

ÜBER DIE MESSUNG UND BEWERTUNG VON STÖRGERÄUSCHEN

VON ERNST BELGER (HAMBURG)

(Nach einem Vortrag im Kolloquium des NWDR Hamburg am 20. Januar 1953)

DK 621.317.34

Zusammenfassung

Nach einer kurzen Diskussion der Problemstellung wird ein Literaturauszug gebracht und versucht, daraus die erforderlichen Eigenschaften eines subjektiv richtig anzeigenden Geräuschspannungsmessers für niederfrequente Übertragungsketten abzuleiten.

Es wird gezeigt, inwieweit der Geräuschspannungsmesser J 77 (Siemens & Halske) diesen Anforderungen entspricht und eine Testreihe beschrieben, bei der die Anzeige des J 77 mit der Beurteilung durch eine größere Anzahl von Personen verglichen wird.

Zum Schluß wird über eigene Untersuchungen berichtet, die mit dem Ziel durchgeführt wurden, eine dem subjektiven Empfinden möglichst gut angepaßte Störbewertungskurve und den erforderlichen Störspannungsabstand für hochwertige Rundfunkübertragungen zu ermitteln.

Summary

After briefly discussing the problem, previous literature is quoted and an attempt is made to deduce from this the required characteristics for a psophometer having subjectively correct indications for audio-frequency transmission chains.

It is shown to what extent the "Siemens & Halske" type J-77 psophometer meets these requirements, and a description is given of a series of tests in which the readings of the type J-77 psophometer were compared with the judgment of a fairly large number of observers.

In conclusion a report is given on some experiments undertaken with the object of establishing a psophometric weighting curve adapted as much as possible to subjective sensitivity as well as the signal-to-noise ratio required for high-quality broadcast transmissions.

Résumé

Après une brève discussion du problème, l'auteur cite les ouvrages précédemment consacrés à la question et tente d'en déduire les caractéristiques d'un psophomètre qui donnerait des indications subjectivement correctes sur les chaînes basse-fréquence.

Il montre jusqu'à quel point le psophomètre »Siemens & Halske« type J-77 répond à ces desiderata et décrit une série d'essais au cours desquels les indications du psophomètre J-77 furent comparées aux appréciations subjectives d'un assez grand nombre d'observateurs.

En conclusion, l'auteur rapporte certaines expériences entreprises dans le but d'établir une courbe psophométrique pondérée tenant compte tant de la courbe de sensibilité subjective que du rapport signal: bruit exigé pour des émissions radiophoniques de haute qualité.

Problemstellung

Eine der wichtigsten Kenngrößen für die Beurteilung der Güte von niederfrequenten Übertragungsketten bzw. ihrer einzelnen Glieder ist neben Frequenzgang und nichtlinearer Verzerrung die Störspannung. Es ist daher nicht verwunderlich, daß man seit langem an den Bau geeigneter Instrumente für die Messung dieser Störspannung gegangen ist, obwohl unser Wissen darüber, wie der Belästigungsgrad eines Geräusches von seiner frequenzmäßigen Zusammensetzung oder seinem Gehalt an Impulsen abhängt, noch durchaus lückenhaft ist. Darüber hinaus widersprechen sich die Ansichten der einzelnen Verfasser vielfach. Ebenso umstritten sind dann auch die Meinungen über den Wert der Meßgeräte, die auf Grund dieser mangelhaften Unterlagen entwickelt worden sind.

Es versteht sich von selbst, daß die Rundfunkanstalten, die sich ja in besonderem Maße mit der hochwertigen Übertragung von Schallereignissen befassen, ein Interesse an der Schaffung brauchbarer Methoden und Geräte für die Messung von Störgeräuschen haben müssen. Die Untersuchungen, die zur Klärung dieser Fragen in der Zentraltechnik unternommen wurden, waren daher von vornherein auf das Praktische gerichtet; sie zielten darauf ab, aus dem Streit der Meinungen so viel gesichertes Material zu gewinnen, daß es zum Bau oder zur Beurteilung von Meßgeräten genügt. Besondere Aufmerksamkeit wurde natürlich vor allem den Störgeräuschen bzw. -spannungen geschenkt, die bei

niederfrequenten Übertragungen auftreten, also Rauschen, Netzbrummen, Wählergeräusche, Schaltknacken und Übersprechen. Von diesen Geräuschen und ihrer Messung soll auch im folgenden in erster Linie die Rede sein.

Die Anforderungen, die an ein Störspannungsmeßgerät zu stellen sind, sind schnell formuliert: Es soll den Grad der Belästigung, den der Hörer empfindet, in eine objektive Anzeige, also in Zahlenwerte übertragen.

Wer aber ist der „Hörer“? Da die Störeffektivität von Person zu Person schwankt, kann nur von einem Mittelwert ausgegangen werden. Soll man nun über alle Hörer mitteln oder ist es richtiger, Leute mit offensichtlichen Hörfehlern auszuschneiden? Dann kann man jedoch mit fast dem gleichen Recht alle Personen aussondern, die infolge ihres Alters für höhere Frequenzen unempfindlicher geworden sind. Ein Hörverlust in den Höhen setzt aber schon mit etwa 30 Jahren ein! Ferner hängt die Störwirkung wesentlich von der seelischen Einstellung ab, es ist nicht gleichgültig, ob man eine Übertragung nur nebenher oder mit angespanntem Interesse hört. Hier erhebt sich weiterhin die Frage, welche Art von Programm als Norm zu betrachten sei. Auf der gleichen Ebene liegen schließlich die Fragen, ob und wie man den Raumpegel berücksichtigen soll und wie die Übertragungsapparatur beschaffen sein soll, die man zugrunde legt: So wie sie heute tatsächlich im Mittel ist oder so, wie sie eigentlich sein sollte.

Einer solchen Flut von Parametern gegenüber kann man sich nur helfen, indem man eine Reihe von ihnen festlegt, und zwar nach Gesichtspunkten, die für den speziellen Zweck vernünftig erscheinen. Damit verzichtet man allerdings unter Umständen auf Allgemeingültigkeit der Ergebnisse bzw. universelle Verwendbarkeit der Geräte. Für eine Rundfunkanstalt, die auf hohe Qualität ihrer Übertragungen Wert legt, liegt es dabei nahe, möglichst kritische Bedingungen zu wählen, also hochwertige Übertragungsanlagen, kritische Nutzmodulation und junge Versuchspersonen.

Die nächste Aufgabe wäre, festzustellen, was das Ohr unter den festgelegten Bedingungen bei der Vielzahl der auftretenden Störgeräusche empfindet und dann ein Gerät zu bauen, das dem Ohr darin möglichst gleicht.

Literatur

Aus der Literatur ist über diese Frage, wie gesagt, wenig zu entnehmen. Es gibt zwar eine Reihe von Untersuchungen über die Lautstärke von Geräuschen, aber erstens ist Lautstärke und Störwirkung, wie wir noch im einzelnen sehen werden, durchaus nicht immer dasselbe, und zum anderen bestehen zwischen den einzelnen Arbeiten zum Teil so erhebliche Widersprüche, daß es schwer fällt, auch nur für die Lautstärke daraus zuverlässige Schlüsse abzuleiten.

Die Lautstärke von Sinustönen — und auch solche treten ja bisweilen als Störgeräusche auf — ist in sehr gründlicher Weise von Fletcher und Munson [1] und ihren Vorgängern untersucht worden. Die Untersuchungen über die Lautstärke der eigentlichen Geräusche sind dagegen viel lückenhafter. Die folgende Zusammenstellung soll einen Einblick in die wichtigsten Veröffentlichungen geben, allerdings nur insoweit, als die Ergebnisse unmittelbar dem von uns verfolgten Zweck dienen können.

Die klassische Arbeit auf diesem Gebiet ist wohl die von Steudel [2] aus dem Jahre 1933. Steudel untersucht Knacke und Knackfolgen. Er vergleicht die Lautstärke von Knacken einer bestimmten Form mit der von Sinustönen und findet, daß beide im gleichen Maße von der Spannung abhängen. Auf diese Weise gewinnt er eine Skala von „Normalknacken“, die er für seine Messungen benutzt, da Knacke untereinander bezüglich ihrer Lautstärke leichter zu vergleichen sind als ein Knack mit einem Dauerton. Für einen Knack, wie er beim Entladen eines Kondensators entsteht, findet er so, daß die Lautstärke mit der Zeitkonstanten der Entladung etwa bis 1 ms zunimmt und dann konstant bleibt. Den Übergang zum Dauerton stellt er durch Messungen an gedämpften Schwingungen von 1000 Hz her. Es ergibt sich ein Lautstärkeanstieg von etwa 10 phon, wenn man die Abklingzeit von 1 ms auf 100 ms erhöht. Bei noch längerer Dauer ist dann die Lautstärke gleich der des Dauertons. Ebenfalls einen Anstieg von 10 phon findet er bei periodischen Knacken, wenn er die Folgefrequenz von 1 Hz auf 50 Hz erhöht. Eine weitere Steigerung der Folgefrequenz ergibt keine Erhöhung der Lautstärke mehr.

Interessant ist auch ein Versuch, bei dem er ein sehr spitzenhaltiges Geräusch über eine phasendrehende Kette schickt und eine Verringerung der Lautstärke um 7 db feststellt. Das Ohr erweist sich also bei diesem Versuch als abhängig von der Phasenlage.

Steudel entwickelt dann aus diesen Ergebnissen ein Kriterium für die Lautstärke von Knacken. Danach muß man an der steilsten Stelle der Druckänderung den Druck über eine Zeit von 0,3 ms integrieren. Die so erhaltene Fläche ist dann der subjektiv empfundenen Lautstärke proportional. Bei periodischen Geräuschen darf die Integration dabei höchstens über eine Periode erstreckt werden. Eine besondere Bewertung der einzelnen Frequenzen — etwa entsprechend der Ohrempfindlichkeit — wird dabei nicht vorgenommen.

Diese Form der Bewertung überrascht auf den ersten Blick. Steudel kann damit jedoch die von ihm untersuchten Knacke und Knackfolgen bezüglich ihrer Lautstärke mit guter Näherung berechnen, wenn er noch die von ihm gefundene Abhängigkeit der Lautstärke periodischer Knacke von der Folgefrequenz hinzunimmt. Gute Näherung bedeutet hier, daß der Fehler unterhalb von 4 bis 5 phon bleibt. Bemerkenswert ist, daß auch die Lautstärke von Sinustönen verschiedener Frequenz nach dieser Regel recht gut bestimmt werden kann, wenn man von den höchsten Frequenzen absieht.

Als eine besonders erstaunliche Tatsache ergibt sich aus dieser Formel, daß z. B. ein Sinuston von 1000 Hz nicht lauter ist als der Schnarrton, den man erhält, wenn nur jede zwanzigste Halbwelle vorhanden wäre. Auch das hat Steudel experimentell geprüft und bestätigt gefunden. Es ist dies ein schwerwiegendes Argument gegen die Verwendung von Effektivwert-Instrumenten bei der Lautstärke- bzw. Geräuschspannungsmessung.

Steudel hat es danach unternommen, einen Lautstärkemesser zu entwickeln. Da ein Gerät, das die vorgeschriebene Integration vornimmt, mit einem vertretbaren technischen Aufwand nicht herzustellen ist, geht er dabei jedoch von ganz anderen Prinzipien aus.

Der Steudelsche Lautstärkemesser besteht aus einem Ohrfilter mit nachfolgendem Audion-Spitzengleichrichter. Die Einschwingzeitkonstante liegt dabei unter 1 ms, die Abklingzeitkonstante bei 50 ms.

Da das von Steudel verwendete Bewertungsfilter bei kurzen Impulsen infolge der Phasenverschiebung zu einer um 5 bis 10 phon zu kleinen Anzeige führt, während es einen Dauerton ungeschwächt hindurchläßt, kommt eine Überbewertung von Dauertönen zustande. Steudel beseitigt diese, indem er eine Zweiweggleichrichtung zwischen Filter und Audion vornimmt und so die Spitzenspannung für Sinuswellen halbiert.

Er erzielt mit diesem Gerät bei praktisch vorkommenden Geräuschen Ergebnisse, die von dem Mittel aus etwa 9 Personen nur um etwa 2 bis 3 db abweichen. Die maximale Abweichung ist 5 db, was man als recht gut bezeichnen kann. Interessant ist

noch, daß schon Steudel feststellen konnte, daß viele Versuchspersonen nicht sauber zwischen Lautstärke und Belästigungsgrad unterscheiden konnten.

Bürck, Kotowski und Lichte [3] haben 1935 ähnliche Untersuchungen durchgeführt, wobei allerdings der Schwerpunkt ihrer Arbeit bei Knacken liegt, wie man sie unerwünschterweise bei einer Dynamikregelung erhält. Soweit vergleichbare Messungen vorliegen, besteht eine befriedigende Übereinstimmung mit Steudel. Auffällig ist jedoch, daß die Verfasser glauben, daß zur Bestimmung der Lautstärke eine Messung der Energie hinter einem Ohrfilter genüge. Das Ohr ist nach Bürck, Kotowski und Lichte „ein Effektivwert-Instrument mit 50 ms Trägheit (z. B. Hitzdrahtinstrument)“.

Dieses Prinzip wird rechnerisch auf die von Steudel untersuchten Knacke angewendet und die so erhaltenen Werte mit den Meßergebnissen verglichen. Die Übereinstimmung ist jedoch nicht unbedingt überzeugend. Obwohl die Kurven in der Ordinatenrichtung zum Teil so verschoben werden, daß sie sich möglichst gut decken, kommen Differenzen bis zu 10 db vor, wobei noch gewisse Annahmen über Steudels Versuchsapparat gemacht werden müssen.

Ähnliches gilt für eine 1936 erschienene Arbeit, die ebenfalls von Bürck, Kotowski und Lichte [4] stammt, die sich mit Knackfolgen beschäftigt. Man kann sich nicht immer des Eindrucks erwehren, daß einem Prinzip zuliebe den Tatsachen Zwang angetan wird — einem Prinzip zuliebe allerdings, das in seiner Einfachheit bestechend ist und wenn es zutreffend wäre, uns aller Sorgen enthöbe.

Eine umfangreiche Arbeit liegt noch von Garner [5] (1948) vor, der die Lautstärke von Folgen kurzer Töne untersucht hat. Von den zahlreichen Meßergebnissen interessiert hier vor allem, daß zerhackte Sinustöne unter Umständen die gleiche oder sogar eine etwas größere Lautstärke haben können als unzerhackte gleicher Amplitude, obwohl letztere eine größere Energie besitzen. Dies spricht also eindeutig gegen eine Effektivbewertung. In diesem Zusammenhang kommt Garner u. a. zu ähnlichen Ergebnissen, wie Steudel sie beim Vergleich des Sinustons mit dem Schnarrton aus jeder zwanzigsten Halbwelle fand. Schließlich wird noch Steudels Erkenntnis bestätigt, daß bei Knackfolgen die Lautstärke um etwa 10 phon ansteigt, wenn die Folgefrequenz von 1 Hz auf 50 Hz erhöht wird.

Alle angeführten Arbeiten beziehen sich, wie schon erwähnt, auf die Lautstärke und nicht auf die Störwirkung. Ein Geräusch wird ja im allgemeinen auch um so lästiger sein, je lauter es ist. Andererseits weiß jedoch jeder aus eigener Erfahrung, daß bei sehr hohen Frequenzen die Belästigung weit stärker ist, als der Lautstärke entspricht. Man denke nur an die außerordentlich unangenehmen Töne, die man erzeugen kann, wenn man etwa mit einem Messer auf einem Teller kratzt.

Ferner ist zu berücksichtigen, daß der Pegel der hier untersuchten Geräusche durchweg viel höher lag, als es bei Störgeräuschen auf Rundfunkübertragungswegen der Fall ist.

Folgerungen für die Eigenschaften von Meßgeräten

Versuchen wir trotzdem einmal aus dem eben Ausgeführten in rohen Zügen abzuleiten, wie ein Störspannungsmeßgerät beschaffen sein muß:

Zunächst einmal werden wir ein Bewertungsfilter verwenden, um der Ohrempfindlichkeit bei den einzelnen Frequenzen zu entsprechen. Sodann haben wir gesehen, daß eine Effektivbewertung zu einer unzulässigen Benachteiligung der Impulse gegenüber den Dauertönen führt. Wir werden also eine Spitzengleichrichtung wählen, und zwar aus Symmetriegründen eine Doppelweggleichrichtung. Dem Filter wird die Bewertung der Frequenzlage, dem Gleichrichter die Bewertung des zeitlichen Verlaufs überlassen. Damit haben wir eine Teilung vorgenommen, die eigentlich nicht ganz zulässig ist. Die Benutzung eines Bewertungsfilters bedeutet nämlich folgendes: Wir zerlegen das Geräusch nach Fourier in seine einzelnen Bestandteile, bewerten die Teile entsprechend ihrer Frequenz und setzen sie dann wieder zusammen, um sie zu messen. Das wäre aber nur dann statthaft, wenn das Ohr einem Effektivwert anzeigenden Instrument entspräche, also nur Energien registrierte, ohne Rücksicht auf deren zeitliche Verteilung und ohne Rücksicht auf die Phasenlage. Ein Spitzenwertgerät berücksichtigt aber, wie auch das Ohr, die Phasenlage sehr wohl und dürfte deshalb hier eigentlich nicht verwendet werden.

Glücklicherweise sind jedoch die dadurch entstehenden Fehler nicht sehr groß. Zudem lassen sie sich z.T. durch eine geeignete Dimensionierung der Gleichrichtung beseitigen.

Bei der Spitzengleichrichtung stehen uns insgesamt vier Parameter zur Verfügung: Zwei elektrische, nämlich die Auflade- und die Entladezeitkonstante, und zwei mechanische, die Schwingungsdauer des Anzeigeinstruments und seine Dämpfung. Diese vier Größen können wir also verändern, um dem Gerät die Eigenschaften zu verleihen, die es dem Ohr möglichst ähnlich machen.

Wir wollen nun versuchen, aus den Literaturangaben Regeln für die Bemessung abzuleiten, wobei wir allerdings nicht mehr als Näherungswerte erwarten dürfen.

Nach Steudel nimmt die Lautstärke eines einzelnen Knacks bis zu einer Dauer von 1 ms zu, um dann etwa konstant zu bleiben. Die Aufladekonstante muß also in der Größenordnung 1 ms liegen.

Den Übergang vom Knack zum Dauerton stellt eine gedämpfte Sinusschwingung her: Bei sehr starker Dämpfung liegt praktisch noch ein Knack vor, bei sehr geringer nähern wir uns dem Dauerton. Steudel hatte gefunden, daß bei einem abklingenden 1000-Hz-Ton die Lautstärke um 10 phon anstieg, wenn die Abklingzeitkonstante von 1 ms auf 100 ms vergrößert wurde, wenn aus dem Knack also ein Dauerton wurde. Der kurze Einzelknack soll also in der Bewertung um 10 phon unter dem Dauerton gleicher Scheitelspannung liegen und der Übergang soll sich etwa bis 100 ms vollzogen haben. Daraus

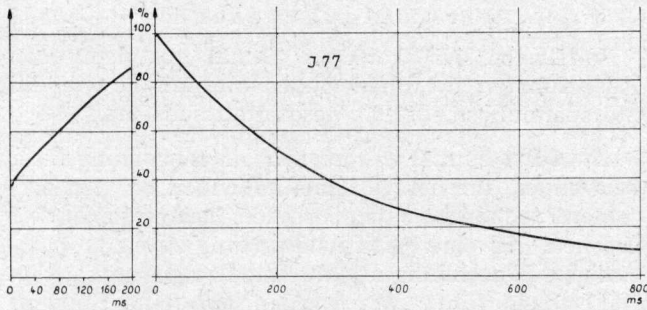


Abb. 1

Anzeige des J 77 in Abhängigkeit von der Länge eines Dauertones und Abklingvorgang nach Abschalten des Tones

ergibt sich etwa die in Abb. 1 gezeigte Abhängigkeit der Anzeige von der Dauer eines Sinustones. Erreichen läßt sich dieser Verlauf durch eine geeignete Wahl der Abklingzeitkonstanten (etwa 350 ms) und ein hinreichend träges Anzeigeelement.

Wie man unmittelbar sieht, säßt sich auch ein Ansteigen der Lautstärke von Knacken mit der Folgefrequenz erreichen, wenn man die Abklingzeitkonstante so groß wählt, daß zwischen zwei Impulsen nur eine teilweise Entladung des Kondensators stattfindet. Damit wäre die dritte wesentliche Forderung von Steudel erfüllt.

Das hier skizzierte Verfahren führt natürlich nur zu einer angenähert richtigen Anzeige. Man wird ein solches Gerät an typischen Geräuschen erproben müssen und nach den oben erläuterten Grundsätzen Abänderungen vornehmen.

Der Geräuschspannungsmesser J 77

Ein Gerät, das nach diesem Prinzip aufgebaut ist und entsprechende Daten besitzt, ist das J 77 (Rel. 3 U 311/313 der Firma Siemens & Halske), das seit einiger Zeit als verbindliches Meßgerät für Geräusch- und Fremdspannungen bei den westdeutschen Rundfunkanstalten und der Deutschen Bundespost eingeführt ist. Es ist entstanden, indem man vor den Aussteuerungsmesser U 21 ein Ohrfilter und einen geraden Verstärker gesetzt hat und am Ausgang anstelle des Lichtzeigerinstrumentes ein trägeres Zeigerinstrument verwendet. Der U 21 selbst ist ein Zweiwegspitzengleichrichter mit einer Integrationszeit von wenigen ms und einer Abklingzeitkonstante von 350 ms. Durch Verwendung einer sehr hohen Wechselspannung an der Diode wird diese praktisch linealisiert. Die Anzeige ist jedoch angenähert logarithmisch.

Unmittelbar nachdem dieses Gerät auf dem Markt erschien, haben wir es in der Zentraltechnik einer Prüfung unterzogen, indem wir seine Anzeige mit der Bewertung durch 20 bis 30 Versuchspersonen bei verschiedenartigen Geräuschen verglichen. Den Versuchspersonen wurden dazu sechs verschiedene Störgeräusche (Leitungsgeräusche, Rauschen zweier Magnetofonbandtypen, 1000-Hz-Ton, Geräusch eines vorbeifliegenden Flugzeuges und Hämmern auf Stein) als Bandaufnahme vorgeführt und sie hatten die

Aufgabe, mittels eines Reglers den Pegel auf gleiche Lautstärke mit einem statistischen Rauschen einzustellen, auf das sie wahlweise umschalten konnten.

Ursprünglich war geplant, sowohl die Lautstärke als auch den Grad der Belästigung zu erfassen. Es zeigte sich jedoch, daß die meisten Beobachter zwischen den beiden Begriffen keinen Unterschied machten. Tatsächlich dürfte eher die Störwirkung als die Lautstärke erfaßt worden sein.

Die eingestellten Pegel wurden mit dem J 77 gemessen. Die Mittel aus den Ergebnissen sind in Abb. 2 dargestellt. (Die Linien verbinden hier nur

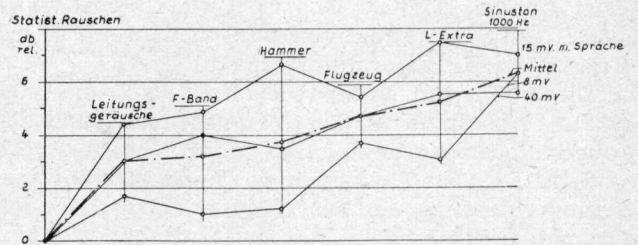


Abb. 2

J 77 in alter Ausführung mit Bewertungsfilter nach CCIF 1934. Anzeige des Gerätes bei Geräuschen, die als gleich laut empfunden werden

Meßpunkte der gleichen Reihe, haben also keinerlei physikalische Bedeutung.) Es fällt auf, daß nur positive Werte eingestellt wurden, daß also alle Geräusche als leiser bzw. weniger störend als das statistische Rauschen empfunden wurden. Mit anderen Worten: Das J 77 ergab eine zu geringe Anzeige für das weiße Rauschen, das von allen Geräuschen die

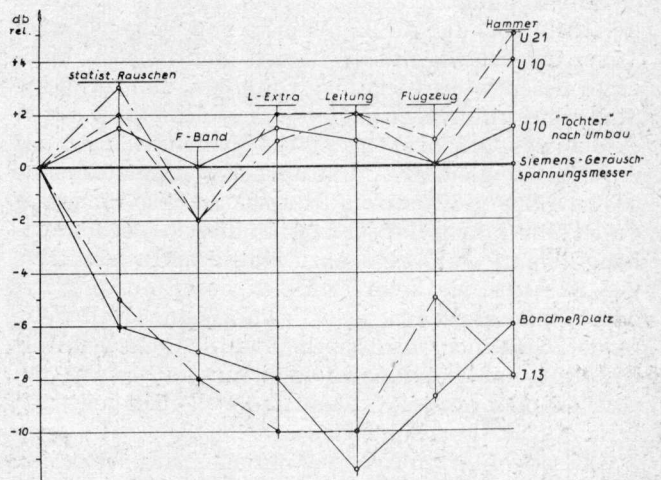


Abb. 3

Anzeige einiger Geräte im Vergleich mit der des J 77 (Vgl. das bei Abb. 2 Gesagte)

meiste Energie in den Höhen besaß. Relativ kleine Anzeigen ergeben sich auch bei dem Leitungsgeräusch und dem Rauschen des F-Bandes, also bei allen Geräuschen, die einen großen Anteil hoher Frequenzen aufweisen. Die hohen Frequenzen wurden mithin durch das verwendete Bewertungsfilter nicht hinreichend berücksichtigt. Tatsächlich ergab eine Nachfrage bei der Herstellerfirma, daß in dem damals vorliegenden Gerät noch ein Filter nach CCIF 1934

verwendet wurde. Die heutige Ausführung des J 77 enthält ein Bewertungsfilter nach CCIF 1949 und bewirkt somit die erforderliche stärkere Bewertung der Höhen.

Schließlich wurde die Anzeige des J 77 bei den vorliegenden Geräuschen noch mit der Anzeige einiger anderer zur Verfügung stehender Geräte verglichen. Die Abweichungen gegenüber dem J 77 sind in Abb. 3 dargestellt. Zur Eichung wurde die Anzeige für den 1000-Hz-Ton verwendet. Es sind auf den ersten Blick zwei Gruppen erkennbar: Die Spitzenwertinstrumente nach Art der Aussteuerungsmesser mit definierter kurzer Integrations- und langer Abklingzeit folgen im wesentlichen dem J 77. Die Effektivwertinstrumente bzw. die undefinierten Spitzengleichrichter mit langen Integrationszeiten weisen hingegen bei einigen Geräuschen eine bis zu 10 db geringere Anzeige auf. Da bei allen Instrumenten die gleiche Bewertungskurve benutzt wurde, sind die Unterschiede allein auf die Art der Gleichrichtung zurückzuführen!

Außer der Messung der Geräuschspannung erlaubt das J 77 auch eine Erfassung der Fremdspannung, d. h. eine unbewertete Messung im Bereich bis 20 kHz. Dieser Meßbereich wird im allgemeinen ausreichen, nur in Sonderfällen (Einstreuung von HF oder Magnetofonfrequenzen) wird eine Überprüfung mit einem Röhrenvoltmeter erforderlich sein. Die obere Grenze wurde auf 20 kHz festgelegt, um noch das Übersprechen auf den Phantomkreisen unbespuler Trägerfrequenzkabel zu erfassen. Eine einheitliche Festlegung war ohnehin erforderlich, um endlich einmal vergleichbare Meßwerte zu erhalten. Bisher wurde vielfach mit völlig willkürlicher oberer Eckfrequenz und mit verschiedenen Typen von Voltmetern gemessen.

Ebenso wichtig wie die Normung der Meßmethode ist die einheitliche Bezeichnung. Auch dafür liegen Vorschläge der Arbeitskommission Meßtechnik vor.

Geräuschspannung sollte künftig nur die frequenzmäßig bewertete Messung heißen, Fremdspannung dagegen die frequenzmäßig unbewertete Messung. Beide sollen in db angegeben werden, wobei Spannungen in db ($0 \text{ db} = 0,775 \text{ V}$) angegeben werden, eine Spannungsdifferenz dagegen mit db_{rel} gekennzeichnet werden sollte. Die Störspannung ist ein Dachbegriff und umfaßt Geräuschspannung und Fremdspannung.

Nach dem eben Gesagten müßte das J 77 eigentlich Störspannungsmesser heißen, da es ja Geräusch- und Fremdspannung mißt. Wenn es trotzdem Geräuschspannungsmesser genannt wird, so zeigt das, daß sich die Ansicht, die Geräuschspannung sei das eigentlich Wesentliche, immer mehr durchsetzt. Die Geräuschspannung ist es ja schließlich, die den Hörer belästigt und den Genuß einer Übertragung beeinträchtigen kann, die somit möglichst klein gehalten werden muß. Die Fremdspannung hingegen wird erst dann interessant, wenn sie zusammen mit der Nutzspannung

eine Übersteuerung des Systems zur Folge hat oder wenn sie zu störenden Anzeigen bei Geräten ohne Frequenzbewertung, z. B. dem Aussteuerungsmesser, führt. Da das bei keinem der heute gebräuchlichen Geräte der Fall ist, stellt ihre Messung keine Bewertung des Gerätes dar, sondern hat nur den Sinn, das Gerät bzw. den Übertragungskanal auf seine Betriebsfähigkeit hin zu überprüfen. Die Impulsbewertung und die Einführung der CCIF-Kurve von 1949 haben zur Folge, daß die mit J 77 ermittelten Geräuschspannungswerte meist wesentlich höher liegen, als die vorher nach CCIF 1934 und mit dem Röhrenvoltmeter gemessenen. Das hat zunächst zu einer gewissen Unsicherheit geführt. Indessen ist es ja nur eine Frage der Zeit, bis man sich neue Maßstäbe dafür geschaffen hat, was denn jetzt ein ausreichender oder ein guter Störspannungsabstand ist. Es ist deshalb auch vereinbart worden, daß in der Übergangszeit mit beiden Geräten parallel gemessen werden soll. Da jedes Störgeräusch eine ganz spezielle Zusammensetzung hat, sowohl, was den Anteil an Impulsen als auch, was den Anteil der einzelnen Frequenzen anbelangt, ist es nicht möglich, den alten

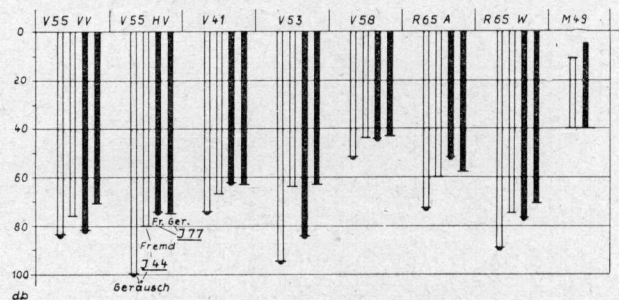


Abb. 4
Geräusch- und Fremdspannungswerte einiger Gerätetypen
gemessen mit J 44 (CCIF 1934) und J 77 (CCIF 1949)
(Vorläufige Meßergebnisse des Prüffeldes)

Meßwert auf rechnerischem Wege in den neuen zu überführen. Abb. 4 zeigt einen Vergleich der so erhaltenen Meßwerte für einige Gerätetypen.

Die Umstellung bringt unbestreitbar eine erhebliche Mehrarbeit mit sich. Es erscheint jedoch richtiger, diese Mühe einmal auf sich zu nehmen, als laufend nach einem Verfahren weiter zu messen, das fehlerhaft ist und Neuentwicklungen in unzuverlässige Bahnen lenken kann. So könnte es bei der Benutzung des alten Meßverfahrens durchaus geschehen, daß der Entwickler sich z. B. bei einem Gerät bemüht, das Netzbrummen noch weiter herabzudrücken, während in Wirklichkeit, d. h. für das Ohr der entscheidende Faktor, etwa ein an dieser Type auftretendes spitzenhaltiges Geräusch hoher Frequenz ist, wie es durch unzureichend entstörte Kontakte verursacht wird.

Bewertungskurven

Einiges Aufsehen hat auch erregt, daß mit der Bewertungskurve von 1949 gemessen die Geräuschspannung u. U. höher als die Fremdspannung ist; zum Teil wurde das sogar als Beweis für die Unbrauchbarkeit dieser Kurve angesehen, „da das Ohr

doch nicht mehr hören kann als vorhanden ist“. Man übersieht dabei jedoch, daß es überhaupt keine physikalische oder physiologische Beziehung zwischen den Meßwerten von Geräusch- und Fremdspannung gibt. Beide werden vielmehr erst durch die ganz willkürliche Festsetzung, daß die Anzeige für die Normalfrequenz von 1000 Hz die gleiche sein soll, zueinander in Beziehung gebracht. Prinzipiell hätte man ebenso gut die alte Normalfrequenz von 800 Hz oder auch eine beliebige andere als Vergleichspunkt wählen können, wobei man jedesmal zu einem anderen Verhältnis der Meßwerte für Geräusch- und Fremdspannung gekommen wäre.

Die Diskussion darüber, welche Bewertungskurve (auch Psophometerkurve nach dem griechischen Wort für Geräusch) die geeignetste ist, ist auch heute noch nicht ganz abgeschlossen. Abb. 5 gibt einen Ausschnitt

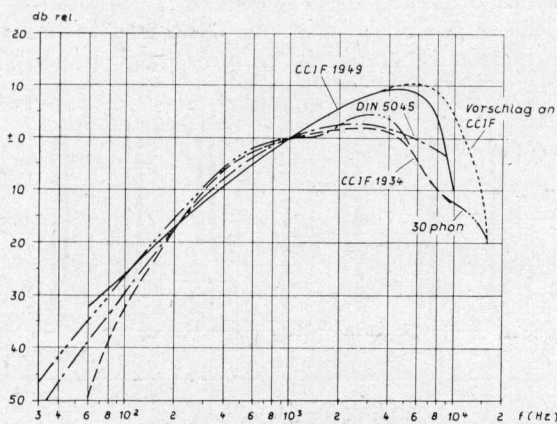


Abb. 5
Einige Bewertungskurven zur Geräuschspannungsmessung

aus der Entwicklung wieder, enthält jedoch keineswegs alle Kurven, die man im Laufe der Zeit einmal benutzt hat. Die älteren lehnen sich, wie der Vergleich mit der 30-phon-Kurve zeigt, sehr eng an die Lautstärkekurven an. Erst später wurde man auf die Unterschiede zwischen Lautstärke und Störwirkung aufmerksam. Der entscheidende Schritt erfolgt mit dem Übergang zur CCIF-Kurve von 1949. Sie beruht auf Untersuchungen der ATT, bei denen bewußt versucht wurde, den Grad der Belästigung zu bestimmen, und zwar unter Bedingungen, wie sie beim Rundfunkempfang in Privatwohnungen vorliegen. Es ergab sich die wesentlich kritischere Bewertung der hohen Frequenzen.

Auch diese Kurve wird jedoch nicht als endgültig angesehen, sondern vom CCIF als „vorläufige Empfehlung“ bezeichnet. Das CCIF hat an die ihm angeschlossenen Organisationen, u. a. die DBP, die Frage gestellt, ob Meßergebnisse vorliegen, die eine Abänderung dieser Kurve wünschenswert erscheinen lassen (Frage 15, Studienkommission III). Auf Anregung der Deutschen Bundespost wurden daraufhin beim NWDR im Auftrage der Arbeitsgemeinschaft der westdeutschen Rundfunkanstalten Versuche zur Klärung dieser Frage unternommen.

Eigene Versuche zur Festlegung der Bewertungskurve

Es wurde angestrebt, in Anlehnung an die Versuche der ATT, die Beobachtungen möglichst unter den gleichen Bedingungen (Nutzlautstärke, Raumpegel) durchzuführen, unter denen die Beobachter zuhause Rundfunkübertragungen hören.

Der Schwerpunkt wurde dabei auf die kritischen Fälle gelegt, wie sie zum Beispiel bei der Übertragung leiser Stellen hochwertiger Musik in ruhigen Räumen vorliegen. Um abschätzen zu können, welche Veränderungen unter abweichenden Bedingungen auftreten, wurden jedoch auch Versuche in geräuschvolleren Räumen und mit etwas weniger empfindlicher Musik unternommen. Als Nutzmodulation wurden leise Stellen hochwertiger Klavier-, Orgel- und Streichmusik gewählt, und zwar Motive mit möglichst geringer Dynamik, um die Streuung der Versuchsergebnisse infolge schwankender Lautstärke der verdeckenden Nutzmodulation klein zu halten. Jeder Beobachter konnte sich diese Nutzmodulation stufenlos auf die Lautstärke einregeln, mit der er normalerweise Rundfunkübertragungen hört.

Die Störmodulation wurde den natürlichen Verhältnissen entsprechend über den gleichen Lautsprecher abgestrahlt. Sie bestand aus einem schmalen Frequenzband eines thermischen Rauschens (Terzrauschen) und einem periodisch mit einer Frequenz von 2 Hz unterbrochenen Sinuston. Es wurden nach dem Vorschlag des CCIF die Frequenzen 50, 100, 200, 400, 800, 1600, 3200, 6400, 8000 und 12500 Hz benutzt. Da sich ergab, daß die Empfindlichkeit gegenüber hohen Frequenzen wesentlich höher war, als nach der CCIF-Kurve von 1949 zu erwarten war, wurde zur näheren Untersuchung dieses Bereiches eine zweite Reihe angesetzt, die die erste in einem größeren Frequenzbereich überlappte, um genügend viele Anschlußwerte zu erhalten. Benutzt wurden die Frequenzen 3,5, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16 kHz. In diesem Bereich wurde mit gewobbelten Sinustönen (Wobelfrequenz 6,25 Hz, Frequenzhub 100 Hz) gemessen, da das Terzrauschen für eine saubere Messung des Abfalls bei hohen Frequenzen zu breit liegt und bei einem reinen Sinuston der Frequenzgang örtlich großen Schwankungen unterliegt.

Die Störgeräusche konnten von den Versuchspersonen mittels eines Drehreglers in Stufen von 2,5 db soweit gedämpft werden, daß sie den Genuß der dargebotenen Musik nicht mehr beeinträchtigten.

Die Versuche wurden zur einen Hälfte in einem leisen Raum von 30 phon Geräuschpegel durchgeführt, zur anderen in einem geräuschvolleren Raum von 50 phon. Da ein solcher Raum mit annähernd konstantem Geräuschpegel nicht zur Verfügung stand und starke zeitliche Schwankungen die Streuung der Meßergebnisse unnötig vergrößert hätten, wurde der Pegel in einem ruhigeren Raum künstlich erhöht. Dazu wurde über einen zweiten Lautsprecher eine Bandaufnahme des Straßenlärms einer verkehrsreichen Straße übertragen, wobei der obere Frequenz-

bereich elektrisch gedämpft wurde, um die Schalldämmung durch geschlossene Fenster nachzubilden.

Die Beobachtungen wurden von 20 Damen und Herren im Alter zwischen 20 und 30 Jahren ausgeführt. Ihre Ohrempfindlichkeit war zuvor mit einem Audiometer überprüft und Fälle von Hörfehlern ausgeschlossen worden.

Vor den Versuchen wurden die Beobachter ausdrücklich darauf hingewiesen, daß sie die Störwirkung und nicht etwa die Hörbarkeit oder die Lautstärke der Störgeräusche zu bewerten hätten.

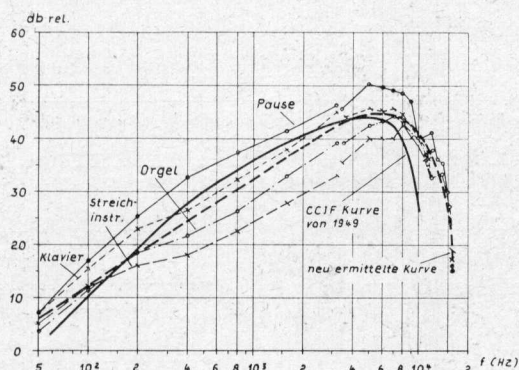


Abb. 6

Frequenzgang nach den Versuchen der Zentraltechnik bei verschiedener Nutzmodulation. Von der ZT vorgeschlagene Bewertungskurve im Vergleich mit der nach CCIF 1949

Das Ergebnis der Versuche ist in Abb. 6 dargestellt. Es ist dabei nicht nur über alle Versuchspersonen, sondern auch über die beiden verschiedenen Raumpegel und die Störgeräusche gemittelt worden. Eine Mittelung über die Nutzgeräusche wurde nicht vorgenommen, um die charakteristischen Unterschiede aufzuzeigen, denn man kann darüber, welche Nutzmodulation der Bewertung zugrunde gelegt werden soll, durchaus verschiedener Meinung sein. Wie zu erwarten, ist die Empfindlichkeit in der Modulationspause am größten und bei der Klaviermusik mit ihren ausgeprägten Intervallen zwischen den einzelnen Tönen nicht sehr viel geringer. Wenn, wie es bei Orgel- und Streichmusik der Fall ist, diese Pausen fehlen, ist die verdeckende Wirkung der Nutzmodulation besonders im mittleren Frequenzbereich wesentlich stärker.

Eine ähnliche Wirkung hat übrigens der Raumpegel, während sich die Verschiedenheit der Störgeräusche kaum auswirkt. Die stark ausgezogene Kurve (CCIF 1949) deckt sich im unteren und mittleren Bereich recht gut mit den Ergebnissen des Versuches, besonders wenn man die kritischen Fälle (Pause oder Klavier) betrachtet. Ebenso gut könnte man allerdings die gestrichelte Gerade mit einer Steigung von 6 db pro Oktave (einfaches RC-Glied) benutzen. Im oberen Bereich ergeben die neuen Messungen hingegen eine merklich größere Empfindlichkeit. Hier wurde daher der gestrichelte Kurvenverlauf vorgeschlagen. Die nicht unbeträchtliche Abweichung ist möglicherweise darauf zurückzuführen,

daß bei den Untersuchungen der ATT auch ältere Versuchspersonen beteiligt waren.

Der erforderliche Geräuschabstand

Die soeben beschriebene Versuchsreihe hatte, den Wünschen des CCIF entsprechend, lediglich die Festsetzung des Frequenzganges für das Bewertungsfilter zum Ziel. Die Untersuchung des erforderlichen Geräuschabstandes erfolgte in einer zweiten Versuchsreihe, da für diesen Zweck die tatsächlich auftretenden Störgeräusche eine bessere Annäherung an die Praxis versprachen als die etwas künstlichen Störgeräusche, die für die Festlegung des Frequenzganges erforderlich waren.

Es wurden die folgenden acht Geräusche benutzt:

1. Rauschen eines Verstärkers (V 72).
2. Induktive Einstreuung von Netzbrummen. Subjektiv entscheidend war die 200-Hz-Komponente des Brummens.
3. Hämmern von Wählern und Netzbrummen auf einer Leitung. Für das Ohr entscheidend war das sehr impulshaltige Wählergeräusch.
4. Übersprechen eines Ferngespräches auf eine Leitung. Die gut verständliche Frauenstimme überwog alle Nebengeräusche.
5. Übersprechen von Akkordeonmusik auf eine Leitung. Die Musik, bei der als Folge des Übersprechens die hohen Frequenzen erheblich überbewertet waren, überwog auch hier.
6. Rauschen eines Magnettonbandes (EN-Band). Für das Ohr trat das Frequenzband um 4000 Hz herum am stärksten in Erscheinung.
7. Störgeräusche in einem UKW-Empfänger. Das Geräusch bestand aus einer Reihe von Sinustönen, die nicht harmonisch zueinander liegen und deren Tonhöhe sich dauernd ändert. Der gehörmäßige Eindruck war der eines hohen und unangenehmen Schwirrens oder Zirpens.
8. Sinus-Ton 1000 Hz. Der Ton wurde vor allem zu Eich- und Meßzwecken eingeführt.

In den übrigen Punkten wurde das Versuchsverfahren beibehalten und nur geringfügige Änderungen eingeführt. So wurde die bisher benutzte Streichmusik, die recht undurchsichtig und kompakt war und sich außerdem bezüglich ihrer Auswirkung auf die Störempfindlichkeit kaum von der Orgelmusik unterschied, durch eine zartere Aufnahme ersetzt. Ferner wurde der künstliche Straßenlärm von 50 auf 40 phon herabgesetzt, da ein großer Teil der Versuchspersonen festgestellt hatte, daß sie bei einem so starken Raumgeräusch überhaupt keine Rundfunk-sendungen und vor allem keine hochwertige Musik hören würden.

Die Messung der Störgeräusche erfolgte wieder im Schallfeld. Dies war notwendig, um den unvermeidlichen restlichen Frequenzgang von Raum und Lautsprecher zu eliminieren. Die komplexe Natur der

meisten natürlichen Störgeräusche erlaubt ja keine rechnerische Korrektur, wie sie bei den künstlichen Störgeräuschen möglich war.

Bei sehr spitzenhaltigen Geräuschen läßt sich gegen dieses Verfahren einwenden, daß scharfe Modulationspitzen durch Laufzeitdifferenzen auf dem Wege zwischen Lautsprecher und Mikrofon eine Verrundung erfahren, die die Anzeige des J 77 gegenüber der betriebsmäßigen, unmittelbar elektrischen Messung verändern könnte. Es ist jedoch zu erwarten, daß dieser Fehler gegenüber den Abweichungen infolge des Frequenzganges klein ist.

Während bei der Ermittlung des Frequenzganges das Anzeiginstrument (Art der Gleichrichtung, Zeitkonstanten) nur eine untergeordnete Rolle spielt, ist es bei der Festlegung des erforderlichen Störabstandes von ausschlaggebender Bedeutung, da hier Geräusche benutzt wurden, die in sehr verschiedenem Maße aus Dauertönen und Impulsen zusammengesetzt sind. Die Messungen wurden daher parallel mit dem J 77 und mit einem Effektivwert-Instrument (Thermokreuz) entsprechend den zur Zeit noch gültigen internationalen Vorschriften durchgeführt. Der Vergleich mit den Ergebnissen des subjektiven Tests erlaubt dann gleichzeitig eine Beurteilung dieser Meßgeräte bezüglich ihrer Eignung für die Messung von Geräuschspannungen. Bewertet wurde in beiden Fällen nach CCIF 1949. Außerdem wurde eine Vergleichsmessung mit einem J 77 durchgeführt, bei dem die Filterkurve mittels eines vorgeschalteten Vierpols dem von der ZT vorgeschlagenen Verlauf (stärkere Bewertung der Höhen) angepaßt worden war.

Da viele natürliche Störgeräusche zeitlich nicht konstant sind, sondern eine beträchtliche Dynamik haben, ergibt sich auch bei trägen Instrumenten eine schwankende Anzeige, die die Messung erschwert. Bei den vorliegenden Untersuchungen wurde die Anzeige bei den lauten Stellen benutzt, da diese für die Störwirkung entscheidend sein dürften. Vereinzelte Spitzen wurden hingegen außer acht gelassen, da erfahrungsgemäß erst wiederholte Impulse als störend empfunden werden.

Da sich der Geräuschspannungsabstand vernünftigerweise nur auf den Pegel bei Vollaussteuerung beziehen kann, hängt das Ergebnis der Versuche unmittelbar von den Gepflogenheiten der Toningenieure bei der Aussteuerung ab. Es wurden daher mehrere Toningenieure bzw. Tonmeister um ihr Urteil darüber gebeten, wie hoch sie die benutzten Motive aussteuern würden. Erfreulicherweise war die Streuung ihrer Angaben so gering, daß der Mittelwert ohne Bedenken den Versuchen zugrundegelegt werden konnte.

Meßergebnisse

Abb. 7 zeigt das Mittel aus den von 12 Versuchspersonen geforderten Geräuschabständen. Es überraschen zunächst die großen Dämpfungsunterschiede, die je nach Nutzmodulation, Störgeräusch und Raumpegel, eingestellt wurden. Den weitaus größten Ein-

fluß hat dabei offensichtlich die Nutzmodulation. Das ist um so bemerkenswerter, als sich die Motive durchaus nicht so sehr voneinander unterscheiden; in allen Fällen handelt es sich um hochwertige und relativ leise, durchsichtige Musik.

Pause und Klaviermusik erweisen sich wieder als die kritischsten Fälle. Die hier verwendete durchsichtigere Streichmusik ist jedoch — im Gegensatz zu der ersten Aufnahme — empfindlicher als die Orgelmusik. Die Pegeldifferenzen entsprechen dem, was nach den Messungen für die Psophometerkurve zu erwarten war. Alle Störgeräusche liegen wesentlich

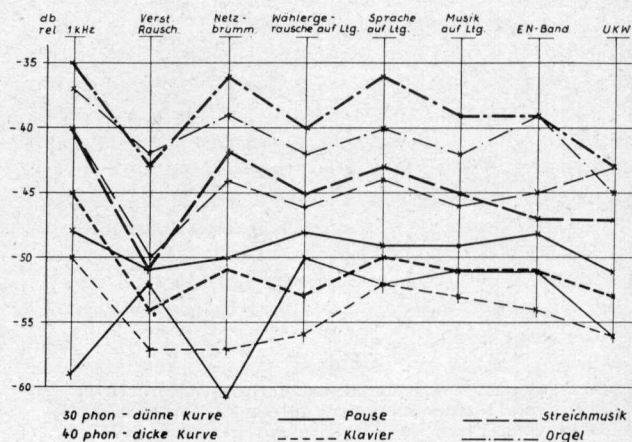


Abb. 7

Von den Versuchspersonen geforderter Geräuschspannungsabstand für verschiedene Nutzmodulationen und Raumgeräuschpegel

im mittleren Frequenzbereich, in dem besonders in ruhigen Räumen die Bewertungskurven für die einzelnen Musikarten stark auseinanderlaufen. So ergibt sich zum Beispiel für die Differenz zwischen Klavier- und Orgelmusik aus beiden Versuchsreihen ein Mittel von 13 db.

Der Raumpegel bringt im allgemeinen nur eine Gesamtverschiebung um 2 bis 3 db.

Die Werte für verschiedene Störgeräusche innerhalb einer Meßreihe sind ziemlich konstant, d. h. die Bewertung durch das J 77 schließt sich dem subjektiven Störeindruck gut an. Auffällig sind die hohen Anforderungen an die Dämpfung der Dauertöne (1000 Hz und Netzbrummen) bei fehlender Modulation (Pause) in ruhigen Räumen. Gerade diese Töne wirken nämlich in Gegenwart von Nutzmodulation, insbesondere bei Orgel- und Streichmusik, sehr wenig störend. Es entspricht dies wohl der Erfahrung, daß solche Töne trotz guter Hörbarkeit leicht von einer wechselnden Modulation überdeckt werden, weil diese offenbar die Aufmerksamkeit des Hörers stärker auf sich lenkt.

Die Mittelwerte auf Abb. 8 zeigen noch deutlicher die gute Anpassung der Meßwerte des J 77 an die subjektive Bewertung.

Die Verwendung der von der ZT vorgeschlagenen Bewertungskurve bringt eine weitere Angleichung an die Horizontale (Abb. 9), also eine gewisse Verbesserung, sofern man aus dem vorliegenden Material, das ja überwiegend anderen Zwecken dienen soll, überhaupt solche Schlüsse ziehen will. (Mittlerer Fehler 0,75 db statt 0,9 db, mittlerer „Fehler“ der subjektiven Bewertung 0,65 db.) Wesentliche Ab-

weichungen ergeben sich hingegen für die Effektivwertmessung, bei der bis zu 8 db Abweichungen vom Mittelwert auftreten (mittlerer Fehler 2,3 db). Auch dieser Versuch spricht also eindeutig für die Überlegenheit der Spitzenbewertung.

Psophometerkurve, denn daß ein solcher Einfluß vorhanden ist, kann kaum bezweifelt werden, daß er aber in den einzelnen Frequenzbereichen verschieden stark in Erscheinung tritt, ist durchaus noch nicht gesagt.

Legen wir einmal, unseren bisherigen Grundsätzen entsprechend, die kritischste Modulation, die Klaviermusik im leisen Raum, der Beurteilung zugrunde, so kommen wir im Mittel auf 54 db.

Die Gruppe der anspruchsvollen musikalisch interessierten Hörer stellt darüber hinaus eine um mehrere db höhere Anforderung. Solche Versuchspersonen stellen nämlich durchweg eine wesentlich höhere Nutzlautstärke ein als der Durchschnitt. Da infolge des nichtlinearen Zusammenhanges zwischen Lautheit und Lautstärke die Störmodulation dadurch unverhältnismäßig stark angehoben wird, führt das gleichzeitig zu höheren Ansprüchen an den Geräuschspannungsabstand.

Andererseits dürfen wir aber annehmen, daß die Versuchsperson, die auf ein Störgeräusch wartet, um es beurteilen zu können, wesentlich kritischer ist als der Hörer, der seine Aufmerksamkeit normalerweise auf das Programm konzentriert. In diesem Zusammenhang ist die schon erwähnte Tatsache interessant, daß das erste Störgeräusch einer Folge um etwa 4 db toleranter beurteilt wird als die folgenden. Die Versuchsperson ist anscheinend zunächst der natürlichen Einstellung noch näher und wird erst später, nachdem schon einmal ein Urteil von ihr verlangt wurde, kritischer. Eine Deutung in dem Sinne, daß der Hörer überhaupt mit der Dauer der Störungen empfindlicher wird, ist weniger wahrscheinlich, da ja der Charakter der Störung ständig wechselt. Auch widerspricht dies der alltäglichen Erfahrung, daß ein Netzbrummen oder ein Rauschen am Beginn einer Sendung häufig stört, während man es später völlig überhört.

Unter Berücksichtigung aller dieser Umstände kann man schließen, daß ein Geräuschspannungsabstand von 55 db anzustreben ist. Darüber hinaus ist eine weitere Steigerung nicht mehr zu vertreten, wenn sie mit nennenswerten Kosten verbunden ist. Ein Abstand von 45 db dürfte bei den weitaus meisten Modulationsarten noch keine Beeinträchtigung bedeuten und selbst bei 35 db werden große Teile des Programms noch mit befriedigender Qualität gehört werden können.

SCHRIFTTUM:

- [1] Fletscher und Munson: Loudness its Definition Measurement and Calculation. Journ. Ac. Soc. 5 [1933] S. 82.
 - [2] Steudel, Ulrich: Über die Empfindung und Messung der Lautstärke, Hochfrequenztechnik und Elektro-Akustik, 41, [1937] Heft 4, S. 116.
 - [3] Bürck, Kotowski und Lichte: Die Lautstärke von Knacken, Geräuschen und Tönen, ENT 12, [1935] S. 278.
 - [4] Bürck, Kotowski und Lichte: Die Lautstärke von Knackfolgen, Hochfrequenztechnik und Elektro-Akustik, Bd. 47 [1936] S. 33.
 - [5] Garner, W. R.: The Loudness of Repeated Tones, ASA, 20, [1948] S. 513.
- M a n g o l d, H.: Grundlagen der Geräuschspannungsmessung Rohde & Schwarz-Mitteilungen, 1952 S. 21.

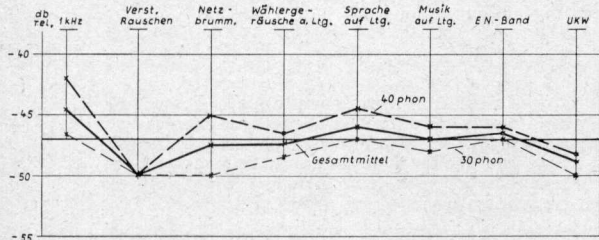


Abb. 8

Mittelwert über die Nutzmodulationsarten nach Abb. 7

weichungen ergeben sich hingegen für die Effektivwertmessung, bei der bis zu 8 db Abweichungen vom Mittelwert auftreten (mittlerer Fehler 2,3 db). Auch dieser Versuch spricht also eindeutig für die Überlegenheit der Spitzenbewertung.

Versuche einer Schlußfolgerung

Es liegt in der Natur einer Qualitätsforderung, daß der persönlichen Ansicht dabei ein weites Spielfeld eingeräumt werden muß, — nicht zuletzt, weil die Verwirklichung oft mit einem erheblichen wirtschaftlichen Aufwand verbunden ist.

Im vorliegenden Falle geht es vor allem darum, welche Nutzmodulation den Forderungen zugrunde gelegt werden soll und ob der Hörer mit normalen oder der mit hohen Ansprüchen entscheiden soll. Ferner — und das ist wohl das Schwierigste — muß die seelische Einstellung der Testpersonen, die von der der normal Hörenden durchaus verschieden ist,

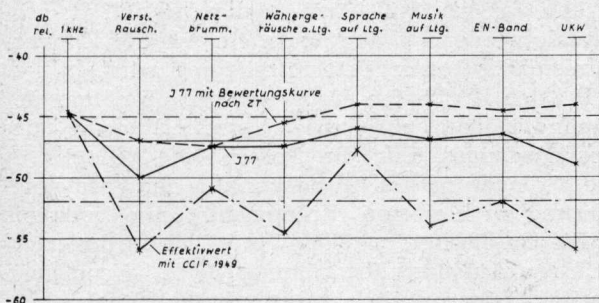


Abb. 9

Vergleich der Anzeigewerte eines J 77 (CCIF 1949) mit denen eines J 77 mit Bewertung nach dem Vorschlag der ZT sowie mit den Werten eines Effektivwertinstrumentes (CCIF 1949)

berücksichtigt werden und versucht werden, ihren Einfluß zahlenmäßig abzuschätzen. Diese Frage ist hier weit wichtiger als bei der Festlegung der