

(Aus der BASANOWA'schen Klinik für Ohren-, Nasen- und Halskranke
der Kaiserlichen Universität in Moskau.)

Ein Beitrag zur Lehre über die Knochenleitung.¹

Von

Assistenzarzt Dr. ALEXANDER IWANOFF.

Bis jetzt wurde die Frage über die Knochenleitung ausschließlich klinisch studiert, wobei vorzugsweise die pathologische Seite der Erscheinung erläutert wurde; vom physikalischen Gesichtspunkte aus ist die Frage bisher nur von wenigen Schriftstellern untersucht worden.

KESSEL² fand, daß der Ton einer an den Schädel angesetzten Stimmgabel in der verlängert gedachten Richtung ihres Stieles objektiv beträchtlich stärker gehört wird, als in der darauf senkrechten Richtung.

MADER³ hat nachgewiesen, indem er die Knochenleitung mit Hilfe des von ihm eingerichteten Otomikrophons studierte, daß von einem Ohr zum andern durch die Knochen sogar die schwächsten Schallwellen nicht bloß der tiefen, sondern auch der höheren Töne übergeleitet werden können.

Die sehr interessante experimentelle Untersuchung hat HUGO FREY⁴ neuerlich unternommen. Seine Versuche hat er am Femur und Schädel des Menschen angestellt und zwar sowohl am mazerierten, als auch am frischen Knochen. Das Gesamtergebnis seiner Experimente ist das folgende: 1. Der Femur leitet einen auf ihn direkt übertragenen und in der Längs-

¹ Nach einem Vortrage auf dem VIII. PIROGOFFSchen Kongresse in Moskau, 3. Jan. 1902.

² *Archiv f. Ohrenheilk.* 18, 129.

³ XIII. Internat. Kongrefs. Section d'Otologie. S. 25.

⁴ *Zeitschr. f. Psychol.* 28, 9.

richtung eintretenden Schallwellenzug hauptsächlich in der kompakten Substanz fort; dieser Satz gilt gleichmäÙig für den mazerierten, trockenen, wie für den die Weichteile enthaltenden Knochen. 2. Die Richtung, welche auf den Kopf übertragene Schallwellen in dem knöchernen Teile desselben einschlagen, ist wesentlich abhängig von der Dichtigkeit der Knochensubstanz. 3. Wenn daher von dem Gehörgang der einen Seite Schallwellen ausgehen, so verbreiten sich dieselben wohl im ganzen Schädel, sie werden aber vorzugsweise nach den symmetrischen Punkten der anderen Schädelhälfte geleitet.

Ganz unabhängig von FREY habe ich dieselben experimentellen Untersuchungen über die Knochenleitung unternommen, und ich glaube, daß die kurze Mitteilung auch meiner Resultate noch von Interesse sein werde.

Die Fortpflanzung des Schalles in den Röhrenknochen.

Meine eigenen Untersuchungen über die Knochenleitung habe ich mit mazerierten und getrockneten Röhrenknochen begonnen. Wenn man lange Röhrenknochen nimmt, z. B. Oberschenkelknochen, Schienbein oder Schulterbein, an das eine ihrer Enden die tönende Stimmgabel und an das andere das Otoskoptrichterchen setzt und hört, so ist die ersten 5—8 Sekunden nach dem Ansetzen der Stimmgabel der Ton sehr laut, darauf verringert sich seine Kraft sehr rasch und nach 15—20 Sekunden ist nur noch ein schwacher Ton hörbar.

Etwas anders pflanzt sich der Ton in den frischen Knochen fort; hier hört man den durchgeleiteten Ton weit schwächer, im Vergleich zu den trockenen Knochen; die Dauer des Tönens ist etwas geringer.

Um zu wissen, wie die verschiedenen Knochenteile den Ton durchleiten, sägte ich die Knochenenden ab und untersuchte die schallleitende Fähigkeit der Corticalis und der Spongiosa; es ergab sich, daß am stärksten und am längsten der Ton dann hörbar war, wenn man Stimmgabel und Otoskop auf die Corticalis stellte; schwächer und kürzer war der Ton, wenn die Stimmgabel auf Corticalis und das Otoskop auf der Spongiosa stand und noch schwächer und kürzer war der Ton, wenn Stimmgabel und Otoskop auf der Spongiosa standen. Daraus kann

man schliessen, daß der kompakte Knochen den Ton besser fortgepflanzt, als der poröse.

Um mich noch mehr von der Richtigkeit des oben Gesagten zu überzeugen, fing ich an die Schallleitung der pathologischen Knochen zu untersuchen, indem ich einerseits feste sklerotische Knochen nahm, und andererseits poröse Knochen. Wenn ich, zum Beispiel, das sklerotische und poröse Schienbein nehme, an eins ihrer Enden die tönende Stimmgabel ansetze und ans andere das Otoskop, so wird der durchgeleitete Ton vom sklerotischen Knochen schlechter als von dem porösen geleitet, aber die Dauer des Tönens ist länger (25—30 Sekunden) und das Schwachwerden der Intensität des Tones geschieht allmählich. Beim porösen Knochen aber ist in den ersten 5—8 Sekunden der Ton sehr laut, aber dann wird seine Kraft rasch schwächer und der geschwächte Ton wird bald gar nicht mehr hörbar. Die allgemeine Tondauer bei porösen Knochen (15—20 Sekunden) ist bedeutend kürzer als bei sklerotischen.

Auf den ersten Blick könnte es scheinen, daß die Schallleitung der porösen Knochen gröfser sei, als die der sklerotischen, da im ersten Moment nach dem Ansetzen der Stimmgabel der durchgeleitete Ton bei den porösen Knochen stärker hörbar ist; aber hier müssen wir zwei Erscheinungen in Rechnung ziehen — die Schallleitung und die Resonanz; zahlreiche mit Luft gefüllte Höhlungen in den porösen Knochen dienen als gute Resonatoren, und die gröfsere Kraft des leitenden Tones erklärt sich durch resonatorische Verstärkung; aber da infolge der schlechten Schallleitung des porösen Knochens die Tonenergie sich bald vermindert, so wird die Tonkraft schwach und die Tondauer kürzer. In diesen Fällen ist die Tondauer für die Bestimmung der Schallleitung von gröfserer Wichtigkeit als die Tonstärke.

Aus den Beobachtungen der Röhrenknochen kann man den Schluß ziehen, daß die Schallleitung des Knochens desto besser ist, je fester, kompakter der Knochen ist. Wenn man daran denkt, daß die Pyramide des Schläfenbeins, in welchem sich das schallempfindende Organ befindet, den festesten Knochen des menschlichen Skeletts darstellt, so können wir in diesem Umstande die Bedingung sehen, welche die Schallschwingungen

sogar von schwächster Intensität bis zu dem Labyrinth leiten hilft.

Die Fortpflanzung des Schalles im Schädel.

Indem ich zur Untersuchung der Schallleitung des Schädels überging, wollte ich sie erst für die einzelnen Knochen des Schädels festsetzen, aber da diese Knochen nicht groß sind und da die Methode selbst noch unvollkommen ist, so konnte ich keinen wesentlichen Unterschied für die verschiedenen Knochen feststellen, obgleich die Dauer des Tönens durch die Pyramide des Schläfenbeins etwas größer ist, als z. B. durch das Scheitelbein.

Wenn man den Stiel der Stimmgabel und das Otoskop auf verschiedene Punkte des Schädels stellt, kann man bemerken, daß die Tonstärke und die Dauer des Tönens nicht überall gleich sind und daß beide von der bezüglichen Lage der Stimmgabel und des Oskops abhängen. In der unten beigefügten Tabelle werden wir die Resultate der Untersuchung des Schädels anführen, wobei zu bemerken ist, daß die angegebenen Zahlen selbstverständlich keine absolute Bedeutung haben und von der Individualität des Untersuchenden abhängen.

Stimmgabel	Otoskop		
an dem linken Warzenfortsatz	an dem rechten W.	25 Sek.	laut
„ „ „ „	an der Stirn	15 „	schwach
„ „ „ „	an dem Hinterhaupt	18 „	„
„ „ „ „	an dem Scheitel	20 „	„
an der Stirne	an dem Hinterhaupt	25 „	laut
„ „ „ „	an dem Warzenfortsatz	15 „	schwach
an Tuber frontale dest.	Tuber front. sin.	5 „	„
am rechten Scheitelbein	am linken Scheitelbein	8 „	„
an dem Hinterhaupt	an der Stirn	25 „	laut
„ „ „ „	an dem Warzenfortsatz	15 „	schwach
„ „ „ „	an dem Scheitel	18 „	„
bei dem Foramen vertebrale	„ „ „ „	28 „	laut

Wenn man diese Tabelle durchsieht, wird man bemerken, daß der Ton länger und stärker in den Fällen hörbar ist, wo Stimmgabel und Otoskop an den diametral entgegengesetzten Punkten des Schädels sich befinden. Wenn man die Stimmgabel an die Stirne hält und das Otoskop an das Hinterhaupt, so wird der Ton länger und stärker hörbar, als wenn man die

Stimmgabel an die Stirne und das Otoskop auf die Warzenfortsätze stellt, ja sogar als wenn die Stimmgabel und das Otoskop auf denselben Knochen gestellt worden in der Entfernung von 10 bis 15 cm von einander.

Brachicephalische und dolichocephalische Schädel pflanzen den Ton nach demselben Gesetze fort.

Diese Tatsache, zuerst von KESSEL bemerkt, wird von ihm auf die Weise erklärt, daß der Ton am besten längs der Linie geleitet wird, welche als Fortsetzung des Stimmgabelstiels dient, aber diese Erklärung ist unrichtig und hält der Kritik nicht stand.

Wenn man an den Schädel an seinen diametral entgegengesetzten Enden zwei tönende Stimmgabeln setzt, deren Schwingungszahlen nur wenig differieren (ich nahm Stimmgabeln von 50 und 60 Schwingungen) und mit dem Phonendoskop von irgend einem Punkte aus horchte, so konnte man deutlich die Schwebungen hören. Dieser Versuch zeigt, daß die Interferenz der Tonwellen nicht nur in der Luft, sondern auch im Knochen geschehen kann.

Die Fortpflanzung des Schalles in einer hölzernen Kugel.

Da wir es bei der Untersuchung der Schallleitung des Schädels mit einem kugelförmigen oder richtiger eiförmigen Körper zu tun haben, so ist sehr interessant zu erfahren, in welchem Zusammenhang die Schallleitung zu der Form des leitenden Körpers im allgemeinen steht, und wie im einzelnen der Ton in kugelförmigen Körpern geleitet wird.

Wenn man sich an die Physik wendet, um diese Frage zu lösen, so werden wir darin nichts finden, was uns interessieren könnte. Die Arbeiten von VIERORDT und HESECHUS berühren ausschließlich die Schallleitung der Stangen aus verschiedenem Material.

Wenn wir eine aus Holz gedrechselte Kugel von geometrisch richtiger Form nehmen, den Stiel der tönenden Stimmgabel aufsetzen und mit dem Otoskop von verschiedenen Punkten aus hören, so können wir bemerken, daß das Maximum des Tones auf dem Punkte zu beobachten ist, welcher sich an der Spitze des Diameters befindet, der durch den Berührungspunkt der Stimmgabel durchgeht; das Minimum des Tones ist an dem

Punkte, welcher von der tönenden Stimmgabel 90° entfernt ist. Wenn wir das Otoskop vom Berührungspunkte der Stimmgabel längs der Oberfläche der Kugel zum entgegengesetzten Ende des Diameters gleiten lassen, so können wir bemerken, daß der am Stiel starke Ton allmählich bei der Annäherung zu dem Punkte, der von der Stimmgabel 90° entfernt ist, immer schwächer wird; darauf fängt er von neuem an stark zu werden und erreicht sein Maximum an der Spitze des Diameters.

Graphisch kann dies auf folgende Weise dargestellt werden.

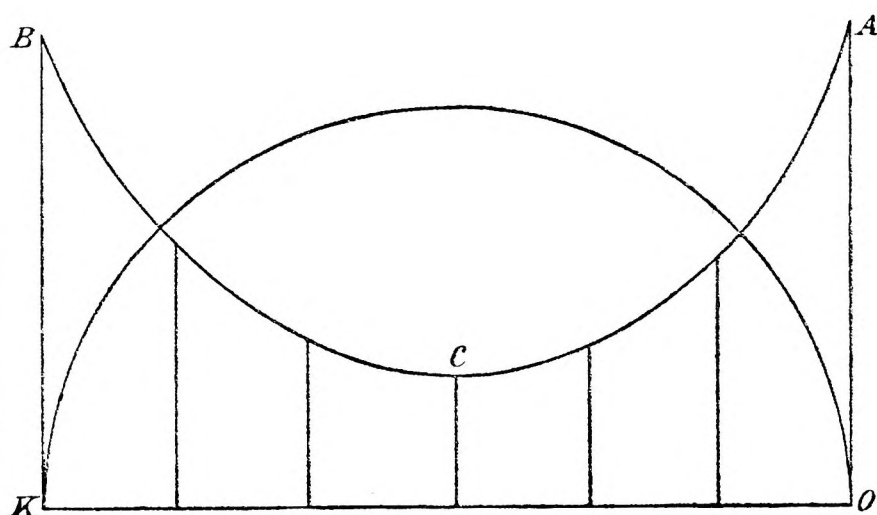


Fig. 1.

Wenn man die verschiedenen Punkte des Halbkreises auf die Achse der Abszisse projiziert, und die Tonstärke in diesen Punkten durch die Höhe der Ordinaten ausdrückt, so bekommt man, indem man die Enden der Ordinaten vereinigt, eine Kurve BCD. Die größte Tonstärke wird in der Nähe von K — dem Ansatzpunkte der Stimmgabel — und O sein, die geringste neben C.

Wie erklärt man sich eine solche Schallleitung?

KESSEL bemüht sich, wie bereits erwähnt wurde, sie damit zu erklären, daß sich der Ton am besten in der verlängert gedachten Richtung des Stimmgabelstiels verbreitet. Den Irrtum dieser Erklärung kann man leicht beweisen, wenn man den Stiel auf die Oberfläche der Kugel nicht senkrecht, längs dem Radius, sondern an die Tangente der Kugel stellt; das Maximum des durchgeleiteten Tons wird wiederum am diametral entgegengesetzten Ende der Kugel zu beobachten sein, obgleich nach KESSEL die Tonwellen dann gar nicht in die Kugel hineinkommen sollten.

Es scheint mir, daß man diese Schallleitung in folgender Weise erklären kann.

In dem gleichartigen Medium verbreiten sich die Schallschwingungen von dem Schallerreger gleichmäÙig nach allen Richtungen hin; wenn die Schwingungen bis an die zwei verschiedene Medien begrenzende Oberfläche gehen, so verbreiten sie sich teilweise in das zweite Medium, zum Teil aber kehren sie in das erste zurück und zwar nach dem Gesetze: der Einfallswinkel ist gleich dem Reflexionswinkel.

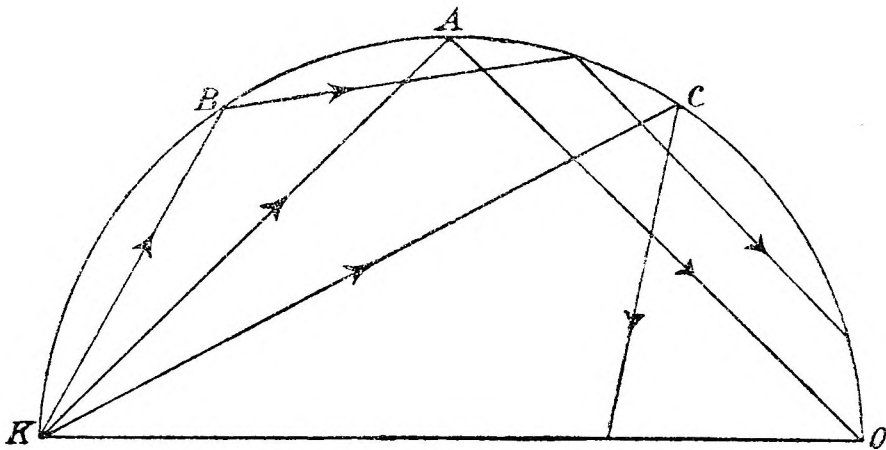


Fig. 2.

Wenn wir uns vorstellen, daß dem Punkte *K* (Fig. 2) einer Holzkugel einige Tonenergie verliehen wird und von ihm aus die Tonschwingungen ausgehen, die sich gleichmäÙig nach allen Richtungen hin verbreiten, so erreiche ein Teil derselben direkt den Punkt *O*, andere Tonwellen aber, nachdem sie z. B. die Punkte *B*, *A*, *C* erreicht haben, gehen zum Teil in die Luft über, zum Teil erleiden sie eine Reflexion; dabei werden die Wellen, die in der Richtung *KA* gehen, nach dem Reflexionsgesetz, nach *O* reflektiert. Die Wellen, die nach dem Punkte *B* gehen, werden zweimal reflektiert und fallen beim Punkte *O* mit jenen zusammen. Der größte Teil der anderen Wellen fällt nach der Reflexion auf den Platz neben dem Punkte *O*. Auf diese Weise erfolgt im Punkte *O* eine Summation der Wellen, die dahin teils unmittelbar gekommen sind, teils reflektiert wurden, und daher wird in diesem Punkte das Maximum des geleiteten Tons entstehen.

Dasselbe Resultat erhält man, wenn man die Schallleitung nicht durch eine kompakte, sondern durch eine hohle Kugel prüft; nur ist hier der Ton an allen Punkten der Kugel stärker hörbar als bei der kompakten.

Wenn man statt der Kugel einen ovalen Körper nimmt, so folgt die Schallleitung demselben Gesetze.

Die Fortpflanzung des Schalles im Leichenkopfe.

Wir wollen jetzt zur Prüfung der Schallleitung des Schädels einer Leiche übergehen. Während der Untersuchung hing der Leichenkopf vom Tischrande herunter und der ganze Kopf befand sich in der Luft, wodurch die Tischresonanz beseitigt wurde. Haben wir runde Öffnungen in das Stirn-, Hinterhaupt-, Schläfen- und Scheitelbein gemacht und stellen wir die tönende Stimmgabel und das Otoskop abwechselnd auf die Haut, auf den Knochen, die harte Hirnhaut und das Gehirn selbst, so bekommen wir in allen Fällen ein und dasselbe Resultat, stärker und länger hört man den Ton, wenn die Stimmgabel und das Otoskop sich in einer Linie befinden, die annähernd durch den Mittelpunkt des Schädels geht.

Die Untersuchung der Schallleitung von den verschiedenen Teilen des Kopfes aus — von Haut, Knochen, Hirnhaut aus —, gab uns die folgenden Resultate.

1. Die Stimmgabel steht auf der Haut des rechten Schläfenbeins, das Otoskop steht auf der Haut des linken Schläfenbeins der durchgeleitete Ton ist hörbar 25 Sek.

2. Die Stimmgabel steht auf dem Knochen des rechten Schläfenbeins, das Otoskop auf der Haut des linken Schläfenbeins; der Ton ist 30 Sek. hörbar, stärker.

3. Die Stimmgabel steht auf dem Knochen des rechten Schläfenbeins, das Otoskop auf dem Knochen des linken Schläfenbeins; der Ton ist 35 Sek. hörbar, noch stärker.

4. Die Stimmgabel steht auf dem Knochen des rechten Schläfenbeins, das Otoskop auf der harten Hirnhaut in der Gegend des linken Schläfenbeins; der Ton ist 20 Sek. hörbar, schwach.

5. Die Stimmgabel steht auf der harten Hirnhaut des linken Schläfenbeins, das Otoskop auf dem Knochen des rechten Schläfenbeins; der Ton ist 10 Sek. hörbar, schwächer.

6. Die Stimmgabel steht auf der harten Hirnhaut in der Gegend des rechten Schläfenbeins und das Otoskop auf der harten Hirnhaut in der Gegend des linken Schläfenbeins; der Ton ist 50 Sek. hörbar, sehr stark.

7. Die Stimmgabel steht auf dem Knochen des rechten Schläfen-

beins, das Otoskop auf der Gehirnsubstanz in der Gegend des linken Schläfenbeins, der Ton ist sehr schwach hörbar.

8. Die Stimmgabel steht auf der Gehirnsubstanz in der Gegend des rechten Schläfenbeins und das Otoskop auf der Gehirnsubstanz in der Gegend des linken Schläfenbeins, es ist nur ein schwaches Getöse hörbar.

Also einen sehr starken und lang dauernden Ton bekommen wir, wenn wir sowohl die Stimmgabel als auch das Otoskop auf die harte Hirnhaut stellen; die Stärke des durchgeleiteten Tons übertrifft dabei die Tonstärke, die man bei der Prüfung des mazerierten Schädels bekommt; auf diese Weise übertrifft die Schallleitung durch die harte Hirnhaut diejenige des Knochens.

Wenn wir die Stimmgabel auf den Knochen und das Otoskop auf die Gehirnsubstanz stellen, so wird ein sehr schwacher Ton hörbar; wenn wir aber sowohl die Stimmgabel als auch das Otoskop ins Gehirn stecken, so können wir nur irgend ein schwaches, unbestimmtes Getöse vernehmen.

Die sehr verbreitete Meinung, daß in der Knochenleitung die Cranio-Tympanaleitung eine wesentliche Rolle spielt, nach welcher die Schallschwingungen nur dem Trommelfelle unmittelbar überliefert werden können, und durch dasselbe dem Labyrinth, erscheint infolge des oben Erwähnten ganz unbegründet. Nehmen wir an, daß die tönende Stimmgabel auf den Warzenfortsatz aufgesetzt ist, so verbreiten sich vom Punkte des Ansetzens die Schallwellen gleichmäßig nach allen Richtungen hin und erreichen vor allem und unmittelbar das Labyrinth. Es ist kein Grund anzunehmen, daß sie dem Labyrinth durch die Luft des äußeren Gehörgangs und durch das Trommelfell zugeführt werden müssen; wenn man aber die Stimmgabel auf die Stirn- oder auf das Scheitelbein setzt, so verlangt die cranio-tympanale Hypothese, daß die Schallwellen auf ihrem Wege zum Trommelfelle das Labyrinth umgehen; wenn diese Hypothese aber einmal zuläßt, daß die Schallwellen durch den Knochen bis zum Annulus tympani reichen, woher können sie dann nicht bis zum Knochenlabyrinth reichen? Die klinischen Beobachtungen zeugen auch gegen diese Voraussetzung, da bei vollständigem Mangel des Trommelfells die Knochenleitung gar nicht gestört wird.

Zum Schlusse werde ich mit einigen Worten die Frage berühren, ob die nach physikalischen Grundsätzen vorgenommenen Untersuchungen der Knochenleitung, abgesehen vom rein theoretischen Interesse, irgend eine praktische Bedeutung haben können. Obgleich dergleichen Untersuchungen erst im Anfange sind und vieles noch unerklärt und dunkel auf diesem Gebiete ist, so kann man schon jetzt, wie es mir scheint, auf Grund der in dieser Arbeit niedergelegten Beobachtungen zwei praktische Schlüsse ziehen.

1. Bei der Ausführung des WEBERSchen Versuchs ist es notwendig, die Stimmgabel in der Mitte des Schädels in der Fläche, die durch die äußeren Öffnungen des Gehörgangs geht, zu stellen; da nach dem aufgestellten Gesetze der Schalleitung in den kugelförmigen Körpern bei dieser Lage der Stimmgabel in beide Gehörorgane gleiche maximale Mengen der durchgeleiteten Schallenergie eindringen kann. Wenn man aber die Stimmgabel z. B. auf die Stirn oder auf das Hinterhaupt aufsetzt und dabei weit von der Mittellinie ab, so werden zu den Gehörorganen die Tonwellen mit ungleicher Intensität gelangen, die wenig intensiv sind, so daß die schwächere Schallempfindung in diesem oder jenem Ohr, welche durch die Eigentümlichkeit der Leitung des Schädels entsteht, als pathologische Erscheinung aufgefaßt werden kann.

2. Bei der Ausführung des RINNESchen Versuchs hat man sich gewöhnt, den Stiel der Stimmgabel auf den Warzenfortsatz zu stellen. Infolge desselben Gesetzes der Leitung des Schädels wird bei der Lage der Stimmgabel, z. B. auf dem rechten Warzenfortsatz, das Maximum des durchgeleiteten Tons im Gebiet des linken Warzenfortsatzes sein und die geprüfte Person wird den Ton nicht nur mit dem Ohr vernehmen, welches untersucht wird, d. h. mit dem rechten, sondern teilweise auch mit dem linken. Jeder kann sich davon leicht überzeugen, indem er die tönende Stimmgabel auf den rechten Warzenfortsatz setzt und mit dem Finger den linken Gehörgang verstopft; dann wird er den Ton auch mit dem linken Ohr hören. Folglich kann es bei der Untersuchung des Kranken geschehen, daß die geprüfte Person mit dem kranken Ohr, welches untersucht wird, schon aufgehört hat zu hören, und mit dem gesunden Ohr weiter hört. Man bekommt dann ein falsches Verhältnis zwischen der Luft- und Knochenleitung für das zu untersuchende Ohr. Um das

zu vermeiden, ist es besser bei der Ausführung des RINNESchen Versuchs die Stimmgabel auf die oberen Vorderzähne zu stellen, wie RINNE es selbst tat.

Welche praktischen Schlüsse man noch aus den physikalischen Untersuchungen der Knochenleitung ziehen kann, werden uns zukünftige Beobachtungen zeigen.

Zum Schluß benutze ich die Gelegenheit, dem Direktor der otiatrischen Klinik, Hrn. STANISLAS VON STEIN für den Hinweis auf das Thema dieser Arbeit und für die erhaltenen nützlichen Ratschläge während ihrer Ausführung meinen innigsten Dank auszusprechen.

(Eingegangen am 3. December 1902.)
