

HEINRICH·HERTZ·INSTITUT FÜR SCHWINGUNGSFORSCHUNG
BERLIN·CHARLOTTENBURG

Technischer Bericht Nr. 77

Zur Frage des Einflusses der Knochenleitung auf den
Richtungseindruck

von

Dipl.-Ing. R. SCHWARZ

Berlin
1 9 6 5



Technischer Bericht Nr. 77

Zur Frage des Einflusses der Knochenleitung
auf den Richtungseindruck

Zusammenfassung

Die Tatsache, daß das menschliche Gehör mit 2 Ohren ausgestattet ist, reicht nicht aus, um alle Fähigkeiten in Bezug auf die Richtungsortung zu erklären. Es wird untersucht, inwieweit weitere Informationswege zur Erklärung geeignet sind. Insbesondere wird geprüft, ob eine Unterstützung des Ortungsvorganges über die Knochenleitung möglich ist. Im Rahmen dieser Untersuchungen konnte kein sicherer Hinweis gefunden werden.

Für Untersuchungen der Ortungsfähigkeit von Erhebungswinkeln wird ein Verfahren beschrieben, das zur Messung der wahrgenommenen Richtung einer außerhalb des Sichtbereiches befindlichen Schallquelle geeignet ist.

Heinrich-Hertz-Institut für Schwingungsforschung

Der Bearbeiter
gez. R. Schwarz
(Dipl.-Ing. R. Schwarz)

Der Abteilungsleiter
gez. Cremer
(Prof.Dr.-Ing. Cremer)

Der Institutsdirektor
gez. Rothert
(Prof.Dr.-Ing.G.Rothert)

Berlin-Charlottenburg, den 15. Januar 1965

I Allgemeines zum Richtungshören.

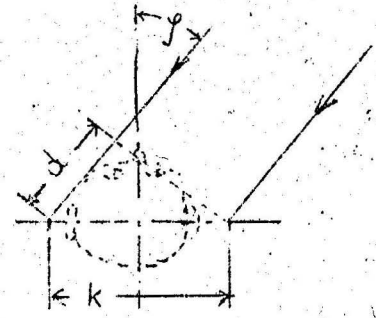
Die akustische Wahrnehmung eines Richtungseindrucks in der Horizontalebene ist abhängig

- 1.) von der Laufzeitdifferenz des Signals zwischen beiden Ohren.
- 2.) von der Pegeldifferenz an beiden Ohren.

Für die interaurale Laufzeitdifferenz gilt

$$\Delta t = \frac{d}{c} \quad (1)$$

$$d \approx k \sin \varphi \quad (2)$$



wobei c Schallgeschwindigkeit, Δt Laufzeitdifferenz, d Wegdifferenz, φ Einfallswinkel in der Horizontalebene ist. Dabei ist k nicht der Abstand der Ohr-Eingänge, sondern ein Wert, den v. HORNBOSTEL und WERTHEIMER /1/ empirisch zu 21 cm bestimmt haben. Er liegt über dem Wert des geometrischen Abstandes der Ohr-Eingänge, weil bei größeren Einfallswinkeln der Weg um den Kopf berücksichtigt werden muß. Genauere Werte sind in /2/ zusammengestellt.

Eine Pegeldifferenz infolge der Abschattung durch den Kopf entsteht bei Frequenzen über 300 Hz. Eine einfache geometrische Beziehung läßt sich hier nicht angeben /2/. Für die Kugel hat STENZEL das resultierende Feld berechnet /3/.

Beide Größen werden vom Ohr sicherlich zur Festlegung einer Richtung in der Horizontalebene benutzt, die Zeitdifferenz überwiegend im Frequenzbereich bis etwa 1300 Hz, die Pegeldifferenz überwiegend oberhalb dieser Frequenz.

In weiteren Untersuchungen verschiedener Autoren zeigte sich, daß Zeit- und Pegeldifferenzen sich gegenseitig kompensieren können, d.h. sie wirken nicht unabhängig voneinander /4...7/. Durch Anlegen einer im umgekehrten Sinn wirkenden Pegeldifferenz ΔL wird dabei das Signalbild, das durch eine Zeitdifferenz Δt in eine Richtung φ_1 gebracht wurde, wieder zentriert.

Es gibt aber keinen konstanten "Trading-Faktor", das ist die Zeitdifferenz in μsec , die eine Pegeldifferenz von 1 dB kompensieren kann. Der Zusammenhang $\Delta t = f(\Delta L)$ ist vom mittleren Pegel, der Frequenz und der Signalart abhängig.

Über die weitere physiologische Verarbeitung beider Informationen besteht keine einheitliche Auffassung.

DEATHERAGE und HIRSH /8/ schließen aus ihren Versuchen, daß in höheren Nervenzentren nur die Zeitdifferenz der Nervenimpulse ausgewertet wird, und eine Pegeldifferenz in eine Latenzzeitdifferenz umgesetzt wird, MOUSHEGIAN und JEFFRESS /4/ sind dagegen der Auffassung, daß sowohl Zeit- als Pegeldifferenz getrennt von obigem Prozeß zur Richtungsbestimmung beitragen.

Dem entspricht, daß in elektrophysiologischen Untersuchungen der Hörrinde zwei Zellarten gefunden wurden, von denen die eine sowohl auf Zeit- als auch auf Pegeldifferenz reagiert, die andere ausschließlich auf Pegeldifferenzen /5,9/.

Selbst wenn Zeit- und Pegeldifferenz als zwei unabhängige Informationsgrößen zur Ortung einer Schallquelle in der Horizontalebene angesehen werden, sind nicht alle Phänomene durch sie erklärbar. Zum Beispiel sind sie doppeldeutig, man kann nicht entscheiden, ob der Schall von vorn oder schräg von hinten kommt /10/.

Für einen eindeutigen Ortungsmechanismus wurden zusätzlich folgende Hypothesen aufgestellt:

1. Der Kopf wird beim Eintreffen eines Signals instinktiv gedreht. Aus der Drehrichtung und dem Verhalten des Signals kann geschlossen werden, ob die Schallquelle sich vorn oder hinten befindet /11/.

Hiergegen ist einzuwenden, daß selbst bei sehr kurzzeitigen Impulsen noch einwandfrei die Lage der Schallquelle geortet werden kann. Dabei kann, bedingt durch Reaktionszeit und Drehzeit des Kopfes, noch keine wesentliche Drehung des Kopfes auftreten.

2. Die von der Frequenz abhängige Richtwirkung der Ohrmuschel bestimmt maßgeblich den Vorn-Hinten-Eindruck /10/

Diese Hypothese setzt voraus, daß das zu ortende Signal der

Versuchsperson bekannt ist, so daß sie Änderungen in seiner Frequenzstruktur erkennen kann, die von der Richtung abhängen.

3. Ein zusätzliches Knochenleitungssignal, das bei jedem Luftschallsignal entsteht, ist Träger der zusätzlichen Information /12/.

Die Prüfung der Tragfähigkeit dieser Hypothese ist Gegenstand der vorliegenden Untersuchung.

II Über einen möglichen Einfluß des Knochenschalles auf das Richtungshören.

Nach v. BÉKÉSY /13/ und ZWISLOCKI /14/ besteht kein Unterschied in der Bewegung der Basilarmembran, ob ein Schallereignis über den Weg der Luftleitung oder der Knochenleitung in das Innenohr gelangt. Das hat v. BÉKÉSY durch einen Kompensationsversuch, bei dem der Luftschall durch entsprechend in der Phase gedrehten Knochenschall ausgelöscht wird, gezeigt.

Die Art, wie die Biegewellen der Schädelwände in die Wellenbewegung der Basilarmembrane umgewandelt werden, ist noch nicht vollständig geklärt. Folgende Möglichkeiten wurden zur Diskussion gestellt:

1. Bei der Deformation des Felsenbeins kann eine Volumenänderung des Vestibulums oder des Labyrinths auftreten, wodurch die Bewegung des Corti-Organs hervorgerufen wird. (Kompressionsknochenleitung /15/.
2. Die Mittelohrknöchelchen üben infolge ihrer Trägheit auf das ovale Fenster einen Druck aus (Trägheitsknochenleitung) /16/
3. Im weichen Teil des Ohrkanals werden Schwingungen durch den dort gelagerten Unterkieferknochen erregt. (Unterkieferknochenleitung)

Versuche von LEGOUIX und TARAB /17/ an Meerschweinchen ergaben, daß bis 2500 Hz eine Verringerung des Reizstromes (maximal um 15 dB) zu beobachten ist, wenn man die Mittelohrknöchelchen blockiert. Bei höheren Frequenzen wurde keine Änderung beobachtet. Bei Erhöhung der Masse des Malleus (Hammer) durch ein Metallstück erhält man eine Erhöhung des Reizfolgestromes (ebenfalls

nur bis 2500 Hz).

Es wurde aber kein vollständiges Verschwinden des Reizfolgestromes festgestellt, was auf die Kompressionsknochenleitung zurückgeführt wird. Direkt konnte dies noch nicht nachgewiesen werden.

Klinische Erfahrungen zeigten, daß bei Otosklerose die Knochenleitung im mittleren Frequenzbereich zurückgeht, im oberen und unteren dagegen nahezu unverändert bleibt.

Da die Eigenschaften der Knochenleitungswege noch nicht genügend geklärt sind, konnte der Einfluß der Einzelwege nicht isoliert untersucht werden. Es ist denkbar, daß nur einer dieser Wege die gesuchte Information liefert.

Um abschätzen zu können, ob neben der Luftschallübertragung durch Knochenleitung überhaupt nennenswerte Information vermittelt werden kann, ist es nötig, deren Anteile am Gesamteindruck gegenüberzustellen. Dies ist auf zwei unabhängigen Wegen möglich, so daß die Ergebnisse bei guter Übereinstimmung als gesichert gelten können.

Eine Methode von v. BÉKÉSY /18/ beruht auf einem Lautstärkevergleich. Einer Versuchsperson wird zunächst ein Luftschallsignal dargeboten und der dabei am Schädel auftretende Knochenschallpegel gemessen. Nun wird mit einem Knochenschallsender ein so großer Knochenschallpegel eingestellt, daß der gleiche Lautstärkeindruck entsteht. Die jetzt gemessene Knochenschallamplitude liefert das Knochenschall-Lautstärke-Übertragungsmaß, mit dessen Hilfe der Lautstärkeanteil infolge Knochenschall zu bestimmen ist. Das Verhältnis der Knochenschallamplituden bei beiden Darbietungen ist in Abb. 1 aufgetragen. Voraussetzung für das Meßverfahren ist die Annahme, daß die Anteile der Knochenleitung und des Luftschalls einander proportional sind.

Nach einer zweiten Methode, die von ZWISLOCKI /19, 20/ angegeben wurde, wird die Körperschallhörschwelle im freien Schallfeld gemessen. Durch Ohrstöpsel (Pfropfen) und mehrere übereinandergestülpte Ohrklappen, deren Luftschalldämmung jeweils bekannt ist, wird die Luftschallhörschwelle soweit erhöht, bis sie über der Knochenschallhörschwelle liegt. Die Versuchsperson hört dann an der Grenze der Hörbarkeit nur über Knochenleitung.

Die Kurven von v. BÉKÉSY und ZWISLOCKI stimmen über 400 Hz im Rah-

men der Meßgenauigkeit gut überein (vgl. Bild 1).

Eigene, nach der Methode von v. BEKESY gewonnene Meßpunkte im höheren Frequenzbereich geben einen höheren Körperschall-Anteil. Die Tendenz der Kurven zeigt in allen Fällen einen Anstieg des Körperschall-Anteiles zu hohen Frequenzen. Es lag daher die Vermutung nahe, daß, wenn überhaupt ein Einfluß der Knochenleitung auf das Richtungshören bestand, dafür der obere Hörfrequenzbereich in Frage käme.

Zur Aufdeckung möglicher Einflüsse der Knochenleitung auf das Richtungshören wurden daher die folgenden Untersuchungen gemacht:

1. Mit Hilfe eines Knochenleitungssenders, wie er in Schwerhörigergeräten verwendet wird, und eines Körperschallaufnehmers (B. u. K), der am Felsenbein (hinter dem Ohr) mit Hilfe eines Kopfhörerbügels angebracht wurde, wurde der Kopf nach guten Ankopplungspunkten bei verschiedenen Frequenzen untersucht.
2. Es wurde in Abhängigkeit von der Frequenz wie unter 1. gemessen, welchen Pegelunterschied eine Ankopplung an der Stirn und am Hinterkopf ergibt.
3. Es wurde im freien Schallfeld die Abhängigkeit der Knochen-schallaufnahme vom Einstrahlungswinkel in der Ebene untersucht. Ankopplung des KS-Aufnehmers wie unter 1.
4. Eine Phantomschallquelle, die von zwei Lautsprechern erzeugt wurde, sollte durch Zusatz eines KL-Signals in ihrer Richtung geändert werden.
5. Zu 1. Es wurde festgestellt, daß es am Kopf bestimmte Stellen gibt, die den Körperschall besonders gut zu den Ohren weiterleiten.

Solche Stellen sind die Schläfenpartien für den unteren und mittleren Frequenzbereich, die Nackenpartien und die Wirbelsäule am Halsansatz für den hohen Frequenzbereich.

LO SURDO /12/ hat gefunden, daß ein oberhalb der Schläfe ange-koppelter Körperschall-Sender besonders gut hörbar ist und daß er auf der entgegengesetzten Seite des Schädels am Ohr geortet wird. Dieser Versuch wurde wiederholt und das Ergebnis bestätigt.

LO SURDO sieht darin einen möglichen Einfluß der Knochenleitung auf die zweiohrige Wahrnehmung. Wenn das der Fall ist, so wird hierdurch aber die Richtungsörtung nicht erleichtert, denn dieser Effekt macht sich durch eine Verringerung der Lautstärkendifferenz bemerkbar. Es ist aber weiterhin zu bezweifeln, daß er beim natürlichen Richtungshören überhaupt eine Rolle spielt, da im unteren und mittleren Frequenzbereich das Verhältnis der Körperschallenergie zur Luftschallenergie zu klein ist, d. h. für leise Signale liegt der KS-Anteil weit unter der Körperschallhörschwelle /20, 21/, so daß seine Auswertung zumindest unwahrscheinlich ist.

Zu 2. Der Ankopplungspunkt an der Wirbelsäule bzw. am Hinterkopf, der für sehr hohe Frequenzen 12 - 16 kHz gut körperschallleitend ist, könnte möglicherweise zur Erklärung des Vorn-Hinten Effektes dienen. Es wurde daher eine Untersuchung mit der Anordnung wie unter 1. vorgenommen, wobei die Pegeldifferenz aufgetragen wurde, die am Felsenbein mit dem Körperschallaufnehmer gemessen wurde, wenn der Körperschall-Sender einmal an der Stirn, das andere Mal am Hinterkopf angekoppelt worden war. Es zeigte sich, daß bei Ankopplung von hinten vorwiegend ein größerer Körperschallanteil entsteht, als bei Ankopplung von vorn (siehe Bild 2).

Die Gleichheit der Ankopplung des Körperschallsenders für beide Teile (vorne u. hinten) ist jedoch nicht sichergestellt. Außerdem ist zu vermuten, daß eine Anregung des Schädels durch Luftschall, insbesondere im ebenen Schallfeld nicht durch eine solche mit einem Körperschallsender bei punktförmigem Aufsetzen nachgebildet werden kann.

NIXON und v. GIERKE /20/ haben durch eine Hörschwellenmessung bei abgedichteten Gehörgängen und Ohren den Unterschied für Schalleinfall von vorne und von hinten gemessen. Die Werte sind sehr gering. Zwischen 2 und 3 kHz erreichen sie ca. 5 dB.

Zu 3. Die Ermittlung der vollständigen Richtcharakteristik der Körperschallamplitude im ebenen Schallfeld wurde mit einem Körperschallaufnehmer nach 1) im reflexionsarmen Raum durchgeführt. Die Ergebnisse sind in Abb. 3 aufgetragen.

Zu 4. Eine Phantomschallquelle, deren Bild vorn war, sollte durch Zusatz eines verzögerten Körperschall-Signals in ihrer Richtung beeinflusst werden. Dabei konnte das Körperschall-Signal vor oder nach dem Luftschallsignal eintreffen und die Amplitude verändert werden bis zu Werten, die über dem natürlichen Körperschall-Pegel lagen, ohne daß ein Einfluß feststellbar war.

Es zeigte sich in keinem der Versuche ein Ergebnis, das zur weiteren Klärung des Ortungsmechanismus geeignet erscheint.

Es lassen sich auch einige physiologische Gründe angeben, die darauf hindeuten, daß der Körperschall keine natürliche Bedeutung für das Richtungshören hat. v. BÉKÉSY /22/ weist auf folgende Beobachtungen hin:

Die Lage der Gehörorgane ist bei manchen Tieren, bei denen die Dicke des Schädels die Einbettung in den Knochen nicht gestattet, so gewählt, daß eine möglichst geringe Deformation der Cochlea auftritt (Bulla bei Hund, Katze usw.). Die Mittelohrknöchelchen sind so gelagert, daß durch mechanische Erschütterungen der Lage keine Drehmomente wirksam werden (Schwerpunktslagerung). Diese Gründe, vor allem aber die Möglichkeit der Richtungsortung bei sehr kleinen Lautstärken, bei denen der Körperschall-Pegel unter der Körperschall-Hörschwelle liegt, machen es wahrscheinlich, daß kein Zusammenhang zwischen Körperschall und Richtungshören besteht.

III Untersuchungen zur Schallortung im Raum.

Erweitert man die Untersuchungen auf die Ortung von Erhebungswinkeln, so ergeben sich weitere Schwierigkeiten, wenn man die räumliche Ortung mit zwei binauralen Informationen deuten will, denn auch in der Medianebene ist nach Versuchen des Verfassers die Ortung eines Deklinationwinkels möglich.

In der Literatur liegen über die Ortbarkeit bei räumlichem Schalleinfall nur wenige Arbeiten vor, und es wurden fast gar keine Meßergebnisse hierüber gefunden.

Die von H. WALLACH und K. de BOER /11/, B. CLARK /23/ und GEMELLI /24/ vertretene Theorie, nach der zur Ortung eines Deklination-

winkels eine Kopfbewegung nötig sei, erscheint nach den Überlegungen, die im ersten Abschnitt angestellt wurden, anfechtbar. Zwar soll nicht bestritten werden, daß eine solche Bewegung die Ortung erleichtern kann, jedoch ist diese auch ohne Bewegung des Kopfes möglich. Auch würde, wenn die Bewegung nur um die senkrechte Achse erfolgt, die Zweideutigkeit "oben - unten" bestehen bleiben.

Nur A. BOLLE, A. LO SURDO, G. ZANOTELLI /25/ haben zur Ortung von Deklinationenwinkeln eingehendere Untersuchungen gemacht.

Sie bildeten sich einen Abguß des menschlichen Ohres aus Gummi und brachten im Meatus ein Kondensatormikrofon an. Unter Deklinationenwinkeln von $\pm 45^\circ$ wurden zwei Lautsprecher aufgestellt, von denen Sinusimpulse abgestrahlt wurden. Die vom Kondensatormikrofon aufgenommenen Signale wurden über einen Verstärker auf einen Kopfhörer gegeben. Die Versuchspersonen sollten angeben, ob die Schallquelle oben oder unten sei.

Von den 23 VP waren 16 dazu in der Lage. Die Autoren schlossen daraus, daß die Ortung des Deklinationenwinkels einer Schallquelle ein monauraler Effekt sei. Zur Klärung nehmen sie an, daß die frequenzabhängige Richtwirkung der Ohrmuschel dafür verantwortlich ist. Das beim Einschalten des Sinustones entstehende Spektrum wird in Abhängigkeit von der Einfallsrichtung verändert.

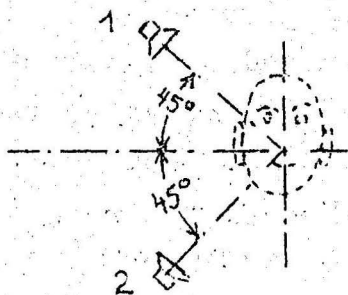
Nach den von SCHIRMER /26/ angegebenen Werten für die Medianebene ändert sich die Richtcharakteristik im Frequenzbereich 700 ... 7000 Hz und im Winkelbereich 0° ... 180° nur um maximal 6 dB. In der Azimutebene beträgt die maximale Änderung 20 dB.

Die Versuche von BOLLE, LO SURDO und ZANOTELLI wurden wiederholt und erweitert. Dazu wurde mit Hilfe einer Gipsform die Abbildung eines menschlichen Kopfes aus kalt aushärtendem Kautschuk hergestellt.

Als Empfänger dienten zwei 1/2"-Mikrofone (Brüel und Kjaer), die in den Verlängerungen der Ohrkanäle angebracht wurden. Über zwei Verstärkerkanäle wurde diese Anordnung mit einem Kopfhörer in einem getrennten Raum verbunden. Als Signale wurden breitbandige Geräusche verwendet.

Es wurden folgende Feststellungen gemacht:

1. Bei einohriger Wiedergabe konnte kein Unterschied in den Richtungen 1 und 2 festgestellt werden.



2. Bei drei VP ergaben sich bei beidohriger Wiedergabe folgende relative Fehler:
14 %, 12 %, 28 %
(etwa 15 Beobachtungen pro Versuchsperson).

3. Einige VP konnten keine Angaben machen.
4. Die Unterscheidung ist hier viel unsicherer, als sie unter natürlichen Bedingungen wäre.
5. Alle Versuchspersonen orteten die Schallquelle stets hinten. Die Versuche fanden nicht im reflexionsarmen Raum statt. Sie müßten dort überprüft werden.

Aus diesen Ergebnissen kann geschlossen werden, daß bei der Ortung des Deklinationwinkels einer Schallquelle die Abschattung durch den Kopf eine Rolle spielt. Daß die Ohrmuschel selbst dafür verantwortlich ist, konnte nicht bestätigt werden. Die Ortung von Deklinationwinkeln kann aber im allgemeinen sehr viel genauer durchgeführt werden, als es bei dieser groben "oben - unten" Unterscheidung nötig war.

Um eine genauere Untersuchung der Ortung von Höhenwinkeln vorzunehmen, war es nötig, ein geeignetes Verfahren zu finden. Das Hauptproblem liegt hierbei in der Anzeige der von der Versuchsperson wahrgenommenen Richtungen. Da keine Raumrichtungen, auch nicht die außerhalb des Sichtbereiches liegenden, ausgeschlossen werden sollen, ist eine optisch kontrollierte Anzeige nicht verwendbar.

Eine akustische Anzeige ist zwar möglich, sie hat jedoch den Nachteil, daß die Anzeigefehler die gleiche Größe haben können wie die Meßfehler, da in beiden Fällen das gleiche Prinzip zugrunde liegt. Das Meßinstrument, hier die Versuchsperson, ist in seiner Reaktionsweise noch nicht bekannt. In solchem Fall ist es zweckmäßig, mehrere verschiedene Verfahren für vergleichende Messungen heranzuziehen.

Von allen übrigen Sinnesorganen kommt noch der Tastsinn zur Kontrolle der Anzeige in Frage. Diesen hat schon v. BÉKÉSY /27/ für Ortungen in der Ebene benutzt: "A click can give exactly the same sensation as if a blunt object were tapped against the forehead". Es ist nicht ausgeschlossen, daß dieses Phänomen etwas mit dem Mechanismus der Richtungsortung im Raum zu tun hat. Festgestellt wurde jedenfalls, daß die Versuchspersonen den Schalleinfallrichtungen einen Punkt auf der Kopfoberfläche zuordnen konnten. Hierauf beruht das vorgeschlagene Meßverfahren für räumliche Einfallrichtungen.

Von der Versuchsperson wird mit dem Finger oder einem Hilfsmittel der Punkt auf der Kopfoberfläche angegeben, der in Richtung der Schallquelle liegt. Man kann sich dabei den Kopf als Kugel vorstellen, deren Mittelpunkt mit dem Mittelpunkt der Ohrverbindungsline zusammenfällt.

Mit Hilfe eines Winkelmeßgerätes für Deklinations- und Azimutwinkel können die Winkelkoordinaten (ϑ, φ) des angezeigten Punktes bestimmt werden. Das setzt natürlich voraus, daß das Meßgerät in seiner Lage zum Mittelpunkt der Ohrachse justierbar ist und der Kopf nicht um die Ohrachse gedreht wird, sondern in seiner waagerechten Ruhestellung bleibt. Der von der Versuchsperson angezeigte Punkt wird dann mit Hilfe eines Lichtzeigers, der in alle in Frage kommenden Raumrichtungen eingestellt werden kann, angepeilt und die dazu-gehörigen Winkelkoordinaten abgelesen.

Ebenso kann man die Winkelkoordinaten der Schallquelle bestimmen, da der Lichtzeiger nach beiden Seiten wirkt. Damit ist die Möglichkeit gegeben, die Genauigkeit dieser Richtungsanzeigemethode zu untersuchen. Bei Vorversuchen mit 5 Versuchspersonen wurden folgende mittlere Winkelabweichungen in wahllosen Raumrichtungen gefunden:

	$\Delta \vartheta$	$\Delta \varphi$
G.	10,0°	12,4°
B.	12,3°	20,6°
L.	10,5°	
M.	5,1°	8,1°
S.	10,6°	17,1°
	<hr/>	<hr/>
Mittel	9,7°	14,5°

ϑ = Deklination.
 φ = Azimut

Es ist zu vermuten, daß diese Fehler in bestimmter Weise von θ und φ abhängen. Besonders wichtig sind die Messungen in der Medianebene ($\varphi = 0$ bzw. 180°).

Es wird vorgeschlagen, diese Versuche unter wie folgt geänderten Versuchsbedingungen zu wiederholen:

- a) mit verklebter Ohrmuschel (Ohreingang frei)
- b) mit bedeckter Kopfoberfläche (Kappe)
- c) 1. Die Versuchsperson erhält über Kopfhörer ein vom Kopfmodell aufgenommenes räumliches Signal (Versuchsperson in getrenntem Raum).
2. Die Versuchsperson erhält das Kopfhörersignal bei Anwesenheit im gleichen Raum (möglichst dicht hinter dem Kopfmodell) bei gleichzeitiger Benutzung von Ohrprotektoren.

Literaturverzeichnis

- /1/ v. Hornbostel, Wertheimer: Sitzungsber. d. Akad.d.Wiss.,
Bln. 20 (1920) 388
- /2/ Wendt, K.: Diss., Aachen (63)
- /3/ Stenzel, Broszö: Leitfaden zur Berechnung von Schallvor-
gängen, Springer (58)
- /4/ Moushegian, Jeffress: J. Acoust. Soc. Amer. 31 (59) 1441
- /5/ Keidel, Wigand: Pflügers Arch.: 270 (59/60) 347 und 370
- /6/ Sandel, Teas, Feddersen, Jeffress: J. Acoust. Soc. Am. 27
(55) 842
- /7/ Banister: Amer. J. Psychol. 38 (27) 437
- /8/ Deatherage, Hirsh: J. Acoust. Soc. Am. 31 (59) 486
- /9/ Schwarzkopff: Fortschr. d. Zoologie 15 (63) 284
- /10/ Burger: Acustica 8 (58) 301
Tarnóczy: Acustica 8 (58) 343
- /11/ Wallach: J. Exp. Psychol. 27 (40) 339
de Boer: Diss., Delft (40)
Franssen: Stereophonie, Philips Technische Bibliothek (63)
- /12/ Lo Surdo: Ricerca Scientifica 17 (47) 906
- /13/ v. Békésy: Annalen der Physik 13 (32) 111
v. Békésy: Experiments in Hearing 127 - 203 McGraw-Hill (60)
- /14/ Zwislocki: J. Acoust. Soc. Am. 25 (53) 986

- /15/ Herzog, Zeits. f. Hals- Nasen- Ohrenheilk. 15 (26) 300
- /16/ Barany: Acta Otolaryngol, 1 Suppl. No 26 (38) 233
- /17/ Legonix, Tarab: J. Acoust. Soc. Am. 31 (59) 1453
- /18/ v. Békésy: Experiments in Hearing 177, McGraw-Hill (60)
- /19/ Zwislocki: J. Acoust. Soc. Am. 29 (57) 795
- /20/ Nixon, v. Gierke: J. Acoust. Soc. Am. 31 (59) 1121
- /21/ v. Békésy: Experiments in Hearing 148, McGraw-Hill (60)
- /22/ v. Békésy: Experiments in Hearing 199-203, McGraw-Hill(60)
- /23/ Clark: J. Psych. 28 (49) 235
- /24/ Gemelli, Acta Psych. 6 (49) 27
- /25/ Bolle, Lo Surdo, Zanotelli: Ric. Scient. 18 (48) 1564
- /26/ Schirmer: Hochfrequenztechn. u. Elektroak. 72 (63) 39
- /27/ v. Békésy: Experiments in Hearing 275, McGraw-Hill (60)

Abb. 1

Pegeldifferenz zwischen Luft- und Körperschall

ΔL (dB)

0
10
20
30
40
50
60
70
80

- v. Békésy
- Zwistacki
- - - △ - - - Schwarz (Meßmethode nach v. Békésy)

f (Hz)

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10³ 2 3 4 5 6 7 8 9 10⁴ 2 3 4 5 6 7 8 9 10⁵

Eine Achse logar. geteilt von 1 bis 1000, Einheit 90 mm, die andere in mm

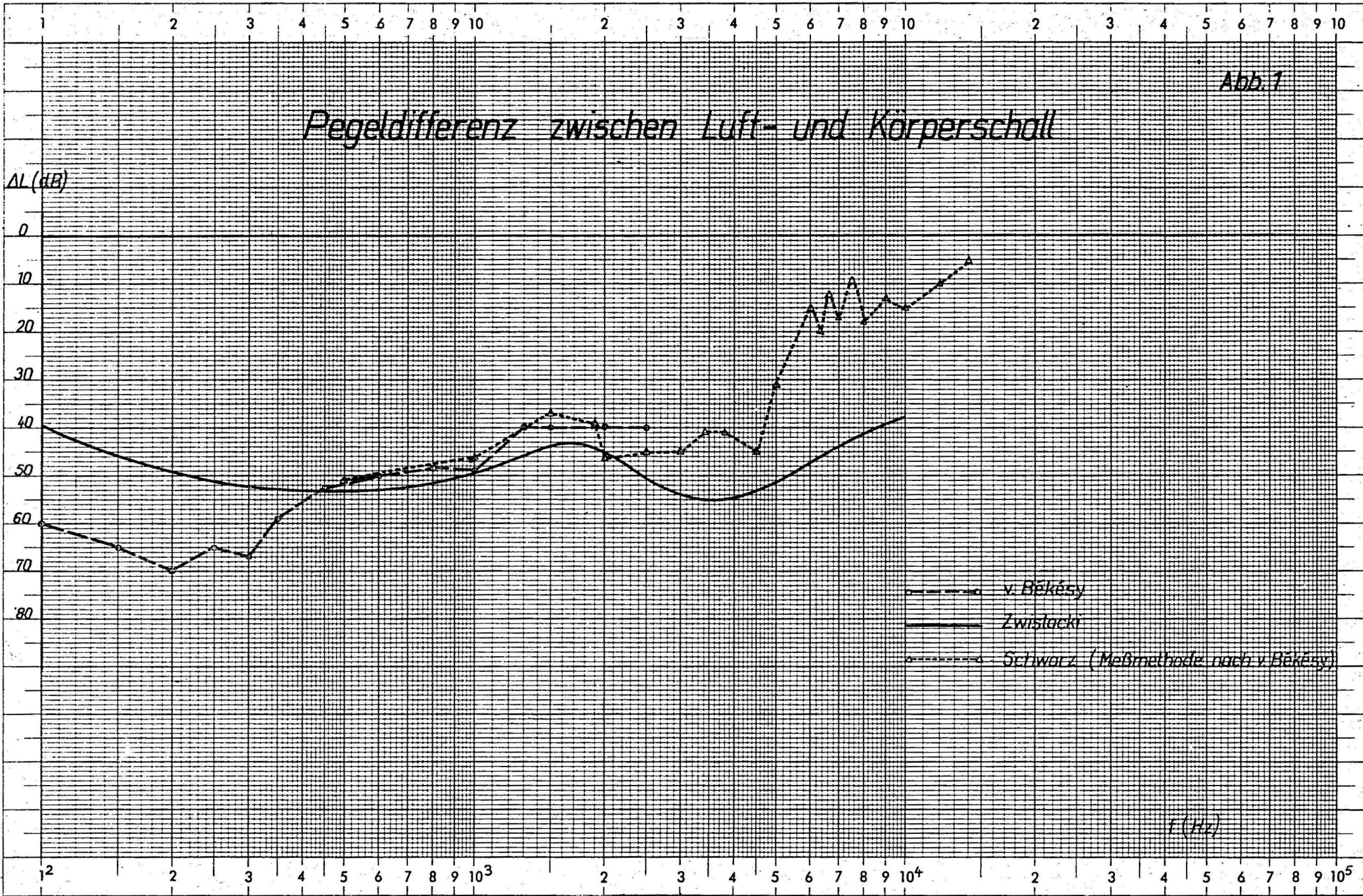
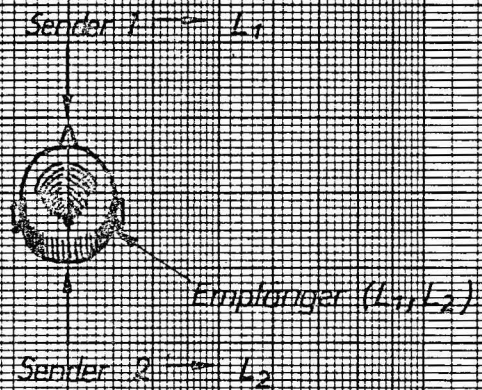


Abb. 7

Körperschallpegeldifferenz zwischen Anregung an der Stirn und am Hinterkopf

$\Delta L = L_2 - L_1$
(dB)

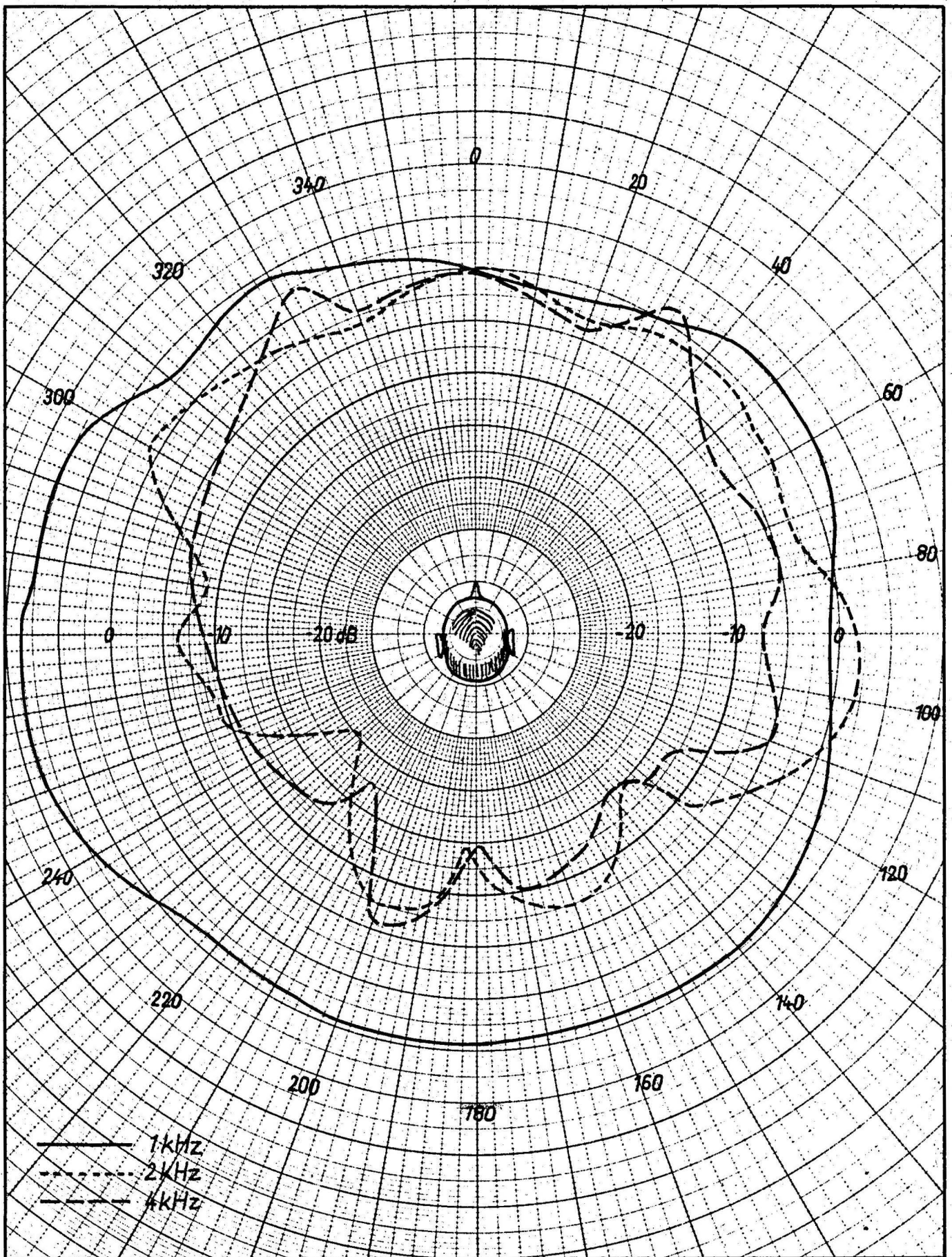
+40
+30
+20
+10
0
-10
-20
-30
-40



f (Hz)

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10³ 2 3 4 5 6 7 8 9 10⁴ 2 3 4 5 6 7 8 9 10⁵

Eine Achse logar. geteilt von 1 bis 1000, Einheit 90 mm, die andere in mm



*Körperschall - Richtcharakteristiken
gemessen mit reinen Tönen*

*Körperschallempfänger zwischen den Backen-
zähnen.*



