern durch Tunnel, Nuel'sche Räume und interpilare

Fissuren reichlich zerklüftet. Diese Spalten und Hohlräume sind zwar alle nach aussen geschlossen, aber sie sind mit Flüssigkeit angefüllt und setzen darum der Verschiebung keinen Widerstand entgegen, wie dies ein Gewebe thun würde; sie ermöglichen die Verschiebung vielmehr, indem nunmehr die einzelnen Pfeiler von ihren Nachbarn ungehindert sich hin- und herbewegen können. Ausserdem bietet das Corti'sche Organ durch seine beträchtliche Ausdehnung in die Breite und auch in die Höhe einer Strömung viel Angriffsoberfläche dar und ist dadurch — wie ein belaubter Baum dem Winde — jeder Strömung im Schneckenkanal äusserst zugänglich und leicht durch dieselbe mitzureissen.

Dieser Auffassung ist noch eine weitere Thatsache günstig: ich meine die dem Corti'schen Organ aufsitzende *Membrana reticularis*, welche eine feste, unverrückbare Localisirung der einzelnen in ihre Lücken (Maschen) eingesetzten Hörhaarzellen gegen einander bewirkt. Durch diese Einrichtung kann — auch wenn das Corti'sche Organ in toto verschoben wird — die Stellung der einzelnen Hörhaarzellen zu einander nicht geändert werden, denn die *Membrana reticularis* ist ein Halt für die dazwischen gestellten Haarzellen.

Wir dürfen demnach aller Wahrscheinlichkeit nach annehmen, dass durch die in dem Schneckenkanal verlaufende Strömung, je nach der Stärke derselben, das Corti'sche Organ und nur dieses in entsprechendem Grade mitgerissen und etwas nach dem Grunde der Schnecke zu geschoben wird. Dass dabei das Corti'sche Organ jeweils, sobald die Strömung aufhört, wieder in seine Ruhelage zurückkehrt, dürfen wir den Corti'schen Bögen und den Pfeilern der Deiters'schen Zellen als leicht zu erfüllende Leistung zutrauen.

Ehe wir die Vorgänge im Schneckenkanal, die Thätigkeit des Corti'schen Organs und der Deckmembran, weiter verfolgen können, müssen wir zu den Schallwellen zurückkehren, nachdem sie das Trommelfell durchsetzt haben und im Mittelohr angekommen sind. Dort wird der Schall gewöhnlich direct die gegenüberliegende Wand treffen; aber auch wenn er sie nicht direct trifft¹⁾, so wird der Schall doch bald auf diese

1) Zugleich ist hier neben Anderem ein Vortheil eines künstlichen Trommelfelles verständlich: durch dasselbe wird der im Mittelohr befindliche Schall

Wand stossen und, was das Wesentliche ist, die in derselben befindliche dehnbare Membran des runden Fensters in Mitschwingungen versetzen.

Dem Steigbügeldruck auszuweichen (siehe S. 213) dürfte nicht die hauptsächliche Aufgabe der Haut des runden Fensters sein, denn einmal dient ganz besonders auch noch der *Aquaeductus cochleae* diesem Zweck; dann aber dürfte sich aus diesem Grunde allein diese zweite Oeffnung in dem sonst so abgeschlossenen Organ nicht nach aussen gebildet haben, denn eine solche Oeffnung bedingt immer einige Störung, ja Gefahr, sondern nach innen, nach dem Gehirn zu, wo sie in Gestalt des *Aquaeductus cochleae* auch thatsächlich besteht. Hier lag noch ein weiterer, ein Hauptgrund vor, und der ist der, dass durch diese Oeffnung der Schall ungestört Zutritt erhielt.¹⁾

Die Thatsache, dass sich die Membran des runden Fensters wohl von dem Mittelohrkanal (der *Scala tympani*) aus gegen das Mittelohr vortreiben lässt, nicht aber von dem Mittelohr aus gegen den Mittelohrkanal, spricht nicht im Geringsten gegen die von uns angegebene Functionsdeutung; denn die Fähigkeit, dem vom Steigbügel ausgeübten Druck auszuweichen, hindert die Membran gar nicht daran, dass sie von den Schallwellen vom Mittelohr aus in Bewegung gesetzt werde; dagegen spricht diese Fähigkeit sehr für die Elasticität dieser Membran, und diese Eigenschaft ist für die von uns der Membran zugetheilte Aufgabe sehr günstig.

Von der dünnen schwingenden Membran des runden Fensters werden sich die Schwingungen der Flüssigkeit des Mittelohrkanales (*Scala tympani*) mittheilen. Bei dieser Uebertragung ist kein Grund vorhanden, dass die Beschaffenheit des Schalles irgendwie alterirt würde, wie dies bei der einzigartigen Uebertragung des Schalles durch Gelenke jedenfalls eintreten müsste. Ja es ist sogar dadurch, dass in der Wand des Mittelohrkanales (*Scala tympani*) nur Venen, keine Arterien verlaufen, noch besonders vorgesorgt, dass keine Störung der Schallwellen durch die arteriellen Pulsationen erfolge.

verhindert, dasselbe alsbald wieder zu verlassen, und dies dürfte für den nicht seltenen Fall, dass derselbe das runde Fenster nicht gleich anfangs getroffen hat, von Bedeutung sein.

1) Vgl. hierzu auch die Beobachtung von Weber-Liel, dass die Membran des runden Fensters, auch wenn die Membran der *Fenestra ovalis* ganz unnachgiebig geworden ist, in Schwingung kommen kann!

Verfolgen wir den weiteren Verlauf der Schallwellen, so finden wir das Wesentliche dabei darin, dass die Schallwellen immer von unten an die *Membrana basilaris* des Schneckenkanales anschlagen, von derselben zur Wand reflectirt und von dieser sogleich wieder zur Basilmembran zurückgeworfen werden. Dieser Process setzt sich durch den ganzen Mittelohrkanal (*Sc. tympani*) bis zum Gipfel der Schnecke fort, dort treten die Wellen durch das *Helicotrema* zum Vorhofskanal über, in dem sie sich allmählich verlieren. Dabei mögen sie die *Reissner'sche* Membran eventuell in Bewegung versetzen, es wird dies keinen für uns in Betracht zu ziehenden Einfluss auf die im Schneckenkanal enthaltenen Apparate haben. Möglich ist auch; dass die Wellen in manchen Fällen bis in den Vorhof und bis zum ovalen Fenster auslaufen, auf *Sacculus*, *Utriculus* und die Bogengänge jedoch wird die Schallwelle in ihrem Verlauf jedenfalls nur in den seltensten, wohl schon in das Gebiet des Pathologischen gehörenden Fällen Einfluss haben können.

Ebenso wie wir somit oben (s. S. 201) die nützliche Folge der Existenz eines äusseren Gehörgangs erkannt haben, sehen wir jetzt den Nutzen einer spiraligen Anordnung des Mittelohrkanales (*Scala tympani*) und damit der „Schnecke“ ein; denn durch dies Mittel wird die Schallwelle fortwährend gebrochen und dadurch immer wieder zum Anstossen an die Saitenmembran gezwungen. Dies wäre nicht der Fall, wenn die *Scala tympani* ein gestrecktes Rohr bildete; dann würde die Welle wohl auch in den meisten Fällen das eine und andere Mal gebrochen; in manchen Fällen aber könnte es auch kommen, dass die Welle ungebrochen, parallel der Saitenmembran das ganze Rohr bis zum Ende durchliefe, ohne vielleicht auch nur einmal an diese Membran anzustossen. In jedem Fall wäre die Häufigkeit des Anstosses an die Grundmembran eine bedeutend viel geringere, und damit würden wohl bei jedem Laut bestimmte Theile der Basilmembran vom Schall unbestrichen bleiben; dagegen sind wir bei dem spiraligen Bau des Kanales wohl anzunehmen berechtigt, dass dies nicht eintreten wird.

Bei ihrem Weg durch den Mittelohrkanal (*Scala tympani*) werden die Schallwellen je nach ihrer Qualität die ihnen entsprechenden Theile der Saitenmembran in Mitschwingung versetzen.

Ehe wir weitergehen, müssen wir bemerken, dass die Saitenmembran durch das *Corti'sche* Organ, das ihr aufsitzt, belastet ist. Das Vorhandensein einer solchen Bildung dürfte leicht ge-

eignet sein, der freien Beweglichkeit der Saitenmembran Eintrag zu thun. Dem wird dadurch entgegengewirkt, dass die Corti'schen Pfeiler an der Decke des Tunnels in einander gelenkt sind. Durch diese Gelenke wird die leichte Beweglichkeit der Membrana basilaris begünstigt, indem nunmehr das der schwingenden Membran aufsitzende Gewebstück die Schwingungen der Membran nicht hemmt und hindert, sondern vermöge seiner gelenkigen Verbindungen diese einfach begleitet. Die Anwesenheit flüssigkeitsgefüllter Räume (Tunnel, Nuel'sche Räume u. s. w.) unterstützt ebenfalls diesen Zweck der leichten Beweglichkeit des Corti'schen Organs sowohl in verticaler als in seitlicher (s. S. 215) Richtung.

Was die Mitschwingungen der Saitenmembran betrifft, so dürfen wir nicht annehmen, dass jeder Saite nur ein Ton entspricht, vielmehr wird dieselbe erstens auch bei den Obertönen des Tones mitschwingen. Ferner ist jede Faser durch Gewebe mit den anliegenden Fasern verknüpft und zudem selbst — als Theil der Basilarmembran — mannigfach belastet, endlich besitzt sie mehrere relativ feste Punkte — die Stellen meine ich besonders, an welchen die Pfeiler, dann auch die, an welchen die Deiters'schen Zellen befestigt sind, endlich auch die, an welchen das ganze Aufsatzstück (das Corti'sche Organ) seinen Anfang und sein Ende nimmt. Dadurch wird zweitens jede Saite in der Lage sein, nicht nur bei einer bestimmten, sondern bei einer Reihe von Wellenlängen mitzuschwingen, indem jede Schallwelle eine ihr äquivalente Masse zur Schwingung bringt und dies dadurch erreicht, dass sie im einen Fall mehr, im anderen weniger von dem der Saite anliegenden Gewebe mit in ihre Bewegung hereinreißt, und zwar innerhalb nicht sehr enger Grenzen jedesmal so viel, dass die mitschwingende Masse auf den angeschlagenen Ton abgestimmt erscheint.¹⁾

Damit ist die Anschauung, dass bestimmte Stellen der Membrana basilaris besonders für höhere oder tiefere Töne geeignet und aufnahmefähig sind, nicht aufgehoben, es ist vielmehr nur das unnatürliche Extrem ²⁾ derselben, dass die Klänge u. s. w. nach

1) Dies ist um so mehr der Fall und zu beachten, als die Saiten der Basilarmembran an ihren Enden nicht so scharf begrenzt sind wie die einer Geige, eines Klaviers u. s. w. Wir haben hier mit einem Uebergangsstück zu rechnen.

2) Das entgegengesetzte Extrem der v. Helmholtz'schen Auffassung ist die Voltolini'sche, der zufolge jede der in der Labyrinthflüssigkeit aufge-

dem Ohm'schen Gesetz in ihre einzelnen Töne zerlegt, vom Sinnesorgan aufgenommen würden, zurückgewiesen. Ebenso wie eine Membran für die mannigfaltigsten Töne zum Mitschwingen fähig ist, so ist es — innerhalb bedeutend engerer Grenzen — je für eine bestimmte Gruppe von Tonhöhen die einzelne Stelle der Saiten- oder Basilarmembran, die eben doch immer noch eine Membran ist, wenn sie auch aus gleichgerichteten Saiten zusammengesetzt ist.

Auf diese Weise würde der Schall je nach seiner ungefähren Tonhöhe etwas weiter unten oder weiter oben in der Schnecke zur Wirkung kommen, dabei aber nicht zerlegt, sondern in toto die Saitenmembran auf eine gewisse Strecke¹⁾ zu den ihm adäquaten Schwingungen veranlassen.

Von v. Helmholtz wurde als Hauptbeweis seiner Auffassung, dass jeder Ton von einer bestimmten Saite aufgenommen werde, die Behauptung beigebracht, dass bei der Wahrnehmung, z. B. einer Klangfarbe, die Phasenunterschiede der einzelnen Töne keine Aenderung in dem Wahrgenommenen bewirken sollen. Dem widersprechen jedoch Untersuchungen von R. König²⁾, welcher, wenn die Phasen der einzelnen Töne verschieden waren, deutlich eine Aenderung, ein Schärferwerden des resultirenden Klanges beobachtete.

Mit unserer oben angeführten Anschauung harmonirt die bekannte Beobachtung, dass manche Personen gewisse Töne auf dem einen Ohr höher hören. Dies ist, wenn jeder Saite eine bestimmte Wellenlänge entspricht, nur unter Bezugnahme auf das Gesetz von den specifischen Energien verständlich, das wir aber

hängten Haarzellen bei jedem Schall in Schwingung gerathen soll, nach der also jede Zelle Alles hört; doch ist auch diese Auffassung weder zur Erklärung des anatomischen Substrats, noch der physiologischen und pathologischen Beobachtungen ausreichend.

1) Das Auftreten der auf die Differenz der Phasen zurückzuführenden Schwebungen spricht ebenfalls zu Gunsten eines Zusammenwirkens der verschiedenen Töne auf die nämliche Stelle der Basilarmembran, wenn man nicht, wie neuerdings Cross und Goodwin (Proc. of the Amer. Acad. XXVII. 1891. Juni), Schwebungen durch eine centrale Interferenz entstehen lassen will, sondern sie in einem Ohr entstehen lässt, eine Auffassung, mit der auch die Versuche von Terquem und Boussinesq (Journ. de Physique 1875. IV) übereinstimmen: sie beobachteten keine Schwebungen, wenn von zwei schwachen Tönen, die Schwebungen mit einander zu erzeugen geeignet waren, der eine zum linken, der andere zum rechten Ohr geleitet wurde.

2) Wiedemann's Ann XIV. S. 369.

hier absichtlich, aus Gründen, die ich später angeben werde, bei Seite lassen wollen.¹⁾ Anders liegt die Sache bei unserer Betrachtungsweise: Innerhalb einer Membranfläche von gewisser Ausdehnung, die einer bestimmten Tonreihe entspricht, sind durch irgend eine Ursache, etwa eine Schwellung, einige Fasern verdickt und dadurch viel stärker gespannt: diese werden, wenn die ganze umgebende Membran mitschwingt, auch in Schwingungen gerathen, aber die ihnen entsprechende Schwingung wird jetzt eine höhere sein, als gewöhnlich, d. h. wir hören einen höheren Ton, als den von der Schallquelle erzeugten.

Wir haben bis jetzt zweierlei gesehen:

1. wie die Richtung des Schalles in einer Verschiebung des Corti'schen Organs nach dem Grunde der Schnecke zu zum Ausdruck kommt;
2. wie der Schall selbst (seine Qualität und Intensität) sich in den Mitschwingungen der Saitenmembran, auf der das Corti'sche Organ aufsitzt, abzeichnet.

Damit ist die Wirkung beider Eigenschaften auf ein und dasselbe Organ vereinigt.

Dem Corti'schen Organ gegenüber liegt die Membrana tectoria (s. S. 214), welche vom Limbus spiralis, an dem sie festgekittet ist, aus frei in der Flüssigkeit des Schneckenkanals über das Corti'sche Organ wegragt und in geringem Abstand von demselben bis einschliesslich zur äussersten Reihe der Haarzellen reicht. An diese Deckmembran müssen deshalb, sobald die Saitenmembran sich in Schwingung befindet, die obersten Spitzen des Corti'schen Organs, d. h. die steifen Hörhaare der Haarzellen, anstossen, und zwar nur an den Stellen, an welchen sich die Saitenmembran in Schwingung befindet, nicht aber an allen Stellen derselben, obgleich überall die Drehung des Corti'schen Organs nach abwärts durch den Richtungsstrom hervorgerufen wird.

1) Die Knapp'sche Erklärung dieser Erscheinung ist zudem nur brauchbar, wenn jeder Saite nur ein ganz bestimmter Ton, nicht etwa auch seine Obertöne, correspondirt. Ist dies nicht der Fall, so kann sie nicht auf jede Erschütterung, die sie trifft, mit ihrem specifischen Ton antworten, wie sie dies nach Knapp's Annahme thun müsste. Dass aber nicht eine jede Saite für einen bestimmten Ton geschaffen ist, dafür spricht, wie wir oben gesehen haben, Vieles.

An der Membrana tectoria, und zwar an ihrer den Hörhaaren zugewendeten Fläche findet sich eine charakteristische Bildung: der Hensen'sche Streifen, ein festes glänzendes, höckriges Band. Ihm ungefähr gegenüber liegen die in nach aussen schwach convexem Bogen angeordneten Hörhaare der inneren Haarzellen.¹⁾ Je nach dem Grad der Schiebung des Corti'schen Organs werden nunmehr, wenn die Saitenmembran in Schwingung ist, nur einige der im Halboval gestellten, ca. 20 starren Hörhaare an den Hensen'schen Streifen anstossen, oder alle, und dies wird bei jeder bestimmten Schiebungsstellung des Corti'schen Organs verschieden sein, unabhängig von Tonhöhe und unabhängig von der Intensität, mit der die starren Haare gegen die Deckmembran gestossen werden.

Wir sehen also in diesem Hensen'schen Streifen das Mittel, durch das der Anstoss der inneren Hörhaare an die Deckmembran je nach der Richtung, aus der der Schall kommt, einen anderen Charakter bekommt.

Den drei äusseren Haarzellen befindet sich keine besondere Bildung gegenüber, sie stossen entsprechend der Zahl und Intensität der Bewegungen der Saitenmembran an die ziemlich weiche Deckmembran an, es wird ihnen dabei aber kaum eine je nach der Drehung des Corti'schen Organs merklich verschiedene Art des Anstosses zu Theil werden.

Es ist bekannt, dass manche Gehörkranke ein gesprochenes Wort besser hören, wenn z. B. eine Trommel in ihrer Nähe angeschlagen wird. Nach der obigen Auffassung erklärt sich dies leicht so, dass nur in diesem Fall die beim normalen Organ den Hörhaaren beinahe direct aufliegende, hier aber durch irgend eine Ursache von den Hörhaaren weiter abgedrängte Membrana tectoria von diesen erreicht wird und damit die Erregung der Endigungen der Hörnerven ermöglicht.

Man könnte fragen, warum in jeder Linie 4, bzw. 3, warum überhaupt so viele Hörzellen vorhanden seien. Hierauf scheint mir zu bemerken zu sein, dass infolge des Wechsels von Amplitude und Klangfarbe die Bewegung der einzelnen Stücke der Saitenmembran eine sehr mannigfaltige und wechselnde sein kann, dass aber das Charakteristische einer jeden einzelnen Bewegung der

1) Auch diese Zellen sind fest in den Rahmen der Membrana reticularis eingeschlossen, so dass sie sich nicht rühren können.

Saitenmembran nicht immer an einer und derselben Stelle zum besten Ausdruck kommen wird, dass diese Stelle vielmehr wechseln¹⁾ wird, und dass in manchem Fall, obgleich mehrere Hörzellen vorhanden sind, doch nur eine Hörzelle anstösst, während die anderen infolge der Configuration des Klanges nicht so stark in die Höhe geschleudert werden und an ihrem Ort mehr in der Ruhe bleiben. Zudem dürfte häufig überhaupt nur durch das gleichzeitige Anschlagen mehrerer Stellen der Saite an die Deckmembran eine eindeutig genau bestimmte Auffassung und Uebertragung der Bewegungen der Saitenmembran auf die Nervenendigungen stattfinden.

Diese Betrachtung lässt es als sehr begründet, ja als nöthig erscheinen, dass in jeder Linie mehrere Stellen zur Uebertragung der Bewegung auf den Sinnesnerv herangezogen werden. Ganz abgesehen davon ist es aber gewiss für die Genauigkeit in der Aufnahme nicht gleichgültig, ob eine Bewegung nur durch eine Hörzelle oder durch deren mehrere überliefert wird. Hierin dürfte z. B. die bekannte Thatsache ihren Grund haben, dass bei Geräuschen die Richtung, aus der sie kommen, besser gehört wird, als bei Tönen. Bei den ersteren wird ein grösserer Theil der Saitenmembran in Bewegung versetzt, und es müssen deshalb auch mehr innere Haarzellen in der für die bestimmte Richtung bezeichnenden Weise zum Anschlagen kommen.

Nachdem wir gezeigt haben, wie die Richtung, aus der der Schall stammt, je nach ihrer Verschiedenheit in verschiedener eigenthümlicher Weise an dem eigentlichen Nervenendapparat zur Wirkung kommen kann, haben wir die Frage danach, ob dies wirklich auch der Fall ist, experimentell zu prüfen.

Fast überall in den Lehrbüchern und einschlägigen Untersuchungen findet sich die schon von Joh. Müller vertretene Anschauung, dass das Hören der Richtung nur durch die Verbindung der Resultate beider Ohren, bezw. eines Ohres, wenn dasselbe hin und herbewegt wird²⁾, zu Stande komme.

1) Es ist wohl keine Frage, dass, abgesehen von dem, was oben S. 218 erwähnt wird, mit dieser Aufgabe die Weite der Corti'schen Bögen, ihre Entfernung vom Beginn der Saitenmembran u. s. w. zusammenhängt.

2) Eine Ausnahme macht Hyrtl, der in seinem „Gehörorgan der Säugethiere“, Prag 1845, die Ansicht vertritt, dass das Richtungshören nicht auf der Combination der Intensitätsunterschiede in der Wahrnehmung beider Ohren beruht. Er gab den Bogengängen die Aufgabe der entsprechenden Wahrnehmung, wie schon vor ihm manche Autoren (Autenrieth). Ebenso vertritt Preyer neuerdings (Pflüger's Archiv. Bd. XL) entschieden eine directe

Ich habe, um dies selbst zu prüfen, in Gemeinschaft mit meinem Bruder, Dr. med. G. Weinland, eine Reihe von Versuchen an uns beiden und an anderen Personen im freien wie im geschlossenen Raum vorgenommen. Dabei constatirten wir, dass die ihren Kopf ruhig haltende Versuchsperson bei verbundenem oder geschlossenem Auge bei Totalverschluss des einen Ohres durch Wachs (so dass das Ohr die hart vor ihm tickende Uhr nicht mehr hört), ebenso wie bei Halbverschluss desselben durch Baumwolle nicht nur vorn und hinten, seitlich vorn, seitlich hinten u. s. w. richtig angiebt, sondern in jeder dieser Richtungen auch oben und unten leicht und genau auseinanderhält.

Bei fehlendem Trommelfell fand Preyer Abnahme der Fähigkeit, den Schall zu localisiren, ebenso giebt Gruber in seinem bekannten Lehrbuch (Wien 1888) die Beziehung des Trommelfelles zum Richtungshören beim normalen Ohr zu, fügt aber hinzu, dass der durch die Zerstörung des Trommelfelles entstehende Ausfall im Richtungshören mit der Zeit wieder gehoben wird. Wir haben demnach hier eine Compensationserscheinung vor uns, die mit der normalen Art der Wahrnehmung der Schallrichtung nichts zu thun hat. Die normale Richtungswahrnehmung findet mit Hülfe des Trommelfelles statt, und erst wenn diese unmöglich gemacht worden ist, bildet sich nachträglich für diesen Zweck ein Compensationsvorgang aus, wie wir dies im Gebiet der pathologischen Physiologie nicht so selten finden. Ein Compensationsvorgang zur Wahrnehmung von Qualität und Intensität des Schalles ist aber in diesem Falle nicht nöthig, was bei unserer oben entwickelten Auffassung selbstverständlich ist.

Der erwähnte Compensationsvorgang für das Richtungshören kann von zweierlei Art sein. Entweder tritt das intacte Trommelfell des anderen Ohres vicariirend für einen grossen Theil des dem kranken Ohr zugehörigen Raumes ein, oder es kommt zu dem gewiss nicht seltenen, besonders auch bei chronischen Mittelohrkrankheiten zu erwartenden Fall, dass die Schallrichtung nur mehr aus der Combination der Resultate beider Ohren (bezw. eines Ohres, das [mit dem Kopf] hin und herbewegt wird) erschlossen werden muss. In diesem Falle also käme es zu der von den Autoren sogenannten „indirecten

Wahrnehmung der Schallrichtung. Den dazugehörigen Aufnahmeapparat suchte er in den Ampullen der Bogengänge (s. S. 200, Anm. 1). Auch Münsterberg (Beiträge zur exp. Psych. Heft 2. 1889) spricht sich nach seinen Versuchen unbedingt für eine directe Wahrnehmung der Schallrichtung aus.

Richtungswahrnehmung“¹⁾, welche aber wohl keine so genauen Ergebnisse liefern dürfte, als die directe Richtungswahrnehmung.

Wir sehen demnach, dass die directe Beziehung, welche wir im Obigen zwischen Trommelfell und Richtungshören abgeleitet haben, durch die Beobachtung bestätigt wird²⁾, indem auch die Compensationsvorgänge beweisen, dass die Wahrnehmung der Schallrichtung ohne Hülfe des Trommelfelles das Secundäre, Abnorme ist, während die Wahrnehmung mit Hülfe des Trommelfelles das Normale ist.

Zum Schluss will ich meine Auffassung über die Thätigkeit des Gehörorgans kurz zusammenfassen, um einen bequemen Ueberblick über dieselbe und ihre Unterschiede gegen die bisherigen zu ermöglichen.

Durch das Gehörorgan wird zweierlei wahrgenommen: 1. die Höhe und Stärke (Qualität und Intensität) des Schalles, 2. die Richtung des Schalles.

I. Zur Wahrnehmung der Höhe und Stärke des Schalles dient die Saiten- oder Basilarmembran. Ehe er diese erreicht, durchsetzt der Schall zuerst das Trommelfell (das für diesen Zweck keine Bedeutung hat und daher auch fehlen kann), dann die Membran des runden Fensters. Damit ist er in dem Schallkanal (der Scala tympani) angekommen, der, um ihn nicht zu alteriren, keine Arterien besitzt. An der Decke des Schallkanals liegt die Saitenhaut. Damit er diese möglichst oft trifft, ist der Kanal spiralig gebaut („die Schnecke“). Ein Stück von der Saitenhaut setzt der Schall in Schwingung. Die Saiten dieser Haut sind durch Gewebe unter einander verbunden, ausserdem sind sie mannigfach belastet, und endlich sind sie weder am Anfang noch am Ende scharf begrenzt. Deshalb kann nicht eine jede einzelne für nur einen Ton abgestimmt sein; sie muss bei den Obertönen desselben und bei Tönen ähnlicher Wellenlänge, wie die ist, die er hat, in Bewegung kommen. Deshalb werden die einzelnen Töne eines Klanges nicht gesondert aufgenommen.

1) Hierher dürfte z. B. auch der Fall W. v. Bezold's zu ziehen sein (Zeitschr. f. Psych. u. Physiol. d. Sinne. I. S. 486).

2) Gegen eine im normalen Falle stattfindende indirecte Schallrichtungswahrnehmung spricht übrigens auch der Gellé'sche Kranke (s. S. 211, Anm. 1).

Auf der Saitenmembran sitzt das Corti'sche Organ. Damit es leichter die Schwingungen derselben mitmachen kann, bewegen sich seine Pfeiler in Gelenken an einander, ausserdem enthält es reichlich Hohlräume. Die Zellen, die die Hörhaare tragen, sind durch eine Rahmenmembran, die *Membrana reticularis*, gegen einander unverschieblich befestigt. Die Hörhaare ragen über die Oberfläche des Corti'schen Organs hervor. Wenn die Saitenhaut in Bewegung ist, bewegen sich die Hörhaare vollständig in entsprechender Weise. Dabei stossen sie an die ihnen direct gegenüberliegende Deckmembran an. Die Haare übertragen den Reiz den zugehörigen Zellen, welche mit dem Hörnerven in Beziehung stehen.

II. Um die Schallrichtung aufzunehmen, dient das Trommelfell, von dem infolge der Brechung des Schalles im äusseren Gehörgang¹⁾ stets nur ein Theil und zwar bei jeder Aenderung der Richtung wieder ein anderer getroffen wird. Die durch seine Mitschwingungen hervorgebrachte Stellungsänderung des Trommelfells überträgt sich durch den Hebelmechanismus der Gehörknöchelchen als Druck auf die Perilymphe des inneren Ohres. Die zwei Muskeln des Mittelohrs dienen zur genauen Fixation des Hebelapparats, wenn er functionirt.

Der Druck, den der Steigbügel im inneren Ohr ausübt, erzeugt eine Strömung nach dem Ort, wo die Flüssigkeit abfliessen kann, d. h. nach der Schneckenwasserleitung und nach dem runden Fenster zu. Diese Strömung verläuft durch den Vorhofskanal, weiter durch das Schneckenloch in den Mittelohrkanal (*Scala tympani*).

Bei ihrem Verlauf durch den Vorhofskanal übt die Strömung durch die dünne Reissner'sche Haut einen Druck auf den eigentlichen Hörkanal (Schneckenkanal) aus.

Dadurch entsteht eine Strömung in dem Hörkanal. Diese läuft in entgegengesetzter Richtung, nach dem *Canalis reuniens*, *Sacculus*, *Ductus endolymphaticus* und endlich *Saccus endolymphaticus* zu, der sich in der Schädelkapsel befindet.

Durch diese Strömung wird das Corti'sche Organ, d. h.

1) Ein äusserer Gehörgang findet sich ausser bei den Säugethieren z. B. besonders deutlich bei den Eulen, für welche bei ihrer nächtlichen Lebensweise als Räuber der Nutzen eines guten Richtungsgehörs in die Augen fällt.

sein freies Ende, etwas mitgerissen. Dem Corti'schen Organ gegenüber liegt die Deckmembran. Diese besitzt an ihrer Unterfläche gegenüber den inneren Hörhaaren den festen höckerigen Hensen'schen Streifen.

Durch den Schall (siehe I) kommt das Corti'sche Organ in Auf- und Abbewegungen und stösst an die Deckmembran an. Die inneren Hörhaare stossen dabei an den festen Hensen'schen Streifen. Je nachdem das Corti'sche Organ dabei aufrecht oder schief steht, stossen sie alle daran, oder nur einige von ihnen; so entsteht eine Verschiedenheit im Anschlag der inneren Hörhaare je nach der Schallrichtung. Die äusseren Hörhaare stossen an die Deckmembran an da, wo sie ziemlich weich ist; bei ihnen wird es deshalb nicht zu solchen Verschiedenheiten kommen.

Diese Darstellung der Schallaufnahme unterscheidet sich somit von derjenigen von v. Helmholtz und anderen Autoren besonders dadurch, dass sie dem Trommelfell und den Gehörknöchelchen bei der Uebertragung von Tonhöhe und Intensität keine oder fast keine Aufgabe zutheilt, dass sie den Schall nicht durch das ovale, sondern durch das runde Fenster eintreten lässt, dass sie ihn nicht als Strömung im inneren Ohr weiterziehen lässt, und endlich besonders dadurch, dass sie die Wahrnehmbarkeit der Schallrichtung durch das Ohr entwickelt. Die übrigen Unterschiede gegen die Theorien der Autoren will ich hier nicht aufzählen.

Es könnte scheinen, als ob bei der vorliegenden Darstellung ein zu bedeutender Antheil an den Bildungen im Gehörorgan dem Hören der Richtung des Schalles zugefallen sei, während man doch gewohnt ist, dieser Eigenschaft nur eine sehr untergeordnete Wichtigkeit zuzutheilen. Dies ist aber vollständig unrichtig. Für den Menschen, der sich im Freien — doch wohl seinem ursprünglichen und natürlichen Aufenthaltsort — aufhält, ist die Frage nach der Richtung, aus der der Schall kommt, mindestens ebenso wichtig, wie die nach dessen näherer Beschaffenheit. Ja wir können behaupten, dass z. B. für den Jäger, für den Soldaten im Feld u. s. w. die Richtung, aus der der Schall kommt, häufig viel wichtiger ist, als die Art des Schalles selbst.

Die grosse Bedeutung der Kenntniss der Schallrichtung für die Thiere, seien sie nun Verfolger oder Verfolgte, ist ebenfalls offenbar.

Erst nachdem die Schallrichtung erkannt ist, können die

übrigen Organe, vor Allem die Augen, zur genauen Untersuchung der Schallquelle verwendet werden; ohne die Kenntniss der Richtung nützt die Kenntniss der Art des Schalles nur wenig: wir wissen nicht, wo die Ursache des Geräusches steckt, wir wissen nicht, wohin wir uns zu wenden haben, ob wir uns von derselben entfernen oder auf sie zulaufen, wir wissen nicht, welche Stelle des Umkreises wir mit unseren Augen genauer absuchen sollen, und wenn wir endlich durch fortgesetztes Probiren uns genügend unterrichtet haben, kommt in der Mehrzahl der Fälle unser Eingreifen viel zu spät.

So ist nach der von uns dargelegten Auffassung das Ohr nicht nur ein Werkzeug, um zu hören, wie beschaffen der Schall ist, sondern auch um im weitesten Maasse — innerhalb der Zeiteinheit im ganzen Umkreis, nicht nur wie das Auge in einem Abschnitt desselben — uns über die Vorgänge in unserer Umgebung zu orientiren, soweit sie sich als Schall äussern.