

Zeitschrift: Technische Mitteilungen / Schweizerische Post-, Telefon- und Telegrafienbetriebe = Bulletin technique / Entreprise des postes, téléphones et télégraphes suisses = Bollettino tecnico / Azienda delle poste, dei telefoni e dei telegrafi svizzeri

Herausgeber: Schweizerische Post-, Telefon- und Telegrafienbetriebe

Band: 29 (1951)

Heft: 12

Artikel: Objektive Verständlichkeitsmessungen an Teilnehmerapparaten = Mesures objectives de netteté effectuées sur des appareils téléphoniques

Autor: Fontanellaz, G.

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-875370>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 30.04.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

neuen PTT-Gebäudes in Luzern, die Konstruktion eines neuen Tandemamtes, eines Verstärker- und Trägeramtes usw., wo er sich weitere reiche Erfahrungen sammeln konnte, die ihm auf seinem neuen Posten von grossem Nutzen sein werden.

Im Militär bekleidet Herr Kaufmann den Grad eines Hauptmanns. Als solcher ist er Kommandant einer der neu geschaffenen TT-Betriebsgruppen.

Die Öffentlichkeit von Luzern, bei der er sich allgemeiner Beliebtheit erfreute und der er seit kurzem als Stadtrat diene, sowie das Personal der Telephondirektion Luzern werden Herrn Kaufmann nicht gerne scheiden sehen, während man ihn in Bern gerne wieder in die Generaldirektion einziehen sieht.

nommé à titre de directeur à la tête de la direction des téléphones de Lucerne. L'époque d'activité qui suit comporte des travaux de grande envergure, tels que la construction du nouveau bâtiment des PTT à Lucerne, l'installation d'un central tandem, d'une station de répéteurs et de courants porteurs, etc., où M. Kaufmann s'est acquis de nouvelles expériences qui lui seront très utiles à son nouveau poste.

Au militaire, M. Kaufmann a le grade de capitaine d'un des groupes d'exploitation des télégraphes et des téléphones nouvellement institués.

Si la population de Lucerne et tout spécialement le personnel de la direction des téléphones de Lucerne voient partir avec regret leur tout récent Conseiller municipal et leur sympathique directeur des téléphones, la direction générale à Berne ne manquera pas de lui réserver une fois de plus bon accueil.

Objektive Verständlichkeitsmessungen an Teilnehmerapparaten

Von G. Fontanellaz, Bern

Mesures objectives de netteté effectuées sur des appareils téléphoniques

Par G. Fontanellaz, Berne

621.317:621.395.813

Zusammenfassung. Die Forschungs- und Versuchsanstalt PTT hat im Einverständnis mit dem Laboratorium des Comité consultatif international téléphonique (CCIF) in Genf die Initiative ergriffen, die dort durchgeführten subjektiven Verständlichkeitsmessungen an Teilnehmerapparaten durch objektive Messungen zu vervollständigen. Das Ziel dieser Messungen besteht darin, die «Bezugsdämpfung für die Verständlichkeit» (affaiblissement équivalent pour la netteté = AEN), die im Laboratorium des CCIF durch subjektive Messungen bestimmt wird, auf objektive Weise zu erhalten; es stellt dies gleichzeitig auch einen Beitrag zur Frage 7 der 4. Studienkommission dar.

Nach Darstellung der verwendeten objektiven Untersuchungsmethoden werden die Resultate mit den in der 8., 9. und 10. Serie der Messungen des CCIF-Laboratoriums gewonnenen Ergebnissen verglichen, wobei sich eine befriedigende Übereinstimmung ergibt.

Résumé. Le laboratoire de recherches et d'essais de l'administration des PTT a pris l'initiative, d'entente avec le laboratoire du C.C.I.F. à Genève, de compléter par des mesures objectives les mesures subjectives de netteté que ce dernier avait effectuées sur des appareils téléphoniques. Le but de ces mesures est d'obtenir par des procédés objectifs l'affaiblissement équivalent pour la netteté (AEN) déterminé dans le laboratoire du C.C.I.F. par des mesures subjectives. Elles représentent en même temps une contribution à l'étude de la question 7 de la 4^e commission d'étude du C.C.I.F.

Après l'exposé des méthodes objectives employées, l'auteur compare les résultats acquis avec ceux obtenus dans les 8^e, 9^e et 10^e séries d'expériences du laboratoire du C.C.I.F. et constate une concordance satisfaisante.

1. Grundlagen der Verständlichkeitsberechnung

H. Fletcher und R. Galt beschreiben eine Berechnungsmethode¹⁾, die gestattet, aus den physikalischen Grössen eines Übertragungssystems seine Verständlichkeit zu berechnen. Die Methode wird bei den anschliessenden Verständlichkeitsberechnungen verwendet und wird hier in ihren Grundzügen kurz beschrieben.

Es hat sich bei der Berechnung der Verständlichkeit als zweckmässig erwiesen, einen «Verständlichkeits-Index» einzuführen. Dieser gründet sich auf die Vorstellung, dass jedes Frequenzband eines Sprechlautes einen Beitrag zur Verständlichkeit gibt, der von den andern Bändern unabhängig ist. Die Summe der Einzelbeiträge ist dann massgebend für die gesamte Verständlichkeit. Im erwähnten Artikel

1. Principes du calcul de la netteté

H. Fletcher et R. Galt décrivent une méthode qui permet de calculer la netteté d'un système de transmission en partant de ses grandeurs physiques¹⁾. Cette méthode est appliquée aux calculs de netteté exposés ci-après et est décrite sommairement dans ses traits essentiels.

En calculant la netteté, on a constaté qu'il était indiqué d'établir un «index de netteté». Celui-ci est fondé sur l'idée que chaque bande de fréquences d'un son émis par la voix contribue à la netteté indépendamment des autres bandes. La somme de ces diverses contributions donne la netteté totale. Dans leur article, Fletcher et Galt établissent la relation existant entre l'index de netteté A et la netteté pour les sons «s». Ils en tirent le rapport suivant (voir fig. 1):

¹⁾ H. Fletcher and R. Galt. J. Acoust. Soc. Am. **22** (1950), 89.

¹⁾ H. Fletcher and R. Galt. J. Acoust. Soc. Am. **22** (1950), 89.

wird der Zusammenhang zwischen dem Verständlichkeits-Index A und der Lautverständlichkeit s abgeleitet. Es ergibt sich folgende Beziehung (s. Fig. 1).

$$s = 1 - 10^{-\frac{A \cdot p}{0,55}}$$

p ist ein Faktor der Geschicklichkeit und kann bei normalem Sprechen und Hören meistens als 1 angenommen werden.

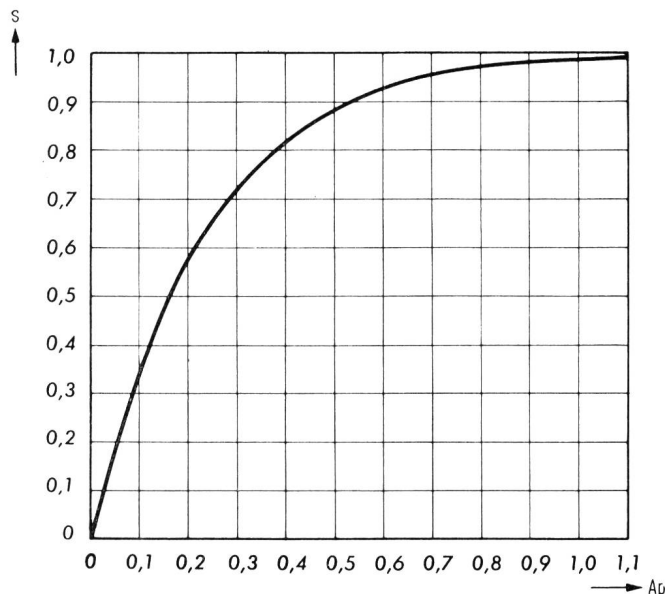


Fig. 1. Zusammenhang zwischen Lautverständlichkeit und Verständlichkeits-Index
Relation entre la netteté pour les sons et l'index de netteté

Um die wichtige Gewichtsfunktion zu finden, welche angibt, wie stark jedes Frequenzband zur Verständlichkeit beiträgt, untersucht man den Verständlichkeits-Index eines idealen Übertragungssystems mit verschiedenen Grenzfrequenzen. Bezeichnet man mit A_f den grösstmöglichen Verständlichkeits-Index, der auftritt, wenn die Sprechversuche bei optimalem Hörpegel durchgeführt werden, so gibt die Ableitung dA_f/df die gesuchte Gewichtsfunktion D . Somit gilt die Beziehung:

$$A_f = \int_0^f D \cdot df.$$

Im erwähnten Artikel wird weiter abgeleitet, dass der Verständlichkeits-Index eines beliebigen Übertragungssystems aus vier Faktoren besteht:

$$A = V \cdot E \cdot F \cdot H.$$

Die beiden Faktoren V und E sind Funktionen des mittleren Hörpegels oberhalb der Hörschwelle und berücksichtigen damit die Änderung von A , wenn im System zusätzliche Dämpfungen oder Verstärkungen eingeschaltet werden. V berücksichtigt die Tatsache, dass bei kleiner werdendem Pegel immer mehr Bestandteile der Sprache unter die Hörschwelle fallen und keinen Beitrag zur Verständlichkeit mehr

$$s = 1 - 10^{-\frac{A \cdot p}{0,55}}$$

p est un facteur d'expérience qui, pour un parler et une écoute normaux, peut généralement être considéré comme 1.

Pour trouver l'importante fonction de poids indiquant dans quelle mesure chaque bande de fréquence contribue à la netteté, on examine l'index de netteté d'un système de transmission idéal au moyen de diverses fréquences de coupure. Si l'on désigne par A_f le plus grand index de netteté possible pouvant se présenter quand les essais sont faits au niveau d'audibilité optimum, la dérivée dA_f/df donne la fonction de poids D cherchée. On a donc le rapport

$$A_f = \int_0^f D \cdot df.$$

L'article en question indique en outre que l'index de netteté d'un système de transmission quelconque se compose de quatre facteurs:

$$A = V \cdot E \cdot F \cdot H.$$

Les deux facteurs V et E sont fonctions du niveau d'audibilité moyen au-dessus du seuil d'audibilité et tiennent compte de la modification de A quand des affaiblissements ou des amplifications supplémentaires sont insérés dans le système. V tient compte du fait que, quand le niveau diminue, des parties toujours plus nombreuses de la voix descendent au-dessous du seuil d'audibilité et ne peuvent plus fournir aucune contribution à la netteté. Quand intervient un bruit de salle, il se produit un effet de masque supplémentaire. Si l'on connaît la composition spectrale du bruit à l'entrée de l'oreille, on peut, à l'aide de la largeur de bande critique, calculer l'élévation du seuil d'audibilité.

Si le niveau d'audition dépasse une certaine valeur, la haute pression acoustique fatigue l'oreille. Cette fatigue est exprimée par le facteur E . L'influence des deux effets a été examinée dans des essais de netteté et les fonctions de V et E sont indiquées dans des tableaux en fonction du niveau d'audition.

Le facteur F dépend uniquement de la forme de la caractéristique de fréquence. Il est une valeur maximum et indique l'influence exercée sur l'index de netteté quand on choisit comme niveau d'audibilité du système celui où la voix est la plus nette. Ce niveau d'audibilité optimum se trouve à 68 dB. La valeur de F est de 1 quand la courbe est plate et est comprise entre 0 et 1 pour n'importe quelle autre forme de courbe. Cette valeur est donnée par l'équation suivante:

$$F = \int_0^{\infty} D \cdot W \cdot df$$

D représentant la fonction de poids. Le facteur W détermine la réduction de dA dans l'intervalle df

geben können. Bei Anwesenheit eines Raumgeräusches tritt ein zusätzlicher Verdeckungseffekt auf. Wenn die spektrale Zusammensetzung des Geräusches am Eingang des Ohres bekannt ist, so kann mit Hilfe der kritischen Bandbreite die Erhöhung der Hörschwelle berechnet werden.

Übersteigt der Hörpegel einen gewissen Betrag, so wird das Ohr durch den hohen Schalldruck ermüdet. Diese Ermüdungserscheinung wird durch den Faktor E erfasst. Der Einfluss der beiden Effekte ist mit Sprechversuchen untersucht worden, und die Funktionen von V und E werden in Abhängigkeit des Hörpegels in Tabellen angegeben.

Der Faktor F ist nur von der Kurvenform des Frequenzganges abhängig. Er ist ein Maximalwert und gibt den Einfluss auf den Verständlichkeits-Index an, wenn der Hörpegel des Systems so gewählt wird, dass die Sprache am verständlichsten ist. Dieser optimale Hörpegel beträgt 68 dB. Der Faktor F ist 1, wenn die Kurve flach verläuft, und liegt zwischen 0 und 1 für irgendeine andere Kurvenform. Sein Wert ist durch folgende Gleichung gegeben:

$$F = \int_0^{\infty} D \cdot W \cdot df.$$

D ist dabei die bereits erwähnte Gewichtsfunktion. Der Faktor W bestimmt die Reduktion von dA im Intervall df, wenn der Hörpegel kleiner als der optimale Pegel ist. Die Funktion von W könnte auf ideale Weise durch Verständlichkeitsversuche an einem System erhalten werden, bei dem der Pegel jedes Frequenzintervalls einzeln eingestellt werden kann. Die andern Frequenzbänder würden nur soweit beeinflusst, als der Hörpegel für die Gesamtübertragung wieder auf das Optimum von 68 dB einreguliert werden müsste.

Da bei einer natürlichen Mund-Ohr-Übertragung durch die Kopfabmessungen des Hörenden eine Schalldruckstauung auftritt, muss beim Aufnehmen des Frequenzganges eines Systems der Beitrag der orthotelephonischen Übertragung berücksichtigt werden. Für die Berechnung der Verständlichkeit ist bei jeder Frequenz die Differenz in dB zwischen dem Telefonsystem und dem orthotelephonischen Referenzsystem massgebend.

Der vierte Faktor H, von dem der Verständlichkeits-Index abhängig ist, berücksichtigt alle Einflüsse, die in den andern drei Faktoren nicht enthalten sind. Es sind dies gewisse Arten von nichtlinearen Verzerrungen, Frequenzverschiebungen in Trägersystemen usw.

Das Ziel der Arbeit ist die Berechnung einer Kurve, welche die Abhängigkeit zwischen der Verständlichkeit eines Systems und der in dieses System eingeschalteten Dämpfung zeigt. Dies ermöglicht, die neue Bezugsdämpfung für die Verständlichkeit (affaiblissement équivalent pour la netteté = AEN), welche im CCIF als neue Grösse zur Beurteilung der Qualität

quand le niveau d'audibilité est inférieur au niveau optimum. On a pu obtenir la fonction de W d'une façon idéale par des mesures de netteté effectuées sur un système dont le niveau de chaque intervalle de fréquence peut être réglé séparément. Les autres bandes de fréquences n'étaient influencées que lorsqu'il fallait de nouveau porter le niveau d'audition à la valeur optimum de 68 dB pour la transmission totale.

Du fait que lors de la transmission naturelle de bouche à oreille les dimensions de la tête de l'auditeur sont la cause d'une transformation de la pression acoustique, il faut tenir compte du facteur transmission orthotéléphonique lors de l'enregistrement de la caractéristique de fréquence. Pour calculer la netteté, il faut tenir compte pour chaque fréquence de la différence en dB entre le système téléphonique et le système de référence orthotéléphonique.

Le quatrième facteur H dont dépend l'index de netteté englobe toutes les influences qui ne sont pas contenues dans les trois autres facteurs. Il s'agit en l'occurrence de certains genres de distorsions non linéaires, de décalages de fréquences dans les systèmes à courants porteurs, etc.

Le but du travail est de calculer une courbe montrant la relation existant entre la netteté d'un système et l'affaiblissement introduit dans ce système. Cela permet de calculer sur une base objective l'affaiblissement équivalent pour la netteté = AEN introduit par le C.C.I.F. comme nouvelle grandeur d'évaluation de la qualité d'un système téléphonique. La nouvelle grandeur repose sur la comparaison d'un système téléphonique commercial avec un système de référence et est par conséquent indépendante, dans une large mesure, des propriétés du groupe de mesure. Il n'est pas non plus absolument nécessaire, pour faire le calcul, de connaître le facteur d'expérience et la perte d'audibilité. La netteté absolue variera donc, mais la différence d'affaiblissement définie restera constante.

Pour calculer l'affaiblissement équivalent pour la netteté, il faut donc connaître les grandeurs suivantes:

1. Caractéristiques de fréquence du système de référence et du système téléphonique.
2. Volume de la voix devant le microphone.
3. Bruits perturbateurs à l'entrée de l'oreille.

2. Mesure des caractéristiques de fréquence des microphones à charbon

Il est difficile de faire une mesure exacte et renouvelable de la caractéristique de fréquence d'un microphone à charbon, car la position réciproque des granules de charbon n'est pas définie d'une façon absolue et peut varier très sensiblement suivant la nature de l'excitation acoustique. C'est pourquoi les méthodes de mesure connues actuellement donnent souvent des résultats très différents.

eines Telefonsystems eingeführt wurde, auf objektiver Basis zu berechnen. Die neue Messgröße stützt sich auf den Vergleich eines Telefonsystems mit einem Referenzsystem und ist deshalb von den Eigenschaften der Messgruppe weitgehend unabhängig. Auch für die Berechnung ist deshalb die Kenntnis des Geschicklichkeitsfaktors und des Hörverlustes nicht unbedingt notwendig. Die absolute Verständlichkeit wird damit variieren, der definierte Dämpfungsunterschied aber konstant bleiben.

Für die Berechnung der Bezugsdämpfung für die Verständlichkeit sind also folgende Größen notwendig:

1. Frequenzgang des Referenz-Systems und des Telefonsystems,
2. Sprechvolumen beim Mikrofon,
3. Störgeräusche am Ohreingang.

2. Die Messung der Frequenzgänge von Kohlemikrofonen

Eine genaue und reproduzierbare Messung des Frequenzganges eines Kohlemikrophons ist schwierig, da die gegenseitige Lage der Kohlekörner nicht eindeutig definiert ist und je nach Art der «Beschallung» ziemlich stark variieren kann. Die heute bekannten Messmethoden ergeben deshalb oft unterschiedliche Resultate.

Grundsätzlich können die objektiven Messverfahren in zwei Gruppen eingeteilt werden:

1. Frequenzgangmessung mit einem kontinuierlichen Spektrum;
2. Frequenzgangmessung mit Einzelton.

In beiden Fällen wird das Mikrofon in der nach den CCIF-Richtlinien gegebenen Lage mit einem künstlichen Mund «beschallt».

2.1. Frequenzgangmessung mit kontinuierlichem Spektrum

Bei der Frequenzgangmessung mit kontinuierlichem Spektrum dient als Energiequelle ein Rauschgenerator. Der erregende Schalldruck setzt sich damit gleichzeitig aus allen Frequenzen des interessierenden Bereiches zusammen. Mit Hilfe eines Analysators wird dann die Ausgangsspannung des Kohlemikrophons auf ihre spektrale Zusammensetzung untersucht. Bei bekanntem Rauschspektrum kann der Frequenzgang des gemessenen Kohlemikrophons leicht ermittelt werden.

Da bei Sprache auch in vielen Frequenzbändern gleichzeitig Energie vorhanden ist, entspricht diese Beschallung den Verhältnissen des normalen Betriebes.

Obschon diese Messmethode einleuchtet, besitzt sie doch eine grundsätzliche Schwierigkeit. Die Abhängigkeit des Kontaktwiderstandes der Kohlekörner vom Schalldruck ist nichtlinear. Wird nun das Mikrofon mit mehreren Frequenzen gleichzeitig beschallt, so treten durch die Verzerrungen Summen- und Differenzfrequenzen auf. Ist die Summe der Amplituden dieser Kombinationsfre-

En principe, les mesures objectives peuvent se répartir en deux groupes:

1. Mesure de la caractéristique de fréquence avec un spectre continu.
2. Mesure de la caractéristique de fréquence par sons purs.

Dans les deux cas, le microphone est excité acoustiquement dans la position indiquée par les directives du C.C.I.F., au moyen d'une bouche artificielle.

2.1. Mesure de la caractéristique de fréquence avec un spectre continu

Pour mesurer la caractéristique de fréquence avec un spectre continu, on utilise comme source d'énergie un générateur de bruit. La pression acoustique engendrée se compose ainsi simultanément de toutes les fréquences de la gamme intéressée. A l'aide d'un analyseur de bruit, on détermine la composition spectrale de la tension de sortie du microphone à charbon. Lorsqu'on connaît le spectre du bruit, on peut facilement calculer la caractéristique de fréquence du microphone à charbon.

Du fait que l'énergie fournie par la voix s'étend simultanément sur un grand nombre de bandes de fréquences, ce genre d'excitation acoustique correspond aux conditions normales d'exploitation.

Bien que cette méthode de mesure soit claire, elle présente cependant une difficulté fondamentale. Le rapport entre la résistance de contact des granules de charbon et la pression acoustique n'est pas linéaire. Ainsi, quand le microphone est excité simultanément par plusieurs fréquences, sa distorsion engendre de nouvelles fréquences. Si, dans l'une quelconque des bandes, la somme des amplitudes de ces fréquences supplémentaires est plus grande que la tension utile de cette bande, la mesure de la caractéristique de fréquence est faussée.

Pour définir dans quelle proportion c'est le cas pour les microphones à charbon commerciaux, on fit l'expérience suivante: Au moyen d'une bouche artificielle, on excita artificiellement deux types de microphones A et B. On utilisa comme source de son un générateur de bruit à caractéristique de fréquence plate. A l'aide de filtres, sa bande fut coupée à 280 à 3400 Hz. La pression acoustique effective sur la

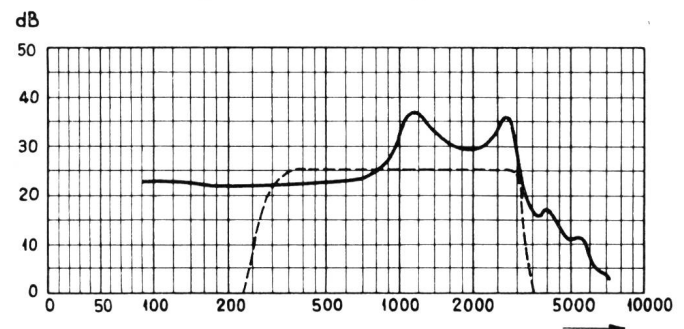


Fig. 2. Frequenzgang des Mikrophons A (Punktierte Kurve: Energieverteilung des erregenden Schalles)
 Courbe de réponse du microphone A (Courbe pointillée: Spectre d'énergie du son)

quenzen in irgendeinem Frequenzband grösser als die Nutzspannung, so wird die Frequenzgangmessung gefälscht.

Um abzuklären, wie weit dies bei handelsüblichen Kohlemikrophonen zutrifft, wurde folgender Versuch gemacht: Zwei Mikrophontypen A und B wurden mit einem künstlichen Mund beschallt. Als Schallquelle diente ein Rauschgenerator mit flachem Frequenzgang. Sein Band wurde durch Filter auf 280...3400 Hz beschnitten. Der effektive Schalldruck an den Mikrophonmembranen betrug $11,6 \mu\text{b}$. Beide Kapseln wurden in einer Stationsschaltung gemessen. Fig. 2 und Fig. 3 zeigen die gemessenen Frequenzgänge.

Aus der Tatsache, dass unterhalb des Durchlassbereiches kein Abfall stattfindet, kann abgeleitet werden, dass infolge der Verzerrungen im Kohlemikrophon die Summe der Spannungen der Kombinationsfrequenzen im Bereich der tiefen Frequenzen stärker als die Nutzspannung ist. Besonders deutlich kommt dies beim Mikrophon A zum Ausdruck, wo die gemessene Energieverteilung je Hz unterhalb 500 Hz konstant bleibt. Auch bei den hohen Frequenzen machen sich die Harmonischen und die Summenfrequenzen bemerkbar, sind aber bei weitem nicht derart störend wie bei den tiefen Frequenzen.

Da der Intermodulationsfaktor der Kohlemikrophone sich zwischen 5...30% bewegt, kann man, wie der Versuch bestätigt, mit dem Geräuschanalysator grössere Pegelunterschiede als 10 ..25 dB im eigentlichen Durchlassbereich nicht erwarten. Will man grössere Schwankungen im Frequenzgang eines Kohlemikrophons mit Hilfe eines kontinuierlichen Rauschspektrums und eines Geräuschanalysators messen, so müsste das Spektrum des erregenden Schalldruckes entsprechend verändert werden. Für die Frequenzen, bei denen die Empfindlichkeit der Mikrophonkapseln klein ist, wäre der Schalldruck zu erhöhen, für die empfindlichen Frequenzbereiche zu verkleinern.

2.2. Frequenzgangmessung mit Einzelton

Für die Frequenzgangmessung bei Kohlemikrophonen mit Einzelton dient ein Überlagerungsszillator, dessen Frequenz mit Hilfe eines automatischen Antriebes stetig verändert werden kann. Die Ausgangsspannung bleibt dabei über den ganzen Frequenzbereich konstant. Die Anforderungen, die bei dieser Methode an den Frequenzgang des künstlichen Mundes gestellt werden, sind klein. Da augenblicklich immer nur ein einziger Ton vorhanden ist, hat man die Möglichkeit, den Schalldruck durch ein Eichmikrophon zu kontrollieren und mit Hilfe eines Regelverstärkers konstant zu halten.

Je nach der Zeitdauer, die benötigt wird, um ein gegebenes Frequenzband zu durchlaufen, unterscheidet man zwischen einem langsamen Frequenzablauf oder einer Frequenzwobbelung.

membrane du microphone était de $11,6 \mu\text{b}$. Les deux capsules furent mesurées montées dans une station.

Les figures 2 et 3 montrent les caractéristiques de fréquence mesurées.

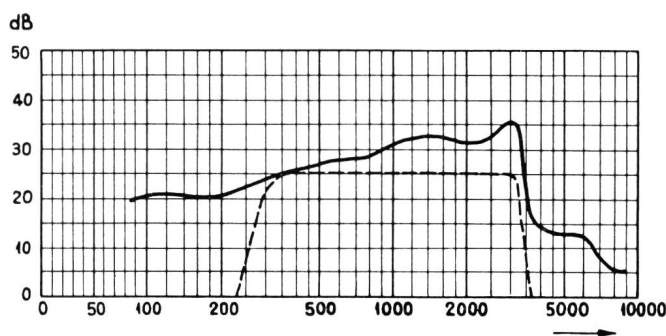


Fig. 3. Frequenzgang des Mikrophons B (Punktierte Kurve: Energieverteilung des erregenden Schalles)
Courbe de réponse du microphone B (Courbe pointillée: Spectre d'énergie du son)

Du fait qu'il ne se produit pas de chute en dessous de la bande passante, on peut déduire que, par suite des distorsions dans le microphone à charbon, la somme des produits de modulation dans la gamme des fréquences basses est plus élevée que la tension utile. Cela ressort surtout clairement pour le microphone A où l'énergie par Hz reste constante en dessous de 500 Hz. Aux hautes fréquences, les harmoniques et les fréquences supplémentaires se font aussi sentir, mais ils sont bien moins gênants qu'aux basses fréquences.

Du fait que le facteur d'intermodulation du microphone à charbon se trouve entre 5 et 30%, on ne peut pas, comme l'expérience le confirme, s'attendre à obtenir avec l'analyseur de bruit des différences de niveau supérieures à 10 à 25 dB dans la bande passante. Si l'on voulait mesurer de plus grandes fluctuations dans la caractéristique de fréquence d'un microphone à charbon à l'aide d'un spectre de bruit continu et d'un analyseur, il faudrait modifier en conséquence le spectre de la pression acoustique. Pour les fréquences vers lesquelles la sensibilité des capsules microphoniques est petite, il faudrait augmenter la pression acoustique pour diminuer la bande de fréquences sensible.

2.2. Mesure de la caractéristique de fréquence par sons purs

Pour mesurer la caractéristique de fréquence des microphones à charbon par sons purs, on utilise un oscillateur hétérodyne dont on fait varier la fréquence au moyen d'un mécanisme automatique, alors que la tension de sortie reste constante pour toute la gamme des fréquences. Les exigences imposées par cette méthode à la caractéristique de fréquence de la bouche artificielle ne sont pas grandes. Du fait qu'à un moment donné il n'y a jamais qu'un seul son, on peut contrôler la pression au moyen d'un microphone étalon, et la maintenir constante à l'aide d'un amplificateur à régulation automatique.

Bei den Frequenzgangmessungen mit langsamem Frequenzablauf wird der nach den CCIF-Richtlinien gebaute Tongenerator verwendet. Der Frequenzbereich von 30...10 000 Hz wird beim automatischen Ablauf in 121 s durchlaufen. Da bei einem langsamen Frequenzablauf die zeitlichen Spannungsänderungen klein bleiben, kann man zur Aufzeichnung einen mechanischen Schreiber benutzen. Der Nachteil dieses langsamen Frequenzablaufs besteht darin, dass das Kohlegriess der Mikrophone während der Beschallung Zeit hat, sich umzugruppieren. Es kommt vor, dass Kohlemikrophone «einschlafen» und ihre Empfindlichkeit vollständig verlieren (vgl. Fig. 12).

Bei der Frequenzgangmessung mit Frequenzwobbelung muss der Tongenerator für einen raschen Frequenzablauf eingerichtet sein. Die Wiederholungsfrequenz, mit der das Band rhythmisch immer von neuem durchlaufen wird, liegt zwischen 1...5 Hz. Damit werden die zeitlichen Spannungsänderungen gross. Ein träger Pegelschreiber kann nicht mehr zur Verwendung kommen, und man ist gezwungen, den Frequenzgang mit Hilfe eines Kathodenstrahl-Oszillographen aufzuzeichnen. Damit grosse Pegelunterschiede dennoch gemessen werden können, schaltet man einen Verstärker ein, dessen Ausgangsspannung sich logarithmisch zur Eingangsspannung verhält.

Im folgenden sei eine Messanordnung beschrieben, die sich für die Messung von Frequenzgängen der Kohlemikrophone gut bewährt hat. Fig. 4 zeigt das Blockscheema einer Anordnung zur Messung der Sendedämpfung einer Teilnehmerstation.

Als Wobbelgenerator dient ein Schwebungssummer mit einem Frequenzbereich von 50...10 000 Hz. Die Frequenzskala ist logarithmisch eingeteilt und die Frequenz mit einem leicht drehbaren Präzisionskon-

Suivant le temps nécessaire pour parcourir une gamme de fréquences donnée, on distingue entre un balayage lent ou une variation rythmique de fréquences.

Pour mesurer la caractéristique de fréquence avec un balayage lent, on utilise le générateur de fréquences construit selon les directives du C.C.I.F. La gamme de fréquences de 30 à 10 000 Hz est balayée automatiquement en 121 s. Puisque le balayage est lent, les variations de tension momentanées restent petites et l'on peut utiliser pour l'enregistrement un instrument mécanique. L'inconvénient du balayage de fréquences lent est que, durant l'excitation acoustique, les granules de charbon du microphone ont le temps de se regrouper. Il arrive que ces microphones «s'endorment» et perdent entièrement leur sensibilité (voir fig. 12.).

Pour mesurer la caractéristique de fréquence par une variation rythmique des fréquences, l'oscillateur doit être réglé pour un balayage rapide des fréquences. La fréquence de répétition qui balaye toujours à nouveau la bande sur un rythme donné se trouve entre 1 et 5 Hz. De ce fait, les variations de tension momentanées sont grandes. On ne peut donc plus utiliser un hypsographe lent et l'on est obligé d'enregistrer la caractéristique de fréquence au moyen d'un oscillographe à rayons cathodiques. Pour pouvoir cependant mesurer les grandes différences de niveau, on intercale un amplificateur dont la tension de sortie est le logarithme de la tension d'entrée.

Nous décrivons ci-après un dispositif de mesure qui s'est très bien comporté pour la mesure des caractéristiques de fréquence des microphones à charbon. La figure 4 montre le diagramme d'ensemble d'un dispositif utilisé pour mesurer l'affaiblissement à l'émission d'une station d'abonné.

- 1 = Wobbelgenerator — Oscillateur rythmique
- 2 = Regelverstärker — Amplificateur à régulation automatique
- 3 = Entzerrer — Correcteur de distorsion
- 4 = Verstärker — Amplificateur
- 5 = Sprechkopf — Bouche artificielle
- 6 = Verstärker — Amplificateur
- 7 = Volumenzeiger — Volumètre
- 8 = Abonnenstation — Poste d'abonné
- 9 = Speisebrücke — Pont d'alimentation
- 10 = Logarithmischer Verstärker — Amplificateur logarithmique
- 11 = Synchronisier-Impuls und Frequenzmarken — Générateur d'impulsions de synchronisation et d'impulsions de repérage
- 12 = Kathodenstrahl-Oszillograph — Oscillographe cathodique
- 13 = Tongenerator — Générateur d'ondes sinusoïdales
- M = Motor — Moteur d'entraînement

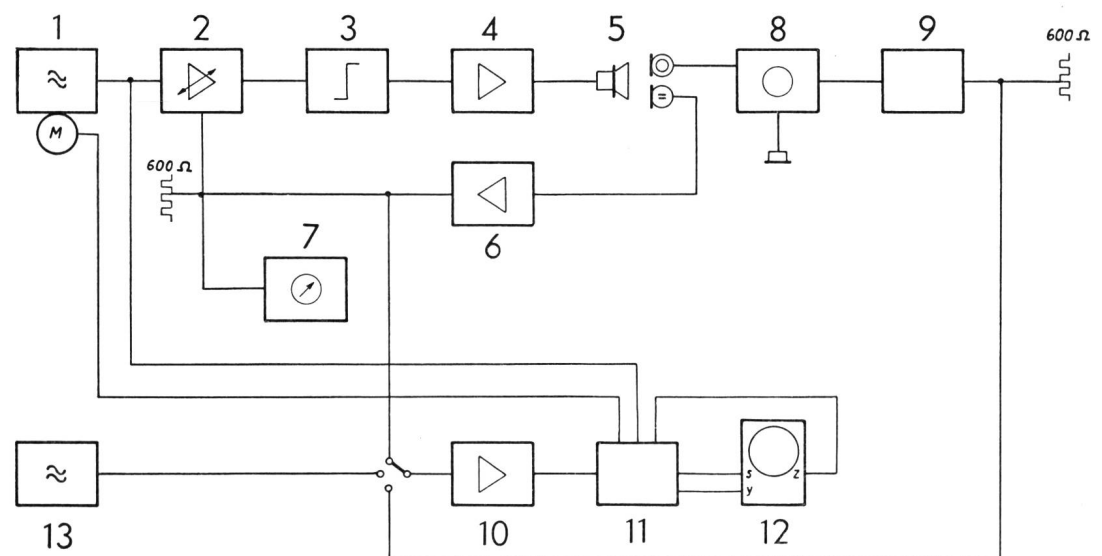


Fig. 4. Messanordnung zum Messen der Sendedämpfung — Montage pour la mesure objective de l'efficacité à l'émission

densator einstellbar. Dieser Drehkondensator besitzt einen nutzbaren Drehwinkel von ungefähr 230°, ist aber um 360° drehbar und direkt mit der Achse eines Antriebmotors gekoppelt.

Comme générateur rythmique, on utilise un oscillateur hétérodyne ayant une bande de fréquences de 50 à 10 000 Hz. L'échelle des fréquences a une division logarithmique et la fréquence peut être réglée

Da ein möglichst konstanter Schalldruck nötig ist, wurde in unserem Laboratorium ein Regelverstärker entwickelt, der die Schwankungen im Frequenzgang des Sprechkopfes ausgleicht. Die Wahl der Regelzeit dieses Verstärkers war etwas schwierig. Einerseits sollen rasche Schwankungen ausreguliert, andererseits tiefe Frequenzen unverzerrt durchgelassen werden. Ein Versuch zeigte, dass die Regelzeit bei einem einmaligen Frequenzdurchlauf in der Sekunde ungefähr 0,05 s betragen soll. Wird zusätzlich der Regelgrad zu 3,3% gewählt, das heisst so, dass alle Schwankungen auf den dreissigsten Teil ihres Wertes herabgeregelt werden, so ist die unterste Messfrequenz, die noch unverzerrt und stabil bleibt, ungefähr 200 Hz. Dabei ist zu beachten, dass der Gleichrichter — zur Erzeugung der Regelspannung — in Gegentakt ausgeführt wird (Frequenzverdoppelung) und die Regelzeiten in beiden Regelrichtungen den gleichen Wert besitzen. Das grundsätzliche Schema des ausgeführten Regelverstärkers ist aus Fig. 5 ersichtlich.

au moyen d'un condensateur de précision qu'on peut facilement tourner. Ce condensateur variable a un angle utile de 230° environ, mais peut être tourné de 360° et est couplé directement à l'axe d'un moteur d'entraînement.

Comme il était indispensable d'avoir une pression acoustique aussi constante que possible, on construisit dans notre laboratoire un amplificateur à régulation automatique qui équilibre les variations de la caractéristique de fréquence de la bouche artificielle. Le choix de la constante de temps de cet amplificateur présenta certaines difficultés. D'une part, il fallait équilibrer les variations rapides et, d'autre part, laisser passer sans distorsion les fréquences basses. Une expérience a montré que la constante de temps pour un seul passage de fréquence par seconde doit être d'environ 0,05 s. Si l'on fixe en outre à 3,3% le degré de réglage de façon que toutes les variations soient ramenées au trentième de leur valeur, la fréquence de mesure inférieure restant encore sans distorsion et stable

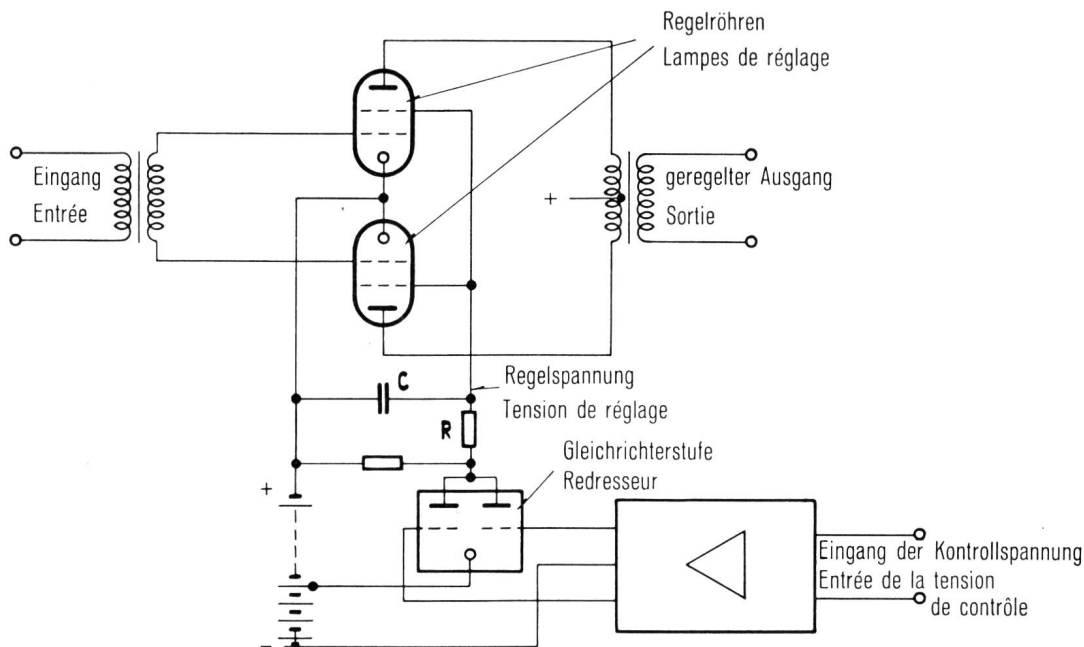


Fig. 5.
Blockschema des Regelverstärkers
Schéma de principe de l'amplificateur de réglage

Der Sprechkopf für die Erzeugung des Schallfeldes ist bereits in einer früheren Veröffentlichung beschrieben worden²⁾. Es seien hier lediglich die wichtigsten Daten noch einmal aufgeführt. Fig. 6 zeigt die Ansicht des Sprechkopfes während einer Messung. Die äussere Form der Schallführung wurde empirisch ermittelt. Das Resultat ist eine kurze, sich rasch öffnende Trichterform, die eine zu starke Bündelung der hohen Frequenzen vermeidet. Die Austrittsseite des Sprechkopfes weist keine ebene Fläche auf, wodurch die Ausbildung stehender Wellen zwischen dem zu messenden Mikrophon und dem Sprechkopf verhindert wird. In Fig. 7 sind die Eigenschaften des Sprechkopfes zusammen mit Verstärker und Entzerrer zusammengestellt.

est d'environ 200 Hz. Il faut relever que le redresseur engendrant la tension de réglage est monté en push-pull (doublement des fréquences) et que les constantes de temps sont les mêmes dans les deux directions de réglage. Le schéma de principe de l'amplificateur à régulation automatique est représenté à la figure 5.

La bouche artificielle qui engendre le champ acoustique a déjà été décrite dans une publication précédente²⁾. Rappelons-en seulement les principaux éléments. La figure 6 représente la bouche artificielle durant une mesure. L'ouverture de la bouche trouvée par des moyens empiriques est une sorte de court pavillon s'ouvrant rapidement et empêchant la formation de faisceaux trop prononcés de hautes fréquences: elle ne présente aucune surface plane, ce

²⁾ H. Weber. Telephonometrie. Techn. Mitt. PTT 24 (1946), 1.

²⁾ H. Weber. Telephonometrie. Bull. techn. PTT 24 (1946), 1.

Das zu messende Mikrofon wird, wie in Fig. 4 angegeben, im normalen Stromkreis mit der ganzen Teilnehmerstation und der üblichen Speisebrücke einer Telephonzentrale gemessen. Der Abschluss ist 600 Ω .

Im Gegensatz zu den üblichen logarithmisch geregelten Verstärkern mit variablem Verstärkungsgrad ist der neu konstruierte Verstärker momentan-logarithmierend. In jedem Augenblick entspricht die Ausgangsspannung dem Logarithmus der Eingangsspannung. Grosse und rasche Schwankungen, wie sie bei

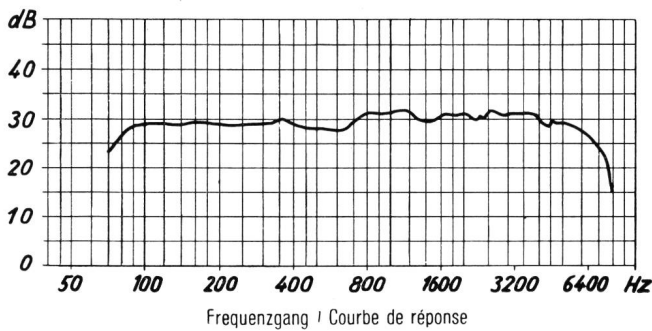
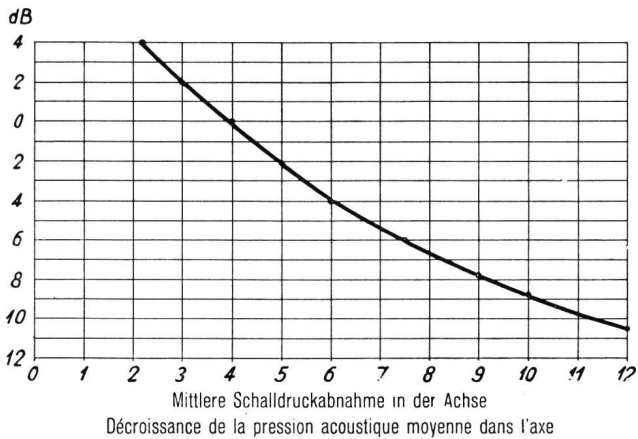


Fig. 7. Eigenschaften des Sprechkopfes
 1. Mittlere Schalldruckabnahme in der Achse
 2. Frequenzgang
 Caractéristiques de la bouche artificielle
 1. Décroissance de la pression acoustique moyenne dans l'axe
 2. Courbe de réponse

der Mikrofonmessung mit Frequenzwobbelung auftreten, können so richtig verarbeitet werden. Im vorliegenden Verstärker wird die logarithmische Funktion durch lineare Teilstücke angenähert. Zwischen einzelnen Verstärkerstufen werden stückweise lineare Netzwerke eingeschaltet, die aus ohmschen Widerständen und Kristalldioden mit bestimmten Vorspannungen zusammengesetzt sind. Fig. 8 zeigt das

qui empêche la formation d'ondes stationnaires entre le microphone à mesurer et la bouche artificielle. La figure 7 montre les propriétés de la bouche artificielle équipée d'un amplificateur et d'un correcteur.

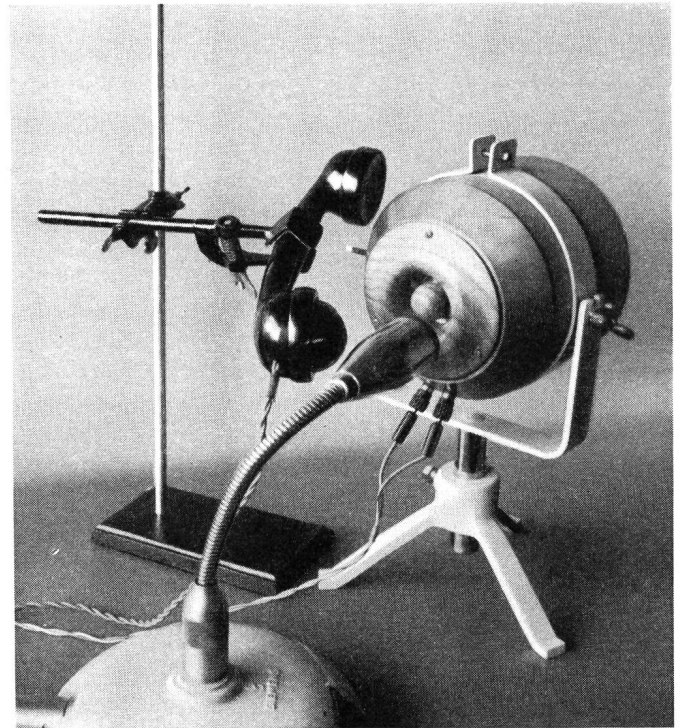


Fig. 6. Ansicht des Sprechkopfes während einer Messung
 Bouche artificielle disposée pour la mesure

Comme le montre la figure 4, le microphone est mesuré dans un circuit normal avec toute la station d'abonné et les ponts d'alimentation usuels d'un central téléphonique. La terminaison est de 600 ohms.

Contrairement aux amplificateurs logarithmiques usuels à temps de réglage, l'amplificateur nouvellement construit donne un gain logarithmique instantané. A n'importe quel moment, la tension de sortie correspond au logarithme de la tension d'entrée. On peut ainsi étudier exactement les grandes et rapides variations qui se produisent lors des mesures de microphones par variations rythmiques des fréquences. Dans l'amplificateur en question, on obtient par approximation la fonction logarithmique au moyen de parties linéaires. Entre les divers étages d'amplification, on intercale des parties de réseau linéaires composées de résistances ohmiques et de diodes à cristal avec tensions d'amorçage déterminées. La figure 8 montre le diagramme de l'amplificateur construit dans notre laboratoire et la figure 9 la connexion des organes de couplage.

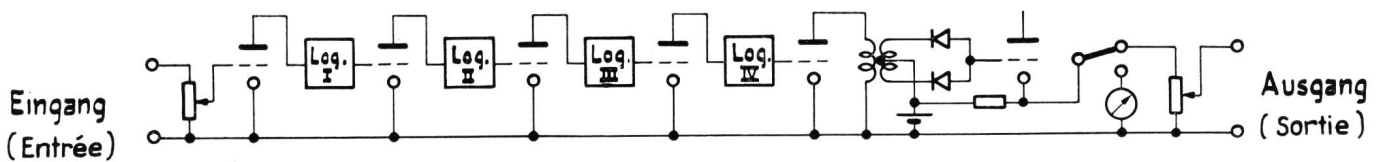


Fig. 8. Blockschema des logarithmischen Verstärkers — Schéma de principe de l'amplificateur logarithmique

Blockschema des in unserem Laboratorium gebauten Verstärkers, Fig. 9 die Schaltung der Kopplungsglieder.

Mit der Gleichrichtung im Gegentakt hat man die Möglichkeit, beide Halbwellen auf die gleiche Seite der Nulllinie zu legen. Decken sich die Umhüllenden der beiden Halbwellen, so kann mit Sicherheit gesagt

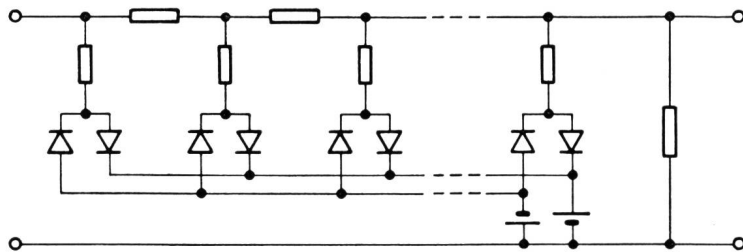


Fig. 9. Schaltung der Kopplungsglieder (stückweise lineares Netzwerk)
Circuit de couplage (combinaison d'éléments linéaires)

werden, dass die geradzahigen nichtlinearen Verzerrungen klein sind. Der Abstand der beiden Umhüllenden ist somit ein Mass für die Verzerrungen; die vorliegende Messanordnung erlaubt nicht nur, den Frequenzgang eines Kohlemikrophons zu ermitteln, sondern gibt auch die Möglichkeit, seine nichtlinearen Verzerrungen abzuschätzen. Möchte man auf dem Schirm des Kathodenstrahl-Oszillographen nur die umhüllende Kurve des Frequenzganges sichtbar machen, so besitzt der Verstärker zu diesem Zweck eine Betriebsstellung, bei der die gleichgerichtete Spannung mit Hilfe einer Kapazität geglättet werden kann.

Die elektrischen Daten des logarithmischen Verstärkers sind:

Arbeitsbereich des Verstärkers ohne Eingangspotentiometer	50 dB
Genauigkeit der logarithmischen Anzeige	$\pm 0,3$ dB
Geeichtes Eingangspotentiometer mit 10 Stufen von	5 dB
Eingangswiderstand	100 k Ω
Spannungsbereich mit Eingangspotentiometer	0,7 mV bis 70 V
Gleichgerichtete Ausgangsspannung für den Kathodenstrahl-Oszillographen	0...5,5 V
Frequenzbereich	30...50 000 Hz

Die Stellungen des Betriebsartenschalters sind:

1. Direkte Anzeige an einem 50-dB-Instrument;
2. ein externes 5-mA-Instrument (zum Beispiel Registrierinstrument) kann angeschaltet werden;
3. direkter Ausgang des logarithmierenden Verstärkers für die Aussteuerung des Kathodenstrahl-Oszillographen;
4. Gleichgerichteter Ausgang des Verstärkers;
5. Gleichgerichteter und gesiebter Ausgang für die Aussteuerung des Kathodenstrahl-Oszillographen.

Das geeichte Potentiometer am Verstärkereingang gestattet jederzeit, die Genauigkeit der logarithmischen Anzeige nachzuprüfen. Fig. 10 zeigt die Gesamtansicht des logarithmischen Verstärkers.

Als Anzeige-Instrument wird ein Kathodenstrahl-Oszillograph mit Gleichstromverstärker verwendet.

Avec le redresseur en push-pull, on a la possibilité d'appliquer les deux demi-ondes du même côté de la ligne neutre. Si les enveloppes des deux demi-ondes se recouvrent, on peut dire avec certitude que les distorsions non linéaires paires sont petites. La distance des deux enveloppes est ainsi une mesure

pour ces distorsions et le dispositif de mesure en question permet non seulement de déterminer la caractéristique de fréquence d'un microphone à charbon, mais aussi d'évaluer ses distorsions non linéaires. Pour rendre visible sur l'écran de l'oscillographe à rayons cathodiques la courbe enveloppe de la caractéristique de fréquence, on peut avoir recours à une position de service que possède à cet effet l'amplificateur et au moyen de laquelle, à l'aide d'une capacité, on peut écrêter la tension redressée.

Les caractéristiques électriques de l'amplificateur logarithmique sont:

Etendue de l'amplification sans potentiomètre d'entrée	50 dB
Précision des indications logarithmiques	$\pm 0,3$ dB
Potentiomètre d'entrée étalonné, à 10 étages de 5 dB	
Résistance d'entrée	100 kOhms
Tension avec potentiomètre d'entrée	0,7 mV à 70 V
Tension de sortie redressée pour oscillographe à rayons cathodiques	0 à 5,5 V
Gamme de fréquences	30 à 50 000 Hz

Les positions de service du commutateur sont:

1. Indication directe sur un instrument à 50 dB.
2. On peut connecter un instrument externe de 5 mA (p. ex. un instrument enregistreur).
3. Sortie directe de l'amplificateur prenant instantanément le logarithme pour la modulation de l'oscillographe à rayons cathodiques.
4. Sortie redressée de l'amplificateur.
5. Sortie redressée et filtrée pour la modulation de l'oscillographe à rayons cathodiques.

Le potentiomètre étalonné connecté à l'entrée de l'amplificateur permet de contrôler en tout temps l'exactitude des indications logarithmiques. La figure 10 donne une vue d'ensemble de l'amplificateur logarithmique.

Comme instrument indicateur, on utilise un oscillographe à rayons cathodiques avec amplificateur à courant continu. La figure 11 montre comment on obtient la synchronisation de la base de temps et des repères de fréquences.

Wie die Synchronisation der Zeitablenkung und die Frequenzmarken erzeugt werden, ist aus Fig. 11 ersichtlich.

Mit der Achse des Antriebsmotors des Wobbelgenerators drehen zwei Scheiben mit Nocken und Kontaktfedern. Die erste Scheibe betätigt einen Umlegekontakt, der einerseits während des nutzbaren Drehwinkels des Oszillators den Ausgang freigibt und für den Rest des Winkels die Ausgangsklemmen kurzschliesst. Andererseits gibt er den Synchronisierimpuls für den Start der X-Ablenkung des Kathodenstrahl-Oszillographen. Die zweite Scheibe mit den Kontaktnocken erzeugt in bestimmten, einstellbaren Winkelstellungen der Achse kurzzeitige Impulse. Diese Spannungsimpulse werden mittels eines Übertragers der Nutzspannung der Y-Ablenkung überlagert und erzeugen auf dem Bild des Kathodenstrahl-Oszillographen sichtbare Frequenzmarken. Wenn der Kathodenstrahl-Oszillograph die Möglich-

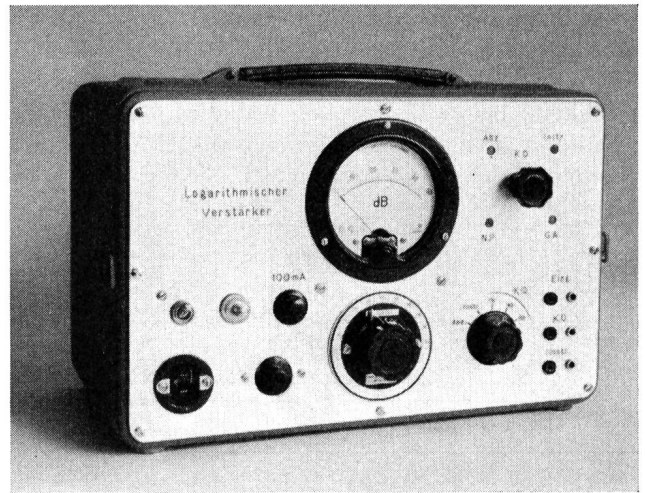


Fig. 10. Ansicht des logarithmischen Verstärkers
Vue de l'amplificateur logarithmique

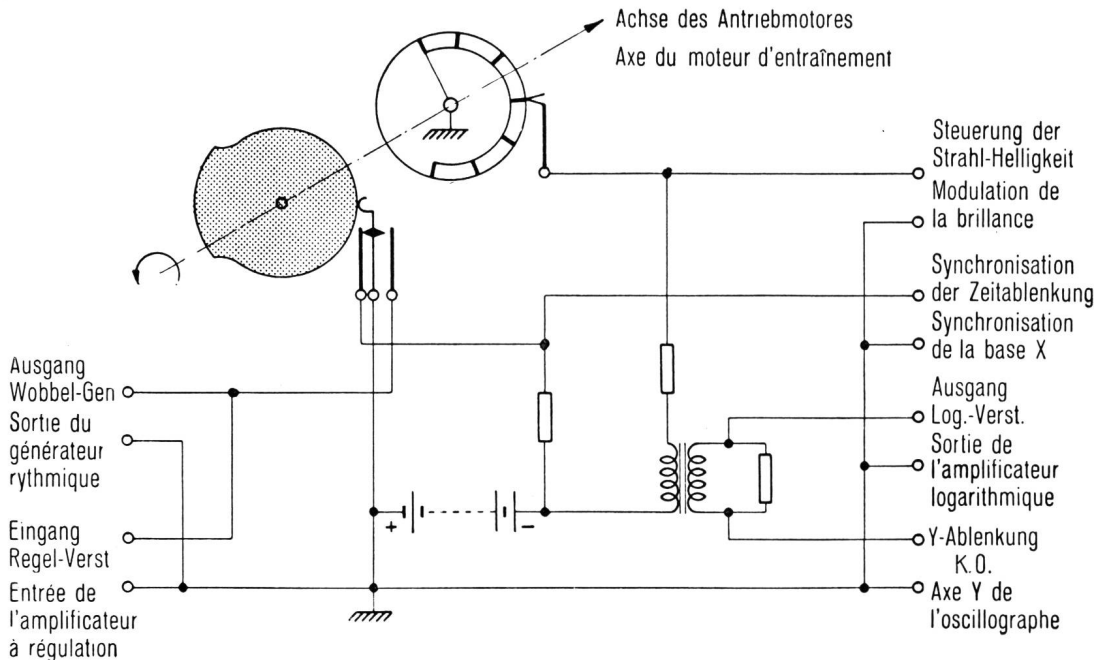


Fig. 11.
Erzeugung des Synchronisationsimpulses und der Frequenzmarken
Générateur d'impulsions de synchronisation pour l'oscillographe cathodique et d'impulsions de repérage pour l'oscillogramme

keit besitzt, mit Hilfe einer externen Steuerspannung die Helligkeit des Strahles zu modulieren, können die Frequenzmarken noch stärker hervorgehoben werden.

Das Frequenzband wird, wie Versuche zeigten, am besten von den hohen zu den tiefen Frequenzen durchlaufen. Die durch die Beschallung bei Resonanzfrequenzen erregte Kohlestrecke benötigt eine kurze Zeitspanne, bis sie sich wieder beruhigt hat. Steile Flanken des Frequenzganges können deshalb bei der Messmethode mit Frequenzwobbelung nur dann richtig erfasst werden, wenn sie von der Frequenz mit geringerer Empfindlichkeit nach der Frequenz mit grösserer Empfindlichkeit durchlaufen wird. Da bei den meisten Kohlemikrophonen die obere Grenzfrequenz besonders ausgeprägt ist, beginnt man bei der Beschallung am besten bei den hohen Frequenzen.

Ein Photozusatz erlaubt, die auf dem Schirm erscheinenden Frequenzgänge zu fotografieren. Die

L'axe du moteur du générateur rythmique entraîne dans sa rotation deux disques avec cames et ressorts de contact. Le premier disque actionne un contact de commutation qui libère la sortie de l'oscillateur pendant l'angle utile de celui-ci et court-circuite les bornes de sortie pendant le reste de l'angle. D'autre part, il donne l'impulsion de synchronisation pour le départ de la base X de l'oscillographe à rayons cathodiques. Le second disque portant les cames de contact engendre de brèves impulsions sous certaines positions angulaires réglables de l'axe. Au moyen d'un translateur, ces impulsions de tension sont superposées à la tension utile sur l'axe Y et engendrent sur l'image de l'oscillographe à rayons cathodiques des repères de fréquences visibles. Si l'oscillographe à rayons cathodiques possède un dispositif permettant, à l'aide d'une tension de commande externe, de moduler la brillance du rayon,

Eichung der Y-Achse wird mit Hilfe des geeichten Potentiometers des logarithmischen Verstärkers gemacht. Der ersten Aufnahme mit dem Frequenzgang wird unmittelbar anschliessend eine zweite mit den 5 dB-Stufen überlagert. Damit werden selbst kleine Fehler der logarithmischen Anzeige weggeschafft und die Ausmessung des Frequenzganges kann auf einer vergrösserten Kopie des Bildes sehr genau erfolgen.

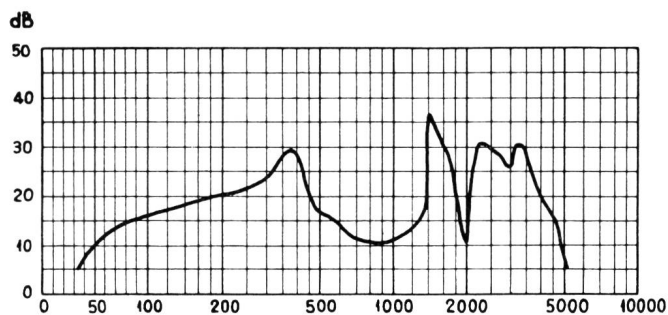


Fig. 12. Frequenzgang eines Kohlemikrophons, gemessen mit langsamem Frequenzablauf

Courbe de réponse d'un microphone à charbon, relevée avec balayage lent de la fréquence

Fig. 12 zeigt den Frequenzgang eines Mikrophons, der mittels eines langsamen Frequenzablaufes gemessen wurde. Fig. 13 zeigt den Frequenzgang desselben Mikrophons auf dem Schirm des Kathodenstrahl-Oszillographen. Deutlich kommt zum Ausdruck, dass bei der ersten Messmethode das Mikrophon zwischen 400 und 1400 Hz einschläft. Bei der Resonanzfrequenz wurde das Kohlegriess wieder aufgerüttelt, wodurch das Mikrophon wieder die normale Empfindlichkeit erhielt.

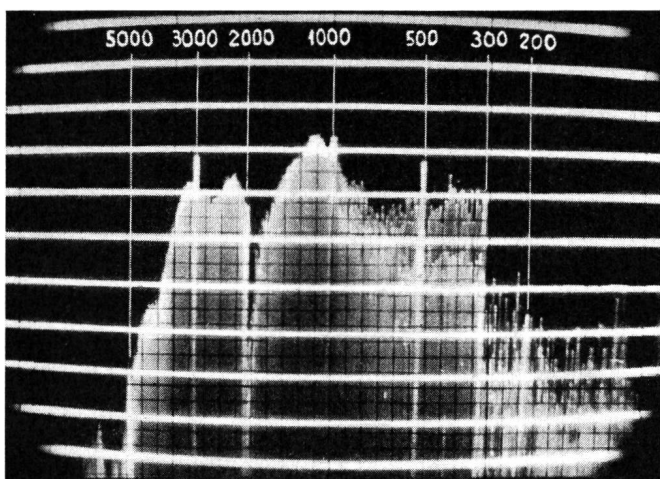


Fig. 13. Frequenzgang desselben Mikrophons, gemessen mit Frequenzwobbelung

Courbe de réponse du même microphone, relevée avec un wobulateur

3. Das künstliche Ohr zur Messung von Telephonhörern

Bei neuzeitlichen Telephonhörern mit hohem Wirkungsgrad, deren mechanische Impedanz verhältnismässig klein ist, ergibt sich eine stärkere Rück-

on peut faire ressortir encore plus fortement les repères de fréquences.

Comme les expériences l'ont montré, le mieux est de balayer la bande de fréquences des plus hautes aux plus basses. Le charbon excité acoustiquement aux fréquences de résonance du microphone emploie une brève période de temps pour se calmer de nouveau. C'est pourquoi la méthode de mesure par variations rythmiques de fréquences ne permet d'enregistrer exactement les flancs abrupts de la caractéristique de fréquence que si l'on passe de la fréquence la moins sensible à la fréquence la plus sensible. Du fait que dans la plupart des microphones à charbon la fréquence de coupure supérieure est particulièrement marquée, il vaut mieux commencer l'excitation acoustique aux hautes fréquences.

Un appareil accessoire permet de photographier les caractéristiques de fréquence apparaissant sur l'écran. L'étalonnage de l'axe Y se fait à l'aide du potentiomètre de l'amplificateur logarithmique. A la prise de vue de la caractéristique de fréquence, on superpose immédiatement celle des échelons de 5 dB. Même les plus petites erreurs de l'indication logarithmique sont ainsi annulées et l'on peut mesurer très exactement la caractéristique de fréquence sur une copie agrandie de l'image.

La figure 12 montre la caractéristique de fréquence d'un microphone mesurée par un balayage lent des fréquences. La figure 13 montre la caractéristique de fréquence du même microphone sur l'écran de l'oscillographe à rayons cathodiques. On remarque clairement qu'avec la première méthode le microphone « s'endort » entre 400 et 1400 Hz. Avec l'autre méthode, la fréquence de résonance stimule à nouveau les granules de charbon et le microphone reprend sa sensibilité normale.

3. L'oreille artificielle utilisée pour mesurer les récepteurs téléphoniques

Dans les récepteurs téléphoniques modernes à grand rendement, dont l'impédance mécanique est relativement petite, on constate une réaction plus forte de la charge acoustique sur la caractéristique de fréquence. Les récepteurs de ce genre doivent donc être mesurés au moyen d'une oreille artificielle dont les propriétés acoustiques correspondent à celles de l'oreille humaine. Pour calculer la netteté, il est en outre indispensable de connaître la pression acoustique absolue à l'entrée de l'oreille naturelle.

H. Weber³⁾ a décrit une oreille artificielle dont les propriétés acoustiques ont fait leurs preuves. En conséquence, on a repris sa construction de principe pour développer la nouvelle oreille artificielle.

Cette nouvelle oreille artificielle se compose également de deux chambres reliées entre elles par un canal fortement amorti. Pour les fréquences supé-

³⁾ H. Weber. Beitrag zum Aufbau des orthotelephonischen Übertragungssystems. Bull. techn. PTT 24 (1946), 145.

wirkung der akustischen Belastung auf den Frequenzgang. Die Messung derartiger Hörer muss deshalb mit einem künstlichen Ohr vorgenommen werden, dessen akustische Eigenschaften denjenigen des menschlichen Ohres entsprechen. Für die Berechnung der Verständlichkeit ist es ausserdem notwendig, dass man den absoluten Schalldruck am Eingang des natürlichen Ohres kennt.

H. Weber³⁾ hat ein künstliches Ohr beschrieben, dessen akustische Eigenschaften sich gut bewährt haben. Sein prinzipieller Aufbau wurde deshalb bei der Entwicklung des neuen künstlichen Ohres wieder verwendet.

Das neue künstliche Ohr besteht ebenfalls aus zwei durch einen stark gedämpften Kanal miteinander verbundenen Kammern. Bei Frequenzen oberhalb 1000 Hz wird damit eine höhere akustische Impedanz erreicht, als diese dem Totalvolumen der beiden Kammern entsprechen würde. Ausserdem bildet der Verbindungskanal den erforderlichen akustischen Widerstand nach.

Die erste Kammer zwischen Kondensatormikrophon (Typ Western Electric 640 AA) und der Öffnung des künstlichen Ohres beträgt 1,5 cm³. Das Volumen der angekoppelten ringförmigen Kammer ist 1,4 cm³. Der Kopplungskanal besteht aus vier Segmenten zu 45° eines Kreisringes mit den Durchmessern von 19 und 30 mm und einer Höhe von 0,16 mm. Das totale Volumen für tiefe Frequenzen beträgt demnach 3,0 cm³, dasjenige für hohe Frequenzen ungefähr 1,5 cm³. Dazu ist in jedem einzelnen Falle noch der Raum zwischen der Hörermuschel und der äusseren Begrenzung des künstlichen Ohres zu addieren.

Die äussere Form des künstlichen Ohres wurde so festgelegt, dass sich für die vorkommenden Hörerschalenformeln möglichst genaue Übereinstimmung mit dem Ohr ergibt. Dabei wurden die Messresultate von K. Braun berücksichtigt⁴⁾. Da gewisse Hörerschalen einen grossen Durchmesser der Schallöffnung besitzen, wurde die Austrittsöffnung des neuen künstlichen Ohres kegelförmig ausgebildet. Mit der neuen Konstruktion konnte der Anwendungsbereich erweitert und auch das Frequenzband vergrössert werden. Fig. 14 zeigt den Frequenzgang eines Eichempfängers, der mit dem neuen künstlichen Ohr gemessen wurde.

Zur Kontrolle der äusseren Form wurden die Empfangseinrichtungen von Telephonstationen sechs verschiedener Verwaltungen gemessen und nach K. Braun die Bezugsdämpfung berechnet⁵⁾. Im Vergleich mit den gemessenen Werten im CCIF-

rieuren à 1000 Hz on obtient ainsi une impédance acoustique plus élevée que celle correspondant au volume total des deux chambres. En outre, le canal de liaison fournit encore la résistance acoustique nécessaire.

La première chambre entre le microphone à condensateur (type Western Electric 640 AA) et l'ouverture de l'oreille artificielle a un volume de 1,5 cm³. Celui de la chambre accouplée, circulaire, est de 1,4 cm³. Le canal de liaison se compose de 4 segments à 45° d'un anneau ayant des diamètres de 19 et 30 mm et une hauteur de 0,16 mm. Le volume total pour les basses fréquences est en conséquence de 3,0 cm³ et pour les hautes fréquences d'environ 1,5 cm³. A ces volumes, il faut ajouter dans chaque cas le volume compris entre le pavillon de l'écouteur et la limite extérieure de l'oreille artificielle.

La forme extérieure de l'oreille artificielle a été choisie de façon que, pour les formes de pavillons des récepteurs entrant en considération, elle corresponde aussi exactement que possible à l'oreille. On a tenu compte à cet effet des résultats des mesures faites par K. Braun⁴⁾. Comme certains pavillons de récepteurs ont une ouverture de grand diamètre, on a donné à l'ouverture de la nouvelle oreille artificielle une forme conique. La nouvelle construction a permis d'étendre le champ d'application et d'élargir aussi la bande de fréquences. La figure 14 montre la caractéristique de fréquence d'un récepteur étalon mesurée avec la nouvelle oreille artificielle.

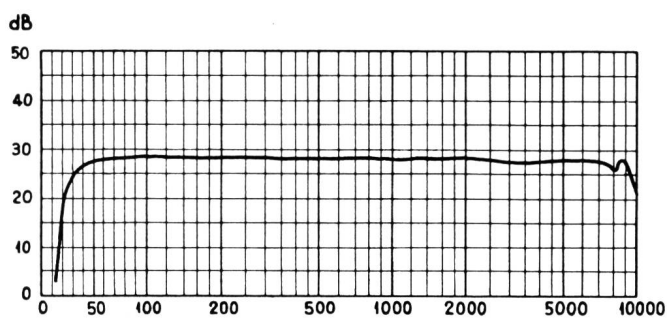


Fig. 14. Frequenzgang eines Eichempfängers, gemessen mit dem neuen künstlichen Ohr
Courbe de réponse d'un écouteur étalon, relevée avec la nouvelle oreille artificielle

Pour contrôler la forme extérieure, on a mesuré les systèmes récepteurs de stations téléphoniques de 6 administrations différentes et calculé l'affaiblissement équivalent d'après K. Braun⁵⁾. Le tableau I permet de comparer les valeurs ainsi obtenues à celles mesurées subjectivement au Laboratoire du C.C.I.F.

³⁾ H. Weber. Beitrag zum Aufbau des orthotelephonischen Übertragungssystems. Techn. Mitt. PTT 24 (1946), 145.

⁴⁾ K. Braun. Die akustischen Abschlussbedingungen für die Messung der Fernhörer. TFT 32 (1943), 237.

⁵⁾ K. Braun. Die Bezugsdämpfung und ihre Berechnung aus der Restdämpfungskurve (Frequenzkurve) eines Übertragungssystems. TFT 28 (1939), 311.

⁴⁾ K. Braun. Die akustischen Abschlussbedingungen für die Messung der Fernhörer. TFT 32 (1943), 237.

⁵⁾ K. Braun. Die Bezugsdämpfung und ihre Berechnung aus der Restdämpfungskurve (Frequenzkurve) eines Übertragungssystems. TFT 28 (1939), 311.

Laboratorium ergaben sich die in *Tabelle I* zusammengestellten Differenzen.

Tabelle I

System Nr.	Form der Hörermuschel	berechnet dB	gemessen im CCIF dB	Differenz dB
1	starke, kegelförmige Vertiefung	2,5	3,1	0,6
2	gross, flach	0,9	2,8	1,9
3	mittelmässige, runde, Vertiefung	6,1	4,9	-1,2
4	mittelmässige, runde Vertiefung	8,1	7,6	-0,5
5	starke, kegelförmige Vertiefung	3,5	4,5	1,0
6	mittelmässige, kegelförmige Vertiefung	1,3	2,5	1,2

Die Werte streuen innerhalb der Mess- und Rechengenauigkeit, und die Übereinstimmung ist befriedigend.

Fig. 15 zeigt die Ansicht, Fig. 16 den Querschnitt durch das neue künstliche Ohr.

4. Bestimmung des Störgeräusches am Ohreingang

Der Verdeckungseffekt eines Geräusches wirkt sich in einer Erhöhung der Hörschwelle aus. Bestandteile der Sprache verschwinden im Geräusch und geben keinen Beitrag zur Verständlichkeit mehr.

Bei der Berechnung der Verständlichkeit stellt sich zunächst die Frage, ob bei einohrigem Hören, wie dies beim Telephonieren der Fall ist, nur das Geräusch im aktiven Ohr einen Einfluss hat, oder ob das Geräusch, das durch das zweite Ohr eindringt, ebenfalls die Verständlichkeit beeinflusst. Um dies abzuklären, wurde folgender Versuch gemacht: Es wurden die Hörschwellen von zwölf Personen mittels des Hörers einer Telephonstation gemessen. Im Raum war ein Rauschen von 60 Phon mit flachem Frequenzgang vorhanden. Das zweite Ohr war beim

Tableau I

Système no	Forme du pavillon d'écoute	calculé dB	mesuré au CCIF dB	Différence dB
1	fort, cavité conique	2,5	3,1	0,6
2	gros, plat	0,9	2,8	1,9
3	moyen, cavité ronde	6,1	4,9	-1,2
4	moyen, cavité ronde	8,1	7,6	-0,5
5	fort, cavité conique	3,5	4,5	1,0
6	moyen, cavité conique	1,3	2,5	1,2

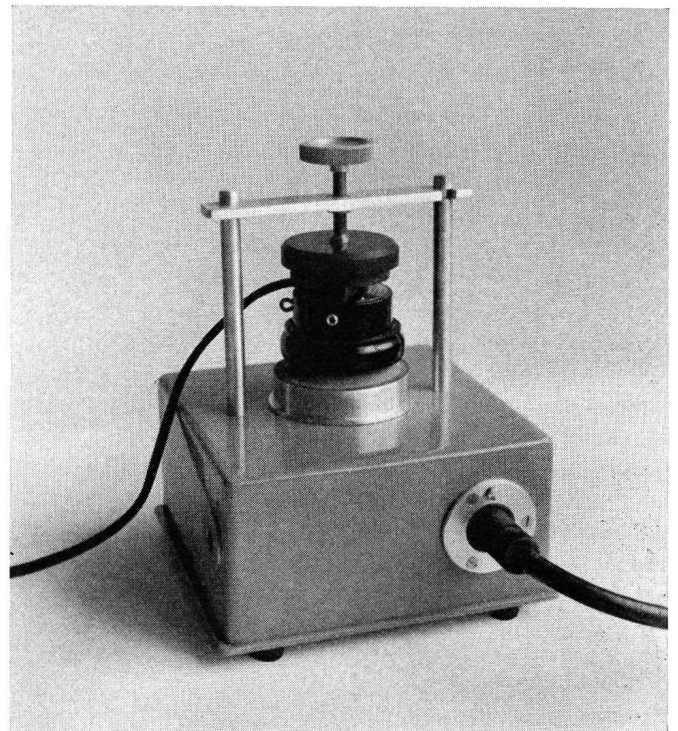


Fig. 15. Ansicht des neuen künstlichen Ohres
Nouvelle oreille artificielle

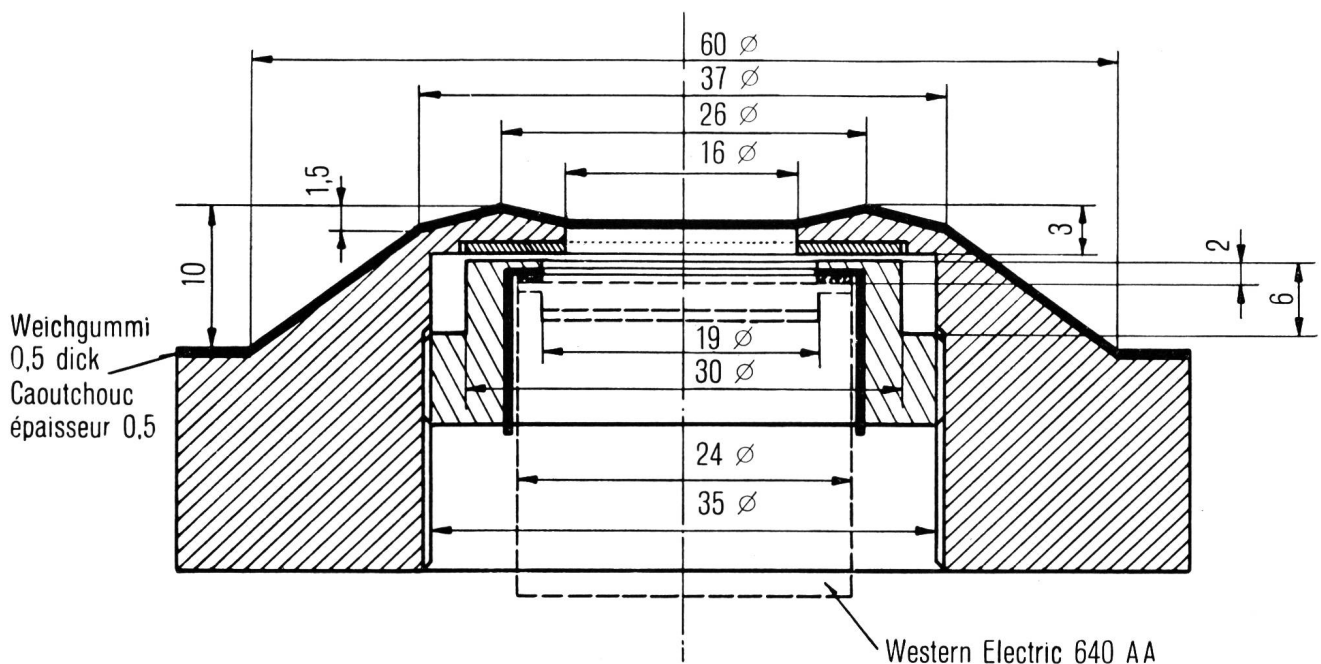


Fig. 16. Querschnitt durch das neue künstliche Ohr — Coupe de la nouvelle oreille artificielle

1. Versuch gegen den Raum offen und beim 2. Versuch vollständig abgeschlossen. *Tabelle II* zeigt die mittleren Spannungswerte in dB, bezogen auf 1 V, gemessen am Eingang der Station.

Tabelle II

Frequenz Hz	2. Ohr		Differenz dB
	offen dB	geschlossen dB	
200	-58,7	-59,7	+1,0
400	-70,0	-69,7	-0,3
800	-77,2	-78,7	+1,5
1600	-77,5	-78,5	+1,0
3200	-77,5	-79,7	+2,2

Wie die letzte Kolonne in *Tabelle II* zeigt, ist der Einfluss des Geräusches, welches durch das gegen den Raum hin offene Ohr eindringt, vernachlässigbar klein.

In das Ohr unter der Hörmuschel dringt das Raumgeräusch auf zwei Wegen ein: durch die Undichtigkeit zwischen Hörmuschel und Ohr und über Mikrophon und Hörer, entsprechend der Rückhördämpfung. Wenn die Einrichtungen zur Erzeugung des Raumgeräusches vorhanden sind und die Versuchspersonen normale Hörschwellen besitzen, kann man den Verdeckungseffekt mit Hilfe einer Hörschwellenmessung direkt bestimmen. Doch ist es oft zweckmässig, die beiden Wege zu trennen und einzeln zu kennen. Wenn kein Sondenmikrophon zur Verfügung steht, wird die akustische Dämpfung der Undichtigkeit mit Hilfe von Hörschwellenmessungen für Einzelton gemessen. Zu diesem Zwecke speist man einen Lautsprecher mit Tonimpulsen, deren Amplituden mit einem geeichten Dämpfungsglied eingestellt werden können. Die mit diesen intermittierenden Tönen bestimmten Hörschwellen sind sehr genau. Der Unterschied der Werte bei aufsteigendem Pegel und bei absteigendem Pegel ist nur etwa 1 dB. Um die akustische Dämpfung der Undichtigkeit zu erhalten, muss das Verhältnis der Spannungen am Eingang des Lautsprechers für die beiden Hörschwellen mit und ohne Hörermuschel noch korrigiert werden. Wenn nämlich ein Ohr durch einen Hörer abgedeckt

La dispersion de ces valeurs se tient dans les limites imposées par la précision des mesures et des calculs et la concordance peut être considérée comme très satisfaisante.

La figure 15 donne une vue de la nouvelle oreille artificielle; la figure 16 en montre la coupe.

4. Détermination du bruit perturbateur à l'entrée de l'oreille

L'effet de masque d'un bruit a pour effet d'élever le seuil d'audibilité. Des parties constitutives de la voix disparaissent dans le bruit et ne fournissent plus aucune contribution à la netteté.

Pour le calcul de la netteté, on doit se demander tout d'abord si, dans l'audition monauriculaire, comme c'est le cas au téléphone, seul le bruit frappant l'oreille active a une influence ou si le bruit pénétrant dans la seconde oreille influence aussi la netteté. Pour s'en rendre compte, on a fait l'expérience suivante. On a mesuré le seuil d'audibilité de 12 personnes au moyen du récepteur d'une station téléphonique. Le bruit de salle de 60 phons avait une caractéristique de fréquence plate. Lors du premier essai, l'oreille libre était ouverte, lors du second, elle était entièrement fermée. Le *tableau II* indique en dB par rapport à 1 V, la tension moyenne pour le seuil mesurée à l'entrée de la station.

Tableau II

Fréquence Hz	2 ^e oreille		Différence dB
	ouverte dB	fermée dB	
200	-58,7	-59,7	+1,0
400	-70,0	-69,7	-0,3
800	-77,2	-78,7	+1,5
1600	-77,5	-78,5	+1,0
3200	-77,5	-79,7	+2,2

La dernière colonne du tableau II montre que le bruit pénétrant dans l'oreille ouverte vers la salle a une si petite influence qu'elle peut être négligée.

Le bruit de salle pénètre dans l'oreille placée sous le pavillon par deux voies: par le jeu entre le pavillon et l'oreille et par le microphone et l'écouteur, c'est-à-dire par effet local. Si l'on dispose d'installations permettant d'engendrer le bruit de salle et si les personnes se prêtant à l'expérience possèdent un seuil d'audibilité normal, on peut déterminer directement l'effet de masque par une mesure du seuil d'audibilité. Cependant, il est souvent préférable de séparer et de connaître isolément les deux voies. Si l'on ne possède pas de microphone à sonde, on mesure l'affaiblissement acoustique du jeu entre le pavillon et l'oreille en procédant à une mesure de seuils d'audibilité pour un son pur. A cet effet un haut-parleur fournit des impulsions sonores dont les amplitudes peuvent être réglées au moyen d'un atténuateur de précision. Les seuils d'audibilité déterminés par ces sons intermittents sont très exacts. La différence des valeurs

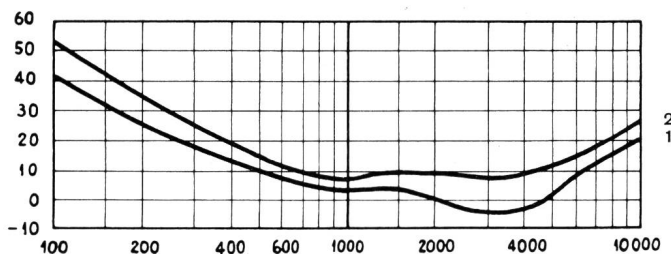


Fig. 17. Hörschwellen in dB oberhalb 10^{-16} W/cm²
 Kurve 1: Bei einohrigem Hören in freiem Schallfeld
 Kurve 2: Bei einohrigem Hören unter einer Hörermuschel
 Seuils d'audibilité en dB au-dessus de 10^{-16} W/cm²
 Courbe 1: Pour écoute mono-auriculaire en champ libre
 Courbe 2: Pour écoute mono-auriculaire sous le pavillon de l'écouteur

ist, erhöht sich die Hörschwelle, wobei der Unterschied der Hörschwelle beim Hören in freiem Schallfeld und beim Hören unter einer Hörermuschel aus Fig. 17 ersichtlich ist (s. *H. Fletcher* und *R. Galt*, loc. cit.).

Da die Undichtigkeit zwischen Ohr und Hörer liegt, muss für das Geräusch die Druckstauung, die durch die Kopfabmessungen des Hörenden auftritt, berücksichtigt werden.

Um das Geräusch zu berechnen, das über den Hörer in das Ohr eindringt, misst man die Rückhördämpfung. Diese kann mit Hilfe des künstlichen Mundes und des künstlichen Ohres nach Fig. 18 direkt gemessen werden.

- 1 = Wobbelgenerator — Oscillateur rythmique
- 2 = Regelverstärker — Amplificateur à régulation automatique
- 3 = Entzerrer — Correcteur de distorsion
- 4 = Verstärker — Amplificateur
- 5 = Sprechkopf — Bouche artificielle
- 6 = Verstärker — Amplificateur
- 7 = Volumenzeiger — Volumètre
- 8 = Abonnentenstation — Poste d'abonné
- 9 = Speisebrücke — Pont d'alimentation
- 10 = Künstliches Ohr — Oreille artificielle
- 11 = Verstärker — Amplificateur
- 12 = Logarithmischer Verstärker — Amplificat. logarithmique
- 13 = Synchronisier-Impuls und Frequenzmarken — Générateur d'impulsions de synchronisation et d'impulsions de repérage
- 14 = Kathodenstrahl-Oszillograph — Oscillographe cathodique
- 15 = Tongenerator — Générateur d'ondes sinusoïdales
- M = Motor — Moteur d'entraînement

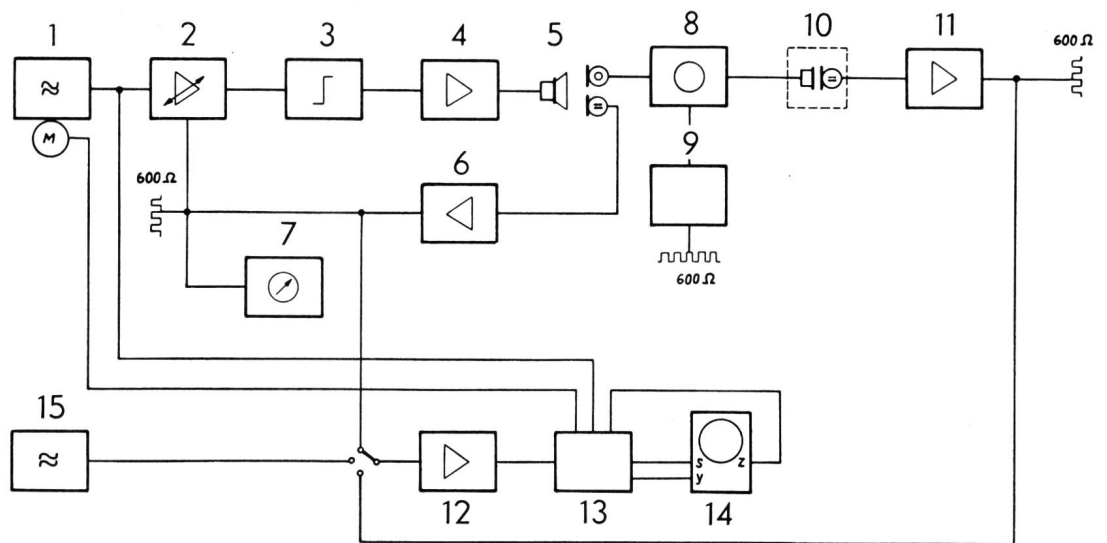


Fig. 18. Messanordnung zum Messen der Rückhördämpfung
Montage pour la mesure de l'équivalent de la voie d'effet local pour un poste d'abonné

Die einzelnen Apparate sind im Abschnitt 2 über die Frequenzgangmessungen der Mikrophone bereits beschrieben worden. Der einzige Unterschied liegt lediglich darin, dass hier nicht die Ausgangsspannung der Station gesucht, sondern der Schalldruck in der Hörermuschel vermittelt des künstlichen Ohres gemessen wird. Da die Rückhördämpfung stark von der Abschlussimpedanz der Station abhängig ist, wird die Speisebrücke mit 600 Ohm abgeschlossen.

Wegen der Nichtlinearität des Kohlemikrophons muss der erregende Schalldruck beim Mikrophon dem Raumgeräusch, das bei den Sprechversuchen vorhanden ist, entsprechen. Möchte man, um störende Geräusche während der Frequenzgangmessung auszuschalten, bei einem höheren Schalldruck messen, so ist man genötigt, bei der Berechnung die Empfindlichkeitsänderung des Mikrophons zu berücksichtigen.

Die Druckstauung durch die Kopfabmessungen des Hörenden wirkt sich wegen der Distanz Mund-Mikrophon nicht mehr stark aus. Nach Messungen beträgt die Erhöhung im Abstand von 3 cm vor dem Munde ungefähr 1/3 bis 1/2 des orthotelephonischen Anstieges. Dieser Anstieg bei den hohen Frequenzen wird zum grossen Teil durch die Richteffekte der Mikrophone wieder kompensiert.

par niveau ascendant et par niveau descendant n'est que de 1 dB environ. On mesure à l'entrée du haut-parleur les tensions pour les seuils d'audibilité lorsque l'oreille est libre et lorsqu'elle est recouverte par l'écouteur. Le rapport de ces tensions diminué de l'élévation du seuil d'audibilité pour une oreille recouverte donne directement l'affaiblissement cherché. La figure 17 fait ressortir la différence des seuils d'audibilité quand on écoute dans un champ acoustique libre ou quand on écoute sous un pavillon de récepteur (voir *H. Fletcher* et *R. Galt*, loc. cit.).

On tiendra évidemment compte pour le calcul du bruit pénétrant dans l'oreille par le jeu entre

l'oreille et le pavillon de l'élévation de la pression acoustique due aux dimensions de la tête de l'auditeur.

Pour calculer le bruit qui pénètre dans l'oreille par le récepteur, on mesure l'affaiblissement de l'effet local. Celui-ci peut être mesuré directement à l'aide de la bouche artificielle et de l'oreille artificielle selon la figure 18.

Les divers appareils ont déjà été décrits au chapitre 2. La seule différence réside dans le fait qu'on ne cherche pas ici la tension de sortie de la station, mais qu'on mesure la pression acoustique sous le pavillon de l'écouteur au moyen de l'oreille artificielle. L'affaiblissement de l'effet local dépendant dans une large mesure de l'impédance terminale de la station, le pont d'alimentation est fermé sur une résistance de 600 ohms.

A cause de la non-linéarité du microphone à charbon, la pression acoustique engendrée devant le microphone doit correspondre au bruit de salle constaté lors des essais de netteté. Si, pour exclure les bruits perturbateurs pendant la mesure de la caractéristique de fréquence, on veut mesurer à une plus haute pression acoustique, on est forcé, lors du calcul, de tenir compte du changement de sensibilité du microphone.

5. Mess- und Rechenbeispiel

Ein Teilnehmersystem der schweizerischen PTT-Verwaltung wurde unter denselben Bedingungen gemessen, unter denen im CCIF-Laboratorium die Verständlichkeitsmessungen durchgeführt werden. Das System setzt sich aus drei Teilen zusammen: Telefonstation, Modell 1950; Teilnehmerleitung von 3 km Länge; Speisebrücke. Das Schema der ganzen Anordnung ist aus Fig. 19 und Fig. 20 ersichtlich.

Mit Hilfe der Messanordnung, die im Abschnitt über die Ermittlung der Frequenzgänge der Kohlemikrophone beschrieben ist, sind die Sendeeinrich-

La transformation de pression due aux dimensions de la tête de l'auditeur ne se fait plus sentir à cause de la distance bouche-microphone. Selon nos mesures, l'accroissement de pression à une distance de 3 cm de la bouche, est d'environ $\frac{1}{3}$ à $\frac{1}{2}$ de l'accroissement orthotéléphonique. Cet accroissement est compensé en grande partie aux hautes fréquences par les effets directifs des microphones.

5. Exemple de calcul et de mesure

Un système d'abonné de l'administration suisse des PTT a été mesuré dans des conditions identiques

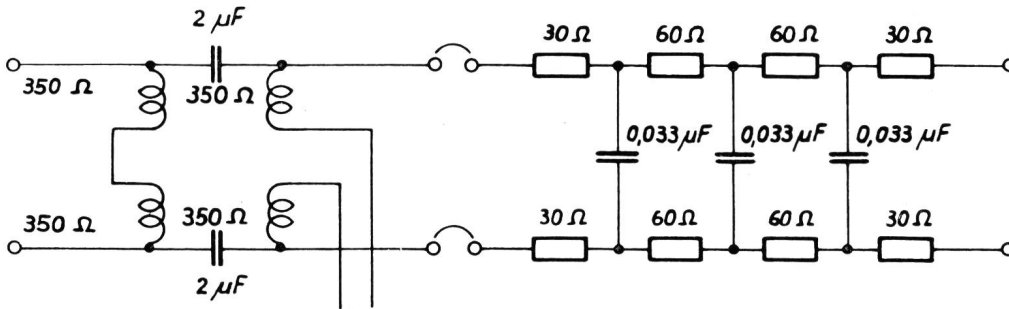


Fig. 19. Schema der Speisebrücke und der Teilnehmerleitung
Schéma du pont d'alimentation et de la ligne d'abonné

tungen von fünf Teilnehmerstationen gemessen worden. Der erregende Schalldruck bei der Mikrophon-einsprache betrug $11,3 \mu b$. Als Beispiel zeigt Fig. 21 das Bild auf dem Schirm des Kathodenstrahl-Oszillographen des Eichsystems und eines Teilnehmer-systems, wobei die mittlere Empfindlichkeit des Eichsystems $26,6 \text{ mV}/\mu b$ beträgt. Daraus kann so-gleich die Empfindlichkeit des kommerziellen Systems ermittelt werden.

Die Empfangseinrichtung der fünf Teilnehmer-stationen wurde nach der üblichen Methode mit langsam ablaufendem Oszillator, dem künstlichen Ohr und dem Pegelschreiber aufgenommen.

Da Sende- und Empfangsrichtung separat bestimmt wurden, kann für die Verständlichkeitsberechnung das vorliegende System auch mit andern Systemen kombiniert werden. Insbesondere interessiert die

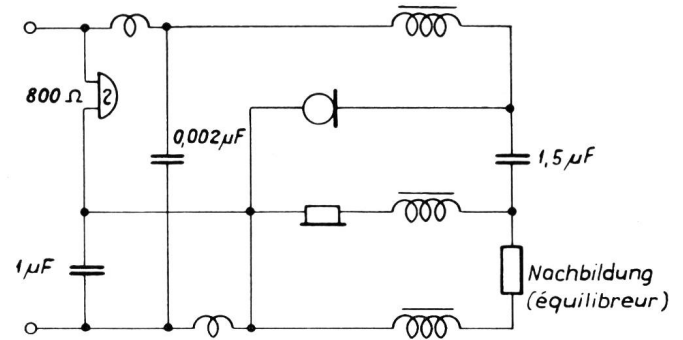


Fig. 20. Prinzipschema der Teilnehmerstation
Schéma de principe de la station d'abonné

à celles dans lesquelles les mesures de netteté ont été effectuées dans le laboratoire du C.C.I.F. Le système se compose de trois parties: une station téléphonique modèle 1950, une ligne d'abonné de 3 km et le pont

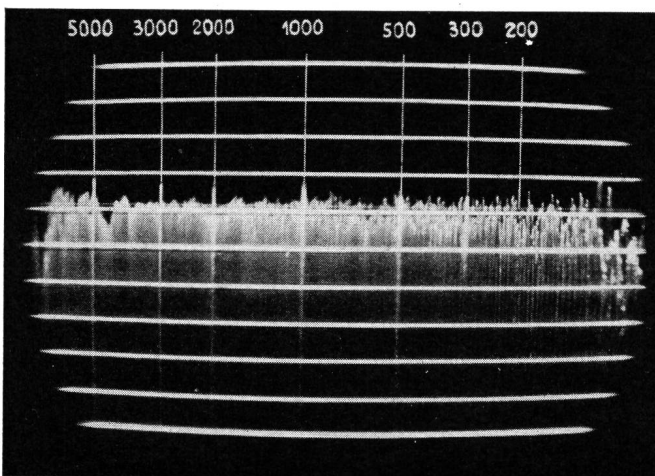


Fig. 21a. Frequenzgang des Eichsystems
Courbe de réponse du système de référence

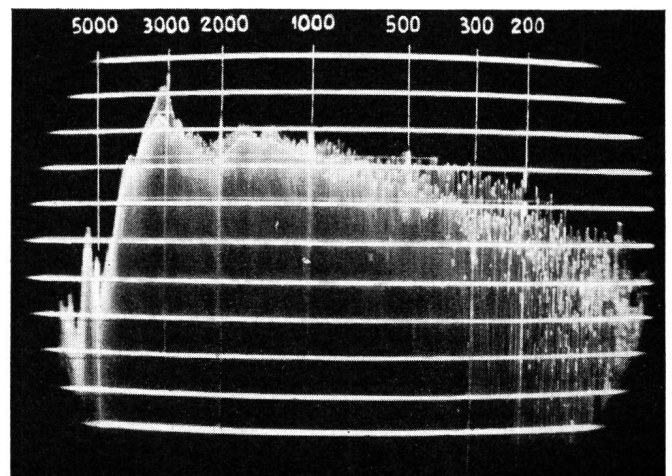


Fig. 21b. Frequenzgang des kommerziellen Systems
Courbe de réponse du système commercial

Verbindung mit dem Referenzsystem, das im Laboratorium des CCIF bei den Verständlichkeitsmessungen Verwendung findet (ARAEN).

Für folgende vier Kombinationen wurden die Übertragungseigenschaften bestimmt und anschließend die Verständlichkeit berechnet:

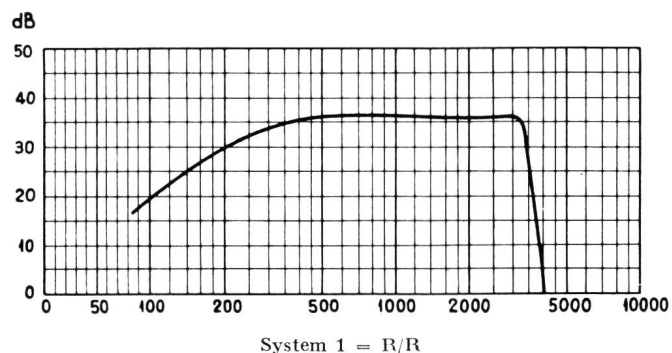
	Senden	Empfangen
1	R	R
2	CH	R
3	R	CH
4	CH	CH

R = Referenzsystem (ARAEN)

CH = Teilnehmersystem der schweizerischen PTT-Verwaltung

In jeder Verbindung war der Bandpass 300/3400 Hz des Referenzsystems vorhanden.

Die in Fig. 22 bis Fig. 25 aufgezeichneten Frequenzgänge geben die Unterschiede zwischen dem System



d'alimentation. Les figures 19 et 20 donnent le schéma du dispositif.

A l'aide du dispositif de mesure décrit au chapitre 2, on a mesuré les systèmes émetteurs de 5 stations d'abonnés. La pression acoustique à l'embouchure du microphone était de 11,3 μ b. La figure 21 montre, comme exemple, l'image du système étalon et d'un système d'abonné sur l'écran de l'oscillographe à rayons cathodiques. La sensibilité moyenne du système étalon étant de 26,6 mV/ μ b, on peut immédiatement en tirer la sensibilité du système commercial.

Les systèmes récepteurs des 5 stations d'abonnés ont été mesurés selon la méthode habituelle au moyen d'un oscillateur à balayage lent, de l'oreille artificielle et de l'hypsographe.

Du fait que le système émetteur et le système récepteur sont mesurés séparément, un système quelconque peut être combiné avec d'autres systèmes pour

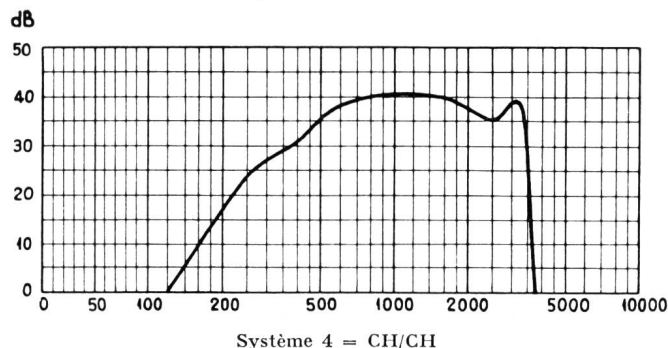
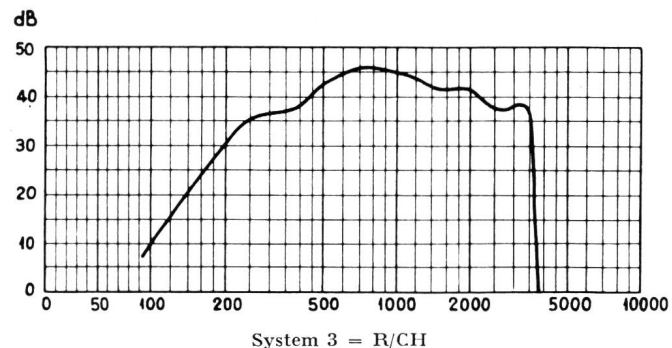
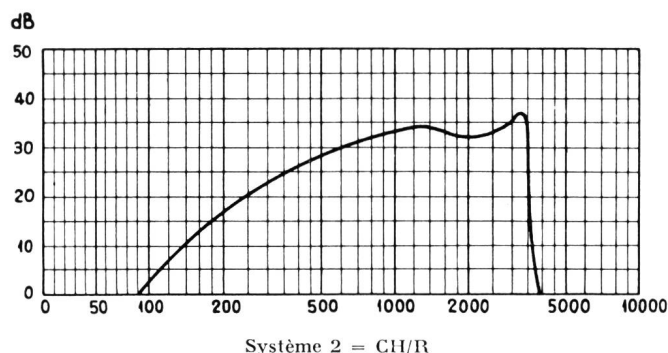


Fig. 22...25. Frequenzgänge der Systeme 1 bis 4 — Courbes de réponse des systèmes 1 à 4

und der Vergleichsverbindung des Luftweges von 1 m Länge mit einohrigem Hören und der ortho-telephonischen Korrektur an. Das Sprechvolumen ist so definiert worden, dass in einer Distanz von 33,6 cm vor den Lippen des Sprechenden ein Schalldruck von 1 μ b vorhanden war. Dies ergibt einerseits für die nach den CCIF-Richtlinien normierte Sprechdistanz für das schweizerische Mikrotelephon, Modell 1946, bei der Einsprache einen Schalldruck von 11,3 μ b oder 95 dB oberhalb 10^{-16} W/cm². Andererseits hat man bei diesem Volumen in 1 m Abstand vor den Lippen des Sprechenden eine Schallintensität von 64,5 dB oberhalb 10^{-16} W/cm². Für den Schalldruck im Ohr, der für die Verständlichkeit massgebend ist, müssen zum letztgenannten Schalldruck die in Fig. 22 bis Fig. 25 angegebenen Werte in dB noch hinzugefügt werden.

le calcul de la netteté. La combinaison avec le système de référence utilisé dans le laboratoire du C.C.I.F. pour les mesures de netteté (ARAEN) est particulièrement intéressante.

Pour les quatre combinaisons suivantes on a déterminé les qualités de transmission et calculé ensuite la netteté:

	Emission	Réception
1	R	R
2	CH	R
3	R	CH
4	CH	CH

R = Système de référence (ARAEN)

CH = Système d'abonné de l'administration suisse des PTT

Dans chaque liaison fut inséré le filtre passe bande 300/3400 Hz du système de référence.

Für die Bestimmung des im aktiven Ohr vorhandenen Störgeräusches wurden die akustische Dämpfung der Undichtigkeit zwischen Ohrmuschel und Hörer mittels Hörschwellen und die Rückhör-dämpfung nach der in Fig. 18 dargestellten Mess-anordnung gemessen.

Das mittlere Raumgeräusch, das bei den Verständlichkeitsmessungen im CCIF-Laboratorium im Hörer-raum erzeugt wird, besitzt eine spektrale Energie-verteilung, die sich auf Beobachtungen von *Hoth* stützt. Der Pegel wurde auf 60 Phon festgelegt (s. Fig. 26).

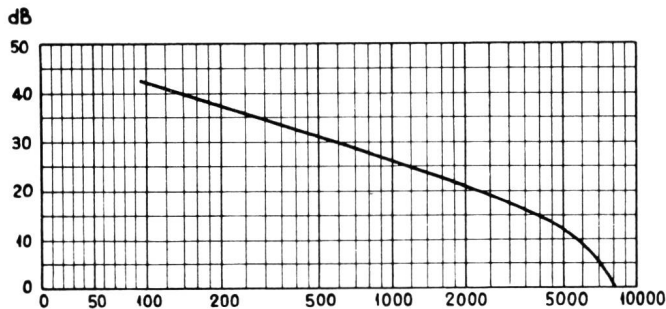


Fig. 26. Spektrale Energieverteilung des Raumgeräusches nach *Hoth* in dB oberhalb 10^{-16} W/cm²Hz, bei einem Niveau von 60 Phon
Courbe spectrale de l'énergie du bruit de salle en dB au-dessus de 10^{-16} W/cm²Hz pour un niveau de 60 phones

Es ergab sich für das Referenzsystem das in Fig. 27, und für das kommerzielle System, das in Fig. 28 angegebene Geräusch. Kurve a zeigt die spektrale Energieverteilung je Hz am Ohreingang und Kurve b, unter Berücksichtigung der kritischen Bandbreite, die Erhöhung der Hörschwelle für Sprache durch den Verdeckungseffekt.

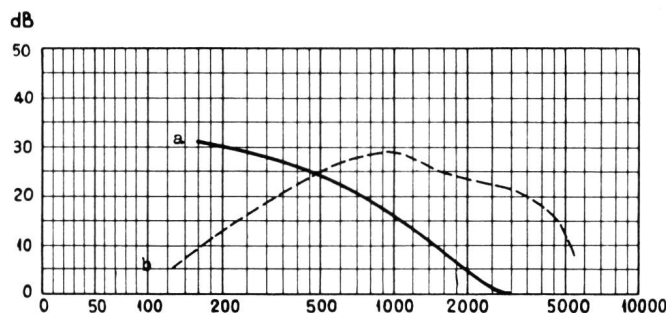


Fig. 27. Störgeräusch am Ohreingang beim Referenzsystem
Bruit perturbateur à l'entrée de l'oreille pour le système de référence

Die nichtlinearen Verzerrungen des Kohlemikrophons wurden nach den Empfehlungen des CCIF mit der Doppeltonmethode gemessen. Die Differenz beider Frequenzen war konstant und gleich 200 Hz. Bezeichnet man mit β_0 dB den mittleren Ausgangspegel der beiden Grundwellen und mit β_a dB den Ausgangspegel des Differenztones, so ist, wenn $(\beta_0 - \beta_a)$ kleiner als 25 dB ist, der Einfluss auf den Verständlichkeits-Index durch folgende Beziehung gegeben:

Les caractéristiques de fréquence représentées par les figures 22 à 25 indiquent les différences entre ces systèmes et la liaison comparative aérienne de 1 m de long avec audition monauriculaire et correction orthotéléphonique. Pour définir le volume de la voix, on admet qu'à une distance de 33,6 cm des lèvres de la personne qui parle la pression acoustique est de $1 \mu\text{b}$. Il en résulte, d'une part, pour la distance normalisée selon les directives du C.C.I.F., à l'embouchure du microtéléphone suisse modèle 1946, une pression acoustique de $11,3 \mu\text{b}$ ou 95 dB au-dessus de 10^{-16} W/cm². D'autre part, on a pour ce volume, à une distance de 1 m des lèvres de la personne qui parle, une intensité acoustique de 64,5 dB au-dessus de 10^{-16} W/cm². Pour obtenir la pression acoustique dans l'oreille faisant règle pour la netteté, il faut ajouter à la dernière pression mentionnée les valeurs en dB indiquées sur les figures 22 à 25.

Pour déterminer le bruit perturbateur dans l'oreille active, on a mesuré l'affaiblissement acoustique du jeu entre le pavillon de l'oreille et le récepteur au moyen du seuil d'audibilité, et l'affaiblissement de l'effet local selon le dispositif de mesure représenté à la figure 18.

Le bruit de salle moyen engendré dans le local de l'auditeur lors des mesures de netteté faites dans le laboratoire du C.C.I.F. a une répartition d'énergie spectrale reposant sur les observations de *Hoth*. Le niveau a été fixé à 60 phones. Voir figure 26.

Il en est résulté pour le système de référence le bruit indiqué à la figure 27 et pour le système commercial le bruit indiqué à la figure 28. La courbe a montre la répartition d'énergie spectrale par Hz à l'entrée de l'oreille et la courbe b, compte tenu de la largeur de bande critique, l'augmentation du

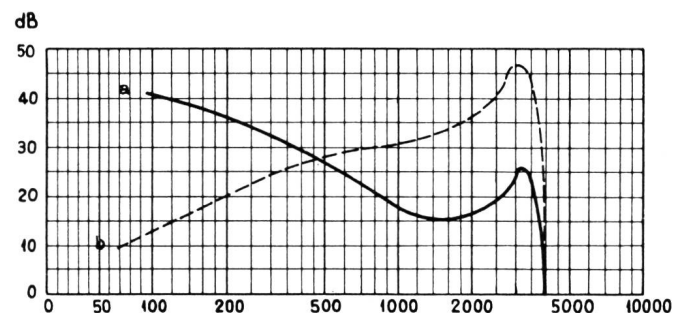


Fig. 28. Störgeräusch am Ohreingang beim kommerziellen System
Bruit perturbateur à l'entrée de l'oreille pour le système commercial

seuil d'audibilité pour la parole due à l'effet de masque.

Les distorsions non linéaires du microphone à charbon ont été mesurées par la méthode de deux ondes sinusoïdales suivant les recommandations du C.C.I.F. La différence entre les deux fréquences est restée constante et égale à 200 Hz. Si l'on désigne par β_0 dB le niveau moyen de sortie des deux ondes fondamentales et par β_a dB le niveau de sortie du son

$$H = 1 - 0,009 \left[25 - (\beta_o - \beta_d) \right]$$

Für die Differenz $(\beta_o - \beta_d)$ wurde der Mittelwert von acht verschiedenen Messungen genommen, die gleichmässig über das Frequenzband verteilt waren.

In der *Tabelle III* sind die wichtigsten Grössen, die in der Rechnung nach *H. Fletcher* und *R. Galt* vorkommen, zusammengestellt und die Werte für die vorliegenden vier Systeme angegeben.

Tabelle III

		R/R	CH/R	R/CH	CH/CH
β_t	Sprechpegel in dB oberhalb 10^{-16} W/cm ² . . .	64,5	64,5	64,5	64,5
β_H	Hörverlust in dB (geschätzter Mittelwert) . .	-4	-4	-4	-4
R	Frequenzgang, bezogen auf den mittleren Sprechpegel β_t	Fig. 22	Fig. 23	Fig. 24	Fig. 25
B	Spektrale Energieverteilung des Störgeräusches	Fig. 27	Fig. 27	Fig. 28	Fig. 28
M	Verdeckungseffekt . . .	Fig. 27	Fig. 27	Fig. 28	Fig. 28
γ	Einfluss des Frequenzganges auf den mittleren Hörpegel	0	0	0	0
$\langle R-M \rangle_1$	Mittelwerte von $\langle R-M \rangle$.	+11,0	+8,0	+14,0	+9,5
$\langle R-M \rangle_4$		+8,0	+5,0	+7,5	+3,5
α	Verstärkung in dB, die in das System eingeschaltet wird (Dämpfung: $-\alpha$) . .	α	α	α	α
$-\alpha_o$	Dämpfung, die in das System eingeschaltet werden muss, um das Sprechniveau an die Hörschwelle zu bringen	-67,5	-64,5	-70,5	-66
F	Einfluss des Frequenzganges auf den Verständlichkeits-Index.	0,825	0,821	0,775	0,779
p	Geschicklichkeitsfaktor (geübter Messtrup) . .	1	1	1	1
$\beta_o - \beta_d$	Verzerrungsdämpf. in dB	∞	26	∞	26
H	Einfluss der nichtlinearen Verzerrungen auf A . . .	1	1	1	1

Der Verdeckungseffekt der eigenen Sprache ist infolge des steilen Frequenzabfalles bei den hohen Frequenzen klein und kann, da er sich bei allen Systemen ungefähr gleich stark auswirkt, für die Berechnung des AEN vernachlässigt werden. In der Rechnung wurde für den Faktor F keine Korrektur gemacht. Ebenso zeigte es sich, dass der Einfluss der Nichtlinearität des Mikrophons auf den Faktor F vernachlässigbar klein ist.

Fig. 29 bis Fig. 32 zeigen die Lautverständlichkeiten in Funktion der Dämpfung, die zusätzlich in die Systeme eingeschaltet werden. Die Kurve a ergab sich aus der Rechnung, und die Kurve b stellt die Werte der subjektiven Messungen im CCIF-Laboratorium dar.

differentiel, l'influence sur l'index de netteté, si $(\beta_o - \beta_d)$ est plus petit que 25 dB, sera donnée par l'équation suivante:

$$H = 1 - 0,009 \left[25 - (\beta_o - \beta_d) \right]$$

Pour la différence $(\beta_o - \beta_d)$, on a pris la valeur moyenne de 8 mesures différentes réparties uniformément sur la bande de fréquences.

Dans le *tableau III*, on a reporté les principales grandeurs qui se présentent dans le calcul de *H. Fletcher* et *R. Galt* et indiqué les valeurs pour les quatre systèmes.

Tableau III

		R/R	CH/R	R/CH	CH/CH
β_t	Niveau de la voix en dB au-dessus de 10^{-16} W/cm ²	64,5	64,5	64,5	64,5
β_H	Perte d'audibilité en dB (moyenne approximative estimée)	-4	-4	-4	-4
R	Caractéristique de fréquence rapportée au niveau moyen de la voix β_t	fig. 22	fig. 23	fig. 24	fig. 25
B	Répartition d'énergie spectrale du bruit perturbateur	fig. 27	fig. 27	fig. 28	fig. 28
M	Effet de masque. . . .	fig. 27	fig. 27	fig. 28	fig. 28
γ	Influence de la caractéristique de fréquence sur le niveau d'audibilité moyen	0	0	0	0
$\langle R-M \rangle_1$	Valeur moyenne de $\langle R-M \rangle$	+11,0	+8,0	+14,0	+9,5
$\langle R-M \rangle_4$		+8,0	+5,0	+7,5	+3,5
α	Gain supplémentaire en dB intercalé dans le système	α	α	α	α
$-\alpha_o$	Affaiblissement à intercaler dans le système pour amener le niveau de la voix au seuil d'audibilité	-67,5	-64,5	-70,5	-66
F	Influence de la caractéristique de fréquence sur l'index d'audibilité . . .	0,825	0,821	0,775	0,779
p	Facteur d'expérience (groupe de mesure expérimenté)	1	1	1	1
$\beta_o - \beta_d$	Affaiblissement de distorsion en dB	∞	26	∞	26
H	Influence des distorsions non linéaires sur A . . .	1	1	1	1

L'effet de masque de sa propre voix est petit par suite de la pente raide des hautes fréquences et peut être négligé pour le calcul de l'AEN du fait qu'il exerce à peu près la même influence sur tous les systèmes. Dans le calcul, on n'a fait aucune correction pour le facteur F. On a également constaté que l'influence de la non-linéarité du microphone sur le facteur F était négligeable.

In *Tabelle IV* sind die Werte für eine Lautverständlichkeit von 80% zusammengestellt. Der Vergleich mit dem Referenzsystem (ARAEN) ergibt das gesuchte AEN.

Les figures 29 à 32 montrent les nettetés pour les sons en fonction de l'affaiblissement supplémentaire intercalé dans le système. La courbe a a été établie par le calcul et la courbe b représente les valeurs des

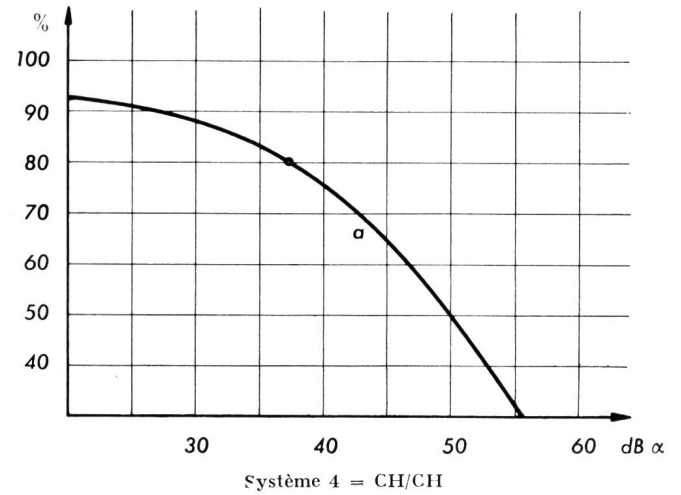
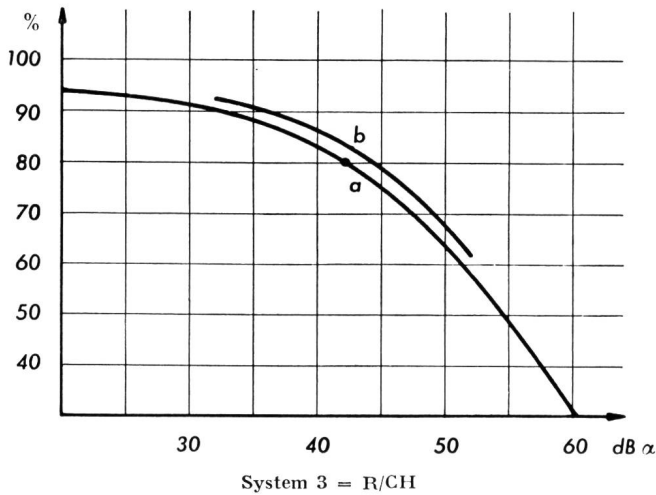
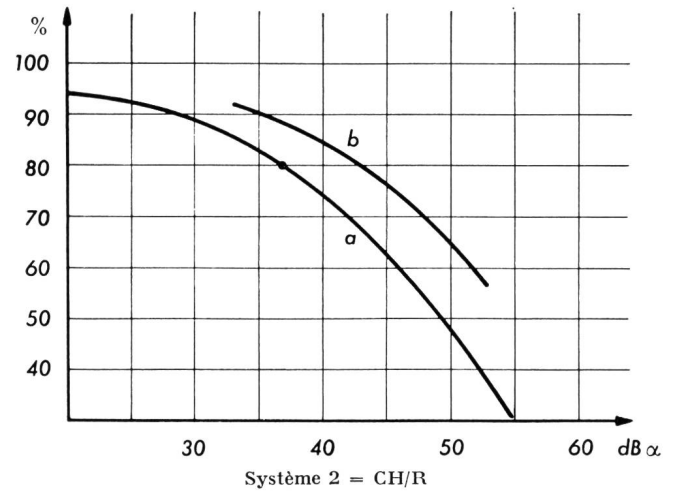
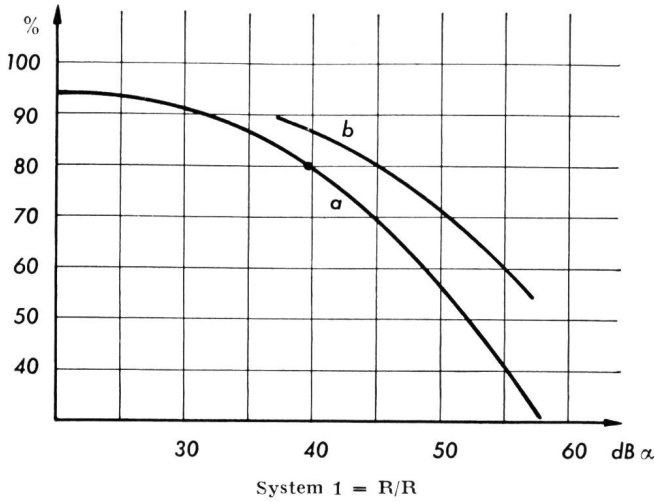


Fig. 29...32. Lautverständlichkeit der Systeme 1 bis 4 in Funktion der Dämpfung, welche zusätzlich in die Systeme eingeschaltet wird — Courbes de variation de la netteté pour les sons des quatre différents systèmes, en fonction de l'affaiblissement de la ligne

Tabelle IV

	System	α für 80%			AEN		
		berechnet dB	CCIF dB	Differenz	berechnet dB	CCIF dB	Differenz
1	R/R	-40,0	-45,6	-5,6	0	0	
2	CH/R	-37,2	-43,2	-6,0	2,8	2,4	-0,4
3	R/CH	-42,1	-44,6	2,5	-2,1	1,0	3,1
4	CH/CH	-37,8	—	—	2,2	—	—
				-4,7			

6. Vergleich der objektiven Berechnung des AEN und der subjektiven Messung des AEN

Da die Ersatzdämpfung für die Verständlichkeit als neue Grösse zur Beurteilung der Qualität eines Telefonsystems eingeführt wird, ist der Vergleich zwischen der Berechnung und der subjektiven Ermittlung von grossem Interesse. Zu diesem Zwecke wurden die Teilnehmersysteme der andern Verwal-

mesures subjectives faites dans le laboratoire du C.C.I.F.

Dans le *tableau IV* on a reporté les valeurs de α pour une netteté pour les sons de 80%. La comparaison avec le système de référence (ARAEN) donne les valeurs de AEN cherchées.

Tableau IV

	Système	α pour 80%			AEN		
		calculé dB	C.C.I.F. dB	Différence	calculé dB	C.C.I.F. dB	Différence
1	R/R	-40,0	-45,6	-5,6	0	0	
2	CH/R	-37,2	-43,2	-6,0	2,8	2,4	-0,4
3	R/CH	-42,1	-44,6	-2,5	-2,1	1,0	3,1
4	CH/CH	-37,8	—	—	2,2	—	—
				-4,7			

6. Comparaison du calcul objectif et de la mesure subjective de l'AEN

Du fait que l'affaiblissement équivalent pour la netteté a été introduit comme nouvelle grandeur pour

tungen, an denen die Verständlichkeitsmessungen der 8. und 9. Serie im CCIF-Laboratorium schon durchgeführt worden waren, nach der oben beschriebenen Methode ausgemessen und die Verständlichkeit berechnet. Bis auf den Sprechpegel waren dieselben Bedingungen vorhanden wie im vorstehend beschriebenen Beispiel. Der Sprechpegel war um 2 dB kleiner. *Tabelle V* zeigt die Zusammenstellung der Resultate.

juger la qualité d'un système téléphonique, la comparaison entre le calcul et la détermination subjective présente un grand intérêt. A cet effet, on a mesuré, selon la méthode décrite ci-dessus, les systèmes d'abonnés d'autres administrations sur lesquels le laboratoire du C.C.I.F. avait déjà fait les mesures de netteté des 8^e et 9^e séries, et on a calculé la netteté. A part le niveau de la voix, qui était de 2 dB plus

Tabelle V — Tableau V

Sender Emetteur	Empfänger Récepteur	F	H	α_0	α für 80% pour CCIF			$\Delta\alpha$	AEN		Δ AEN
					berechnet calculé	8. Serie	9. Serie		berechnet calculé	CCIF	
				dB	dB	dB	dB	dB	dB	dB	
R	R	0,825	1,0	-65,5	-38,0	-46,1	-48,0	- 9,1	0	0	0
I	R	0,800	0,865	-49	-17,0		-21,5	- 4,5	21,0	26,5	5,5
R	I	0,777	1,0	-69,9	-35,6		-41,7	- 6,1	2,4	6,3	3,9
I	I	0,779	0,865	-44,4	- 8,6	-61,7		- 8,1	29,4	29,4	0,0
II	R	0,814	0,946	-54,5	-26,0		-36,3	-10,3	12,0	11,7	-0,3
R	II	0,785	1,0	-63,6	-30,6		-35,2	- 4,6	7,4	12,8	5,4
II	II	0,767	0,946	-50,1	-16,2	-19,0		- 2,8	21,8	27,1	5,3
III	R	0,788	0,955	-54,3	-22,6		-32,6	-10,0	15,4	15,4	0
R	III	0,746	1,0	-62,8	-24,0		-32,1	- 8,1	14,0	15,9	1,9
III	III	0,734	0,955	-41,6	- 2,9	-16,6		-13,7	35,1	29,5	-5,6
IV	R	0,797	0,820	-45,5	-13,7		-21,5	- 7,8	24,3	26,5	2,2
R	IV	0,759	1,0	-62,3	-28,7		-36,3	- 7,6	9,3	11,7	2,4
IV	IV	0,746	0,820	-40,2	- 1,5	- 7,4		- 5,9	36,5	38,7	2,2
V	R	0,804	0,820	-56,3	-23,5		-31,1	- 7,6	14,5	16,9	2,4
R	V	0,752	1,0	-71,2	-32,8		-39,9	- 7,1	5,2	8,1	2,9
V	V	0,775	0,820	-52,8	-14,3	-24,8		-10,5	23,7	21,3	-2,4
								- 7,7			

Die verschiedenen Teilnehmersysteme sind mit I bis V nummeriert.

Aus der Kolonne mit den $\Delta\alpha$ ersieht man, dass bei den subjektiven Versuchen im CCIF für eine Lautverständlichkeit von 80% im Durchschnitt eine um 7,7 dB höhere Dämpfung vorhanden war. Da der Hörverlust und der Geschicklichkeitsfaktor der Testgruppe unbekannt sind, kann über diese Differenz nicht viel ausgesagt werden. Immerhin ist anzunehmen, dass die wohldefinierten Esperanto-Laute, die für die Versuche verwendet werden, leichter verständlich sind als englische Laute, welche der Verständlichkeitsberechnung zugrunde gelegt sind.

Aus Kolonne Δ AEN lassen sich folgende Mittelwerte bilden:

Sender	Kombination Empfänger	Mittlere Abweichung
X	R	2,0
R	X	3,3
X	X	-0,2

R = Referenzsystem
X = kommerzielles System

faible, toutes les conditions étaient les mêmes que dans l'exemple décrit ci-dessus. Le tableau V donne une récapitulation des résultats. Les différents systèmes d'abonnés sont numérotés de I à V.

La colonne des $\Delta\alpha$ fait constater que lors de la détermination des AEN au laboratoire du C.C.I.F., l'affaiblissement était en moyenne de 7,7 dB plus élevé. Comme la perte d'audibilité et le facteur d'expérience du groupe de test sont inconnus, on ne peut pas dire grand-chose de cette différence. Il est à supposer toutefois que les consonnantes d'espéranto bien définies utilisées pour les essais étaient plus facilement compréhensibles que les consonnantes anglaises qui sont à la base du calcul de netteté.

La colonne des Δ AEN permet d'établir les moyennes suivantes:

Emetteur	Combinaison Récepteur	Ecart moyen
X	R	2,0
R	X	3,3
X	X	-0,2

R = Système de référence
X = Système commercial

Wie die Versuche zeigen, gibt die beschriebene Mess- und Rechenmethode eine Möglichkeit, das AEN eines unbekanntes Systems aus den physikalischen Grössen zu berechnen. Die vorhandenen Abweichungen gegen die direkte subjektive Messung rühren von der Schwierigkeit her, die bei den Verständlichkeitsversuchen tatsächlich vorhandenen Bedingungen zu erfassen und in der Rechnung zu berücksichtigen. Wenn auch die absoluten Werte gewissen Streuungen unterworfen sind, so kann man doch bei einem bekannten System den Einfluss eines jeden Elementes im Übertragungsweg genau bestimmen, was für die Planung der Telephonnetze sehr wichtig ist.

Comme les expériences l'ont montré, la méthode de mesure et de calcul décrite donne la possibilité de déterminer l'AEN d'un système inconnu d'après ses grandeurs physiques. Les écarts par rapport à la mesure subjective directe sont dus à la difficulté qu'il y a à saisir les conditions réelles dans lesquelles se font les mesures de netteté et à en tenir compte dans les calculs. Même si les valeurs absolues sont affectées de certaines dispersions, on peut cependant déterminer exactement, pour un système connu, l'influence des divers éléments constituant la voie de transmission, ce qui pour la planification des réseaux téléphoniques est d'une très grande importance.

Schwingungserzeugung bei Zentimeterwellen

Von Hans Severin, Göttingen

621.396.615.1.029.64

Die Technik der Zentimeter- und Dezimeterwellen ermöglicht auf Grund der enormen Entwicklung während des letzten Jahrzehnts heute Anwendungen im Nachrichtenverkehr, die man früher allein der Leitungstechnik vorbehalten glaubte. In jüngster Zeit benutzt man Wellen um zehn Zentimeter Wellenlänge für Mehrkanalverbindungen und ersetzt die verhältnismässig teureren Breitbandkabel durch drahtlose Richtverbindungen. Die ökonomischen Vorteile dieser an optische Sicht gebundenen Anlagen können gerade in der Schweiz wegen der gebirgigen Oberflächengestalt voll ausgeschöpft werden.¹⁾ — Entscheidenden Anteil an dem bisher Erreichten hat die noch im Fluss befindliche Entwicklung einer ganzen Reihe neuer, leistungsfähiger Röhren für diesen Frequenzbereich. Über die den verschiedenen Typen zugrunde liegenden physikalischen Ideen, den Schwingungsvorgang und die bisher erzielten Ergebnisse soll im folgenden eine zusammenfassende Übersicht gegeben werden.

La technique des ondes centimétriques et décimétriques s'est énormément développée au cours de la dernière décennie et permet aujourd'hui, dans le domaine des télécommunications, d'effectuer des transmissions qui semblaient exclusivement réservées aux circuits métalliques. On a commencé dernièrement à utiliser les ondes de dix centimètres de longueur environ pour des liaisons multivoies et à remplacer les câbles à large bande, relativement chers, par des liaisons à rayons dirigés. En Suisse particulièrement, du fait de la nature montagneuse du pays, les avantages d'ordre économique que procurent ces installations, qui ne peuvent fonctionner que s'il y a visibilité directe entre les points à relier, pourront être pleinement exploités.¹⁾ Les résultats déjà acquis sont dus pour une grande part à toute une série de nouveaux tubes — dont le développement se poursuit — pour cette gamme de fréquences. Les lignes qui suivent donnent un aperçu des principes physiques appliqués dans les divers types de tubes, des processus d'oscillation et des résultats obtenus.

Als Heinrich Hertz vor mehr als einem halben Jahrhundert seine klassischen Versuche über elektromagnetische Wellen anstellte, verwendete er eine Wellenlänge von etwa 30 cm. Aus verschiedenen Gründen hat sich die Rundfunk- und Nachrichtentechnik zunächst sehr viel längerer Wellen bedient. Erst im letzten Jahrzehnt hat die Entwicklung von Oszillatoren für elektromagnetische Wellen von einigen Dezimetern bis herab zu wenigen Zentimetern Wellenlänge in steigendem Masse Interesse gefunden. Die Technik hat während des Krieges für die Erfordernisse der Ortung und des Nachrichtenwesens eine Reihe von Röhrentypen für diesen Wellenlängenbereich herausgebracht.

Die Verwendung von normalen Rundfunktrioden zur Schwingungserzeugung stösst mit zunehmender Frequenz im wesentlichen auf zwei Schwierigkeiten: Einmal machen sich Zuleitungs- und Kreiseinflüsse

störend bemerkbar, und zum anderen versagt der Mechanismus der Triode, weil bei sehr hochfrequenten Schwingungen die Laufzeit der Elektronen zwischen den Elektroden von der Grössenordnung der Schwingungsdauer wird. Zur Behebung der ersten Schwierigkeit gibt man den Schwingkreisen in diesem Frequenzbereich die Form von Doppelleitungsstücken oder Hohlraumresonatoren und baut diese zur Vermeidung eigener Zuführungen organisch mit dem Röhrensystem zusammen. Die Laufzeiterscheinungen haben u. a. eine frequenzabhängige Phasenverschiebung des Anodenwechselstroms gegenüber der Steuerspannung am Gitter zur Folge, so dass oberhalb einer bestimmten Frequenz eine Verstärkung bzw. eine Selbsterregung wegen Nichterfüllung der Rückkopplungsbedingung nicht mehr möglich ist. Man kann dem Rechnung tragen, indem man die Abmessungen in der Röhre verkleinert; dieser Methode, deren konsequente Durchführung auf die Scheibentrioden führt, ist natürlich durch die technisch erreichbaren Elektrodenabstände eine Grenze gesetzt. Man hat daher aus der Not eine Tugend gemacht und die bei der Triode unvermeidlichen und störenden Effekte der Elektronenträgheit durch Änderung der Röhrenkonstruktion ausgenützt. Dies führte zur Entwicklung der Laufzeitröhren, die wir unterteilen in

¹⁾ W. Gerber und F. Tank. Höhenstationen und Höhenverbindungen. Techn. Mitt." PTT, 1947, Nr. 5, S. 177...186.

W. Klein und J. Dufour. Rundsprachversuche mit frequenzmodulierten Ultrakurzwellen. Techn. Mitt." PTT, 1948, Nr. 1, S. 1...21, und Nr. 2, S. 61...83.

W. Gerber. Richtstrahlstrategie. Techn. Mitt." PTT, 1949, Nr. 1, S. 1...3.

W. Klein. Richtstrahl-Übergangsversuche in den Alpen. Techn. Mitt." PTT, 1949, Nr. 2, S. 49...69.