Über die Messung und Bewertung der Störwirkung von Geräuschen

Von **E. Belger**, Hamburg-Wellingsbüttel

Mit 13 Bildern

DK 621.395.8

Im ersten Teil der Arbeit wird die Störwirkung zerhackter oder gewobbelter Sinustöne und eines thermischen Rauschens von einer Terz Bandbreite in Abhängigkeit von der Frequenz in Gegenwart von Nutzmodulation (Musik) unter Bedingungen wie in einer Privatwohnung untersucht. Es wurde hochwertige Musik von jungen, gut hörfähigen Versuchspersonen abgehört.

Gegenüber der Psophometerkurve nach CCIF 1949 ergab sich eine merklich höhere Störempfindlichkeit für Frequenzen oberhalb 5 kHz.

Im zweiten Teil wird der für hochwertige Musikübertragungen erforderliche Geräuschspannungsabstand ermittelt.

In the first part of this article there is examined the interfering effect of chopped or wobbled sine tons and of a thermal noise of a terz band width as a function of the frequency in presence of useful modulation (music) under conditions as in a private dwelling. Young testers with good hearing capability listened to music of high quality.

Compared with the psophometer curve according to CCIF 1949 a considerable higher interference sensitivity resulted from frequencies above 5 kHz. In the second part there was ascertained the necessary signal-to-noise ratio for music transmissions of high quality.

Dans la première partie de cet article l'effet des perturbations des sons sinusoïdaux hachés ou wobulés et d'un bruit thermique avec une largeur de bande d'une tierce en fonction de la fréquence en présence de modulation utile (musique) dans les conditions comme dans un appartement privé, est examiné. Des personnes d'essai jeunes et bien capables à ouïr ont écouté de la musique d'une bonne qualité.

En comparaison avec la courbe du psophomètre selon CCIF 1949, on a trouvé une sensiblité plus haute contre des perturbations au-dessus de 5 kHz.

Obwohl seit Jahrzehnten von verschiedener Seite Untersuchungen über die Störwirkung bzw. die Lautstärke von Geräuschen vorgenommen wurden, hat man auch heute, wie aus den sich zum Teil erheblich widersprechenden Ergebnissen hervorgeht, weder über das Prinzipielle noch über das Apparative endgültige Klarheit gewonnen.

Auf der anderen Seite aber besteht seit langem ein allgemeines, dringendes Bedürfnis nach einer Meßmöglichkeit, nicht zuletzt in der elektrischen Übertragungstechnik. Störspannungen, die in tonfrequenten Übertragungskanälen auftreten, beeinträchtigen unmittelbar die Übertragungsqualität und unter Umständen sogar die Verständlichkeit. Die Maßnahmen zu ihrer Verringerung erfordern einen erheblichen wirtschaftlichen Aufwand. Eine Kontrolle ihrer Wirksamkeit durch Meßgeräte ist daher unbedingt erforderlich.

Das Schwergewicht liegt dabei auf der „Geräuschspannungsmessung", d. h. auf einer Messung, die den subjektiven Störeindruck wiedergeben soll.

Für Betriebsmessungen dieser Art kommen komplizierte Verfahren, die, etwa wie *Beraneks* Methode der Lautstärkemessung, eine Aufspaltung des Frequenzbereichs in mehrere Meßbereiche mit nachfolgender rechnerischer oder graphischer Zusammensetzung erfordern, kaum in Frage. Es ist vielmehr eine direkte Anzeige erwünscht. Die heute fast ausschließlich gebräuchlichen Geräte enthalten ein Bewertungsfilter, das die verschiedene Ohrempfindlichkeit in den einzelnen Frequenzbereichen berücksichtigt und einen nachfolgenden Richtverstärker mit Anzeigeinstrument, der die richtige Bewertung des zeitlichen Verlaufs (Dauertöne oder Impulse) vornimmt.

Während man zunächst davon ausging, daß Lautstärke und Störwirkung einander proportional seien, und man dementsprechend eine Frequenzbewertung nach den Kurven gleicher Lautstärke vornahm, setzt sich seit einigen Jahren die Erkenntnis durch, daß die Beziehungen zwischen den beiden Größen, besonders bei höheren Frequenzen, keineswegs so einfach sind. Eindeutig kommt diese Auffassung erstmalig in der 1949 vom CCIF empfohlenen Psophometerkurve zum Ausdruck, die eine wesentlich kritischere Bewertung der Frequenzen oberhalb von 1000 Hz mit sich brachte. Sie ergab sich aus Versuchen der American Telephone and Tele-

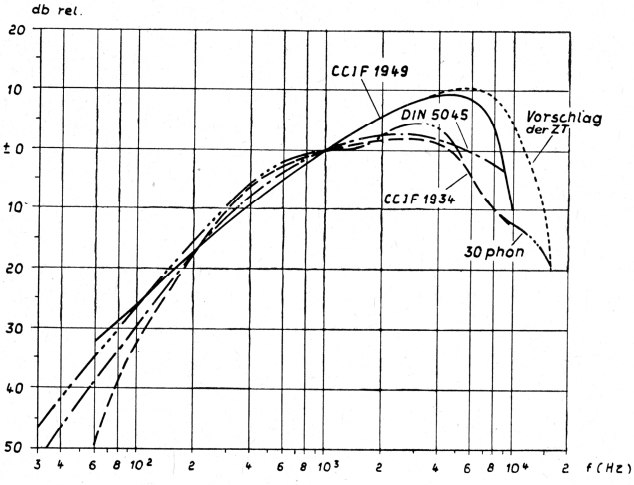

Bild 1. Einige Bewertungskurven zur Geräuschspannungsmessung

graph-Company, bei denen die Störwirkung von Geräuschen unter Bedingungen untersucht wurde, wie man sie beim Rundfunkempfang in einem Wohnraum vorfindet (Bild 1).

Da auch diese Kurve nur als „vorläufige Empfehlung" bezeichnet wird, wurden im Auftrage der Arbeitsgemeinschaft der westdeutschen Rundfunkanstalten beim NWDR Versuche durchgeführt mit dem Ziel, diese Bewertungskurve zu überprüfen. Die Ergebnisse der Untersuchungen wurden der Deutschen Bundespost

übermitelt als Unterlagen für einen Bericht an das CCIF.

Unabhängig von diesen Untersuchungen wurde anschließend der für hochwertige Rundfunkübertragungen erforderliche Geräuschspannungsabstand untersucht, wobei als Meßgerät der bei der Deutschen Bundespost und den westdeutschen Rundfunkanstalten eingeführte Geräuschspannungsmesser 3/U 311-313 der Firma Siemens & Halske (J 77) verwendet wurde.

I. Über die Frequenzabhängigkeit der Störwirkung

1. Versuchsbedingungen

Es wurde angestrebt, ähnlich wie bei den Versuchen der ATT, die Beobachtungen unter den gleichen Bedingungen (Nutzlautstärke, Raumpegel) durchzuführen, unter denen die Beobachter in ihrer Wohnung Rundfunkübertragungen zu hören pflegen.

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. Sehr unempfindliche Übertragungen, wie z. B. Tanzmusik und großes Orchester, wurden außer acht gelassen, da gleichgültig, wie die Bewertungskurve beschaffen sein möge, bei diesem Typus von Übertragungen keine Beeinträchtigung des Empfangs zu erwarten ist, wenn die Anlage den Anforderungen entspricht, die die oben erwähnten kritischen Modulationsarten stellen.

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. Eine gewisse psychologische Schwierigkeit bleibt jedoch grundsätzlich bei diesen Versuchen bestehen: Während die Hörer sich normalerweise auf das Programm konzentrieren und eventuelle Störgeräusche nach Möglichkeit überhören, werden sie hier durch die Notwendigkeit, den Störpegel einzustellen oder ihn in irgendeiner anderen Art zu beurteilen, immer wieder auf die Störungen hingewiesen und vom Programm abgelenkt. Es ist möglich, daß die Ergebnisse durch diese fehlerhafte Einstellung in einem gewissen Grade verfälscht werden. Es läßt sich jedoch m. E. kein praktisch durchführbares Meßverfahren denken, bei dem diese Erscheinung ausgeschaltet wäre.

Ebenso liegt natürlich in der Auswahl der Störgeräusche, der Lautstärke und des Charakters des Raumgeräusches sowie vor allem der Nutzmodulation immer eine gewisse Willkür. Wenn man jedoch überhaupt mit erträglichem Aufwand zu einer Störbewertungskurve kommen will, wird man diese Fehlermöglichkeiten in Kauf nehmen müssen.

Ein Blockschaltbild der benutzten Versuchsapparatur findet sich auf Bild 2.

Im einzelnen wurde die Versuche unter den folgenden Bedingungen durchgeführt:

Nutzmodulation

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.

Bei der soeben beschriebenen Art von Modulation bestand die Gefahr, daß die Versuchspersonen die Lautstärke in Verkennung ihres natürlichen Pegels zu hoch einregelten. Der Testmodulation wurde daher aus dem gleichen Musikstück eine kurze Stelle mit großer Dynamik vorausgeschickt, bei der die Beobachter die gewünschte Lautstärke einstellten. Die darauf folgende leise eigentliche Testmodulation hatte dann zwangsläufig die ihr zukommende Lautstärke, die während der Meßreihe nicht mehr geändert wurde.

Bei der Auswahl der Motive zeigte es sich, daß die meisten Bandaufnahmen bei den piano-Stellen ein Rauschen aufwiesen, das normalerweise zwar nicht störte, ihre Verwendung für diesen speziellen Zweck jedoch bedenklich erscheinen ließ. Es wurden daher besondere Aufnahmen auf hochwertigen Bändern gemacht, wobei die Modulation um 15 db angehoben wurde. Durch eine entsprechende Dämpfung bei der Wiedergabe wurde das Grundgeräusch der Bänder praktisch unhörbar. Da der maximale Pegel sich trotz Anhebung noch immer mindestens 5 db unter Vollaussteuerung befand, waren keine nichtlinearen Verzerrungen zu befürchten. Durch Verwendung eines hochwertigen Lautsprechenschranks mit Hochton-Kugel-

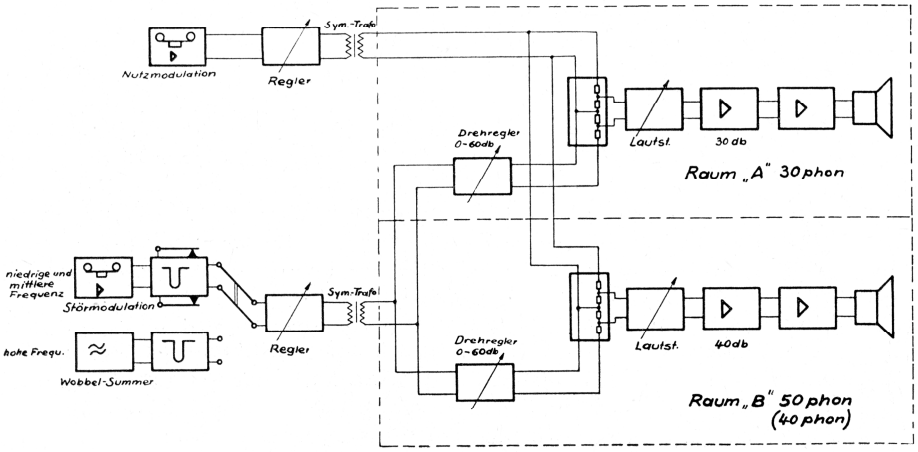

Bild 2. Blockschaltbild der benutzten Versuchsapparatur

strahler wurde sichergestellt, daß auch an diesem Punkt der Übertragungskette keine unzulässigen Verzerrungen auftraten.

Störmodulation

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. Die Auswahl dieser Motive mag, wenn man an die praktisch vorkommenden Störgeräusche denkt, etwas künstlich erscheinen. Eine Zerlegung eines natürlichen Störgeräusches mittels schmaler Filter führt jedoch zu Störgeräuschen, die je nach Frequenzlage in verschiedenem Maße aus Impulsen oder aus Dauertönen zusammengesetzt sind. Bei der Verwendung solcher Geräusche würde sich die Auswirkung des Frequenzganges in unkontrollierbarer Weise mit der des Impulscharakters vermischen — ganz abgesehen davon, daß ein solcher schmaler Ausschnitt dem normalen Fall auch nicht mehr sehr ähnlich wäre.

Es wurden die Frequenzen 50, 100, 200, 400, 800, 1600, 3200, 6400, 8000 und 12 500 Hz benutzt. Diese Geräusche waren ebenfalls auf Band aufgenommen worden, und zwar mit einem Pegel von — 12 db unter Vollaussteuerung. Dadurch wurden auch hier einerseits die nichtlinearen Verzerrungen, andererseits das Bandrauschen unter der Grenze der Wahrnehmbarkeit gehalten. Die 50-Hz-Störgeräusche wurden außerdem über ein Terzfilter wiedergegeben, da hier kleine Komponenten höherer Frequenzen hörbar waren, die möglicherweise zu einer Fälschung der Ergebnisse geführt hätten.

Da diese Versuchsreihe 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 (Wobbelfrequenz 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 Wobbeltöne wurden außerdem über Filter gegeben, um eventuelle Differenztöne des Schwebungssummers aus Frequenzbereichen größerer Störfähigkeit zu unterdrücken.

Die Störgeräusche konnten von den Versuchspersonen mittels eines Drehreglers in Stufen von 2,5 db so weit gedämpft werden, daß sie den Genuß der dargebotenen Musik nicht mehr beeinträchtigten. Die eingestellten Werte wurden jeweils notiert. Die Frage, wie lange ein Störgeräusch den Beobachtern dargeboten werden muß, war in Vorversuchen geklärt worden. Es ergab sich, daß 15 s ausreichten, um den gewünschten Dämpfungswert ohne Hast einzustellen. Bei längerer Dauer wurde die Konzentration, besonders bei den Teilnehmern mit schnellem Reaktionsvermögen, beeinträchtigt.

Bei den Versuchen konnte beobachtet werden, daß die Versuchspersonen sich keineswegs nur auf ihr Gehör verließen, sondern durch äußere Dinge merklich beeinflußt werden konnten. So neigten sie dazu, den Drehregler jeweils in eine Stellung zu bringen, die von der vorhergehenden nicht allzusehr abwich, auch wenn dies dem dargebotenen Pegel nicht entsprach. Um eine Beeinflussung zu vermeiden, waren die Regler zwar von vornherein so aufgebaut, daß die Versuchspersonen die eingestellte Dämpfung nicht ablesen konnten, jedoch hatten letztere ein ungefähres Gefühl für die Größe des Drehwinkels und neigten dazu, bei der darauffolgenden Frequenz wieder einen ähnlichen Wert einzustellen. Bei gleichem Schalldruck für alle Frequenzen führt das zu einer Einebnung der Kurve. Es war daher erforderlich, den ungefähren Verlauf der Dämpfung, wie er aus der zur Zeit benutzten Kurve und den Vorversuchen bekannt war, vorzugeben und den Versuchspersonen nur die Korrektur dieser Werte zu überlassen. Dies bedeutet keine unzulässige Beeinflussung des Beobachters, sondern ist nur eine Übertragung des aus der Mathematik bekannten Iterationsprinzips.

Ferner zeigte es sich, daß die Versuchspersonen gegenüber dem ersten Störton einer Folge duldsamer waren als gegenüber den folgenden: Der gleiche Ton wurde, wenn er sich am Anfang der Folge befand, von den Beobachtern um 3 db weniger gedämpft, als wenn er sich an einer anderen Stelle befunden hätte. Um den Fehler zu erfassen, wurden die Störgeräusche daher zum Teil in anderer Reihenfolge dargeboten.

Raumgeräusche

Die Versuche wurden zur einen Hälfte in einem leisen Raum von 30 phon Geräuschpegel durchgeführt, zur andern in einem geräuschvollen 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 Frequenzbereich elektrisch gedämpft wurde, um die Schalldämmung durch geschlossene Fenster nachzubilden. Der zweite Lautsprecher war, vom Beobachter aus gesehen, in einem größeren Winkelabstand vom ersten aufgestellt, um dem Ohr eine Trennung des Klangeindruckes zu erleichtern, wie ja auch in Wohnräumen das Raumgeräusch und das empfangene Programm zumeist aus verschiedenen Richtungen einfallen.

Der Frequenzgang von Lautsprecher und Raum war auf elektrischem Wege entzerrt worden. Da Abweichungen des Frequenzganges vom geradlinigen Verlauf das Versuchsergebnis unmittelbar in voller Größe beeinflussen, wurde die gesamte Übertragungskette vom Band bzw. Wobbeltongenerator bis zum Raum derart erfaßt, daß der Schalldruck der Originalstörgeräusche am Ort des Beobachters mit einem Meßmikrofon ermittelt wurde. Die Verwendung der Störgeräusche selbst ist auch deshalb wichtig, weil Raum und Lautsprecher sehr schmalbandige Frequenzeinbrüche bzw. Überhöhungen besitzen und eine Interpolation aus benachbarten Frequenzen zu durchaus merklichen Fehlern führen würde. Da der Standort der Beobachter während der Versuche natürlich nicht sehr genau festliegt, wurde bei der Ermittlung des

restlichen Frequenzganges das Mittel der Werte benutzt, die sich bei sechs benachbarten Stellungen des Mikrofons ergaben.

Versuchspersonen

Die Beobachtungen wurden von zwanzig teils männlichen teils weiblichen Personen im Alter zwischen zwanzig und dreißig Jahren ausgeführt. Bei den männlichen Personen überwogen technische Berufe, bei den weiblichen kaufmännische.

Die Ohrempfindlichkeit aller Beobachter war zuvor mit einem Audiometer überprüft und Fälle von Hörfehlern ausgeschlossen worden. Für den oberen Frequenzbereich wurde mittels eines RC-Summers und eines dynamischen Kopfhörers ein Audiometer improvisiert, und die später beim Versuch benutzten Frequenzen zur Prüfung der Ohrempfindlichkeit verwendet.

2. Ergebnisse

Die Ergebnisse der Versuche sind in den Bildern 3 bis 9 niedergelegt. Die Ordinate gibt darin das Mittel aus den von zwanzig Versuchspersonen *) eingestellten Dämpfungswerten wieder, wobei eine Korrektur nach den Frequenzgängen schon vorgenommen wurde.

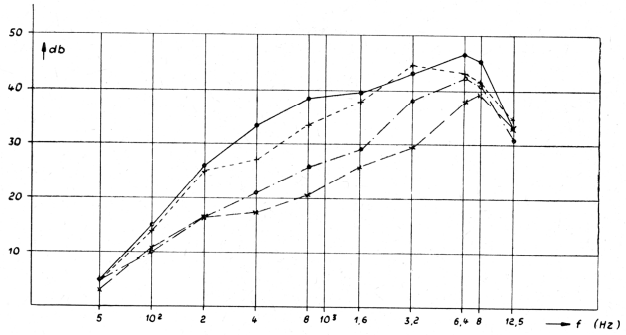

Bild 3. Von den Versuchspersonen im Mittel geforderter Dämpfungsverlauf der Störmodulation (Terzrauschen) in einem Raum von 30 phon Grundgeräusch bei verschiedenen Nutzmodulationen.
—— Pause . . . Klavier —·— Orgel — — — Streichinstrumente.
(Die db-Skala bezieht sich hier, wie bei allen folgenden Bildern von Teil I, auf die benutzte Versuchsapparatur, bedeutet also nicht etwa den Abstand vom Nutzpegel oder von der Aussteuerungsgrenze)

Bild 3 zeigt die Störempfindlichkeit gegenüber Terzrauschen bei verschiedenartiger Nutzmodulation in einem ruhigen Raum (30 phon).

Wie zu erwarten, ist die Empfindlichkeit in der Modulationspause am größten, bei Klaviermusik infolge der Pausen zwischen den einzelnen Tönen nicht viel kleiner. Wesentlich geringer ist sie jedoch bei Orgel- und noch geringer bei Streichmusik, da beide mit ihren langgezogenen Tönen, die zumeist ohne Pause ineinander übergehen, die Störmodulation verdecken. Der Effekt zeigt sich besonders im mittleren Frequenzbereich, wo der Schwerpunkt der Nutzmodulation liegt, und in dem angrenzenden höheren Bereich, weil tiefere Frequenzen höhere stärker verdecken als umgekehrt. Die Empfindlichkeit bei den höchsten und tiefsten Frequenzen wird durch die Modulation kaum beeinflußt.

*) Da sich bei den Versuchen gezeigt hatte, daß zwischen den Ergebnissen der männlichen und der weiblichen Personen trotz der verschiedenen Berufsgruppen keine nennenswerten Unterschiede auftreten, wurde stets das Mittel über alle Versuchspersonen gebildet.

Bild 4 zeigt bei gleicher Nutz- und Störmodulation den Einfluß eines Raumes mit höherem Geräuschpegel (50 phon). Die Raumgeräusche wirken sich im gleichen Sinne wie die Nutzmodulation aus, und zwar bei

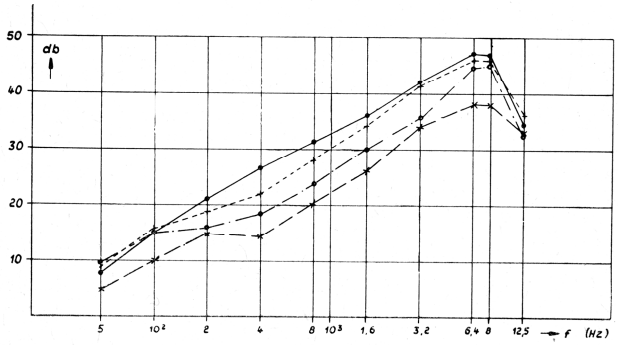

Bild 4. Geforderter Dämpfungsverlauf für ein Terzrauschen bei einem Raumpegel von 50 phon.
—— Pause . . . Klavier —·— Orgel — — — Streichinstrumente

fehlender oder „durchsichtiger" Modulation stärker als bei der ohnehin schon stark verdeckenden Orgel- oder Streichmusik.

Bild 5 unterscheidet sich von Bild 3 nur durch die Art der Störmodulation, ebenso Bild 6 von Bild 4. Ein

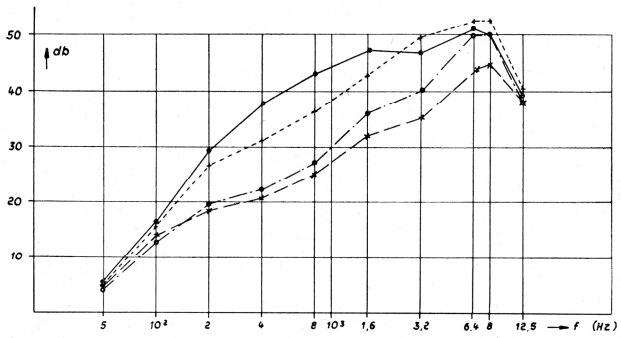

Bild 5. Geforderter Dämpfungsverlauf für einen zerhackten Sinuston, Raumpegel 30 phon.
—— Pause . . . Klavier —·— Orgel — — — Streichinstrumente

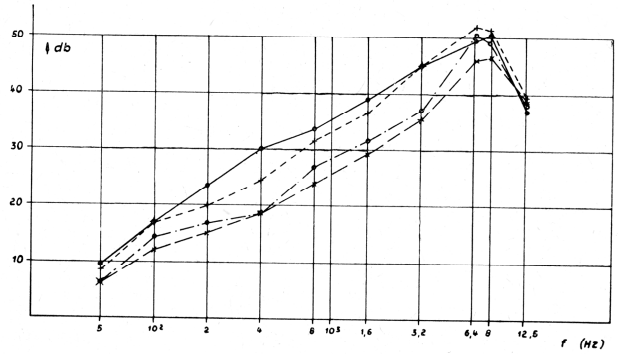

Bild 6. Geforderter Dämpfungsverlauf für einen zerhackten Sinuston, Raumpegel 50 phon.
—— Pause . . . Klavier —·— Orgel — — — Streichinstrumente

merklicher Unterschied innerhalb dieser Paare besteht nur bei den hohen Frequenzen, wo das Ohr dem unterbrochenen Sinuston gegenüber empfindlicher ist als dem Terzrauschen.

Der obere Frequenzbereich, gemessen unter Benutzung der gleichen Nutzmodulation, jedoch mit einem Wobbelton als Störmodulation, ist in Bild 7 (30 phon Raumgeräusch) und Bild 8 (50 phon Raumgeräusch) dargestellt. Auch hier verliert sich die Auswirkung des

Raumpegels beim Übergang zu den höchsten Frequenzen.

In Bild 9 sind die beiden Bereiche (das Mittel aus Bild 3, 4, 5, 6 und das Mittel aus Bild 7 und 8) zusammengesetzt, wobei sie in senkrechter Richtung so

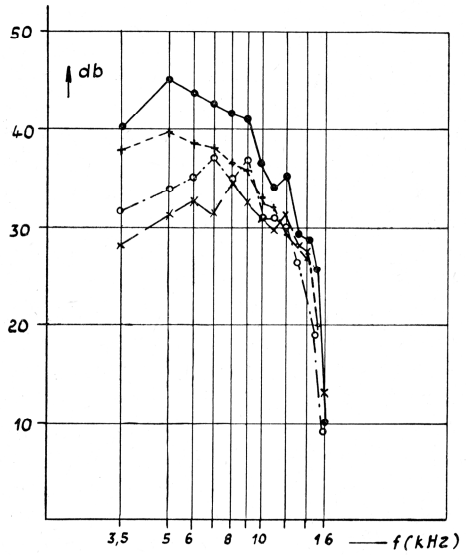

Bild 7. Geforderter Dämpfungsverlauf für einen gewobbelten Sinuston, Raumpegel 30 phon.
—— Pause . . . Klavier —·— Orgel — — — Streichinstrumente

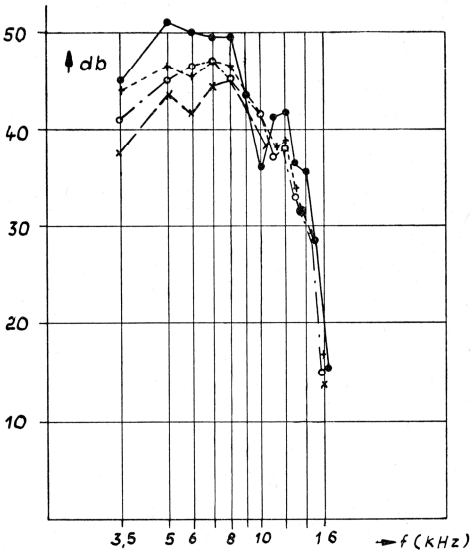

Bild 8. Geforderter Dämpfungsverlauf für einen gewobbelten Sinuston, Raumpegel 50 phon.
—— Pause . . . Klavier —·— Orgel — — — Streichinstrumente

gegeneinander verschoben wurden, daß im Überlappungsbereich (3,5 bis 12,5 kHz) eine möglichst gute Deckung erzielt wurde.

Ein Vergleich mit der Störbewertungskurve des CCIF von 1949 zeigt im unteren und mittleren Bereich befriedigende Übereinstimmung, während oberhalb von 6 kHz die Störwirkung nach den vorliegenden Versuchen wesentlich stärker ist, als nach der CCIF-Kurve zu erwarten war. Der neu ermittelte Verlauf für diesen Bereich kann etwa durch die gestrichelte Kurve dargestellt werden. Der Unterschied zwischen den beiden Kurven dürfte dadurch zu erklären sein, daß an den amerikanischen Versuchen, die den CCIF-Werten zugrunde liegen, auch ältere Personen teilnahmen.

Für ein weißes Rauschen ergibt die stärkere Bewertung der Höhen z. B. eine um 3 db höhere Rauschspannung.

Der mittlere und untere Bereich könnte mit guter Näherung auch durch eine Gerade mit einer Steigung

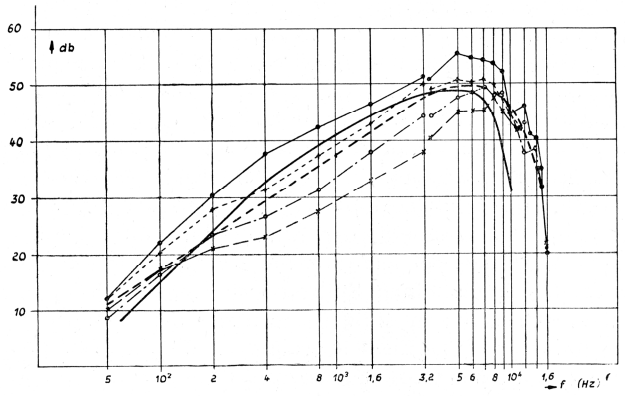

Bild 9. Von den Versuchspersonen geforderter Dämpfungsverlauf. Mittel über verschiedene Raumpegel und Störgeräusche; unterer und oberer Frequenzbereich zusammengesetzt. Daraus ermittelte Bewertungskurve — — im Vergleich mit der Psophometerkurve CCIF 1949 ——

von 6 db pro Oktave nachgebildet werden. Nach den Versuchsergebnissen entspricht die CCIF-Kurve von 1949 in diesem Bereich den Verhältnissen in den Modulationspausen in ruhigen Räumen, während die Gerade die Empfindlichkeit in Räumen mit mittlerem Geräuschpegel bei empfindlicher Musik (Klavier) wiedergibt.

Vom Praktischen her gesehen hat die CCIF-Kurve den Vorteil, daß bei den bestehenden Geräten am Frequenzgang im unteren und mittleren Bereich nichts mehr geändert zu werden brauchte, während die Gerade leichter zu realisieren wäre (einfaches RC-Glied).

Zur Abschätzung der Genauigkeit der ermittelten Werte wurde die übliche Fehlerrechnung herangezogen, obwohl von einem „Fehler" im üblichen Sinne hier natürlich nicht die Rede sein kann. Es ergaben sich folgende Werte:

Mittlere „Fehler"	unterer Frequenzbereich	mittlerer Frequenzbereich	oberer Frequenzbereich
der Einzelmessung	5,3 db	6,8 db	8,0 db
des Mittels in den Kurven 2 bis 5	1,3 db	1,6 db	2,2 db
des Gesamtmittels	0,7 db	0,8 db	1,1 db

Die von den Versuchspersonen eingestellte Lautstärke der leisen Nutzmodulation betrug im ruhigen Raum (30 phon Geräuschpegel) im Mittel 54 phon mit einer mittleren Abweichung von 2,4 phon, im geräuschvollen Raum (50 phon Raumpegel) 63 phon mit einer mittleren Abweichung von 3 phon.

II. Untersuchungen über den erforderlichen Geräuschspannungsabstand

1. Versuchsbedingungen

Die erste Versuchsreihe hatte 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.

Während bei der Ermittlung des Frequenzganges das Anzeigeinstrument (Art der Gleichrichtung, Zeitkonstanten) nur eine untergeordnete Rolle spielt, ist es bei der Festlegung des erforderlichen Geräuschspannungsabstandes von ausschlaggebender Bedeutung, da hier Geräusche benutzt werden, die in sehr verschiedenem Maße aus Dauertönen und Impulsen zusammengesetzt sind. Die hier erhaltenen Werte gelten also nicht allgemein, sondern nur für den hier benutzten Geräuschspannungsmesser von Siemens & Halske (3 U 311/113). Das Gerät ist bei der Deutschen Bundespost und den westdeutschen Rundfunkanstalten eingeführt und führt bei letzteren die Bezeichnung J 77. Es handelt sich um einen Spitzenwertanzeiger mit einer Integrationszeit von einigen ms und einer Abfallzeitkonstanten von 350 ms. Die frequenzmäßige Bewertung erfolgt nach der CCIF-Kurve von 1949.

Es wurden folgende acht Geräusche benutzt:

a) Rauschen eines Verstärkers

Energiemäßig betrachtet, enthielt dieses Geräusch ein starkes Netzbrummen, das jedoch infolge seiner tiefen Frequenzlage für das Ohr nicht in Erscheinung trat.

b) Induktive Einstreuung von Netzbrummen

Das Brummen bestand im wesentlichen aus einem 100-Hz-Ton mit einem beträchtlichen Anteil höherer Harmonischer. Subjektiv entscheidend war die 200-Hz-Komponente.

c) Wählergeräusch und Netzbrummen auf einer Leitung

Für das Ohr entscheidend war das sehr impulshaltige Wählergeräusch.

d) Übersprechen eines Telefonats auf eine Leitung

Das Geräusch enthielt außerdem eine Brummeinstreuung. Subjektiv betrachtet überwog jedoch das gut verständliche Gespräch.

e) Übersprechen von Akkordeonmusik auf eine Leitung

Bei etwas höherer Lautstärke war ein Brummen noch gut wahrnehmbar, jedoch überwog der Störeindruck der Musik, bei der als Folge des Übersprechens die hohen Frequenzen erheblich überbewertet waren.

f) Rauschen eines Magnettonbandes (EN-Band)

Im Energiespektrum überwog der Bereich um 150 Hz, für das Ohr trat jedoch das Frequenzband um 4000 Hz herum wesentlich stärker in Erscheinung.

g) Störgeräusche in einem UKW-Empfänger

Die hier benutzten Geräusche entstehen, wenn der Nutzsender unmoduliert ist und ein Störsender im gleichen Kanal einen 1000-Hz-Dauerton ausstrahlt. Es tritt eine Reihe von Sinustönen auf, die nicht harmonisch zueinanderliegen und deren Tonhöhe sich dauernd ändert, da die Sender nicht völlig frequenzkonstant sind. Der gehörmäßige Eindruck war der eines hohen und unangenehmen Schwirrens oder Zirpens.

h) Sinuston 1000 Hz

Der Ton wurde vor allem zu Eich- und Meßzwecken eingeführt.

In den übrigen Punkten wurde das Versuchsverfahren von I. beibehalten und nur geringfügige Änderungen eingeführt. So wurde die bisher benutzte Streichmusik, die recht undurchsichtig und kompakt war und sich 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 Rundfunksendungen 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, der infolge der Verschiedenheit der Räume zu nicht reproduzierbaren Ergebnissen führen müßte. Die komplexe Natur der meisten natürlichen Störgeräusche erlaubt außerdem keine rechnerische Korrektur, wie sie bei den künstlichen Störgeräuschen möglich war.

Bei sehr spitzenhaltigen Geräuschen läßt sich gegen dieses Verfahren einwenden, daß scharfe Modulationsspitzen infolge der verschieden großen Laufzeiten des direkten und des ein- oder mehrfach reflektierten Schalles auf dem Wege zum 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. Eine genauere meßtechnische Überprüfung dieses Effektes wäre wünschenswert.

Die Messungen wurden parallel mit dem J 77 und mit einem Effektivwertinstrument (Thermokreuz) entsprechend den zur Zeit noch gültigen internationalen Vorschriften durchgeführt. Der Vergleich mit den Ergebnissen des subjektiven Tests erlaubt dann 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 der stärkeren Bewertung der Höhen gemäß Teil I 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 Vor- und Haupt-

motive aussteuern würden. Erfreulicherweise war die Streuung ihrer Angaben so gering, daß der Mittelwert ohne Bedenken den Versuchen zugrunde gelegt werden konnte.

2. Meßergebnisse

Bild 10 zeigt das Mittel aus den von zwölf Versuchspersonen geforderten Geräuschspannungsabständen. Es

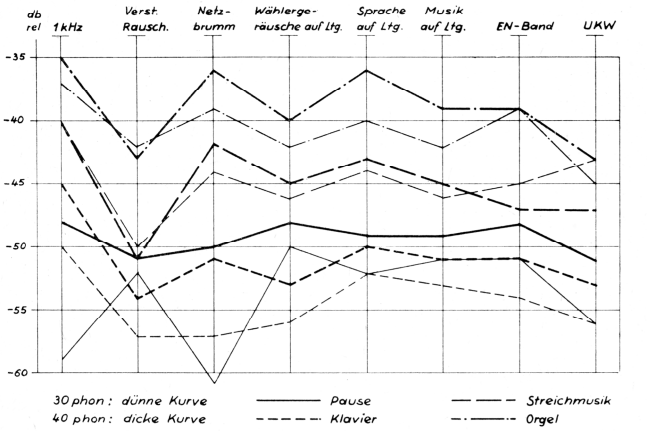

Bild 10. Von den Versuchspersonen geforderter Geräuschspannungsabstand für verschiedene Nutz- und Störmodulationen bei Raumgeräuschpegeln von 30 und 40 phon. (0 db = Vollaussteuerung).
—— Pause . . . Klavier —·— Orgel — — — Streichinstrumente

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 Bild 11 zeigen noch deutlicher die gute Anpassung der Meßwerte des J 77 an die subjektive Bewertung.

Die Verwendung der neu vorgeschlagenen Bewertungskurve bringt eine weitere Angleichung an die Horizontale, also eine gewisse Verbesserung (Bild 12), 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.)

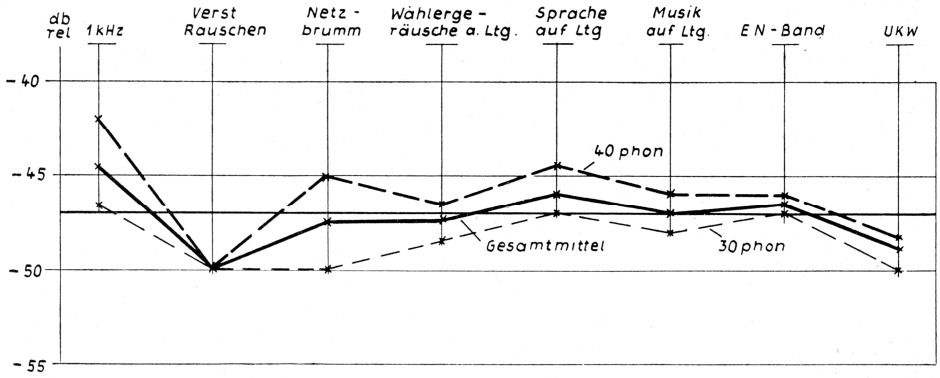

Bild 11. Mittelwert über die Nutzmodulationsarten nach Bild 10

überraschen zunächst die großen Dämpfungsunterschiede, die je nach Nutzmodulation, Störgeräusch und Raumpegel eingestellt wurden. Den weitaus größten Einfluß 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 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.

Wesentliche Abweichungen 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.

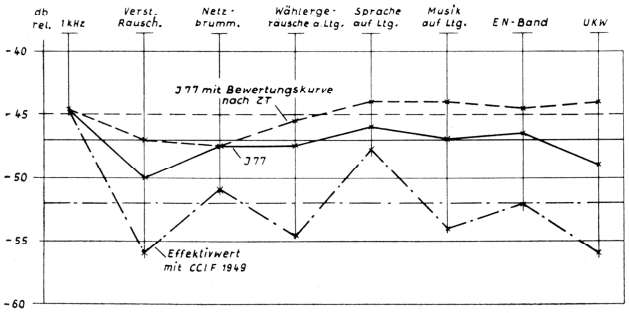

Bild 12. Vergleich der Anzeigewerte eines J 77 (Störbewertungskurve CCIF 1949) mit denen eines J 77 mit Bewertung nach dem Vorschlag der ZT sowie mit den Werten eines Effektivwertsinstruments (Störbewertung nach CCIF 1949)

Bild 13 zeigt die Fremdspannungswerte der benutzten Geräusche, wenn die Geräuschspannung jeweils gleich 0 db gesetzt wurde, beide Spannungen mit J 77 gemessen. Sowohl beim Verstärkerrauschen als auch bei

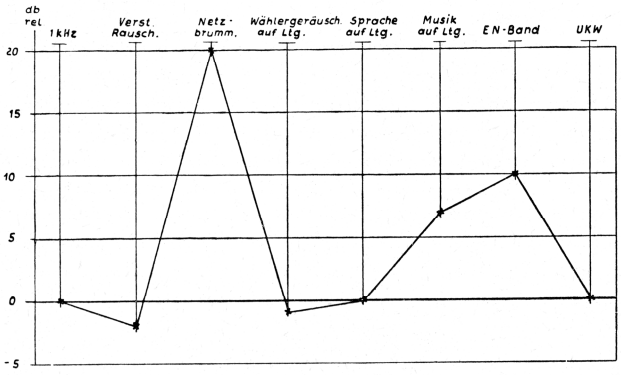

Bild 13. Vergleich der Fremdspannungswerte von Geräuschen, die gleiche Geräuschspannungspegel besitzen

den Wählergeräuschen sind die Geräuschspannungswerte etwas höher als die Fremdspannungen.

Schlußfolgerung zu Teil 2

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 des normal Hörenden durchaus verschieden ist, berücksichtigt werden und versucht werden, ihren Einfluß zahlenmäßig abzuschätzen. Diese Frage ist hier weit wichtiger als bei der Festlegung der 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. Zum Teil kommt das daher, daß solche Versuchspersonen durchweg eine wesentlich höhere Nutzlautstärke einstellen 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 widerspräche 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 (gemessen mit einem Spitzenspannungsanzeiger vom Typ des J 77) 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 sehr vielen Modulationsarten noch keine Beeinträchtigung bedeuten, und selbst bei 35 db werden große Teile des Programms noch mit befriedigender Qualität gehört werden können.

Schrifttumsverzeichnis

[1] *L. L. Beranek, J. L. Marshall, Al. Cudworth, A. P. G. Peterson:* Calculation and Measurement of the Loudness of Sounds. Journ. Ac. Soc. 23 (1951), S. 261.
[2] *Fletscher* und *Munson:* Loudness its Definition Measurement and Calculation. Journ. Ac. Soc. 5 (1933), S. 82.
[3] *Steudel, Ulrich:* Über die Empfindung und Messung der Lautstärke. Hochfrequenztechnik und Elektro-Akustik 41 (1937), H. 4, S. 116.
[4] *Bürck, Kotowski* und *Lichte:* Die Lautstärke von Knacken, Geräuschen und Tönen. El. Nachrichten-Techn. 12 (1935), S. 278.
[5] *Bürck, Kotowski* und *Lichte:* Die Lautstärke von Knackfolgen. Hochfrequenztechnik und Elektro-Akustik 47 (1936), S. 33.
[6] *W. R. Garner:* The Loudness of Repeated Tones. Journ. Ac. Soc. 20 (1948), S. 513.
[7] *H. Mangold:* Grundlagen der Geräuschspannungsmessung. Rohde & Schwarz-Mitteilungen (1952), S. 21.

(Eingeg. 7. August 1953)

This is a graphics only scan of: Ernst Belger, *Über die Messung und Bewertung von Störwirkung von Geräusschen*, [Tr: *On the measurement and weighting of interference effect of noise*] Fernmedetech. Z., 1954, 7, 1, pp. 25 - 32. The journal is: Fernmeldetechnische Zeitschrift (Telecommunication Technology Magazine)

See http://realfield.com/anm/history/ for more information. Robin Whittle 2013-07-01.