

FUNKTECHNISCHE MONATSHEFTE



Monatsausgabe des „Funk-Bastler“

Herausgegeben von Dr. P. Gehne und Prof. G. Leithäuser

HEFT 3

 MÄRZ 1932

HHI mehrfach zitiert

Fehlerfreie Musikwiedergabe

Von
Dipl.-Ing. Ulrich Bab

Die physikalischen Grundlagen der elektrischen Musik- und Sprachwiedergabe sind häufig beschrieben und von allen Seiten kritisch beleuchtet worden. Begriffe wie Frequenz, Amplitude, Grundtöne, Obertöne, Formanten u. a. sind dadurch den meisten keine unbekanntenen Bezeichnungen mehr¹⁾.

Es ist schon oft genug betont worden, daß man für eine wirklich naturwahre Musikwiedergabe eine möglichst vollständige Frequenz- und Amplitudentreue verlangen muß. Es dürfen beispielsweise nicht einige Frequenzbereiche durch Resonanzen im Verstärker oder Lautsprecher bevorzugt oder etwa die ganz tiefen oder sehr hohen Frequenzen vernachlässigt werden. Denn solche und ähnliche Fehler haben zur Folge, daß die Musik einen „mechanischen“, grammophonartigen Klangcharakter bekommt. Diese Begründung ist gar nicht so selbstverständlich, wie es zunächst den Anschein hat. Erst wenn eine elektrische Anlage zur Verfügung steht, die vom Mikrophon bis zum Lautsprecher völlig fehlerfrei arbeitet, kann durch künstliche Einfügung von Fehlern nachgeprüft werden, inwieweit diese Fehler wesentlich oder unwichtig sind.

„Fehlerfrei“ ist ein physikalisch sehr unbestimmter Begriff. Man muß danach trachten, die Fehlermöglichkeiten und den Grad ihres Einflusses klar zu erkennen und die schwerwiegendsten unter ihnen zu vermeiden. Einen kleinen Rest von Verzerrungen wird man nie völlig beseitigen können. So erfüllt beispielsweise schon das erste Glied in der Kette der Übertragungsmittel, das Mikrophon, im allgemeinen nicht die Forderung der Frequenztreue. Die Transformatoren vernachlässigen sehr oft die tiefen Frequenzen infolge des geringen induktiven Widerstandes, die höchsten Frequenzen werden infolge der Windungskapazität benachteiligt. Man denke an die Röhrenkennlinien, die nie wirklich geradlinig sind und durch ihre Krümmung nichtlineare Verzerrungen verursachen. Und man vergesse nicht das Sorgenkind der Übertragungstechnik, den Lautsprecher.

¹⁾ Wem diese Ausdrücke nicht genügend geläufig sind, der sei auf den Aufsatz im „Funk-Bastler“ 1931, Heft 48, „Elektrische Musik“ hingewiesen, in dem man eine kurze Definition einiger der wichtigsten dieser Begriffe findet.

Verlangt man vom Lautsprecher eine gleichmäßige Übertragung aller Frequenzen von 50 bis 10 000 Hertz, so entspricht das der Anforderung, die man an einen Rundfunkempfänger stellen würde, wenn man von ihm das Erfassen eines Wellenbereiches von 30 bis 6000 m ohne Umschaltung erwarten würde. In Erkenntnis der großen Schwierigkeit, mit einem einzigen Apparat diese Forderung zufriedenstellend zu erfüllen, hat beispielsweise Hans Vogt, einer der drei Begründer des Tri-Ergon-Tonfilmverfahrens, vorgeschlagen, gleichzeitig drei elektrostatische Lautsprecher verschiedener Größe zu verwenden, einen sehr großen für den tiefen Frequenzbereich, einen mittleren für den mittleren Bereich und einen kleinen für die höchsten Frequenzen. In den Tonfilmtheatern werden häufig dynamische Konuslautsprecher für die tiefen Töne verwendet, während die hohen Töne im wesentlichen von Riffelfalten-Lautsprechern abgestrahlt werden. Im Heinrich-Hertz-Institut wurde von Herrn Dipl.-Ing. Willms eine Anlage hoher Frequenztreue ausgebildet, die ebenfalls zwei Lautsprecher verwendet. Für den tiefen Frequenzbereich wird hier ein normaler dynamischer Konuslautsprecher angewandt, also ein System, das zur Abstrahlung der tiefen Frequenzen besonders befähigt ist, für den hohen Bereich dagegen ein elektrostatischer Lautsprecher.

Der Lautsprecher wie das Mikrophon oder die Grammophondose sind Apparate, in denen mechanische Energie in elektrische bzw. umgekehrt verwandelt wird. Sie frequenztreu zu gestalten, bietet viel größere Schwierigkeiten als die Frequenztreue aller übrigen Glieder einer Anlage, in denen elektrische Energie immer wieder in elektrische umgewandelt wird. Man hat es bei den letzteren sogar in der Hand, durch zusätzliche elektrische Schaltmaßnahmen Krümmungen und Unregelmäßigkeiten der Frequenzkurve zu erzeugen bzw. auszugleichen. Man kann also den Verstärker so an Mikrophon oder Lautsprecher anpassen, daß als Gesamtergebnis eine praktisch geradlinige Frequenzkurve erzielt wird, daß also Töne aller Frequenzen mit gleicher Lautstärke aus dem Lautsprecher kommen, mit der sie auf das Mikrophon treffen. Die unliebsamen Eigenschaften eines dynami-

schen Lautsprecher beispielsweise — auch eines sehr guten —, der immer zwei bis drei ausgeprägte Resonanzstellen aufweist, können, so völlig unwirksam gemacht, kompensiert werden.

Die oben erwähnte Anlage im Heinrich-Hertz-Institut verwendet für jeden Lautsprecher einen eigenen Verstärker. In dem einen werden alle Frequenzen über 6000 Hertz abgeschnitten, während der andere erst oberhalb 5000 Hertz durchlässig ist. Die Korrektur der Frequenzkurve durch Anpassung der Verstärker an die Lautsprecher ist hier so weit getrieben, daß in einem Frequenzbereich von 30 bis 12 000 Hertz die Abweichung der Lautstärke nie mehr als 5 Phon²⁾ über oder unter dem theoretisch richtigen Wert ausmacht.

Trotzdem hier die nichtlinearen Verzerrungen, etwa durch die Krümmungen der Röhrenkennlinien, die Einschwingvorgänge am Lautsprecher u. a. nicht berücksichtigt sind, ist eine derartige Anlage doch imstande, weitgehend Versuche über das Mindestmaß der erforderlichen Frequenztreue anzustellen. Sie ist zwar durchaus noch nicht „fehlerfrei“, doch ist der Eindruck der Naturwahrheit schon sehr täuschend. Eine Person, die im Raume spricht und sich dann in einen Nebenraum begibt, um von dort aus über das Mikrophon durch den Lautsprecher zu sprechen, erweckt das Empfinden, als wäre sie nur hinter den Lautsprecher getreten. Man kommt gar nicht auf den Gedanken, daß es sich um „mechanische“ Wiedergabe handelt, obwohl man doch den ganzen Vorgang genau beobachtet und kennt.

Die tiefen Frequenzen sind — besonders bei der männlichen Stimme — für den persönlichen Charakter der Sprache viel wichtiger, als man wohl im allgemeinen annimmt. Wenn sie auch nicht sehr kräftig hervortreten, so bestimmen sie doch wesentlich die Klangfarbe. Schneidet man etwa alle Frequenzen unter 200 Hertz ab, so bekommt man sofort wieder das Empfinden einer Lautsprecherwiedergabe, der Eindruck natürlichen Sprechens wird stark geschmälert.

Es ist bekannt, daß bei Sprache das Fehlen der hohen Frequenzen zunächst die Verständlichkeit nicht wesentlich beeinträchtigt. Schneidet man die hohen Frequenzen über 4000 Hertz oder niedriger ab, so werden Konsonanten wie s, f, ch, t immer undeutlicher und verschwommener; s und f kann man bald nicht mehr voneinander unterscheiden, schließlich werden sie unkenntlich und die Verständlichkeit leidet erheblich. Schneidet man dagegen alle Frequenzen unter 5000 Hertz ab und läßt nur die höchsten Frequenzen bestehen, so hört man bei Sprache ein dauerndes, unregelmäßig verteiltes Zischen und Spucken. Man erkennt deutlich, daß diese Frequenzen an der Prägnanz der Sprache einen wesentlichen Anteil haben.

Schneidet man bei Geigenspiel die Frequenzen über 6000 Hertz ab, so klingt es angenehm und weich. Wird dagegen der ganze Frequenzbereich ungekürzt vom Lautsprecher wiedergegeben, so kommt noch etwas für das Kunstempfinden Wesentliches, das feine Schwirren und Kratzen der Geräusche, hinzu, die durch das Anreißen der Saite mit dem Bogen entstehen. Das aber hängt außerordentlich vom individuellen Spiel des Geigers ab und stellt für den musikalischen Hörer einen unentbehrlichen Bestandteil des Kunstgenusses dar. Derselbe Versuch mit Flöte angestellt, gibt keinen so großen Unterschied zwischen der Wiedergabe des ganzen Frequenzbereiches und einem Fehlen aller Frequenzen über 6000 Hertz. Bei letzterem verschwindet

nur das Anblasegeräusch, das man sowieso nur in unmittelbarer Nähe des Bläasers wahrnehmen kann. Bei einem schlechten Lautsprecher ist der Unterschied zwischen Geige und Flöte sehr gering, da die Obertöne hier nur mangelhaft wiedergegeben werden. Gerade durch diese aber unterscheiden sich Geige und Flöte wesentlich voneinander.

Am auffallendsten ist die Wichtigkeit eines großen Frequenzbereiches bei Geräuschen aller Art. Man erinnere sich nur, daß man schon oft enttäuscht war, wenn in einem Tonfilm das Zuschlagen einer Türe, das Fahren eines Eisenbahnzuges etwa wie das Herumschlagen von Kieselsteinen auf einem Stück Pappe klang. Es ist ganz offensichtlich, daß hier die tiefen Frequenzen, die bei Türe und Eisenbahn durch das Schwingen schwerer Massen erzeugt werden, zu sehr vernachlässigt werden.

Sehr interessant ist an der oben erwähnten Anlage der Versuch, bei dem Geräusch des Klapperns eines Schlüsselbundes alle Frequenzen über 6000 Hertz abzuschneiden. Während bei Sprache kaum ein Unterschied zu bemerken war, verändert das Schlüsselbund seine Klangfarbe vollständig bis zur Unkenntlichkeit. Hatte man es zuerst ganz zweifelsfrei mit einem Schlüsselbund zu tun, so vermeint man nach Abschneiden der höchsten Frequenzen das Läuten eines Pferdeschlittens zu hören. Läßt man umgekehrt nur die höchsten Frequenzen vom Lautsprecher wiedergeben, so kann man noch genau den Rhythmus des Schlüsselbundgeklappers unterscheiden. Bei der Sprache ist dies schon kaum mehr der Fall. Man sieht, welche ungeheure Rolle bei Geräuschen gerade die extrem hohen und extrem tiefen Frequenzen spielen.

Deswegen bereiten auch im Rundfunk die Geräusche die größten Schwierigkeiten. Selbst heute, wo auf der Senderseite bereits ganz erstklassige Frequenzverhältnisse anzutreffen sind, hört sich das Klatschen des Publikums aus einem Konzertsaal im schlechten Empfänger ganz unmöglich an. Oder man denke beispielsweise an das Knistern von Papierumblättern bei einem Vortrag, das nicht etwa wie Papierknistern klingt, sondern wie das Zerbrechen einer Konservenbüchse.

Die Wiedergabe von Geräuschen spielt beim Tonfilm eine besondere Rolle. Von der Tonfilmindustrie wird immer wieder betont, daß man sich bei der Tonübertragung aus wirtschaftlichen Gründen auf einen Frequenzbereich von 200 bis 7000 Hertz beschränken müsse. Die Frequenzen unterhalb 200 werden nur noch mit konstanter Amplitude übertragen, nicht mehr mit nach niedrigen Frequenzen hin steigender Amplitude, weil die Verstärker sonst zu groß würden. Die Frequenzen über 7000 Hertz werden einfach abgeschnitten, damit die Wiedergabeapparaturen für die einzelnen Kinosäle nicht zu kostspielig werden. Der Klangcharakter von Geräuschen wird jedoch gerade durch diese Frequenzbereiche wesentlich bestimmt. Geräusche kommen aber beim Film sehr häufig vor, häufiger als im Rundfunk oder auf der Schallplatte, wo es sich meist lediglich um die Übermittlung von Sprache oder Musik handelt. Mit Rücksicht auf die Naturtreue ist also auch hier ein sehr großer Frequenzbereich unerlässlich. Daher muß die Weiterentwicklung Mittel und Wege finden, diesen zu erhalten, ohne daß die Apparaturen zu kostspielig werden.

Sehr schlecht schneiden bei Frequenzbetrachtungen die Schallplatten ab. Die tiefen Töne können nicht mit genügender Amplitude eingeschnitten werden, da sich die Rillen sonst überschneiden würden. Die hohen Frequenzen dagegen kann man zwar in die Schallplatte einschneiden, man bekommt sie aber nicht wieder heraus. Die gewöhnlichen Schallplatten fallen bei 5000 bis 6000 Hertz vollkommen ab. Für höhere Frequenzen

²⁾ Das Phon ist ein Lautstärkenmaß. Leises Blätterrauschen hat etwa 20 Phon, während das Verkehrsgeräusch am Potsdamer Platz in Berlin 70 Phon beträgt. Oben ist das Phon jedoch nur als Vergleichsmaß angewendet. Vgl. N. Kalden: „Die Lautstärke in Einheiten“, „Funktechnische Monatshefte“ 1932, Nr. 2, Seite 81/82.

ist der Dosenanker viel zu träge, die Nadel gibt elastisch nach, biegt sich durch und schwingt für sich allein. Mit Sonderkonstruktionen, bei denen die Nadel selbst den Anker der Dose darstellt, hat man Frequenzen bis 7000 Hertz abnehmen können. Aber von der Möglichkeit, solche bis zu 10 000 Hertz von einer Schallplatte abzunehmen, kann nach den üblichen Methoden keine Rede sein. Hört man nur die Frequenzen über 5000 Hertz ab, die eine gute Schallplatte mit einer normalen guten Grammophondose abgibt, so vernimmt man nur noch dünne Spuren des Nadelgeräusches. Ganz selten kann man auch hohe Obertöne von Geigen oder ähnliches feststellen. Eine Melodie fortlaufend zu erkennen, ist nicht möglich.

Auf der Physikertagung in Bad Elster im Sommer vorigen Jahres wurde ein Tonfilm vorgeführt, der mit Originalmusik abwechselte. Eine Abstimmung bei den Zuhörern ergab, daß es heute schon möglich ist, qualitativ so hochwertige Lautsprecherwiedergabe zu erzielen, daß das Publikum nicht mehr einwandfrei nach dem Gehör Lautsprecher und Original unterscheiden kann. Dies ist zwar ein mühsames Laboratoriumsergebnis, doch gelingt es vielleicht schon in absehbarer Zeit, die gewonnene Erfahrung der allgemeinen Praxis dienstbar zu machen. Erst dann wird die Lautsprechertechnik den Grad der Vollkommenheit erreicht haben, den sie als allgemeines Kulturinstrument haben muß.