

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: 34 (1956)

Heft: 4

Artikel: Die Empfangsseite einer radioelektrischen Rundspruchübertragung und ihr Einfluss auf die tonfrequente Bandbreite

Autor: Ebert, W.

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-874517>

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>

d'un dipôle émetteur orienté tour à tour vers chacun d'eux. Les écarts entre les champs indiqués par ces appareils furent inférieurs à 3 dB après que l'on eut corrigé les lectures en adoptant comme terme de comparaison des tensions à leur entrée la sortie d'un même générateur de tarage.

Les mesures de champ à proximité immédiate des récepteurs selon la méthode Dorsman furent exécutées au moyen d'un indicateur Rohde et Schwarz Type HUZ alimenté par batteries. Cet appareil n'a pas été comparé aux autres champ-mètres.

Die Empfangsseite einer radioelektrischen Rundspruchübertragung und ihr Einfluss auf die tonfrequente Bandbreite

Von W. Ebert, Bern

621.396.813:621.376

Zusammenfassung. Mit der Einführung des Ultrakurzwellen-Rundspruchs in der Schweiz ist auch die Frage der maximal zu übertragenden Tonfrequenzbandbreite wieder aktuell geworden. Die vorliegenden Betrachtungen greifen aus der gesamten Übertragungskette Schallquelle-Mikrophon-Verstärker-Modulationsleitung-Sender-Empfänger-Ohr einige Probleme der Empfangsseite heraus.

Als Diskussionsgrundlage dienen die einleitend gestreiften physiologischen Gegebenheiten sowie die Versuche zur Feststellung der vom Durchschnittshörer bevorzugten Frequenzbandbreite. Eine nähere Untersuchung der Eigenschaften der Empfangsgeräte zeigt, dass der Lautsprecher frequenzbandmässig das kritischste Element darstellt. Obwohl die tatsächliche Ausnützung des ganzen Tonfrequenzbereiches an sich sehr erwünscht wäre, steht der Qualitätsgewinn bei Erweiterung des Bereiches von 10 000 auf 15 000 Hz in keinem vernünftigen Verhältnis zum vermehrten Aufwand.

Die akustische Qualität einer Radioübertragung im Mittelwellenbereich ist in erster Linie durch die hochfrequenten Eigenschaften des Radiokanals gegeben und damit begrenzt. Im Gegensatz dazu steht die FM-UKW-Übertragung. Hier führt der Radiokanal zu keiner Einschränkung der oberen Tonfrequenzgrenze. Vom Radiokanal aus gesehen, ist es hier durchaus möglich, den ganzen Frequenzumfang des menschlichen Ohres, also bis zu einer oberen Grenze von 15 000 Hz und mehr, zu übertragen. Es stellt sich die Frage, wie sich die andern Glieder der Übertragungskette vom Mikrophon bis zum Lautsprecher zu der durch den Radiokanal der FM-UKW-Übertragung möglich gewordenen Erweiterung des Tonfrequenzumfangs stellen.

Die vorliegenden Betrachtungen befassen sich nur mit der Empfangsseite der genannten Übertragungskette.

Physiologische Gegebenheiten

Bevor auf die tonfrequenzmässigen Eigenschaften und Möglichkeiten der Empfänger und Lautsprecher eingetreten wird, ist es angezeigt, einige physiologische Gegebenheiten im Zusammenhang mit Musik und Geräuschen in Erinnerung zu rufen [1]. *)

Die untere Tonfrequenzgrenze ist die tiefste Frequenz, die für das menschliche Ohr noch eine Tonempfindung auszulösen vermag. Sie ist individuell und hängt zudem von einer Reihe von physikalischen Faktoren, wie zum Beispiel von der Intensität und

der Wellenform des Tones ab. Unter den günstigsten Bedingungen können die meisten Personen noch Tonempfindungen bis hinab zu 12 Hz aufnehmen.

Die obere Tonfrequenzgrenze ist die höchste vom menschlichen Ohr noch hörbare Frequenz. Sie ist sehr individuell und nimmt mit zunehmendem Alter ab. Im Mittel liegt sie für Menschen unter 40 Jahren mit gutem, weder durch Krankheiten noch Verletzungen geschwächtem Gehör bei etwa 15 000 bis 16 000 Hz. Es gibt jedoch ziemlich viele Menschen, die, namentlich in jüngeren Jahren, Frequenzen bis gegen 20 000 Hz zu hören vermögen.

Durch Untersuchungen mit Tonaudiometrie an Telephonistinnen in Westdeutschland [2] wurde festgestellt, dass nicht weniger als 41,2% der Versuchspersonen mehr oder weniger ausgesprochene Defekte in der Tonauffassung hatten. Davon entfielen 78% auf reine Mittelohrleiden und auf nach diesem Leiden zurückgebliebene Defekte, während 10,3% der Gehördefekte auf reinen Perzeptionsleiden beruhten.

Der durchschnittliche Verlauf der Gehörcharakteristik in Funktion des Alters [1] geht aus *Tabelle I* hervor:

Tabelle I Hörverlust in db

Frequenz in Hz	Alter in Jahren					
	10-19	20-29	30-39	40-49	50-59	60-69
100	0	0	- 0,8	- 1,5	- 2,5	- 3,0
1 000	0	0	- 1,0	- 2,5	- 6,0	-11,0
2 000	0	0	- 2,0	- 5,0	-13,0	-21,0
4 000	+1,0	0	- 3,5	- 8,0	-20,0	-31,0
10 000	+4,0	0	- 6,0	-14,0	-30,0	-45,0

Das menschliche Ohr ist in der Lage, innerhalb des Hörbereiches etwa 1400 gerade noch bemerkbare Tonhöhendifferenzen festzustellen. Am empfindlichsten auf Frequenzänderungen ist es bei höheren und höchsten Frequenzen. Während es zum Beispiel in der Lage ist, zwischen 62 und 125 Hz 30 diskrete Frequenzstufen zu unterscheiden, sind es zwischen 1000 und 2000 Hz bereits deren 280.

Damit das Ohr einen Ton auch wirklich als solchen wahrnimmt, muss dieser während einer gewissen Zeit auf dasselbe einwirken können. Ist die Dauer des

*) Vgl. Bibliographie am Ende des Aufsatzes

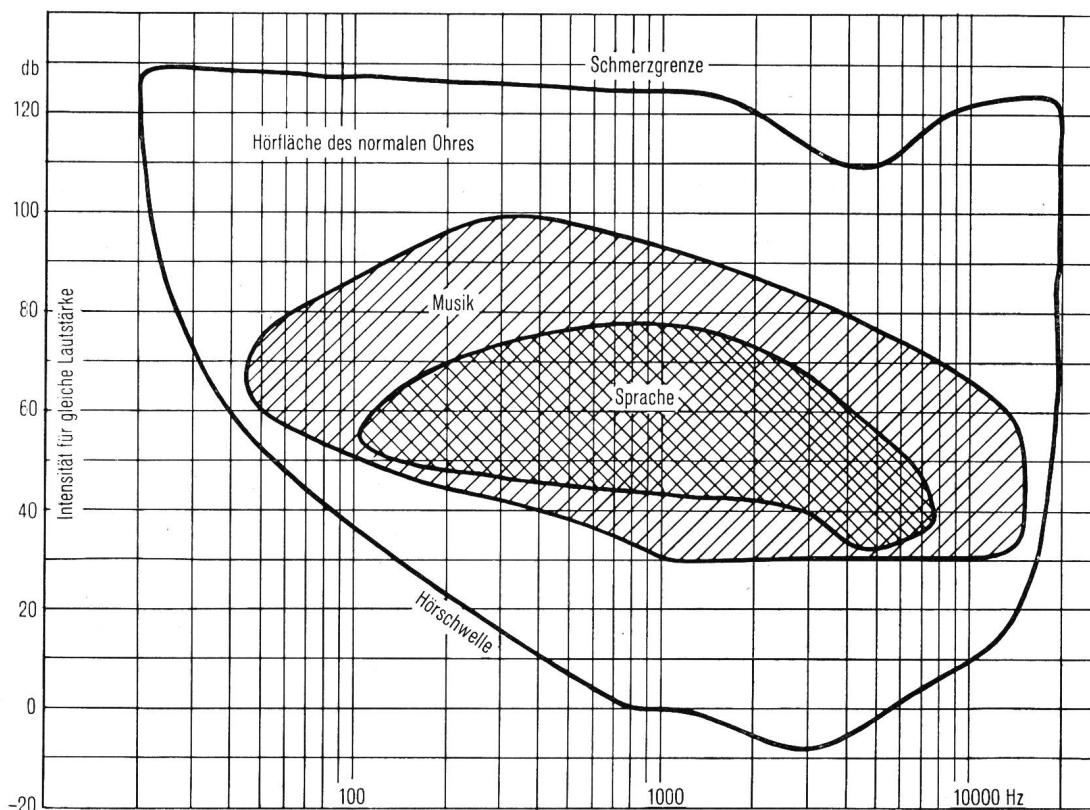


Fig. 1
Hörfläche des normalen Ohres. Minimale Frequenz- und Intensitätsbereiche von Sprache und Orchestermusik, für die noch keine Qualitätseinbuße feststellbar sind

Tones sehr kurz, etwa 1 ms, so wird er als Knack wahrgenommen. Ist er etwas länger, so erscheint er als Geräusch mit etwas beigegebenem Ton. Nimmt die Tonlänge zu, so wird er allmählich auch als definierter Ton wahrgenommen; die durchschnittliche Zeit dafür beträgt etwa 13 ms.

Der Frequenzbereich des mittleren normalen menschlichen Gehörs umfasst also Frequenzen von etwa 20 bis 16 000 Hz. Die Frequenzbereiche der meisten Tonfrequenz-Übertragungseinrichtungen sind jedoch wesentlich schmaler. Es stellt sich die Frage, welches die zulässigen Grenzen einer Frequenzbandbescheidung sind. Die minimalen Frequenz- und Intensitätsbereiche von Sprache und Orchestermusik, für die noch keine Qualitätseinbuße irgendwelcher Art feststellbar sind, sind aus Figur 1 ersichtlich [3]. Die subjektiv vollständig getreue Wiedergabe von Sprache erfordert demnach einen Frequenzbereich von 100...8000 Hz und eine Dynamik von 40 db. Eine subjektiv vollständig getreue Wiedergabe von Orchestermusik hingegen beansprucht einen Frequenzbereich von 40...15 000 Hz und eine Dynamik von 70 db.

Die für eine subjektiv vollständig naturgetreue Wiedergabe von Musikinstrumenten, Sprache und Geräuschen erforderlichen Frequenzbereiche können aus einer Arbeit von Snow entnommen werden (Fig. 2). Es ist daraus ersichtlich, dass die obere Frequenzgrenze für völlig naturgetreue Wiedergabe infolge der zahlreichen Obertöne der Musikinstrumente bei 15 000 Hz gezogen werden muss. Die Grundtöne der Instrumente erfordern eine untere Grenze bei mindestens 40 Hz.

Der Einfluss einer Frequenzbandbescheidung auf die Wiedergabequalität von Musik zeigt eine graphische Darstellung von Snow [4] in Figur 3. Auch hieraus ist ersichtlich, dass für eine Wiedergabe ohne den geringsten merkbaren Qualitätsverlust, also für eine 100%ige Wiedergabequalität, ein Frequenzbereich von 40 ...15 000 Hz übertragen werden muss. Die Darstellung zeigt aber auch, dass mit einem auf 60...10 000 Hz beschnittenen Frequenzumfang die Qualitätseinbuße erst etwa 4% ausmacht, das heisst, es ist immer noch mit einer 96%igen Wiedergabequalität zu rechnen.

Versuche zur Feststellung der vom Durchschnittshörer bevorzugten Frequenzbandbreite

Über einen interessanten Versuch zur Feststellung des von einem durchschnittlichen Hörer bei der Wiedergabe von Sprache und Musik bevorzugten Frequenzbereiches berichten Chinn und Eisenberg [5]. Die Versuche wurden in einem Raum durchgeführt, der ähnliche akustische Eigenschaften aufwies wie ein grosser Wohnraum. Es wurden sowohl hochqualitative Aufnahmen als auch direkte Drahtübertragungen vom Studio aus verwendet, und zwar mit verschiedenartigster Musik und Sprache. Das Wiedergabegerät hatte einen variablen Frequenzgang mit drei Stellungen (Fig. 4), und zwar je eine Stellung «schmal», «mittel» und «breit». Verglichen wurden jeweils die Wiedergaben der Stellungen «schmal» gegen «mittel», «mittel» gegen «breit» und «schmal» gegen «breit», woraus sich die in Tabelle II aufgeführten Prozentsätze ergeben:

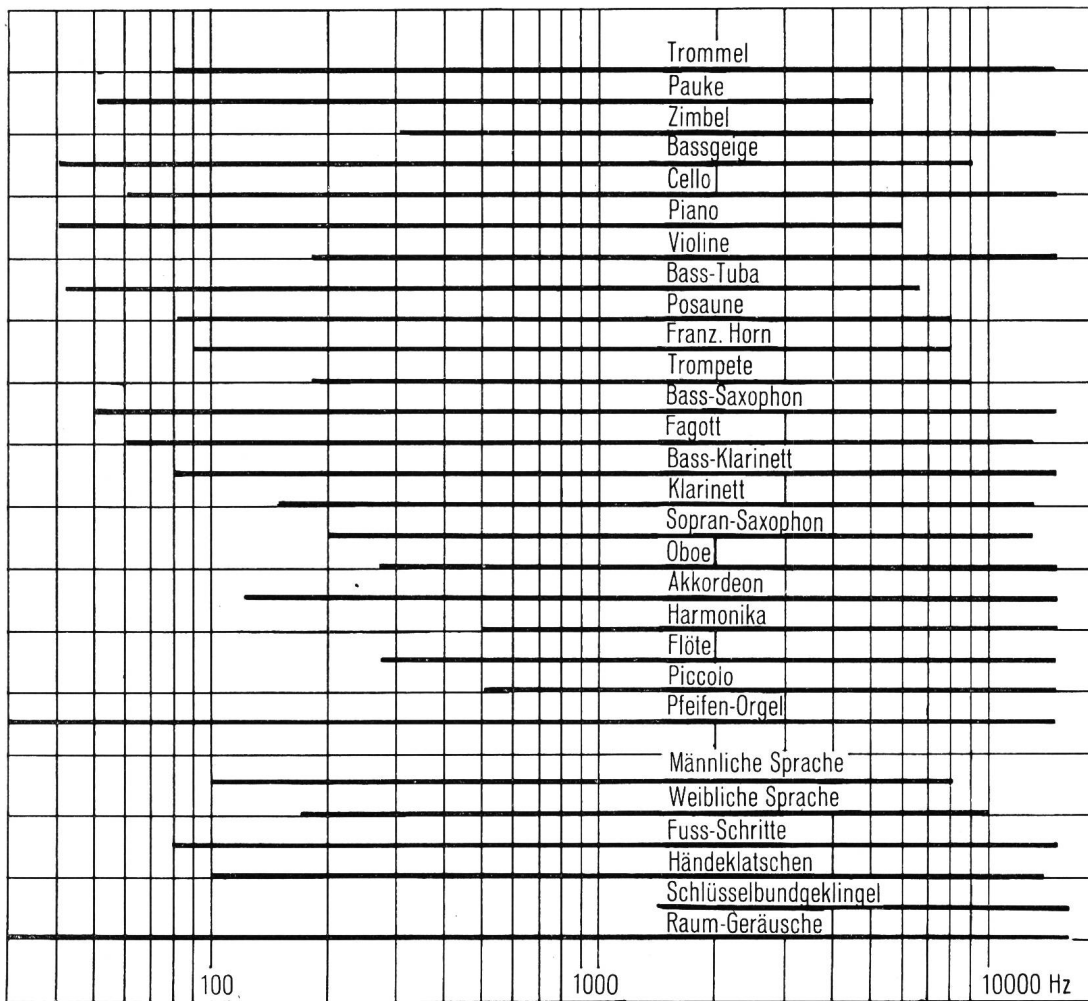


Fig. 2
Frequenzbereiche, die für eine subjektiv vollständig naturgetreue Wiedergabe von Musikinstrumenten, Sprache und Geräuschen erforderlich sind (nach Snow)

Tabelle II

Vergleich	Stellung	Bei klassischer Musik	Bei männlicher Sprache
«schmal» gegen «mittel»	schmal	38%	25%
	mittel	19%	52%
	kein Vorzug	43%	23%
«mittel» gegen «breit»	mittel	67%	55%
	breit	12%	21%
	kein Vorzug	21%	24%
«schmal» gegen «breit»	schmal	58%	48%
	breit	15%	24%
	kein Vorzug	27%	28%

Interessanterweise ziehen die Hörer gemäss diesem Versuch entweder das schmale oder das mittlere Frequenzband dem breiten vor. Die möglichen Gründe für diese Ergebnisse sind:

1. Der durchschnittliche Hörer hat sich nach dem jahrelangen Abhören des konventionellen Rundspruchs an das eingeschränkte Frequenzband gewöhnt und meint, das sei das natürlichere Klangbild;
2. Verzerrungen und Abweichungen von der getreuen Wiedergabe machen sich mit beschränktem Frequenzgang weniger bemerkbar.

Als Ursachen für die widernatürliche Wiedergabe mit breitem Frequenzbereich sind zu nennen: nicht-lineare Verzerrungen, räumlich ungünstige Schallverteilung, Einkanalssystem, Phasenverzerrungen, Einschwingvorgänge, Raumakustik des Aufnahme- und Wiedergaberaumes, beschränkte Dynamik, abnormale Pegeldifferenzen von Original und Wiedergabe, Störungen.

Um abzuklären, ob der durchschnittliche Hörer auch bei Originalmusik und Sprache, die frei von allen den genannten Beeinträchtigungen sind, die durch die Übertragung verursacht werden, das eingeschränkte Frequenzband dem vollen Frequenzband vorziehe, machte Olson [6] folgenden Versuch:

Ein kleines Orchester wurde durch ein schwenkbares akustisches Filter von den Zuhörern getrennt. Ferner verhinderte ein Stoffvorhang, der Frequenzen bis 10 000 Hz ohne merkbare Dämpfung und 15 000 Hz mit einer Dämpfung von weniger als 2 db durchliess, die Sicht der Hörer auf das akustische Filter. Das Filter konnte demnach, ohne dass die Hörer etwas davon sahen, ein- oder ausgeschwenkt werden. Das eingeschwenkte Filter wirkte als Tiefpass mit einer Grenzfrequenz von 5000 Hz, während bei ausgeschwenktem Filter der volle Frequenzbereich bis 15 000 Hz passieren konnte.

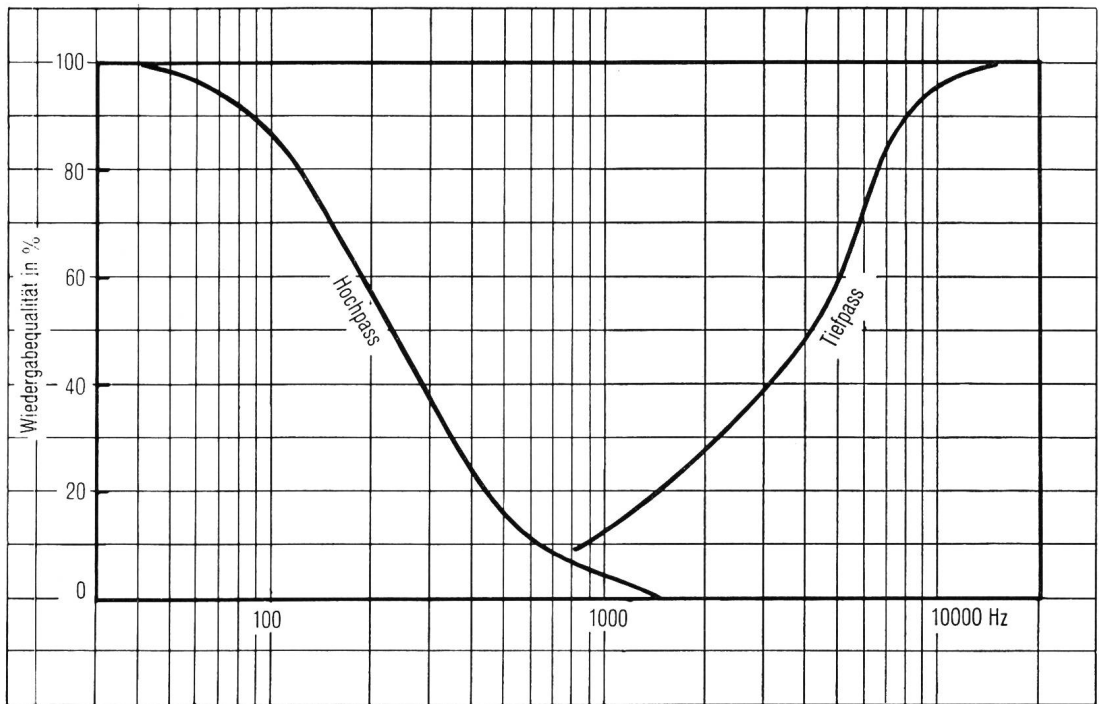


Fig. 3
Einfluss der Frequenzbandbescheidung auf die Wiedergabequalität von Musik (nach Snow)

Das Orchester bestand aus 6 Mann und spielte leichte Musik. Der mittlere Tonpegel im Raum war etwa 70 db. Alle 30 Sekunden wurde der Wechsel von «schmal» (5000 Hz) auf «voll» (15 000 Hz) oder umgekehrt durchgeführt und die Hörer über die bevorzugte Stellung befragt.

Bei Musik bevorzugten 69% der Hörer den vollen Frequenzbereich, während 31% für den schmalen Bereich waren. Bei Sprache waren sogar 74% für «voll» und nur 26% für «schmal».

Der Grund für die unterschiedlichen Resultate der beiden Versuche liegt ohne Zweifel in den durch die Übertragung verursachten, wenn auch kleinen Verzerrungen. Der Grad der zulässigen Verzerrungen nimmt demnach mit zunehmendem Frequenzbereich sehr rasch ab.

Einfluss der niederfrequenten Bandbreite auf die Dimensionierung der FM-Empfänger

Eine UKW-FM-Übertragung ermöglicht ohne weiteres einen Frequenzumfang von 30...15 000 Hz, wobei ein Geräuschabstand von 70 db anzustreben ist. Der Klirrfaktor bis zum Lautsprecher muss aus den voranstehend erwähnten Gründen unterhalb 2% gehalten werden [7].

Eine Ausdehnung des Wiedergabebereiches über 10 000 Hz bringt hingegen sehr viele Schwierigkeiten mit sich, die wohl nicht unüberwindbar sind, wirtschaftlich aber doch ganz erheblich ins Gewicht fallen. Wenn nämlich der Klangeindruck ganz richtig sein soll, muss einer Ausweitung des Frequenzbereiches nach oben eine Erweiterung des Bandes nach den Tiefen hin parallel gehen, da erfahrungsgemäss der Schwerpunkt des übertragenen Frequenzbandes stets bei mittleren Frequenzen verbleiben sollte. Bisher wird dies praktisch häufig nicht erreicht, da eine der

Erweiterung der Höhen entsprechende Abstrahlung der tiefen Töne einen grossen, wirtschaftlich oft nicht vertretbaren Aufwand erfordert. Dadurch klingt eine FM-Sendung gerne dünn und spitz. Es ist nämlich verhältnismässig einfach, zum Beispiel durch geeignete Verwendung eines zusätzlichen Hochtonlautsprechers, eine oder vielleicht auch eineinhalb Oktaven an hohen Tönen hinzuzusetzen, unverhältnismässig schwerer und teurer ist es aber, das Frequenzband nach unten zu erweitern. Diese Massnahme kostet nämlich viel Eisen und Kupfer in den Übertragern, bessere Siebung im Netzteil, grössere Leistung der Endstufe und grössere Lautsprecher und Gehäuse [8]. Aus preislichen Gründen werden demnach in vielen Fällen, wenigstens vorläufig, die Qualitätsmöglichkeiten des FM-Rundspruchs nicht voll ausgenutzt werden können. Man wird meist auf eine wirklich gute Wiedergabe der tiefen Töne verzichten und demgemäss die hohen Töne doch wieder absenken, um einen «angenehmen» Klangeindruck zu erreichen.

Die elektrischen Frequenzgangeigenschaften von Empfängern

Wie verhalten sich nun, rein elektrisch gesehen, die handelsüblichen FM-Empfänger in bezug auf die vorgenannten Forderungen? Um dies beurteilen zu können, seien die Resultate einiger Empfängerprüfberichte der Forschungs- und Versuchsanstalt herausgegriffen. Die Figur 5 zeigt die über dem Lautsprecher-Ersatzwiderstand gemessenen Frequenzgänge von vier AM-FM-Empfängern. Die Tonblende war in allen Fällen auf «hell» gestellt.

Obwohl diese vier Empfänger keinen Anspruch darauf erheben, repräsentativ für die heutigen handelsüblichen Empfänger zu sein – zählen sie doch

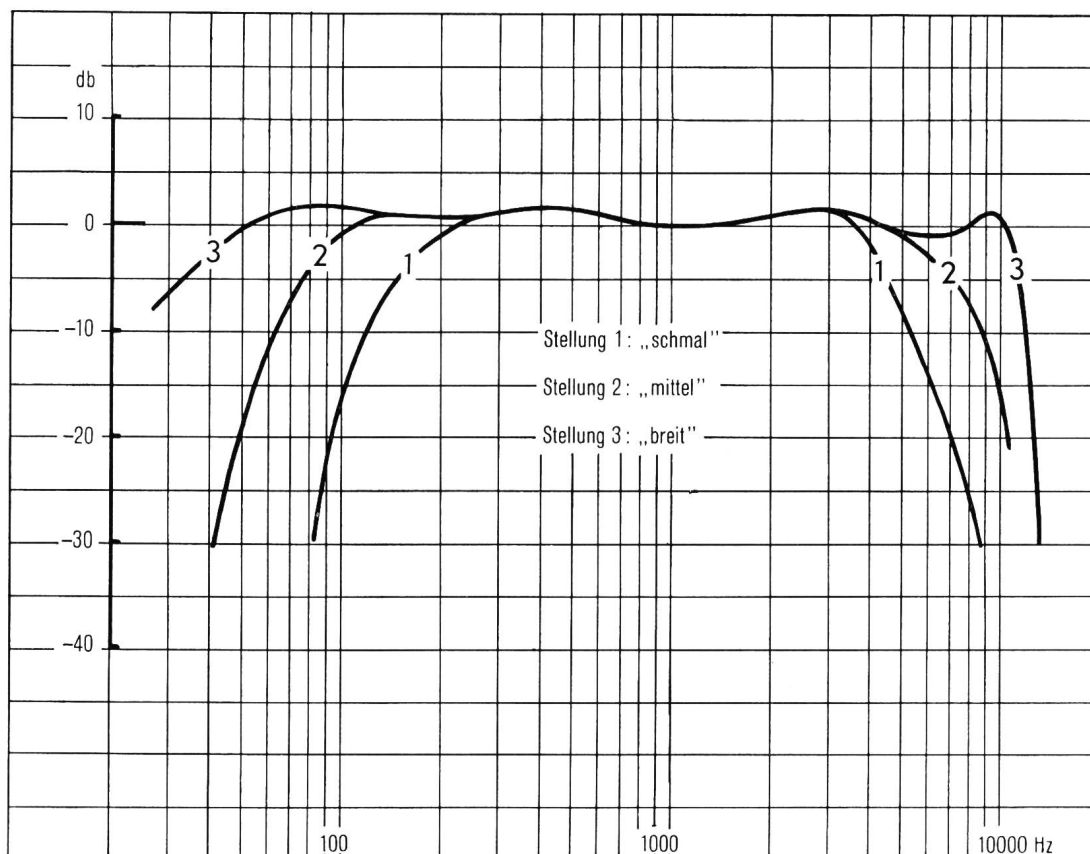


Fig. 4
Frequenzgang des Wiedergabegerätes für die subjektiven Hörversuche von Chinn und Eisenberg

nicht zu den modernsten Produkten der Radioindustrie –, so geben sie doch etwelche Auskunft über die rein elektrischen Frequenzangeigenschaften von durchschnittlichen Empfangsgeräten mittlerer Preislage. Man kann zudem annehmen, dass die moderneren Geräte noch bessere Resultate zeitigen werden.

Die Kurven 3 und 1 zeigen, dass es, rein elektrisch gesehen, für die heutigen Empfangsgeräte kein Problem mehr ist, der Forderung von 40...15 000 Hz gerecht zu werden.

Die Lautsprecher

Das schwächste Glied in der ganzen Übertragungskette vom Mikrophon zum Lautsprecher ist ohne Zweifel der Lautsprecher. Er stellt demnach das schwierigste Problem im Empfänger dar [9]. Es wird von ihm gefordert, dass er bis 15 000 Hz einen möglichst ausgeglichenen Frequenzgang aufweist und dass die Abstrahlung über einen möglichst grossen Winkelbereich konstant ist. Grundsätzlich ist es jedoch so, dass ein Strahler nur dann ungerichtet abstrahlt, wenn seine linearen Abmessungen klein sind gegenüber der abgestrahlten Wellenlänge. Für hohe Frequenzen müssen also Strahler verwendet werden, deren Abmessungen im Verhältnis zur abgestrahlten Wellenlänge klein sind. Für die Abstrahlung von tiefen Frequenzen ist jedoch umgekehrt eine möglichst grosse strahlende Oberfläche notwendig. Diese Überlegungen führten zum Bau von Kombinationslautsprechern, wobei durch zwei oder mehrere Strahler verschiedener Grösse das ganze Frequenzgebiet in

einzelne Teilgebiete unterteilt wird. Der koaxiale Kombinationslautsprecher stellt hier eine brauchbare Lösung dar. Auch Apparate mit dem sogenannten «3-D-Ton-Raumklangsystem» liefern ganz interessante Resultate [10]. Es wird dabei durch besondere räumliche Anordnung der einzelnen Lautsprecher näherungsweise eine Kugelstrahlerordnung realisiert.

Fest steht, dass es nicht möglich ist, mit gewöhnlichen einfachen Lautsprechern den gesamten Frequenzbereich ausgeglichen und zudem über einen möglichst grossen Winkelbereich abzustrahlen. Um die FM-UKW-Qualität auch wirklich ausnützen zu können, ist die Ausrüstung der Empfänger mit Speziallautsprechern, bzw. mit mehreren Lautsprechern in besonderer Anordnung unerlässlich.

Von diesem Standpunkt aus betrachtet, sind die meisten der heutigen handelsüblichen AM-FM-Empfänger der niederen und zum Teil auch der mittleren Preisklasse gar nicht in der Lage, den vollen Frequenzbereich von 40...15 000 Hz in geeigneter Form wiederzugeben. Die neuesten Empfänger der mittleren und höheren Preisklasse werden hingegen mehr und mehr mit Koaxial-Kombinationslautsprechern oder mit mehreren Lautsprechern in geeigneter Anordnung (4R, 3D, 3DH usw.) ausgerüstet.

Schlussfolgerungen

1. Wie bereits gesagt: Das schwächste Glied in der Übertragungskette vom Mikrophon zum Lautsprecher ist der Lautsprecher. Um das Frequenzband von 40...15 000 Hz richtig wiedergeben zu können, sind

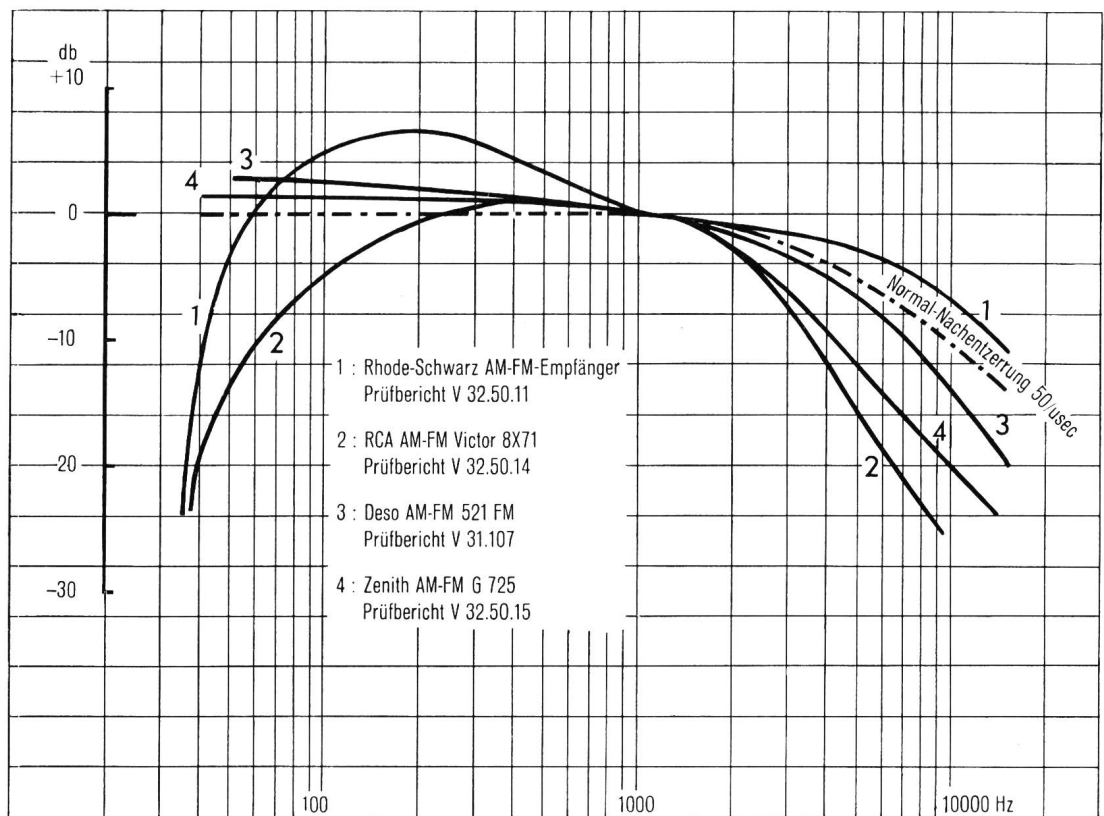


Fig. 5

Über dem Lautsprecher-Ersatzwiderstand gemessenen Frequenzgänge von vier AM-FM-Empfängern mit Tonblenden auf «hell»

koaxiale Kombinationslautsprecher oder mehrere Lautsprecher in geeigneter räumlicher Anordnung erforderlich.

Die heutigen Empfangsgeräte der niederen und zum Teil auch der mittleren Preisklasse genügen dieser Anforderung nicht. Die neuesten Empfänger der mittleren und höheren Preisklasse werden hingegen mehr und mehr mit den genannten Lautsprechersystemen ausgerüstet, womit sie auch in der Lage sind, das ganze Frequenzband von etwa 40...15 000 Hz richtig wiederzugeben.

2. Die tatsächliche Ausnützung des ganzen Frequenzbandes von 40...15 000 Hz ist an sich sehr erwünscht. Eine Ausdehnung des Bandes über 10 000 Hz hinaus stellt hingegen an alle beteiligten Übertragungsglieder viel höhere Anforderungen, namentlich in bezug auf Verzerrung und auf die Schallwiedergabe. Diese Hindernisse sind jedoch nicht unüberwindlich. Die Frage ist nur, ob der vermehrte Aufwand in einem vernünftigen Verhältnis zum erzielbaren Qualitätsgewinn steht. Nach den Untersuchungen von Snow ergibt sich, dass mit einem auf 60...10 000 Hz beschnittenen Frequenzumfang die Qualitätseinbuße

erst etwa 4 % ausmacht, das heisst, es ist damit immer noch mit einer 96 %igen Wiedergabequalität zu rechnen. Grundsätzlich ist ja immer eine 100 %ige Wiedergabequalität anzustreben.

Bibliographie

- [1] Olson, Harry F. Musical Engineering. New York 1952.
- [2] Becker, Franz. Gehöruntersuchungen. Fernmeldepraxis 1951, Heft 11, S. 357...359; Heft 22, S. 706...709.
- [3] Bell Lab. Rec. **12** (1934), 314.
- [4] Snow, W. B. Audible Frequency Ranges of Music, Speech and Noise. J. Acoust. Soc. Amer. **3** (1931), 155.
- [5] Chinn, Howard A. and Philip Eisenberg. Tonal-Range and Sound-Intensity Preferences of Broadcast Listeners. Proc. Inst. Radio Engrs **33** (1945), 571...581.
- [6] Olson, Harry F. Frequency Range Preference for Speech and Music. J. Acoust. Soc. Amer. **19** (1947), 549.
- [7] Rhode, L. Zur Technik des UKW-Rundfunks. Fernmelde-techn. Z. 1950, Heft 8, S. 286...292.
- [8] Novak, A. Vom Dipol zum Lautsprecher. Hannover, 1950. S. 293.
- [9] Furrer, W., A. Lauber und P. Werner. Elektroakustische Grundlagen für die Übertragung eines erweiterten Frequenzbereiches. Techn. Mitt. PTT 1949, Nr. 1, S. 3.
- [10] Prüfbericht V 22.326/7.9.54 der Forschungs- und Versuchsanstalt der Generaldirektion PTT. (Nicht veröffentlicht.)