

Junger

HEINRICH-HERTZ-INSTITUT FÜR SCHWINGUNGSFORSCHUNG
BERLIN-CHARLOTTENBURG

Technischer Bericht Nr. 18

Kurven gleicher Lautstärke mit oktavgefiltertem Rauschen

G. PLENGE

Dipl.-Ing. D. SCHWARZE

1 9 5 8

Kurven gleicher Lautstärke mit oktav-gefiltertem Rauschen

Zusammenfassung

Nach einer Einleitung über den Begriff der Lautstärke und den damit zusammenhängenden Messverfahren wird eine Schaltungsanordnung zur Messung der Kurven gleicher Lautstärke mit oktav-gefiltertem Rauschen angegeben und beschrieben. Das Testverfahren wird diskutiert. Insbesondere wird auf die Verhaltensweise der Personen beim Test eingegangen. Die Messungen wurden im ebenen und im diffusen Schallfeld durchgeführt. Nach den gemessenen Kurven im diffusen Schallfeld, die im Mittel einen Abfall um 3 dB je Oktave aufweisen, wird ein "Geräuschpegelmesser" diskutiert.

Heinrich-Hertz-Institut für Schwingungsforschung

Die Bearbeiter

gez. PLENGE

(G. PLENGE)

gez. SCHWARZE

(Dipl.-Ing. D. SCHWARZE)

Der Abteilungsleiter

gez. L. CREMER

(Prof. Dr.-Ing. L. CREMER)

Der Institutsdirektor

gez. GUNDLACH

(Prof. Dr.-Ing. F.W. GUNDLACH)

I. Veranlassung der vorliegenden Untersuchungen.

Die quantitative Kennzeichnung von Geräuschen und die Festlegung von jeweils höchstzulässigen Werten erfolgt z. Zt. nach zwei Methoden.

Die erste, ältere besteht in der Messung eines gegebenen Schallpegels mit Hilfe eines über den gesamten hörbaren Bereich wirkenden Empfangssystems, welches die einzelnen Frequenzgebiete nach Möglichkeit so bewerten soll, wie das durch das Ohr geschieht. Dieses Gerät führt in Amerika die Bezeichnung "sound level meter", wäre also eigentlich in "Schallpegelmesser" zu übersetzen. In Deutschland ist diese Bezeichnung üblich für ein Messgerät, das im Bereich der vorhandenen oder nur interessierenden Frequenzanteile alle Frequenzen gleich bewertet. Da bei diesem vorliegenden Gerät die Kurven gleicher Lautstärke der Frequenzbewertung zugrunde gelegt sind, wird es als DIN-Lautstärkemesser bezeichnet, und seine Angaben erhalten den Zusatz "DIN-Phon".¹⁾

Der DIN-Lautstärkemesser und die durch ihn gegebene Kennzeichnung des jeweiligen Geräusches durch eine einzige Zahl hat zweifellos den Vorteil grosser Einfachheit. Diese Einfachheit wird leider an einer Stelle verlassen. Der DIN-Lautstärkemesser wurde aus der Forderung heraus entwickelt, die Lautstärke reiner Töne im ebenen fortschreitenden Schallfeld anzuzeigen. Nun sind aber die so ermittelten Kurven gleicher Lautstärke abhängig vom jeweiligen Lautstärkepegel. Um die Amplitudenabhängigkeit des Frequenzganges einigermaßen zu berücksichtigen, einigte man sich international auf drei verschiedene Bewertungskurven, die je nach Pegel einzuschalten sind. Dies bringt jedoch den grossen Nachteil mit sich, dass - insbesondere bei tiefen Frequenzen - je nach der eingeschalteten Bewertungskurve sich verschiedene Anzeigen ergeben. Man versuchte, die dadurch für den Ablesenden sich ergebende Unsicherheit zunächst durch die Regel auszuschalten, dass jeweils der höhere Wert massgebend sei. Man bewertete im Sinne der Lärmbekämpfung Geräusche lieber zu hoch, als zu niedrig. Neuerdings wurde dieses Prinzip verlassen, Die drei Kurven gelten vielmehr als gleichberechtigt. Es muss jedoch

bei jedem Messergebnis angegeben werden, mit welcher Kurve es gewonnen ist. Dabei wurde vorgeschlagen, die Kurven mit A, B und C zu bezeichnen und den jeweils gemessenen Pegelwert mit dB_a , dB_b und dB_c .

Es ist sehr fraglich, ob diese Erschwerung wirklich lohnt. Einmal interessiert die Geräuschemessung hauptsächlich bei grösseren Lautstärkepegeln, weshalb bereits eine Kurve fallen könnte. Darüber hinaus ist aber zu sagen, dass diese Unterteilung in verschiedene Bewertungsbereiche nur für einzelne reine Töne gilt. Sobald aber eine Mehrzahl von Tönen oder ein breitbandiges Geräusch vorliegt, kann sich die einzustellende Bewertungskurve nur nach dem Gesamtpegel richten. Dabei kann sehr wohl eine Komponente mit einer Kurve bewertet werden, die für einen viel höheren Pegel gilt, als er für diese Komponente in Frage kommt.

Die Tatsache, dass ein solches Gerät die einzelnen Frequenzgebiete nicht, wie es das Ohr tut, getrennt bewerten kann, äussert sich aber in einer viel grösseren Diskrepanz zwischen so gemessener und wahrer Lautstärke. Diese Diskrepanz läuft darauf hinaus, dass die DIN-Lautstärke umso mehr unter der wahren Lautstärke liegt, je breitbandiger das Geräusch ist.²⁾

Bei der zweiten Methode hat man sich daher immer wieder bemüht, eine wahre Bildung der Lautheit aus Summen von Lautheiten einzelner Frequenzgebiete zu bilden.³⁾ ...⁹⁾ Diese Bemühungen haben aber bisher nur zu relativ mühsamen Rechenvorschriften, jedoch nicht zu einem Gerät geführt, das im wahrsten Sinne des Wortes für Messungen in Verkehr und Betrieb noch tragbar wäre.

Dagegen hat es sich eingebürgert, neben der Angabe der DIN-Lautstärke bei stationären Geräuschen ein Pegel-Oktav-Spektrum aufzunehmen. Apparativ bedeutet das nur die Einschleifung von Oktavsieben in den Uebertragungsweg des DIN-Lautstärkemessers, wobei gleichzeitig die Bewertungskurve im Sinne eines Schalldruckpegelmessers durch eine Gleichbewertung aller Frequenzen ersetzt wird.

Liegt ein solches Pegel-Oktav-Diagramm vor, so kann die Frage der Zulässigkeit auch entschieden werden durch Vergleich der gemessenen Kurve mit einer Sollkurve. Von diesem Verfahren wird

insbesondere in der Bauakustik bei der Bestimmung des Trittschallschutzes von Decken Gebrauch gemacht.¹⁰⁾ Die Sollkurve berücksichtigt dort nicht nur die unterschiedliche Empfindlichkeit des Ohres gegenüber tiefen und hohen Frequenzgebieten. Sie wäre, wenn sie nur dies täte, dennoch willkürlich, da ja das anregende Hammerwerk eingeht. Sie berücksichtigt vielmehr auch die Tatsache, dass es viel leichter ist, hohe Frequenzgebiete zu bekämpfen, als niedrige.

Ausserdem verlangt die Zulässigkeit nicht, dass die gemessene Kurve überall unter der Sollkurve liegt. Es wird vielmehr eine mittlere Ueberschreitung von 2 dB zugelassen, wobei die Unterschreitungen nicht kompensierend wirken, sondern nur als Nichtueberschreitung gewertet werden. Dieses Prinzip hat den Vorteil, dass die Frage der Zulässigkeit stets von mehreren Messpunkten abhängig ist, und somit die geringe Genauigkeit akustischer Messungen nicht allzu stark ins Gewicht fällt.

Aber auch auf anderen Gebieten sind Vergleichskurven vorgeschlagen worden, um aus deren Ueberschreitungen im Pegel-Oktav-Diagramm die Zulässigkeit oder Nichtzulässigkeit eines Geräusches festzulegen. Hierbei ist vielfach sogar die Ueberschreitung bei nur einer Frequenz als unzulässig angesehen worden. Auch bei diesen Kurven brauchte man nicht nur auf die Eigenschaften des Ohres Rücksicht zu nehmen. Man könnte auch hier den jeweiligen Stand der Technik berücksichtigen, würde dann allerdings für jedes Anwendungsgebiet eine gesondere Sollkurve erhalten.

In einem Bericht, von L. CREMER und E. LUBCKE¹¹⁾ vor dem Arbeitsausschuss "Lautstärke und Geräuschemessungen" über Normkurven für die Geräuschklassifizierung gaben, wurde daher vorgeschlagen, wenigstens eine allgemeine Kurve auf der Basis der Kurven gleicher Lautstärke festzulegen. Es wurde zugleich betont, dass hierfür die bekannten Kurven gleicher Lautstärke nicht geeignet sind; und zwar sowohl weil sie mit reinen Tönen, als auch weil sie im ebenen, von vorn auf den Beobachter zulaufenden Schallfeld, also im schalltoten Raum, unter bestimmten Einfallswinkeln gewonnen waren. Dieser Grenzfall wird aber bei der Geräuschkämpfung viel seltener auftreten, als der eines statistisch auf alle Frequenzen und Raumrichtungen gleichmässig verteilten Geräusches.

Dabei braucht es sich nicht nur um weisses Rauschen zu handeln, bei dem der Energieanfall je Hz gleich ist. Es kann vielmehr angenommen werden, dass alle Geräuschspektren, bei denen der Abfall der Pegel über der Frequenz weniger steil ist, als die entsprechende Filterung im Ohr, in nahezu gleicher Weise vom Ohr bewertet werden.

Es wurde daher von den obengenannten Referenten als wünschenswert erachtet, die Kurven gleicher Lautstärke mit oktavgefiltertem Rauschen einmal zu messen. In der Sitzung vom 28.5.56 wurde von L. CREMER bereits über die ersten Versuchsreihen berichtet, die im kleinen Hallraum der akustischen Abteilung des Heinrich-Hertz-Instituts, also im diffusen Schallfeld durchgeführt worden waren. Diese litten jedoch leider sehr unter apparativen Mängeln und den im Hause vorhandenen Maschinengeräuschen.

Inzwischen wurden die Versuche im Hallraum des akustischen Prüfstandes des Instituts für Technische Akustik am Salzufer unter günstigeren Bedingungen und mit einer wesentlich verbesserten Apparatur durchgeführt, so dass die Untersuchungen nunmehr als abgeschlossen gelten können.

Ausserdem ist auch eine Kurve gleicher Lautstärke mit gefiltertem Rauschen im diffusen Schallfeld von S.S. STEVENS gemessen worden. S.S. STEVENS hat in seiner Veröffentlichung eine ebensolche Messung vom TYZZER mitverwertet. -Schliesslich wurden inzwischen derartige Vergleichsmessungen auch im Akustischen Institut der TH Dresden von Herrn Prof. W. REICHARDT durchgeführt, wovon wir freundlicherweise durch den Bearbeiter, Herrn JAHN, Mitteilung über Teilergebnisse erhielten. Da uns der abschliessende Bericht noch nicht vorliegt, enthält dieser Bericht noch keine Gegenüberstellung der Ergebnisse.

II. Die Durchführung der Versuche

a) Das Testverfahren

Die Kurven gleicher Lautstärke mit reinen Tönen wurden ermittelt, indem man abwechselnd den Bezugston und den zu vergleichenden Ton auf beide Ohren gibt. Die Testperson hatte dann den zu vergleichenden Ton entweder so einzustellen, dass er gleichlaut dem Bezugston war, oder dass der zu vergleichende Ton "lauter als" bzw. "leiser als" der Bezugston war. Beide Verfahren sind möglich, doch ist das letztgenannte zweckmässiger. Die Einstellung auf "lauter als" und auf "leiser als" ermüdet die Versuchsperson weniger, als die Einstellung auf "gleichlaut". Wird jetzt diese Messmethode für die Ermittlung der Kurven gleicher Lautstärke mit oktavgefiltertem Rauschen angewandt, so müsste, um dem Lautstärkebegriff gerecht zu werden, jede Oktave mit einem 1000 Hz Ton als Bezugston verglichen werden. Es ist jedoch äusserst schwierig, zwei Schallereignisse verschiedenen Charakters, wie sie ein reiner Ton gegenüber gefiltertem Rauschen darstellt, subjektiv zu vergleichen. Deshalb wurde der Bezugston von 1000 Hz durch terzgefiltertes Rauschen um 1000 Hz ersetzt.

Die Terz um 1000 Hz entspricht nach FELDTKELLER und ZWICKER einer Frequenzgruppe an dieser Stelle des hörbaren Bereichs. Dadurch ist es eventuell möglich, die erhaltenen Messergebnisse in die Lautstärke-Berechnungsmethode von FELDTKELLER und ZWICKER einzubauen, um neue Aussagen über die Verhaltensweise des Ohres bei Geräuschen zu machen.

Jeder einzelne Test begann mit einer möglichst genauen Unterrichtung der Versuchsperson über Sinn und Zweck der Versuche, und über die Aufgabenstellung für die Versuchsperson während des Testes. Die verschiedenen Geräusche wurden der Versuchsperson vorgestellt; vor allem wurde der Versuchsperson Gelegenheit gegeben, das terzbreite Rauschen um 1000 Hz als dem für die ganze Dauer des Testes bleibenden Vergleichsrauschen längere Zeit zu hören und sich einzuprägen.

Es wurde dann abwechselnd für kurze Zeit das Terzrauschen und ein oktavbandbreites Rauschen mit der Mittenfrequenz 1000 Hz dargeboten, dessen Pegel langsam stufenweise gesenkt wurde. Die Regelung erfolgte jeweils zu der Zeit, zu der das Oktavrauschen gerade nicht zu hören war. Während der Darbietung blieb der Pegel konstant. Die Versuchsperson hatte nun die Aufgabe, dann ein Signal zu geben, wenn sie den Eindruck hatte, das Oktavrauschen sei leiser als das Terzrauschen. Danach wurde der Pegel des Oktavrauschens wieder erhöht, bis die Versuchsperson ein weiteres Signal gab zum Zeichen, dass nunmehr das Oktavrauschen lauter sei als das Terzrauschen. Anschliessend wurde der Pegel wieder gesenkt und so fortfahrend der Punkt des wahrscheinlichen Eindrucks des "gleichlauten" insgesamt dreimal umfahren.

Registriert man auf einem Pegelschreiber die Maxima und Minima, so kann man aus ihnen bei einer späteren Auswertung den Pegel, bei dem die beiden Rauschen wahrscheinlich als "gleichlaut" empfunden wurden, ermitteln. Abb. 1.

Nach der siebenten Umsteuerung der Regelungsrichtung des Pegels des Oktavrauschens durch die Versuchsperson (3. Minimum) wurde eine Pause eingefügt und anschliessend die weiteren Punkte einer Kurve - Mittenfrequenzen der übrigen Oktavbänder - jeweils mit kurzen Pausen auf die gleiche Art ermittelt. Dabei wurde die Reihenfolge der Messpunkte so gewählt, dass jeweils von der Terz um 1000 Hz ausgehend zuerst nach hohen Frequenzen und anschliessend nach den tiefen Bereichen fortgeschritten wurde. Je nach Sicherheit des Urteils der Versuchsperson wurden ein oder mehrere Messpunkte wiederholt.

Als mögliche Dauer für die Darbietung der einzelnen Schallereignisse wurde bei dem von uns benutzten Verfahren im diffusen Schallfeld eine Zeit von 1,5 - 2 sec ermittelt. Ausserdem musste zwischen den einzelnen Signalen eine kurze Pause von ca. 0,5 - 1 sec. eingefügt werden, damit die verschiedenen Rauschen nicht durch den Nachhall ineinander übergehen.

Die Gesamtzeit zwischen den einzelnen Umschaltungen von ca. 2 - 3 sec ist ein Kompromiss zwischen der Zeit, die die Versuchsperson braucht, um die Lautstärke eines dargebotenen

Rauschens mit Sicherheit zu erkennen, und der Zeit, die gerade noch zulässig ist, damit die Versuchsperson bei dem darauffolgenden Vergleich des nächsten Rauschens mit dem vorangegangenen dessen Lautstärke noch im Gedächtnis hat.

Die günstigste Zeit innerhalb dieses Zeitraumes muss für jede Versuchsperson zu Beginn des Testes ermittelt werden.

Auf diese Weise dauerte die Aufnahme einer Kurve etwa 15 - 20 Minuten. Danach war in der Regel die Aufnahme - und Konzentrationsfähigkeit der Versuchsperson so weit erschöpft, dass eine längere Pause eingefügt werden musste. Nach der Aufnahme von weiteren zwei Kurven mussten die Tests beendet werden. Es konnten also in einer Sitzung jeweils nur drei Kurven ermittelt werden. Der Test wurde vorwiegend in zwei Sitzungen unterteilt. Bei der ersten wurden die Kurven 70, 80 und 90 dB, bei der zweiten die Kurven 50 und 60 dB aufgenommen. Die Messungen bei 50 und 60 dB konnten nur während der Nachtstunden durchgeführt werden; am Tage betrug der Störpegel im Hallraum bis zu 50 dB. Für die Nachtstunden war die Gefahr der Ermüdung natürlich besonders gross, ihr konnte wenigstens teilweise begegnet werden, indem der Test auf die Aufnahme von zwei Kurven beschränkt wurde.

b) Diskussion des Testverfahrens und der Verhaltensweisen der Versuchspersonen.

Mit einem solchen Test wird der Versuch unternommen, die Frage zu beantworten, ob ein physischer Vorgang - die Aufnahme eines Schallreizes bestimmter Art und seine Weiterverarbeitung - einer erkennbaren Gesetzmässigkeit unterliegt und - gegebenenfalls - worin diese besteht; ob sie an ein Individuum gebunden ist oder Allgemeingültigkeit besitzt.

Nur in seltenen Fällen besteht die Möglichkeit, den Ablauf eines physischen Vorganges direkt qualitativ und quantitativ zu bestimmen - etwa in der Form, dass eine unbewusste direkte körperliche Reaktion auf einen Reiz messbar ist - vielmehr ist man meist gezwungen, den Menschen als ein mehr oder weniger

verzerrendes und in seiner Anzeige verschlüsseltes "Messinstrument" miteinzusetzen.

Werden darüber hinaus nicht nur unbewusste Reaktionen des Menschen ausgewertet, sondern seine Fähigkeit, das Bewusste zu erkennen und in Worten oder durch Abgabe von Zeichen anderen zu offenbaren, so tritt eine weitere psychisch bedingte Transformation des Messergebnisses ein.

Ein Test, wie der hier durchgeführte, hat demnach zwei prinzipielle Fehlerquellen:

- 1.) Die Unsicherheit der physischen Reaktion bzw. ihre Variationsbreite.

Wenn es gelingt, Personen mit von der Norm abweichendem Hörvermögen von der Teilnahme auszuschliessen, so ist der Fehler hinreichend klein und etwa mit einer Messgenauigkeit vergleichbar und kann mit den für eine Messgenauigkeit aufgestellten Richtlinien berücksichtigt werden. (Es lässt sich allerdings nicht immer mit Sicherheit erkennen, ob die Testperson überhaupt tauglich ist, d.h. ob es sich um einen normal Hörenden handelt, oder ob evtl. durch Krankheit die Hörfähigkeit gemindert oder verändert ist. Die Aufnahme eines Audiogramms würde darüber jedoch Klarheit schaffen).

- 2.) Die psychisch bedingte Veränderung der primären Reaktion.

Dieser Fehler kann in seinen Auswirkungen so unübersehbar und in seiner Stärke so verschieden sein, dass man gezwungen ist, die Testperson daraufhin laufend zu beobachten, bzw. die Durchführung des Testes auch apparativ so einzurichten, dass der Versuchsleiter seine Aufmerksamkeit darauf verwenden kann.

Auf die am häufigsten beobachteten Fehler sei im folgenden näher eingegangen.

- 1.) Bei einem Vergleich des Terzrauschens mit einem in der Frequenz naheliegendem Oktavrauschen wird häufig von der Versuchsperson die tatsächliche Pegeländerung des Oktavrauschens dem Terzrauschen zugeschrieben in dem Sinne, dass z.B. bei einem Leiserwerden des Oktavrauschens die Versuchsperson meint, das Terzrauschen werde lauter und der Pegel des Oktavrauschens bliebe konstant.

Es lag daher nahe, zu Beginn des Testes möglichst ungleiche Rauschen miteinander vergleichen zu lassen, damit sich die Versuchsperson besser einarbeitet.

Dem steht aber entgegen, dass der Vergleich von Lautstärken sehr verschiedener Geräusche anfänglich besonders ungeübten Personen so schwer fällt, dass die Ergebnisse unsicher werden.

- 2.) Oft gelang es der Versuchsperson anfangs nicht, vernünftige Unterschiede zwischen "lauter als" oder "leiser als" dem Terzrauschen zu machen. Meist waren die Abstände zwischen dem Maxima und Minima zu klein, in seltenen Fällen zu gross. Bei der Anleitung der Versuchsperson wurde hier die Formulierung gebraucht, das Oktavrauschen müsse mit Sicherheit lauter oder leiser als das Terzrauschen sein.
- 3.) Nach einer gewissen Zeit stellt sich die Versuchsperson darauf ein, dass jede Signalgabe mit einer Umkehrung der Pegeländerungsrichtung verbunden ist. Erfolgt nun die Regelung in stets gleichbleibenden kleinen Stufen, so entspricht die erste nach der Umkehrung eintretende Pegeländerung in der neuen Richtung nicht der unbewusst erwarteten, die viel grösser ist. Das führt leicht dazu, dass die Versuchsperson meint, ihr Signal sei vielleicht nicht verstanden worden und an der Regelungsrichtung habe sich nichts geändert. Das Signal wird eventuell unnötig wiederholt und so eine schädliche Unruhe in den Ablauf des Testes gebracht.
- 4.) Die Versuchsperson passt sich im Laufe der Zeit dem Rhythmus des Ablaufs des Testes an. Das bezieht sich im wesentlichen auf folgende Punkte:

a) Die Umschaltfrequenz.

Es wäre wünschenswert, ab und zu die Umschaltfrequenz zu ändern, um der durch die Gleichmässigkeit bedingten Ermüdung entgegen zu wirken.

Aus oben genannten Gründen sind die Einzelzeiten für die Umschaltung jedoch so eng toleriert, dass man davon absehen und die Ermüdung in Kauf nehmen muss.

b) Der Rhythmus der Pegeländerung

Die Versuchsperson gewöhnt sich daran, dass z.B. nach fünf Umschaltungen das Oktavrauschen normalerweise zu laut oder zu leise geworden ist. Sie gibt ein Signal aus der Erfahrung, dass das Oktavrauschen eben zu laut oder zu leise geworden sein müsse und nicht aufgrund einer objektiven Bewertung.

Der normale Ablauf der Pegeländerung muss also zeitweilig unterbrochen oder verändert werden, jedoch nur so, dass eine Reaktion der Versuchsperson auf diese Änderung jederzeit übersehbar bleibt.

c) Die Folge der verschiedenen Oktavrauschen

Es hat sich gezeigt, dass es nicht gut ist, von der oben erwähnten Reihenfolge der Messpunkte abzugehen, vielmehr empfiehlt es sich, zu Beginn jedes Testpunktes der Versuchsperson das neue Rauschen mit einem nicht vorhersehbaren Pegel darzubieten (entweder viel zu laut, oder viel zu leise) und sie zu zwingen, erst einmal nach dem ungefähren Bereich des etwa gleich lauten zu suchen. Bietet man der Versuchsperson das neue Rauschen in einem Bereich an, der möglicherweise der richtige sein könnte, so wird er von der Versuchsperson kritiklos übernommen.

Für die Reihenfolge der Aufnahme hat sich als günstig herausgestellt:

für die Tagessitzung: 80, 70, 90 dB
für die Nachtsitzung: 60, 50 dB.

Oberstes Gesetz für die Durchführung des Testes ist es, stets einen Weg einzuschlagen, der einerseits die Gefahr der Gewöhnung in oben gezeigter Form ausschliesst, andererseits noch soviel Gesetzmässigkeit zulässt, dass die Versuchsperson nicht verwirrt wird, ohne zu ermüden.

- 5.) Die Versuchsperson soll optisch möglichst unbeeinflusst bleiben und sich in einer neutralen Umgebung befinden. Neue und fremdartige Eindrücke lenken ab.

Ein bequemer Sessel, ein Tisch und eine gemütliche Lampe, die nur die Versuchsperson und ihre nächste Umgebung beleuchtet, den gesamten Raum jedoch im Dunkeln lässt, schaffen eine möglichst häusliche Atmosphäre.

- 6.) Die verschiedenen Rauschen bekommen besonders bei tiefen Frequenzen im Wechsel mit dem Terzrauschen einen schnarchenden Charakter und begünstigen alle möglichen Assoziationen. Dies trifft auch für die Rauschen zu, die die Versuchsperson

an irgendwelche Erlebnisse (z.B. Windgeräusche während einer Bahnfahrt oder ähnliches) erinnern.

Dies kann so weit gehen, dass die Versuchsperson ihre Umgebung und die ihr gestellte Aufgabe völlig vergisst oder einschläft.

- 7.) Manche Versuchspersonen erleichtern sich ihre Aufgabe durch irgendwelche Vorstellungen, die sie mit den Rauschen oder dem Ablauf der Rauschen verbinden.

Dies sei an zwei Beispielen erläutert:

- a) Denkt man sich für die beiden zu vergleichenden Rauschen je ein Wesen oder Gegenstand als Erzeuger des Rauschens, so kann man sich vorstellen, mit Leiser- oder Lauterwerden des ausgesendeten Schalles wandere die Schallquelle im Raum.

Je nachdem, ob die Schallquelle des Oktavrauschens vor dem inneren Auge des Lauschenden näher oder entfernter als die Schallquelle des Terzrauschens erscheint, kann er annehmen, das Rauschen sei leiser bzw. lauter.

- b) Denkt man sich zu den Rauschen eine Musik, die im Zweiviertel- oder Zweihalbe-Takt geschrieben sei, so kann man jeweils einen Takt zwei nacheinanderfolgenden Rauschen zuordnen, wobei der schwere Taktteil auf das lautere und der leichte Taktteil auf das leisere Rauschen falle.

Wird nun das bisher leisere Rauschen das lautere, so tritt im Ablauf der Musik durch den Wechsel der Betonung ein "Phasensprung" ein; es fehlt plötzlich ein halber Takt.

Dies ist eine höchst empfindliche Reaktion, deren Zeitpunkt genau angebbar ist. Nimmt man weiter an, dass dieser Zeitpunkt mit dem Empfinden für "lauter als" oder "leiser als" das Terzrauschen identisch ist und gibt man jeweils in diesem Augenblick das geforderte Signal, so braucht man sich nicht mehr auf ein Lauter- oder Leiserwerden zu konzentrieren, vielmehr nur auf die innerlich vorgestellte Musik zu achten.

Wieweit solche Eselsbrücken zulässig sind oder nicht, bleibe dahingestellt.

Die Zahl der Personen, die an einem solchen Test teilnehmen können, ist durch die Möglichkeiten unseres Instituts begrenzt.

Es wurde auch mehr Gewicht darauf gelegt, eine geringere Zahl von Personen möglichst genau zu testen, als eine grosse

Zahl von Einzelergebnissen zusammenzutragen. Teilgenommen haben Mitglieder des Institutes, Studenten, denen die Teilnahme im Rahmen ihrer Ausbildung oblag, und Freunde und Bekannte der Versuchsleiter, die sich freundlicherweise zur Verfügung gestellt hatten.

Je nach der Herkunft der Teilnehmer waren einige Sonderheiten zu beachten.

Mitglieder des Institutes waren zwar meist vertraut mit der Problemstellung und den bei dem Test geübten Praktiken, jedoch aufgrund ihres Wissens um das voraussichtliche Ergebnis oft voreingenommen.

Studenten ist die zusätzliche Übung oft lästig, sie wollen möglichst schnell fertig werden im Gegensatz zu den Teilnehmern aus der letztgenannten Gruppe, wo es manchmal galt, den Eifer etwas zu dämpfen.

Musikalisch geschulte Personen waren die schärfsten und in ihrem Urteil unbeirrbarsten Beobachter. Medizinisch geschulte oder mit den Schwierigkeiten elektroakustischer Anlagen vertraute Teilnehmer konnten sich oft auf die ihnen gestellte Aufgabe nicht konzentrieren; erstere, weil sie aus physiologischen Erwägungen dem Test überhaupt seine Berechtigung absprachen, letztere, weil bei ihnen die Kritik an der Apparatur und das Suchen nach einem Anhaltspunkt für eine Kritik die Konzentration auf die gestellte Aufgabe nicht zuließ.

III. Die Apparatur

Die Anordnung der einzelnen Geräte zeigt das Blockschaltbild Abb. 2.

Von einem Rauschgenerator, der weisses Rauschen liefert, werden zwei Spannungen abgenommen, Die eine wird über ein Terzsieb, das aus dem Gesamtrauschen die Terz von 900 - 1120 Hz ausfiltert, über einen anschliessenden Verstärker und einem Regelglied, einem elektronisch arbeitenden Umschalter zugeführt.

Aus der zweiten Spannung werden mit zwei hintereinander geschalteten Oktavsieben wahlweise die Oktaven

100	-	200	Hz
200	-	400	"
400	-	800	"
800	-	1600	"
1600	-	3200	"
3200	-	6400	"
6400	-	12800	"

ausgesiebt, die wiederum über einen Verstärker und ein Regelglied dem oben erwähnten Umschalter zugeführt werden. Der elektronisch arbeitende Umschalter schaltet knackfrei eine der beiden Spannungen über einen weiteren Spannungsverstärker und einen Leistungsverstärker auf die im Testraum untergebrachte Lautstärkekombination.

Der im Testraum erzeugte Schalldruck kann auf zwei Wegen gemessen werden. Einmal durch einen Schalldruckmesser der Fa. ROHDE und SCHWARZ (EZGN). Er erlaubt für die Aufnahme der einzelnen Kurven die Einstellung des Terzrauschens auf den geforderten Absolutwert. Der zweite Messweg registriert die Abweichungen der Schalldrücke der Oktavrauschen vom Schalldruck des Terzrauschens. Er besteht aus Messmikrophon, Hochpass, Verstärker und Pegelschreiber. Die Regelung des in dem Weg des Oktavrauschens eingeschalteten W 85 kann durch einen der Versuchsperson zugänglichen Druckknopf gesteuert werden.

Einzelheiten der Schaltung:

Die Umschaltung von einem Kanal auf den anderen erfolgt jeweils durch Unterdrückung des einen oder anderen Kanals auf folgende Weise: (Abb. 3).

Die vom Regelglied (W85) kommende Spannung wird auf das Gitter einer Kathodenstufe gegeben. Wird nun an das Gitter eine zusätzliche hohe negative Gittervorspannung gegeben, so wird die Röhre gesperrt.

Der Gitterableitwiderstand (800 k Ω) ist in zwei Widerstände 1 + 2 zu 400 k Ω geteilt. Zwischen ihnen wird die zusätzliche negative Gittervorspannung über ein Potentiometer und einem Schutzwiderstand (50 k Ω) zugeführt. Parallel zu W_1 liegen 0,5 μ F. Nach Massgabe der Zeitkonstante R . C steigt die zugeschaltete Spannung auf ihren Nennwert. Dadurch wird eine plötzliche Sperre der Röhre vermieden. Die Abschaltung erfolgt weich. Der günstigste Arbeitspunkt für die Sperre kann durch Regeln des Potentiometers eingestellt werden.

Die Röhre wird durch Abschalten der negativen Gitterspannung wieder geöffnet. Dies erfolgt wiederum nicht plötzlich, sondern wird durch die Entladung des Kondensators über W_{i1} reguliert.

Die gegenseitige Beeinflussung der Stufen durch die direkte Zusammenschaltung der Kathoden bewirkt pro Kanal einen Spannungsabfall von 6 dB. Bei einkanaligem Betrieb entfällt die Dämpfung.

Daten für eine Stufe:

Frequenzgang: 30 Hz - 20 kHz \pm 2 dB
Klirrfaktor: $<$ 1,5 %
Verstärkung: $<$ 1

Eingang: 0 dB, bei Rauschen: - 6 dB

Daten für die Sperre:

Abfall um ca. 90 dB in 50 - 100 msec }
Anstieg auf U_{max} in 50 - 500 msec } wahlweise

Die Umschaltung wird gesteuert durch die Kontakte $c_1 + d_1$ oder von Hand durch die Tasten T_3 und T_4 , die in der Arbeitsstellung verriegelt werden können.

Für die Durchführung der Teste hat es sich als notwendig erwiesen, dem Versuchsleiter alle mechanischen Arbeiten, vor allem die Regelung des Pegels des Oktavrauschens, nach Möglichkeit abzunehmen. Die Beobachtung der Versuchsperson erfordert die ganze Aufmerksamkeit des Versuchsleiters.

Es wurde eine zusätzliche Relaisschaltung entwickelt, die folgendes leistet (siehe Abb. 4).

1.) Umschaltung von Kanal 1 auf Kanal 2, auf Kanal 1 usw. mit einzeln veränderlichen Zeiten von 0,5 - 5 sec Dauer.

Die Umschaltung wird gesteuert von zwei Relais (A + B), die im Gegentakt arbeiten. Die Relais sind jeweils solange in Arbeitsstellung, bis sich die Kondensatoren 1 oder 2 über sie entladen haben. Während der Ruhestellung werden die Kondensatoren wieder aufgeladen. Die Entladung kann über zusätzliche Widerstände (3,4) und über die Potentiometer 1 + 2 beschleunigt werden. Die Arbeitszeiten von A und B lassen sich so in den angegebenen Grenzen regeln.

- 2.) Einfügen von Pausen zwischen den Umschaltungen mit einzeln veränderlichen Zeiten von 0,2 - 2 sec. Dauer.

In Abhängigkeit von A und B arbeiten C und D. C und D sind abfallverzögert. Die Abfallverzögerung kann durch die Potentiometer 3 und 4 in den angegebenen Grenzen geregelt werden. Durch die Ueberlappung der Arbeitszeiten von C und D entstehen die Pausen zwischen den Zeiten, zu denen jeweils eine Röhre ungesperrt ist.

- 3.) Automatische Regelung des einen W 85 durch einen Motor. Die Regelung kann wahlweise in verschiedenen Stufen nach einem vorher festgelegten Plan durch eine Wählerabtastung vorgenommen werden.

Dadurch wird erreicht, dass nach einer Umkehrung der Regelungsrichtung durch die Versuchsperson der nächste Umkehrpunkt in zunächst grossen und in der Nähe des nächsten Umkehrpunktes kleinen Stufen angesteuert wird.

Dies bringt drei Vorteile:

- a) Es wird Zeit gespart. Der nächste Umkehrpunkt der Regelungsrichtung wird so rasch wie möglich erreicht.
- b) Durch die kleinen Stufen in der Nähe des nächstfolgenden Umkehrpunktes wird die Genauigkeit der Angabe des jeweiligen Maximum oder Minimum gefördert; bzw. verhindert, dass durch zu grosse Stufen der tatsächliche Eindruck des "lauter als" oder "leiser als" das Terzrauschen überfahren wird.
- c) Grosse Schritte in der Pegeländerung nach der Signalgabe verhindern den oben erwähnten Irrtum der Versuchsperson, die Regelungsrichtung habe sich nicht verändert.

Nutzt man bei der Wählerabtastung noch die verschiedenen Bahnen des Wählers aus, so kann man, je nachdem ob ein Maximum oder Minimum zum ersten, zweiten oder dritten Mal erreicht wird, den Punkt mit einer für jede Situation optimalen Regel-Charakteristik ansteuern.

- 4.) Automatische Umsteuerung der Regelungsrichtung durch das Signal der Versuchsperson.
- 5.) Automatische Stillsetzung der gesamten Relaisschaltung und gleichzeitige Unterdrückung beider Kanäle (Pause) nach wahlweise 6 oder 8 Umsteuerungen der Regelungsrichtung durch die Versuchsperson.

IV. Die Messungen und ihre Ergebnisse

1.) Ergebnisse im schalltoten Raum

Im schalltoten Raum des Instituts für Technische Akustik der TU Berlin wurden die ersten Versuche mit Hilfe der neuentwickelten Apparatur zur Messung der Kurven gleicher Lautstärke mit oktavgefiltertem Rauschen durchgeführt. Es sollten Erfahrungen bezüglich des Rauschens, des Klirrfaktors, der Dauer einer Messung, Sicherheit der Apparatur, Verhalten der Versuchsperson usw. gemacht werden. Für die Messung im ebenen Schallfeld wurde als Schallquelle eine ebene Schallwand mit Hoch-, Mittel- und Tief-ton-System verwendet. Die Testperson sass im Abstand von ca. 2,50 m von der Schallwand entfernt. Über dem Kopf der Versuchsperson befand sich das auf die Schallwand gerichtete Messmikrophon. 15 Versuchspersonen stellten sich für diese Vorversuche zur Verfügung. Um die bei Rauschen auftretenden grossen Spitzenwerte nicht unzulässig zu verzerren, durften alle elektrischen Geräte nur mit - 10 dB unter der maximal angegebenen Aussteuerung angesteuert werden.

Es liessen sich in diesem schalltoten Raum nur die Kurven mit den Pegeln 70, 80 und 90 dB messen, da der Störpegel zu hoch war. Die mittlere quadratische Abweichung der gemessenen Werte betrug infolge der leider unvermeidlichen Nebengeräusche aus dem Hause fast ± 7 dB. Die Ergebnisse sind in Abb. 5 wiedergegeben.

2.) Ergebnisse im Hallraum

a) Versuchsanordnung

Nach den ersten Messungen im ebenen Schallfeld (die in einem Raum mit kleinerem Störpegel wiederholt werden sollten), wurden den Messungen im diffusen Schallfeld besondere Aufmerksamkeit geschenkt. Zur Verfügung stand ein Hallraum mit dreieckförmigem Grundriss und schräger Decke, so dass keine Raumbegrenzungsfläche einer anderen parallel war. Das Volumen des Hallraumes beträgt 118 m^3 .

Für den Versuch ist es wichtig, dass alle Frequenzen im hörbaren Bereich eine möglichst gleiche Nachhallzeit haben. Es ist ausserdem erforderlich, dass ein allseitig gleichmässig verteiltes Schallfeld existiert.

In Abb. 6 ist über den Logarithmus der Frequenz die Nachhallzeit des unbehandelten und des behandelten Raumes aufgetragen. Der Anstieg der Nachhallzeit unter 100 Hz beim behandelten Raum interessiert nicht mehr, da die untere Grenzfrequenz der ersten zu vergleichenden Oktave 100 Hz betrug. Zur Erzielung einer guten Diffusität wurden abgestimmte Resonatoren für die tiefen Frequenzen und Lochplatten für die mittleren Frequenzen an den Begrenzungsflächen statistisch verteilt angebracht. Die Diffusität wurde jedoch messtechnisch nicht näher erfasst. Als Kriterium eines allseitig gleichmässig verteilten Schallfeldes wurde die Nachhallzeit an verschiedenen Punkten des Raumes ermittelt. Die Abweichungen der einzelnen Messpunkte voneinander waren hinreichend klein, und lagen nur innerhalb der Genauigkeit des Verfahrens.

Zur Unterstützung der Diffusität durfte die Schallquelle keine ausgesprochene Richtwirkung haben. Als Tieftöner wurde ein Ecklautsprecher und als Hochtöner ein Polyeder mit 12 Systemen verwendet. Die Versuchspersonen sassen an einer willkürlich gewählten Stelle des Raumes. Es bestätigten alle Versuchspersonen, dass der Ort der Schallquelle nicht genau angebbar sei.

b) Ergebnisse

Im ganzen stellten sich 47 Personen für den Test zur Verfügung. Davon mussten 6 Personen ausgeschieden werden, da sie entweder ohrgeschädigt, oder nicht in der Lage waren, Lautstärken zu vergleichen. Die Ergebnisse von 41 Personen wurden ausgewertet. Mit 6 Personen wurden die Kurven von 50 und 60 dB effektiver Schalldruck bei der Terz um 1000 Hz, mit 27 Personen, die von 70, 80, 90 dB und mit 8 Personen, die von 50 bis 90 dB gemessen.

Die mittlere quadratische Abweichung der eingestellten Pegel errechnet nach folgender Beziehung

$$s^2 = \frac{1}{N-1} \left[\sum_{i=1}^N L_i^2 - \bar{L}_i \sum_{i=1}^N L_i \right]$$

betrug:

$$\bar{s} = \pm 2,8 \text{ dB.}$$

Die Ergebnisse der Kurven gleicher Lautstärke mit oktavgefiltertem Rauschen im diffusen Schallfeld zeigt die Abb. 7 (in Tabelle 1 sind die erhaltenen Werte angegeben). Diese zeigen zunächst, dass sie einen wesentlich anderen Charakter haben, als die bekannten Kurven gleicher Lautstärke, die mit reinen Tönen bei von vorn auf den Beobachter im schalltoten Raum zukommenden ebenen Wellen gefunden wurden. Alle fünf ermittelten Kurven laufen nahezu parallel. Eine Ausnahme bildet die Oktave von 100 - 200 Hz mit der Mittenfrequenz 142 Hz bei 90 dB. Diese Oktave war mit der Terz um 1000 Hz nicht mehr eindeutig vergleichbar. Mit wenigen Ausnahmen machten die Versuchspersonen die Aussage, dass im Ohr Schmerzen auftreten. Damit wäre der eingetragene Punkt, die Bewertung einer Schmerzgrenze und nicht mehr die Bewertung einer Lautstärke.

V. Diskussion der Ergebnisse

Bei den in Abbildung 7 zusammengefassten Ergebnissen fällt insbesondere auf, dass bis zu der höchsten hier herangezogenen Messfrequenz - der Oktave von 6400 - 12800 Hz und der Mittenfrequenz von 9000 Hz - noch kein Wiederanstieg, d.h. Empfindlichkeitsabnahme des Ohres, zu beobachten war.

Dieses Ergebnis ist auch im Einklang mit der von S.S. STEVENS für einen Lautstärkepegel von 73 dB beobachteten Kurve, die in die Abb. 7 gestrichelt eingetragen ist.

Wenn diese Kurve im übrigen nicht parallel den hier gefundenen verläuft, so könnte das an gewissen Abweichungen der Messbedingungen liegen; es könnte aber auch als Hinweis auf den

unvermeidlichen Streubereich derartiger Messungen aufgefasst werden.

Auch hinsichtlich der Verwertung der hier gefundenen Kurven wird nicht vorgeschlagen, alle ihre Schwankungen im mittleren Abfall zu übernehmen, obschon sich einige von ihnen bei allen Pegeln wiederholen. Es erscheint vielmehr sinnvoll, das Ergebnis dahin zu vereinfachen, dass die Kurven im Messbereich durch Geraden angenähert werden können, die mit 3 dB je Oktave abfallen. Diese Geraden sind in Abb. 8 durch die Messpunkte gelegt.

Sehr wesentlich ist nun, dass diese Geraden mit gleich guter Näherung auch als äquidistante Geraden eingezeichnet werden können, dass also im Rahmen der technisch hauptsächlich interessierenden Pegel keine Abhängigkeit der Bewertungskurven vom Lautstärkepegel berücksichtigt zu werden braucht.

Diese Tatsache legt es nahe, den bisher verwendeten DIN-Lautstärkemesser, dessen Vorzug seine Einfachheit ist, noch um einen weiteren wesentlichen Schritt zu vereinfachen, nämlich durch Beschränkung auf eine einzige Bewertungskurve. Nach den hier gefundenen Ergebnissen würde zudem diese Bewertungskurve wesentlich einfacher sein, als die bisher üblichen, sie wäre im Bereich von 125 - 9000 Hz durch eine mit 3 dB je Oktave fallende Gerade darstellbar.

Oberhalb und unterhalb dieser Frequenzen müsste allerdings der Frequenzbereich beschnitten werden. Auch hierbei wird man zweckmässig den Abfall der Empfindlichkeit durch einfache geradlinige Gesetze ausdrücken, schon mit Hinblick darauf, dass eindeutige subjektive Messergebnisse in diesen Grenzgebieten kaum zu erzielen sind.

Bei hohen Frequenzen hängt die Frage der ohrgemässen Frequenzbescheidung sicherlich sehr stark vom Alter der Testperson ab. Dabei ist weder einzusehen, warum man sich ausschliesslich auf junge, noch warum man sich ausschliesslich auf ältere Leute beziehen sollte. Es sei daher als erste Richtlinie vorgeschlagen, hier mit einem Empfindlichkeitsabfall des Ohres von wenigstens 12 dB je Oktave zu rechnen, was sich in den geraden

Linien der Abb. 8 in einem entsprechenden Anstieg äussern würde.

Unterhalb 125 Hz leidet die Messgenauigkeit an der unvermeidlichen Bildung von Obertönen. Sicherlich wird man auch hier einen stärkeren Abfall der Empfindlichkeit annehmen müssen, als er 3 dB je Oktave entspricht. Nach den Messungen von STEVENS und TYZZER erscheint es angemessen, zunächst im Bereich von 125 nach 62 Hz die Empfindlichkeit um 6 dB fallen zu lassen, was wieder einen entsprechenden Anstieg gegen tiefe Frequenzen bei den Geraden der Abb. 8 bedeutet; darunter wird man schon aus apparativen Gründen einen noch stärkeren Abfall der Empfindlichkeit zulassen müssen und aus gehörmässigen Gründen zulassen können.

Um die mit einem so bewertenden breitbandigen Pegelmessgerät festgestellten Pegel von den sogenannten DIN-Lautstärken zu unterscheiden, sei vorgeschlagen, sie einfach als "Geräuschpegel" zu bezeichnen. Die Bezeichnung Pegel sagt dabei sehr deutlich, dass die gemessenen Werte - wie ja auch die des DIN-Lautstärkemessers - dem Schalldruckpegel viel verwandter sind, als der durch den subjektiven Vergleich mit dem 1000 Hz Ton definierten Lautstärke. Als Bezugsdruck für diese Pegelangabe ist selbstverständlich wie beim Schalldruckpegelmessgerät und beim DIN-Lautstärkemessgerät der international definierte Schwellenwert mit $p_0 = 2 \cdot 10^{-4} \mu \text{ bar}$ einzusetzen.

Es besteht auch keine Notwendigkeit, die Geräuschpegelangaben anders zu bezeichnen als mit dB. Der Name Geräuschpegel sagt genügend über Definition und Messbedingung aus.

Der Name Geräuschpegel sagt aber auch, dass das Messgerät sich nicht eignet, die Lautstärke reiner Töne zu kennzeichnen, auch nicht die Kombination von reinen Tönen und Geräuschen.

In diesem Fall wird man, solange kein universelles und genügend einfaches Gerät existiert, auf das oben erwähnte Sollkurvenprinzip zurückgreifen. Die Messergebnisse bieten hierfür als einfachstes Vergleichskurvennetz Geraden im Oktavpegeldiagramm an, die mit 3 dB von 125 - 9000 Hz abfallen.

E. LUBCKE¹³⁾ hat dargelegt, dass die Wahl derartiger Vergleichskurven auch aus anderen Erwägungen, insbesondere im Hinblick auf Gehörschäden, zweckmässig ist.

Um nun das Aufzeichnen des Pegeloktav-Diagrammes zu ersparen, da ja letztlich doch nur diejenigen Oktavbereiche interessieren, welche das Feld der fallenden Geraden an meisten überschreiten, hat E. LUBCKE¹³⁾ ferner vorgeschlagen, ein Gerät nach Art des oben vorgeschlagenen Geräuschpegelmessers mit Oktavsieben zu kombinieren. Diese Kombination stellt gegenüber der z. Zt. gebräuchlichen Kombination zwischen Oktavsieben und Schalldruckpegelmessern keine apparativen Vergrösserungen dar.

Vereinfacht man dabei das Vergleichskurvenprinzip dahin, dass der bei dieser Kombination auftretende Höchstwert entscheidend ist, braucht man nur die Oktaven einzeln zu messen und den Höchstwert abzulesen.

Die in Abb. 5 gezeigten Kurven gleicher Lautstärke mit oktavgefiltertem Rauschen im ebenen Schallfeld haben einen wesentlich anderen Charakter als die bekannten Kurven gleicher Lautstärke mit reinen Tönen, obwohl die verwendete Messmethode des von vorn auf den Beobachter zukommenden Schallereignisses bei beiden die gleiche ist. Es fällt ebenfalls wie bei den Messergebnissen vom diffusen Schallfeld auf, dass bis zur höchsten hier herangezogenen Oktave keine Empfindlichkeitsabnahme zu verzeichnen ist. Approximiert man die hier erhaltenen Kurven durch Geraden, so haben diese einen Abfall von ca. 1,8 dB pro Oktave, im Gegensatz zu dem Abfall um 3 dB je Oktave bei den Kurven gemessen im diffusen Schallfeld. In Abb. 9 sind die beiden ermittelten Kurvenscharen eingezeichnet, wobei ersichtlich ist, dass die Abweichung im Bereich unter 1000 Hz am grössten ist.

Erwartet hatte man, dass die Kurven gerade bei tiefen Frequenzen, wo der Kopf des Beobachters klein zur Wellenlänge ist, zusammenfallen und dass eher bei hohen Frequenzen Abweichungen auftreten. Jedenfalls können die Unterschiede der im schalltoten Raum und der im Hallraum erzielten Kurven gleicher Lautstärke vorerst nicht erklärt werden. Ausserdem muss darauf hingewiesen werden, dass den erstgenannten eine geringere Verstimmungsge-

naugigkeit zugesprochen werden kann, als den letztgenannten.

Weiterhin sollte geprüft werden, ob sich die Ergebnisse der Messung im diffusen Schallfeld in die Lautstärke-Berechnungsmethode von FELDTKELLER und ZWICKER einfügen lassen. Aufgrund des Testverfahrens, dass nämlich die Terz um 1000 Hz gleichlaut einer jeden Oktave ist, müsste die Berechnung nach obigem Verfahren das gleiche Ergebnis zeitigen, dass nämlich jede Oktave die gleiche Lautstärke ergeben müsste.

Das ist nicht der Fall. Die Kurven gleicher Lautstärke mit gefiltertem Rauschen in Oktavbereichen weichen wesentlich von den berechneten Werten nach FELDTKELLER und ZWICKER ab. Gemessene und nach obigem Verfahren berechnete Werte im Lautstärke-Oktav-Diagramm eingezeichnet zeigt die Abb. 10.

Der Deutschen Forschungsgemeinschaft, Bad Godesberg, sprechen wir unseren verbindlichsten Dank aus, daß sie uns die Möglichkeit gegeben hat, diese Versuche durchzuführen.

L i t e r a t u r - V e r z e i c h n i s

- 1) DIN 50 45 Ausgabe März 1957
- 2) G. QUIETZSCH Objektive und subjektive Lautstärkemessung, Akustische Beihefte 1955, Heft 1, S. 49 - 66.
- 3) FLETCHER u. MUNSON, Loudness its Definition Measurement and Calculation, JASA 4, (1932-33), S. 82
- 4) H.G. THILO und U. STEUDEL, Analyse von Geräuschen und ihr Zusammenhang mit der Lautstärke, Wissensch. Veröffentl. aus den SIEMENS-Werken Bd. 14, 1935, S. 78.
- 5) BERANEK, MARSHALL, CUDWORTH, Calculation and Measurements of the Loudness of Sounds, JASA 1951, May, S. 261.
- 6) F. MINTZ und F.G. TYZZER, A Loudness Chart for Octave Band Data of Complex Sounds, JASA 1952, Nr. 1, S. 80 - 82
- 7) FELDTKELLER und ZWICKER, Ueber die Lautstärke von gleichförmigen Geräuschen, Acustica, Vol.5, 1955, S. 303.
- 8) CREMER und SCHREIBER, Ueber die verschiedenen Darstellungsmöglichkeiten von akustischen Spektren, Frequenz, Bd. 10, 1956, Nr. 7, S. 201 - 213.
- 9) S.S. STEVENS, Calculation of the Loudness of Complex Noise, JASA 28, 1956, Nr. 5, S. 807 - 832
- 10) DIN 52211
- 11) CREMER und LUBCKE Geräuschklassifizierung durch Vergleich gemessener Geräuschanalysen mit Normkurven, Bericht vom 21.6.55 im FANAK-Ausschuss Lautstärke und Geräuschmessung (unveröffentlicht)
- 12) S.S. STEVENS Calculation of the Loudness of Complex Noise, JASA 28, 1956, Nr. 5, S. 807-832
- 13) E. LUBCKE Vortrag gehalten auf der VDI-Tagung, Stuttgart 1958 (April). (unveröffentlicht)

T a b e l l e 1

Kurven gleicher Lautstärke mit oktavgefiltertem Rauschen.

Mittelwerte der Messergebnisse im diffusen Schallfeld

Oktaven	Terz um 1000 Hz				
	50 dB	60 dB	70 dB	80 dB	90 dB
100 - 200	56,5 dB	65,7 dB	73,9 dB	81,7 dB	91,4 dB
200 - 400	52,9 "	62,4 "	72,7 "	81,0 "	91,5 "
400 - 800	49,4 "	59,5 "	69,8 "	77,9 "	88,- "
800 - 1600	46,2 "	56,7 "	67,0 "	76,3 "	85,9 "
1600 - 3200	40,0 "	49,3 "	61,0 "	70,2 "	79,0 "
3200 - 6400	38,0 "	46,5 "	60,0 "	68,3 "	76,7 "
6400 - 12800	35,5 "	44,5 "	56,5 "	67,3 "	75,9 "

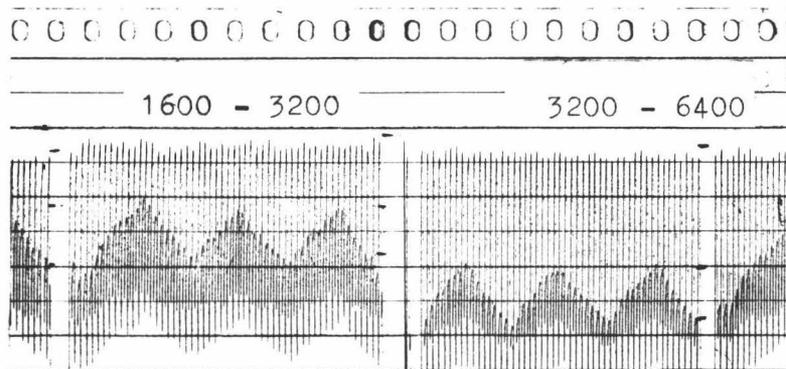
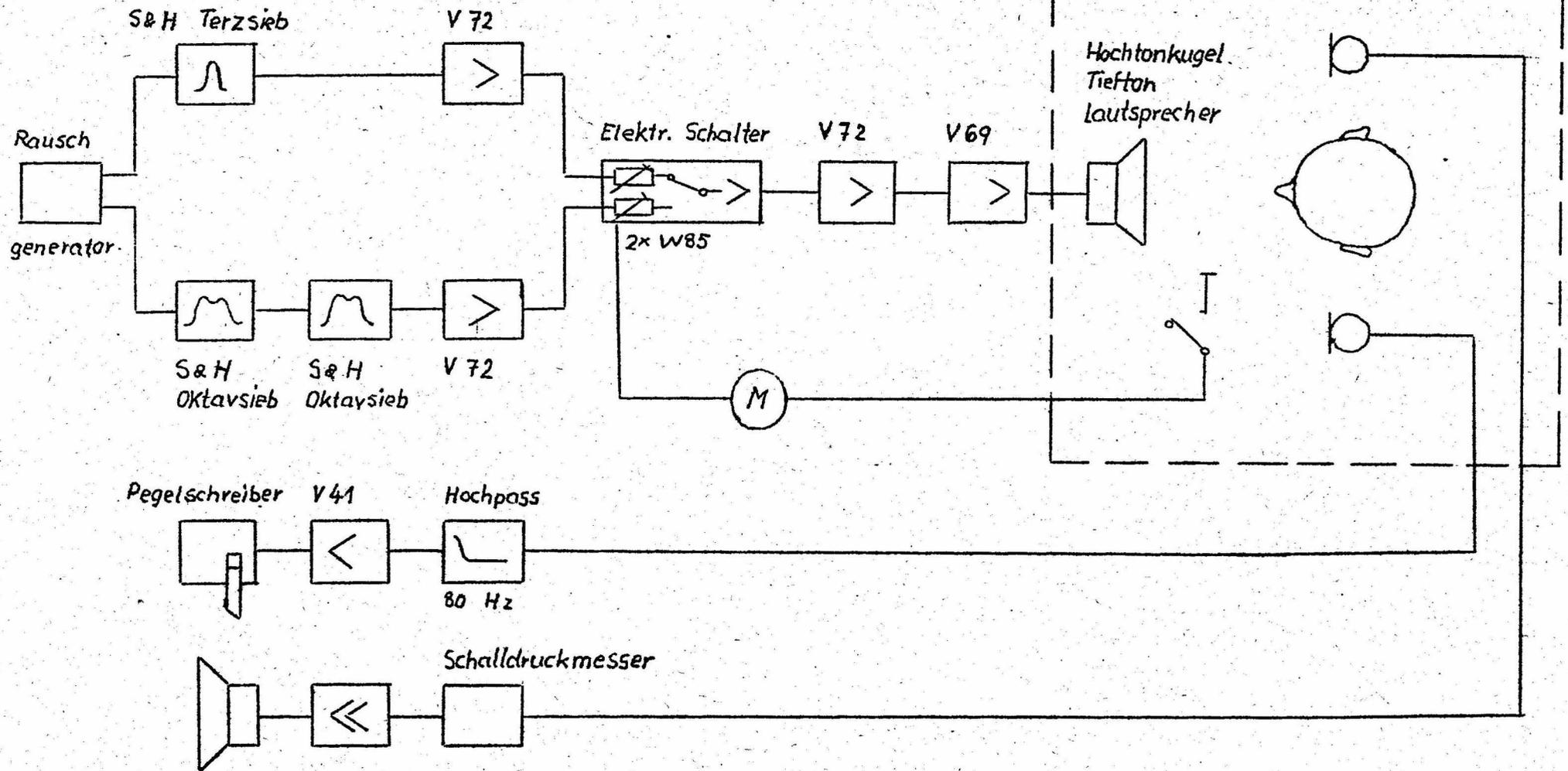


Abb. 1

Schaltung zur Messung

der Kurven gleicher Lautstärke mit gefiltertem Rauschen

Abb. 2



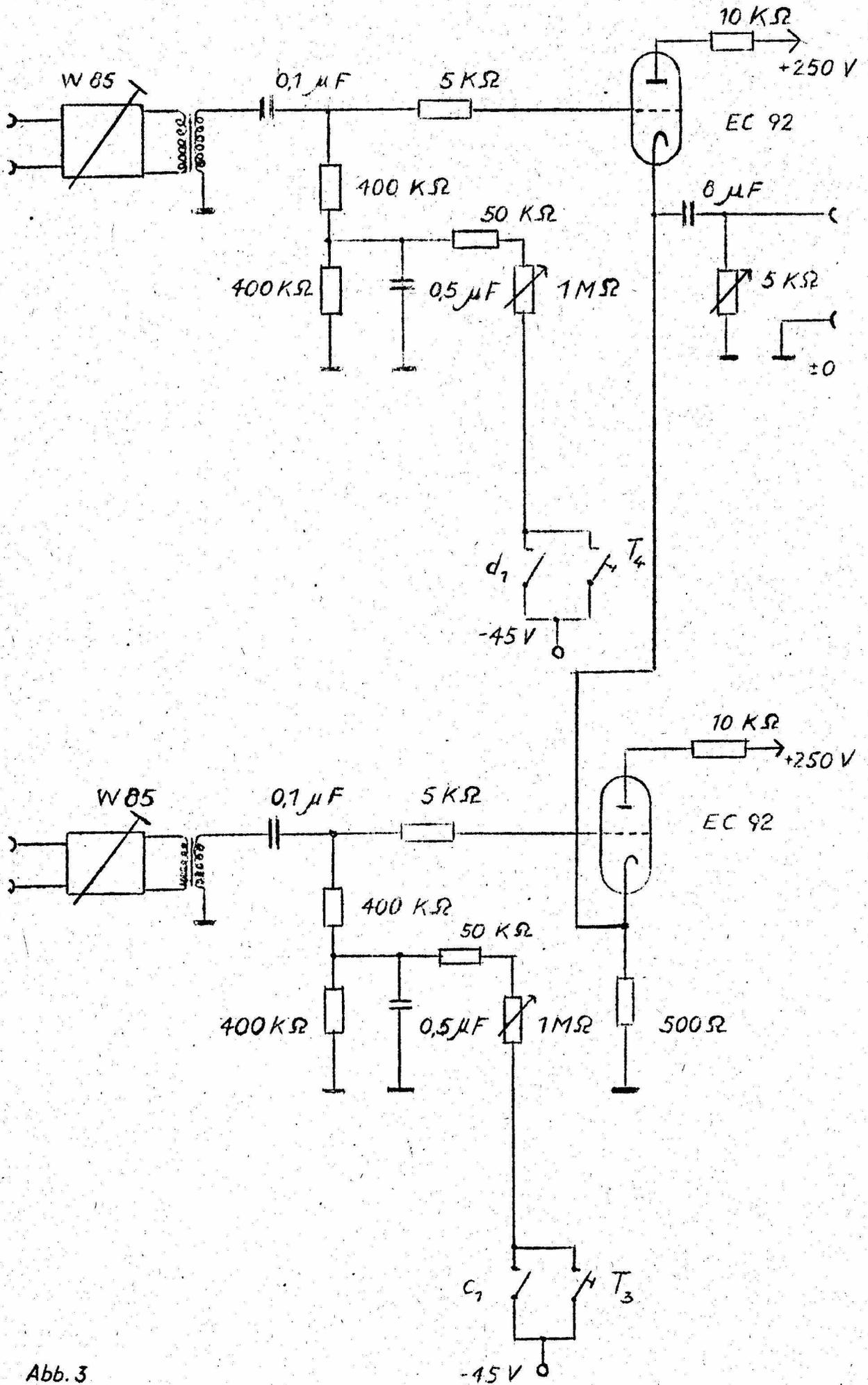


Abb. 3

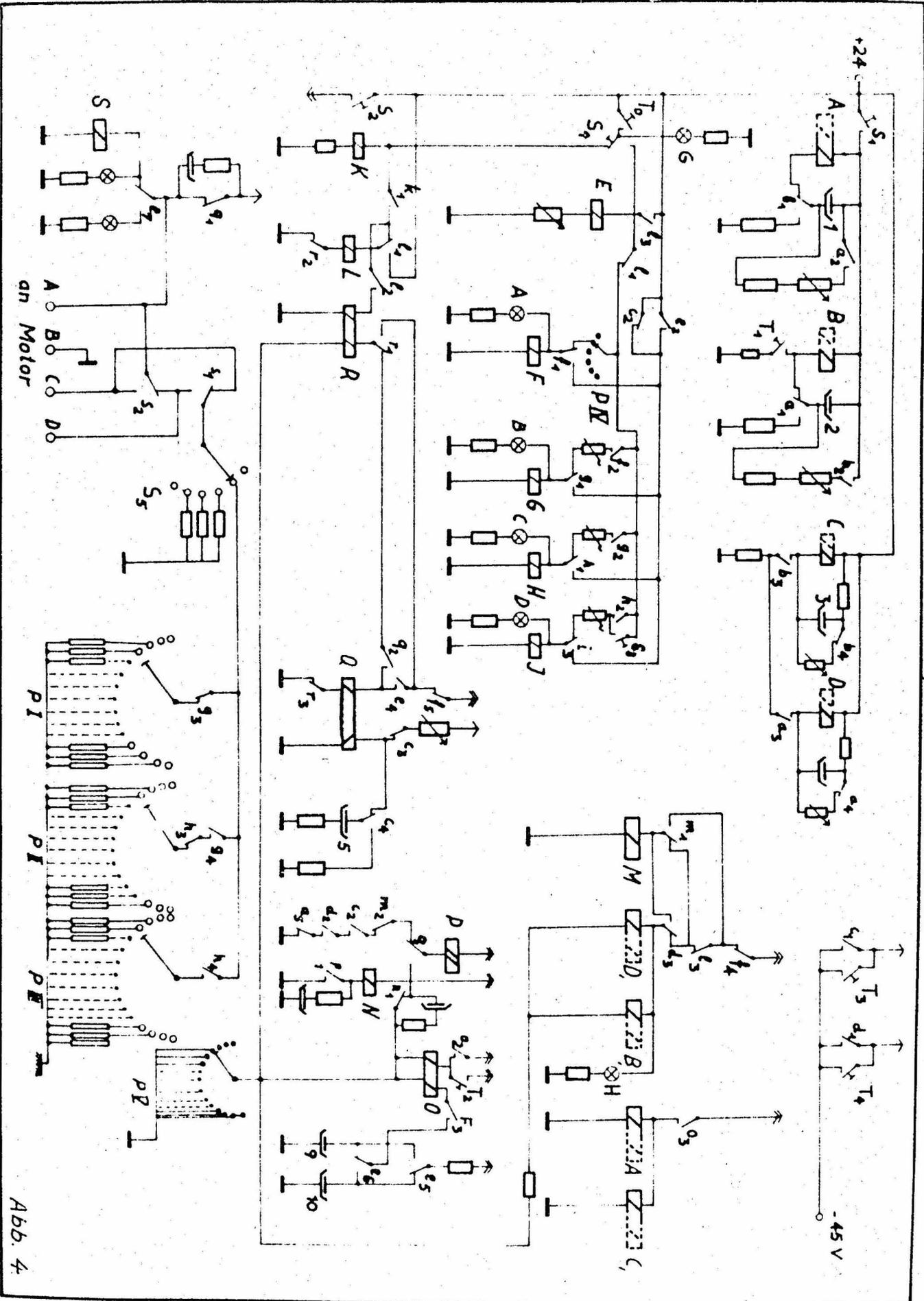
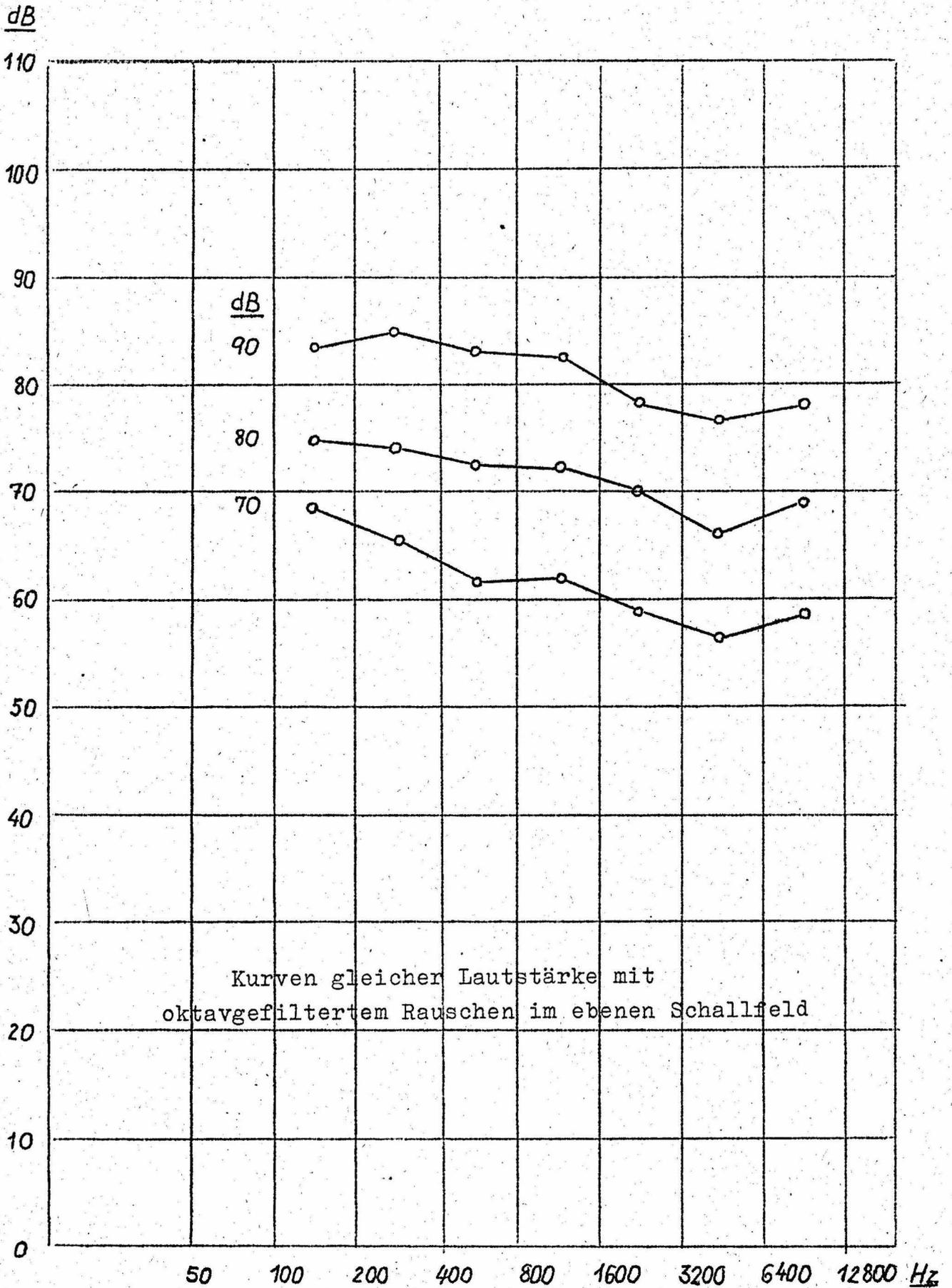


Abb. 4



7
 6
 5
 4
 3
 2
 1
 0

Nachhallzeit des Hohlraumes
 im Batterkustischen Prüfstand Satzgeber 71

Nachhallzeit als Funktion der Frequenz
 Messung am: 1.10.57. / 6.11.57
 Volumen: 718 m³

Raum im unbehandelten Zustand.
 Raum mit diesem Nachhallzeitverlauf
 wird zur Messung von kurven gleicher
 Lautstärke mit gefiltertem Rauschen
 im diffusen Schallfeld verwendet.

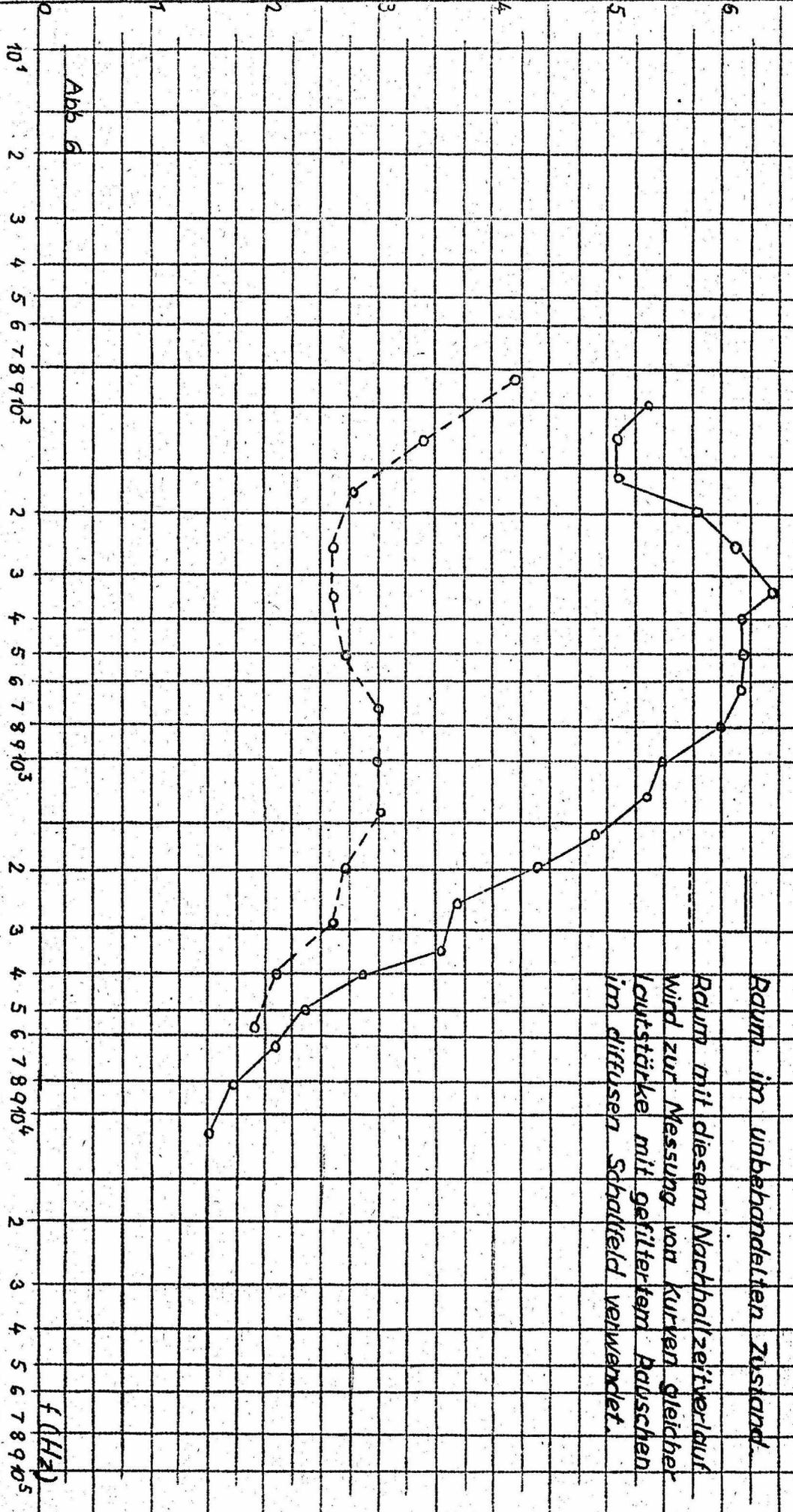


Abb 6

f (Hz)

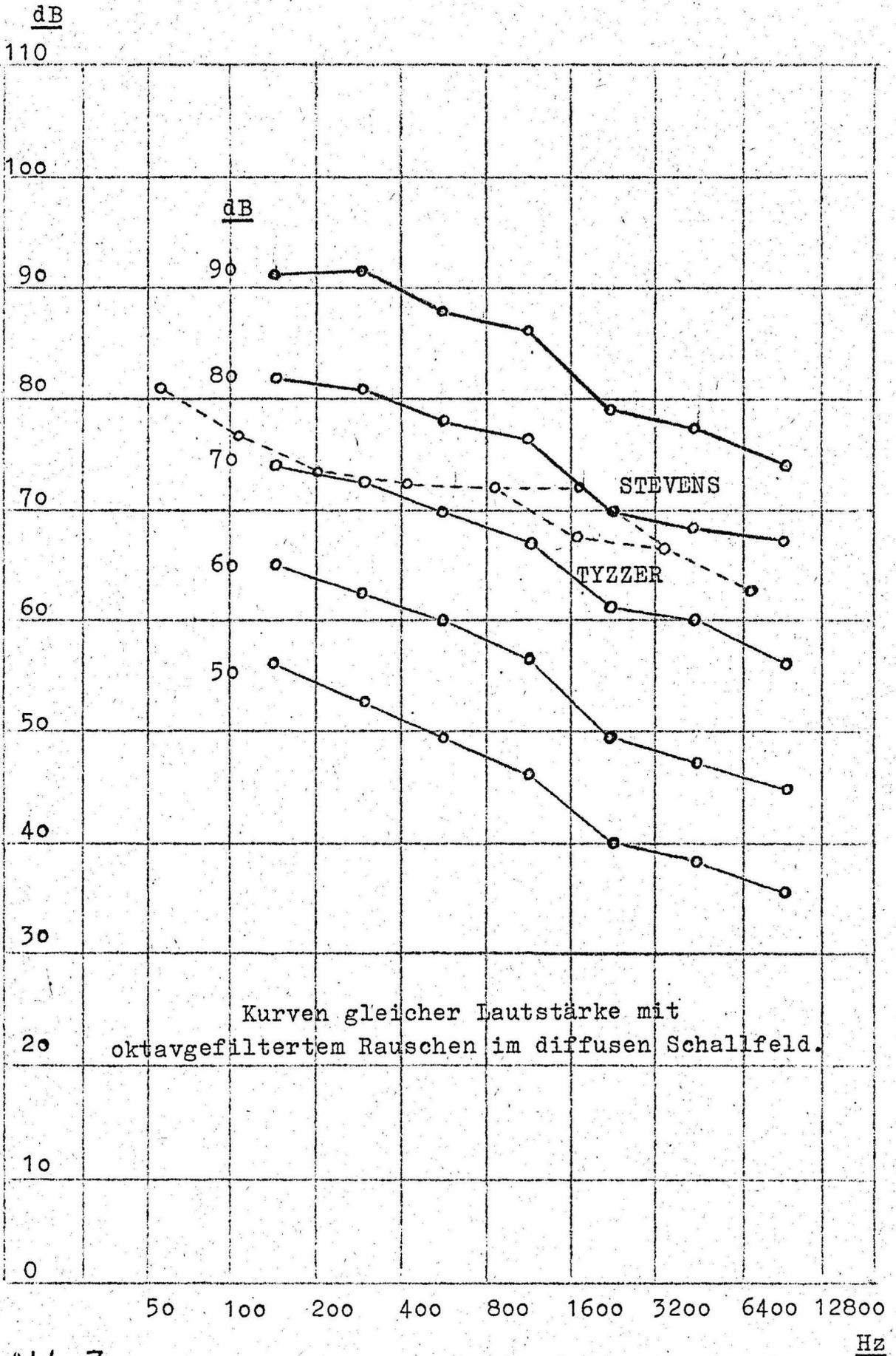
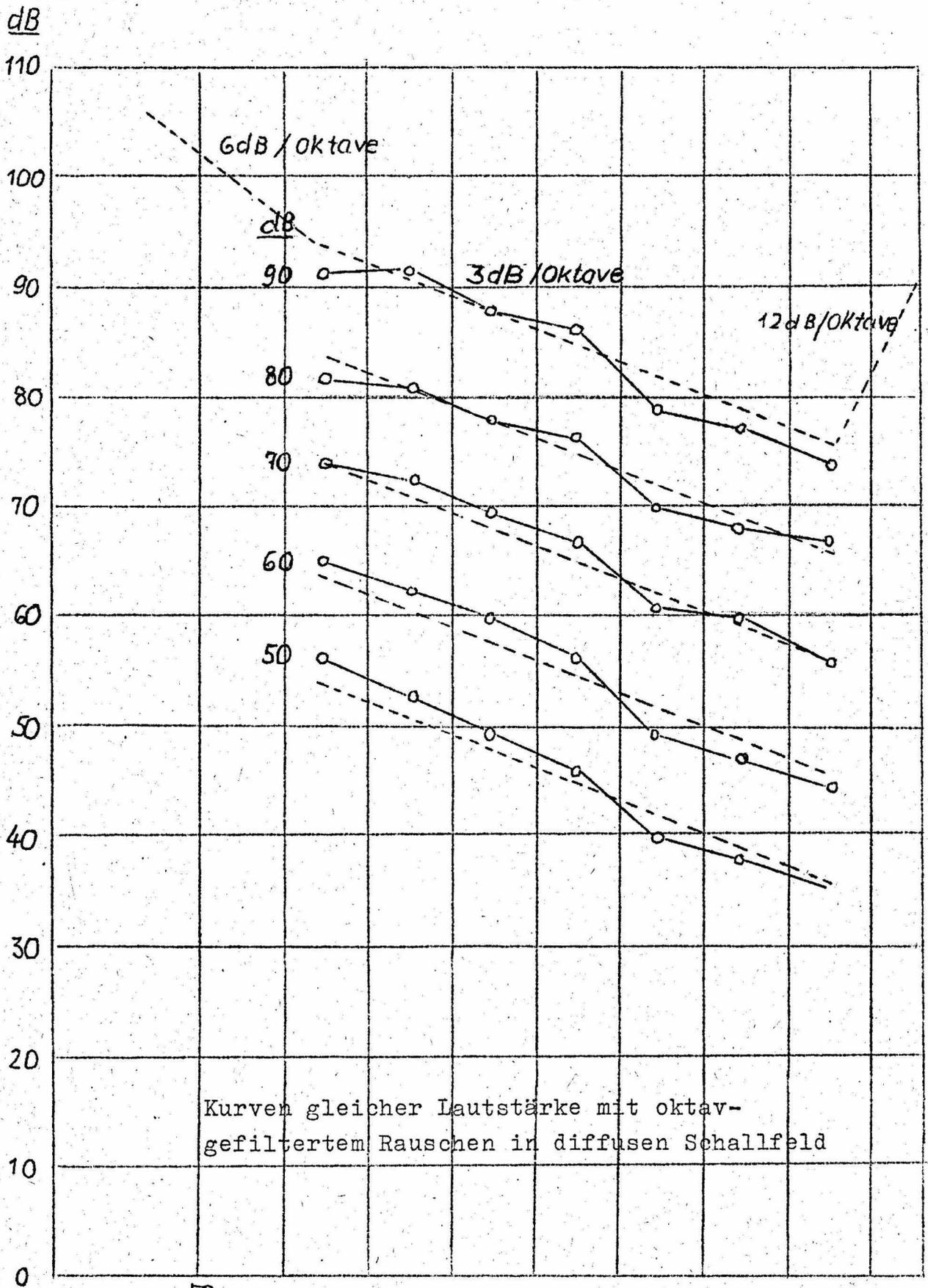


Abb. 7

Hz



Kurven gleicher Lautstärke mit oktav-
gefiltertem Rauschen in diffusen Schallfeld

Abb. 8

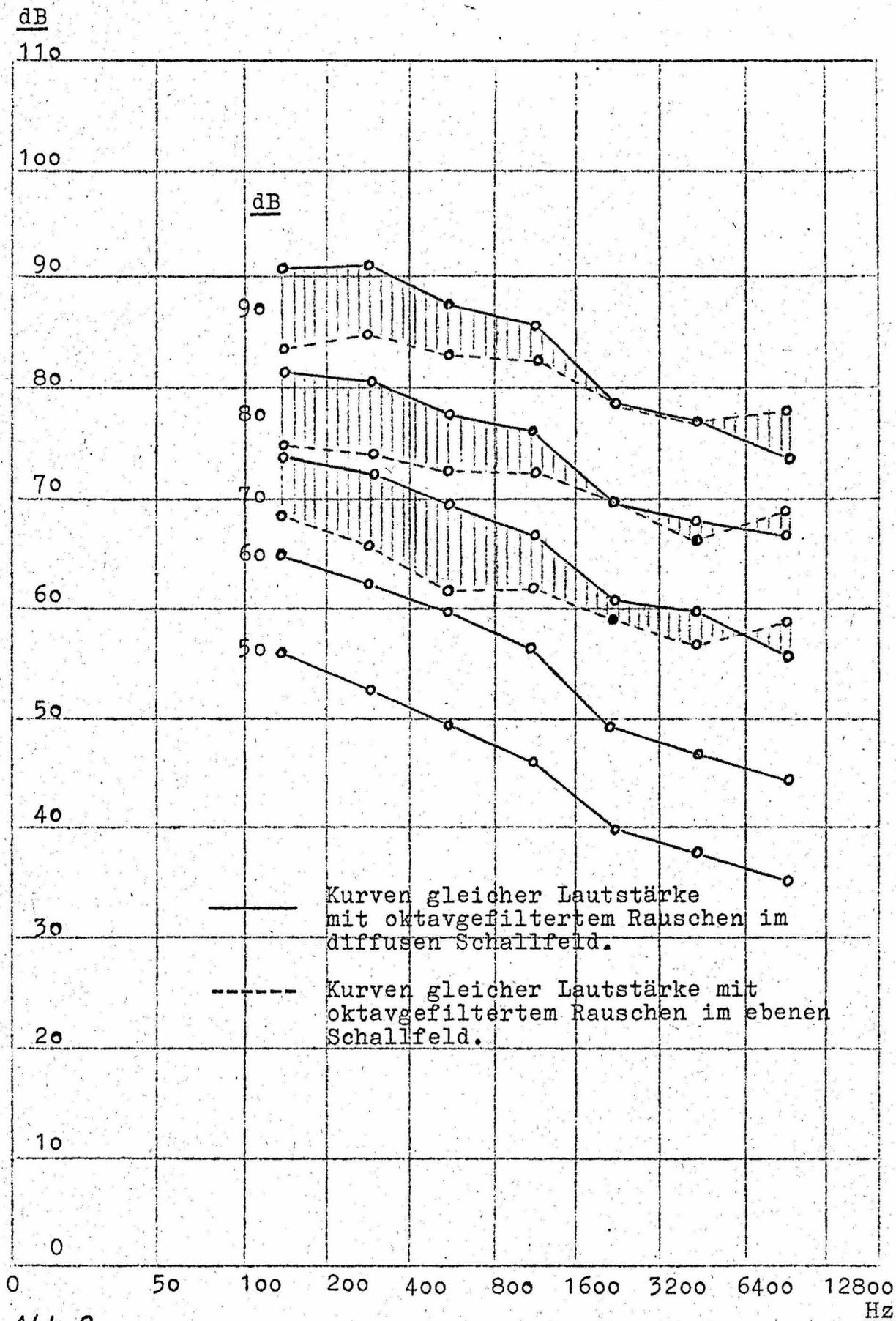


Abb. 9.

Hz

PHON

Lautstärke-Oktav-Diagramm

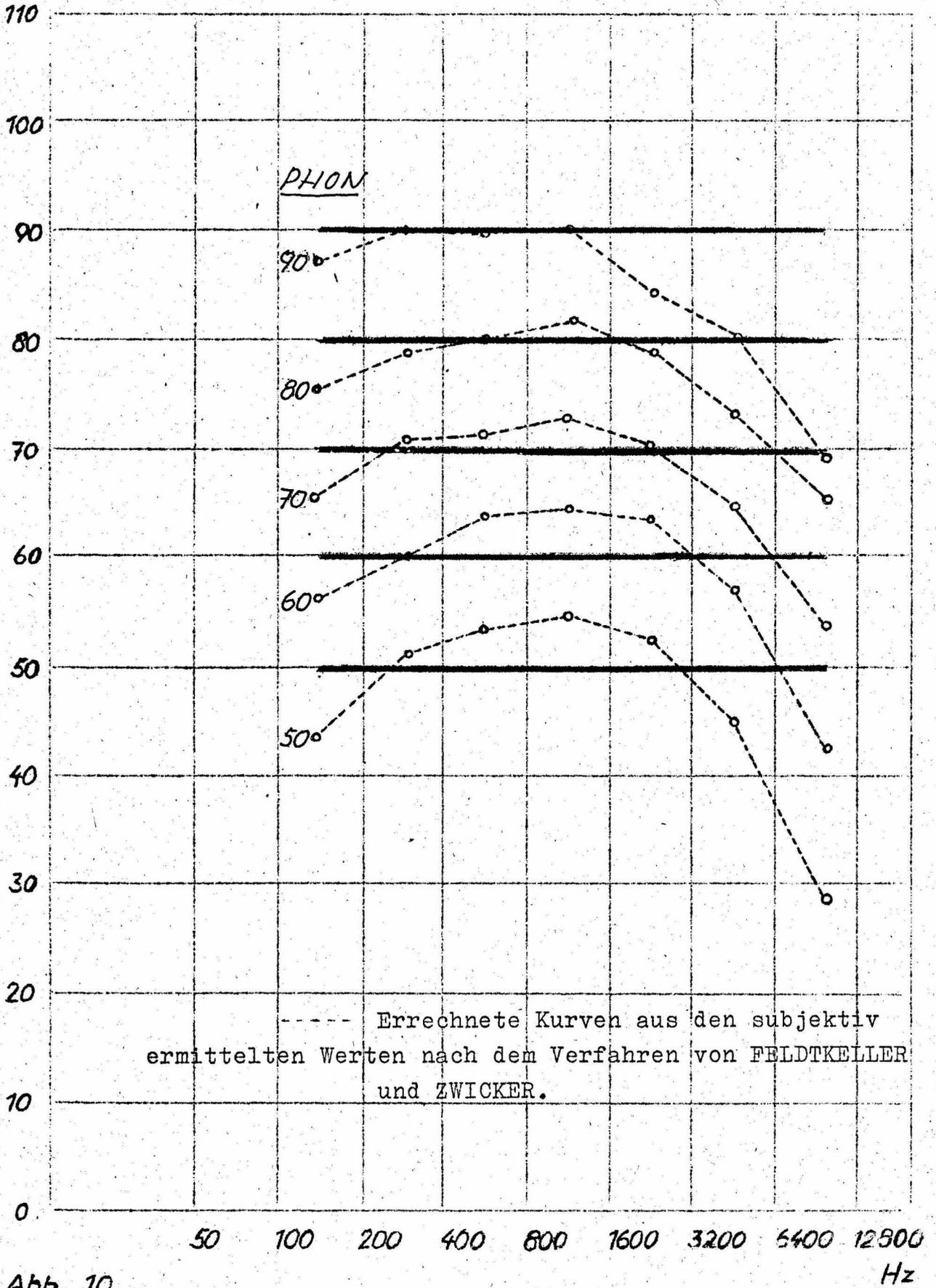


Abb. 10

Hz