

Eine Schallübertragungsanlage großen Frequenzumfanges.

(Mitteilung aus dem Heinrich-Hertz-Institut für Schwingungsforschung).

Von Walter Willms, Berlin.

DK 621. 395. 623. 8

Eine Anlage zur Schallübertragung und -wiedergabe besteht in ihrer einfachsten Form aus Mikrophon, Verstärker und Lautsprecher. Die Frequenzkurve eines solchen Aggregates zeigt auch bei Verwendung der besten heutigen Mikrophone, Verstärker und Lautsprecher, daß im allgemeinen die Frequenzen unter 100 Hz und über 6000 Hz stark benachteiligt sind. Im folgenden soll eine Anordnung beschrieben werden, die die Frequenzen von etwa 30 bis über 10 000 Hz mit annähernd gleicher Stärke wiedergibt.

Zur Wiedergabe werden zwei Lautsprecher benutzt, ein dynamischer Konuslautsprecher, der die Frequenzen bis 6000 Hz abstrahlt, und ein statischer Lautsprecher, der die Frequenzen oberhalb 6000 Hz wiedergibt. Außerdem wird die Frequenzkurve, die sich so ergibt, noch durch elektrische Entzerrung ausgeglichen. Die Verteilung des Frequenzumfanges der gesamten Anlage auf zwei Lautsprecher liegt nahe und ist an sich nichts Neues. Nur sind häufig die gewählten Lautsprecher gar nicht in besonders ausgezeichnetem Maße für die Frequenzgebiete geeignet, die sie wiedergeben sollen. Von den heute gebräuchlichen Lautsprechersystemen ist wohl das statische am besten zur Wiedergabe der hohen, das dynamische zur Wiedergabe der tiefen Frequenzen geeignet¹⁾.

Abb. 1 zeigt die prinzipielle Schaltung der Anlage. Als Mikrophon wird ein sehr kleines Wentches Kondensatormikrophon ($\varnothing = 2,5$ cm) in der Niederfrequenzschaltung verwendet. Die Frequenzkurve des Mikrophons wurde auf elektrostatischem Wege nach dem Verfahren von M. Grützmaker und E. Meyer²⁾ mit einer für den Schalldurchgang durchlöchernten Gegenelektrode aufgenommen. Sie ist in Abb. 2 wiedergegeben, wobei sie

jedoch bei tiefen Frequenzen elektrisch noch etwas entzerrt ist. Der auf der rechten Seite der Abbildung befindliche Maßstab gibt das Übertragungsmaß in Phon ($20 \log \frac{V_1}{V_2}$, V_1 und V_2 linearer Wert der Spannung) an. Der Verlauf der Kurve ist im Bereich von 40 bis 12 000 Hz praktisch geradlinig.

Als Verstärker für den dynamischen Lautsprecher dient ein dreistufiger Kraftverstärker,

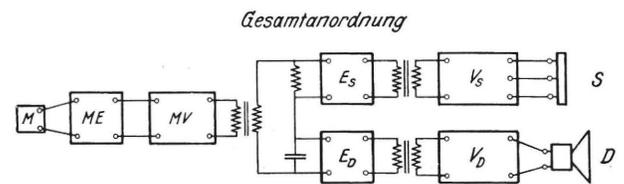


Abb. 1. M = Mikrophon, E = Entzerrer, V = Verstärker, S = statischer Lautsprecher, D = dynamischer Lautsprecher.

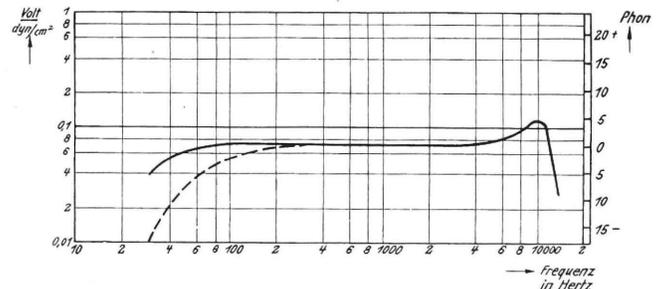


Abb. 2. Frequenzkurve des Kondensatormikrophons nach der Entzerrung (gestrichelter Verlauf ohne Entzerrung).

der aus dem Wechselstromnetz betrieben wird. Die Gegentaktendstufe hat 50 Watt Anodenverlustleistung; die Röhren werden zur Verminderung des Netzgeräusches mit gleichgerichtetem Wechselstrom geheizt. In den Anfangsstufen werden Röhren mit indirekt geheiztem Faden verwendet. Der Verstärker des statischen Lautsprechers, ebenfalls für Netzanschluß, hat nur 25 Watt Anodenverlustleistung, weil der Wirkungsgrad des statischen Lautsprechers besser ist. Die

¹⁾ Diese Idee ist bereits in einem Patent von W. Hahne-mann (DRP. 451 662) ausgesprochen.

²⁾ E. Meyer und P. Just, Zeitschr. f. techn. Phys. 10, S. 307, 1929; M. Grützmaker und P. Just, ENT 8, H. 3, 1931.

Vorspannung für den Lautsprecher, etwa 1000 Volt, wird einem kleinen Gleichrichter entnommen, der mit dem Verstärker zusammengebaut ist³⁾.

Die Frequenzkurven der beiden verwendeten Lautsprecher sind in Abb. 3 nebeneinander wiedergegeben, und zwar liegt vor dem statischen Lautsprecher noch ein Siebglied, das die Frequenzen unter 6000 Hz abschneidet, damit er nicht mit tiefen Frequenzen übersteuert wird. Zur Verbesserung der Frequenzkurven wird noch eine elektrische Entzerrung benutzt.

Sollen die beiden Lautsprecher gleichzeitig arbeiten, so schließt man die beiden Lautsprecher bzw. ihre Verstärker am besten an einen frequenzabhängigen Spannungsteiler an⁴⁾. Dieser Spannungsteiler sowie auch die Entzerrer sind vereinfachte, inverse Netzwerke⁵⁾. Sie bestehen aus zwei

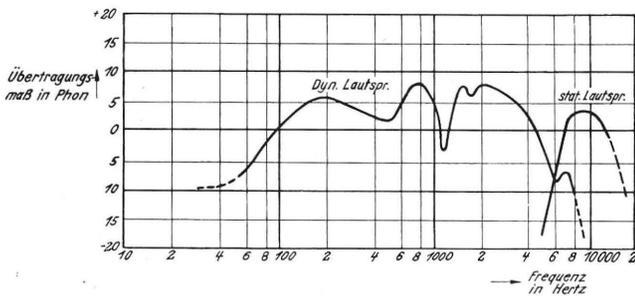


Abb. 3. Frequenzkurven der verwendeten Lautsprecher.

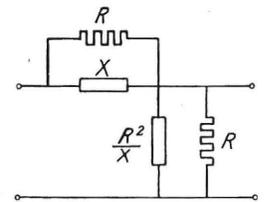
hintereinandergeschalteten komplexen Widerständen, die in bezug auf die Inversionspotenz R widerstandsreziprok sind, und die jeweils von einem ohmschen Widerstand überbrückt sind (Abb. 4). Der Widerstand an den Eingangsklemmen des Netzwerkes ist gleich R , reell und frequenzunabhängig. An Stelle des Überbrückungswiderstandes R kann daher ein neues Netzwerk eingeschaltet werden und so fort. Der Verlauf der Dämpfungskurve wird durch die Größe X bestimmt. Im Falle des Spannungsteilers für die beiden Lautsprecher ist X eine Selbstinduktion, $\frac{R^2}{X}$ eine Kapazität. Am Kondensator werden die tiefen, an der Spule die hohen Frequenzen abgenommen

³⁾ Dieser Gleichrichter und der statische Lautsprecher wurden mir freundlicherweise von Herrn H. Vogt zur Verfügung gestellt.

⁴⁾ L. G. Bostwick, Acoust. Journ. Vol. 2, Nr. 2, 1930.

⁵⁾ O. Zobel, Bell Syst. Techn. Journ. 7, 1928, und V. Gandtner und G. Wohlgemuth, Wiss. Veröff. d. Siemenskonzerns 7, 2, 1929.

(s. Abb. 1). An Stelle des Widerstandes R ist vor dem dynamischen Lautsprecher ein Entzerrer eingeschaltet, der aus 5 Gliedern der in Abb. 4 gezeichneten Art besteht. Er hat die Aufgabe, den unregelmäßigen Verlauf der Lautsprecherkurve (s. Abb. 3) etwas auszugleichen. Vor dem statischen Lautsprecher befindet sich ein zweigliedriges Netzwerk, das die tiefen Frequenzen vom Lautsprecher fernhält.



— — — — — Ohmscher Widerstand
 — — — — — komplexer "

Abb. 4. Frequenzabhängiger Spannungsteiler.

Abb. 5 zeigt die mit den genannten Mitteln erreichte Frequenzkurve der gesamten Apparatur einschließlich Entzerrer. Die Abweichung der Kurve von der Mittellinie beträgt ± 5 Phon im Bereich von 30 bis 15 000 Hz. Der Abfall oberhalb von etwa 11 000 Hz ist auf das Konto des Mikrophons zu setzen. Der Lautsprecher strahlt

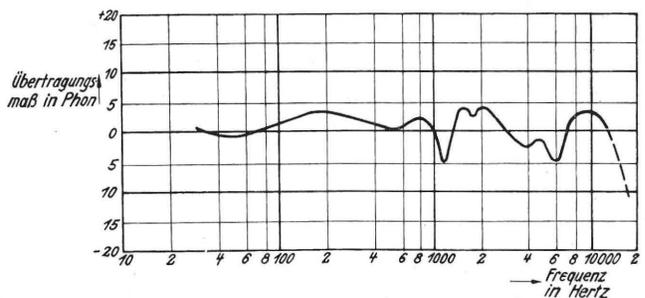


Abb. 5. Frequenzkurve der gesamten Anlage.

auch noch höhere Frequenzen ab. Die Messungen, nach denen die Kurve gezeichnet wurde, erstrecken sich auf die Mittelsenkrechte und einen Winkelraum von $\pm 15^\circ$. Um die Richtwirkung für die hohen Frequenzen zu vermindern, ist vor dem statischen Lautsprecher ein Gegentrichter angebracht, wie er z. B. bei Nautophonen verwendet wird; daher ist das Richtungsdiagramm bei 8000 Hz besser als bei 4000 Hz (bei 8000 Hz strahlt der statische, bei 4000 der dynamische Lautsprecher allein ab). Die nichtlinearen Verzerrungen der

gesamten Apparatur betragen bei einer Endleistung von 5 Watt nur etwa 3 bis 4 vH.

Von besonderem Interesse ist es nun, wie sich die geschilderten Eigenschaften der Apparatur bei der Schallübertragung bemerkbar machen. Die Versuche haben gezeigt, daß durch das Hinzutreten der hohen Frequenzen eine wesentliche Verbesserung erzielt wird. Die Wiedergabe ist natürlicher und klarer. Man kann sehr leicht durch Abschalten des statischen Lautsprechers unmittelbar einen Vergleich mit einer normalen Anlage, die bis etwa 6000 Hz geht, herbeiführen. Versuche mit Sprache sind besonders eindrucksvoll. Die Wiedergabe erhält durch die hohen Frequenzen erst Leben. Man hat den Eindruck, als ob mit dem Hinzuschalten der hohen Frequenzen der Sprecher plötzlich gegenwärtig ist. Die Lautstärke der hohen Frequenzen, die der statische Lautsprecher abstrahlt, ist an sich sehr gering, wie man sich durch Abschalten des dynamischen Lautsprechers leicht überzeugen kann. Dennoch ist die Änderung der Klangfarbe beim Zusammenklang der beiden Lautsprecher unverkennbar.

Eine wesentliche Verbesserung ist in der Wiedergabe der Streichinstrumente, besonders der Geige und des Cellos, zu bemerken. Das etwas kratzende Geräusch beim Fortespiel nahe am Steg und jede Nüancierung des Bogenstriches sind zu hören. Schlagzeuge, wie Becken und Triangel, haben in der Wiedergabe ihren natürlichen hellen, metallischen Klangcharakter. Eindrucksvoll deutlich wird z. B. das Klirren mit dem Schlüsselbund und der Schlag mit einem Metallgegenstand auf eine harte Unterlage wiedergegeben, während man beim Fehlen der hohen Frequenzen nicht recht weiß, was die Geräusche bedeuten sollen. Allerdings stellt die Anlage auch erhöhte Ansprüche an die übrigen Übertragungsbedingungen; z. B. macht sich der Trittschall auf unbelegtem Fußboden, Rascheln und Knistern von Papier usw. unangenehm bemerkbar.

Zur Wiedergabe von Rundfunkdarbietungen wurde ein einfacher Richtverstärker vor den Verstärker geschaltet. Auch hier war eine Verbesserung zu bemerken, wenn die Sendung einwandfrei war. Insbesondere war die Möglichkeit gegeben, die Anlage auf die Wiedergabe eines größeren Orchesters zu prüfen. Zunächst mag hier die günstige Wirkung der Erweiterung des

Frequenzumfanges nach tiefen Frequenzen hin erwähnt werden. Das Hinzuschalten der hohen Frequenzen läßt das Fehlen des räumlich plastischen Eindruckes der Wiedergabe besonders deutlich werden. Man hat zu sehr das Empfinden, daß alles aus einem Punkte, dem Lautsprecher, kommt. Wenn man sich dagegen die Darbietung aus einem Nebenzimmer bei offengelassener Tür anhört, ist sie vom Original vielfach nur schwer zu unterscheiden. Die Stimme des Ansagers erscheint den meisten Beobachtern als zu hart und scharf. Abgesehen von raumakustischen Erscheinungen ist wohl die schlechte Wiedergabe hoher Frequenzen bei den meisten gebräuchlichen Anlagen der Anlaß dafür, daß der Sprecher zur besseren Übertragung seiner Stimme möglichst dicht an das Mikrophon herantritt.

Verzerrungen durch Übersteuerung des Senders und Störungen aller Art treten bei der beschriebenen Anlage wegen der guten Wiedergabe des hohen Frequenzbereichs stark hervor.

Für die Wiedergabe von Schallplatten ist die Erweiterung des Frequenzbereiches durch den statischen Lautsprecher zwecklos und bringt vielfach nicht einmal eine Vergrößerung des Nadelgeräusches, da die meisten Schallplatten die hohen Frequenzen nicht wiedergeben.

Das Ziel der Arbeit war, eine Schallübertragungsanlage zu bauen, die ein mit den heutigen Mitteln erreichbares Mindestmaß an Verzerrung besitzt. Wirtschaftliche Überlegungen spielten eine untergeordnete Rolle. Die Ergebnisse haben gezeigt, daß sich die Erweiterung des Frequenzumfanges in der Wiedergabe sehr bemerkbar macht, und daß es erstrebenswert ist, bei Schallübertragungsanlagen den Frequenzbereich nach hohen Frequenzen zu erweitern⁶⁾.

Ich möchte nicht versäumen, Herrn Prof. Dr. K. W. Wagner zu danken, der mir die Aufgabe gestellt und die Ausführung der Arbeit ermöglicht hat; ferner Herrn Dr. E. Meyer für die Beratung, die er mir zuteil werden ließ.

⁶⁾ Bei Drucklegung des Artikels erhielt ich Kenntnis von einer Arbeit von W. B. Snow im Bell System Technical Journal Vol. X, Nr. 4 pp. 616—627, über den wichtigsten Frequenzumfang guter Schallübertragungsanlagen. Auch hier wird die Wichtigkeit der hohen Frequenzen betont.