

RAUMKLANG MIT SCHALLKOMPRESSION

In unserem modernen Zeitalter haben wir uns daran gewöhnt, viele Dinge, die wir eigentlich als Wunder betrachten müßten, als selbstverständlich hinzunehmen. So gehört die Verbreitung von Nachrichten und Unterhaltungsprogrammen durch den Rundfunk seit über 30 Jahren zu unserem Leben, aber wir haben verlernt, über dieses Wunder nachzudenken.

Schon seit Bestehen der Menschheit verständigt man sich durch den Schall, d. h. durch Sprachorgan und Ohr. Zu Anfang waren es wahrscheinlich nur unartikulierte Laute, durch die der Mitmensch auf eine drohende Gefahr aufmerksam gemacht wurde. Später entwickelte sich daraus die Umgangssprache. Der Mensch lernte bald, auf primitiven Instrumenten den Klang seiner Stimme nachzuahmen, um so gewissen Gefühlen und Stimmungen Ausdruck zu verleihen.

Allen Instrumenten ist eines gemeinsam: Sie bestehen aus dem eigentlichen Generator und einem Resonator. Als Beispiel mag erwähnt sein, daß der Klang eines Pianos oder einer Violine durch eine Saite erregt und durch einen Resonanzboden entsprechend verstärkt wird. Bei den Blasinstrumenten unterscheiden wir solche, bei denen der Generator durch die menschlichen Lippen gebildet und anderen, bei denen ein dünnes Plättchen aus Metall oder aus Holz durch den Luftstrom zum Schwingen gebracht wird. Der Resonator besteht bei den Blasinstrumenten zumeist aus einer Rohrleitung, die entweder zylindrisch oder konisch verläuft.

Schon sehr früh versuchte man, flüchtige Schalleindrücke festzuhalten, um sie später beliebig oft wiederholen und so an jedem Ort Unterhaltung oder Entspannung bekommen zu können.

Durch Edison wurde der erste brauchbare sogenannte Phonograph entwickelt, durch den musikalische Darbietungen und das gesprochene Wort festgehalten und wiedergegeben werden konnte. Durch die moderne Elektronik ist diese Methode verbessert und verfeinert worden. Heute stehen uns in der Langspielplatte und im Tonband Schallaufzeichnungsmedien zur Verfügung, die eine Wiedergabequalität besitzen, die sich fast nicht vom Original unterscheidet.

Man hat unendlich viel Mühe aufgewendet, um die Phänomene der menschlichen Sprache auf das genaueste zu studieren. Dadurch ist man heute auch in der Lage, ganze Sätze elektronisch sprechen zu lassen. Z. B. gibt es Leseautomaten und Übersetzmaschinen. Bei einer amerikanischen Telefongesellschaft wurden Versuche mit solchen elektrischen Stimmen zum Ersatz des „Fräulein vom Amt“ vorgenommen.

Die Rundfunk-Technik, die sich wohl vom alten Phonographen her entwickelt hat, legte anfänglich wenig Wert auf Tonqualität. In den vergangenen 10 Jahren aber ging von den USA aus eine Fülle von Verbesserungs-Vorschlägen zur Perfektion der elektroakustischen Übertragungsanlagen.

So war es schon seit Jahren üblich, daß in den Lichtspieltheatern ein relativ hohes Maß an Klangvollkommenheit geboten wurde; leider aber blieben die normalen Heimempfänger wenig berührt. Die amerikanischen, sogenannten High-Fidelity-Anlagen waren im Anfang nur für wenige Sterbliche erschwinglich, da sie einige tausend Dollar kosteten. Die zu dieser Zeit als Schallträger verwendeten Schallplatten hatten eine obere Grenz-Frequenz von ca. 5000 Hz. Durch die Konkurrenz des Tonbandgerätes mit HF-Magnetisierung wurde die Schallplatten-Industrie gezwungen, Langspielplatten auf Polyvinylbasis einzuführen.

Die zahlenmäßige Vermehrung der Sender auf Mittel- und Langwelle brachte ein Wellenchaos zustande, aus dem nur die Erweiterung des Frequenzbereiches zur Ultra-Kurzwellen einen Ausweg bot. Durch die Einführung des UKW-Rundfunks mit Frequenzmodulation konnte die bis dahin gegebene, obere Grenzfrequenz von 9 kHz verlassen und eine Ausweitung bis an die Hörgrenze des menschlichen Ohrs hinaus vorgenommen werden.

Nachdem diese technischen Voraussetzungen geschaffen waren, konnte die Rundfunk-Industrie darangehen, auch den serienmäßig hergestellten Heimempfängern eine bessere Klangqualität zu geben. Das Hauptproblem bei der Schallabstrahlung ist seit jeher die Ankopplung des schwingenden Mediums an die umgebende Luft, durch die sich der Schall bekanntlich fortpflanzt.

Die erste Periode der Klangverbesserung äußerte sich in einer stärkeren Betonung der Höhen, was zunächst einmal auf Widerstand der Verbraucherkreise stieß. Die Entwickler in den Laboratorien mußten nun lernen, daß es nicht so sehr auf die Erfüllung von technischen Grenzwerten und Kurven ankam, sondern vielmehr auf den psychoakustischen Effekt des Gerätes auf den Hörer. Bisher betrachtete man nämlich ein Rundfunkgerät nur als Möglichkeit, ein Hochfrequenz-Signal, das von einem Sender ausgestrahlt wird, drahtlos zu empfangen und an einem Outputmeter anzuzeigen. Man vergißt leicht dabei, daß später einmal Menschen vor diesem Gerät sitzen sollen, die Entspannung und Erholung erwarten.

Aus den Erfahrungen lernte man, daß beim Anhören von Rundfunkgeräten mit brillanten Wiedergabeeffekten ein starker Ermüdungseffekt eintritt. Es handelt sich dabei weniger um eine Ermüdung des Ohrs, sondern um eine Ermüdung des Gehirns, in dem die aufgenommenen Schallschwingungen erst zu Bewußtsein gebracht werden müssen. Vielfach wurde die Ermüdung des Rundfunkhörers auf das Programm geschoben, das jedoch tatsächlich völlig unschuldig daran war. Es liegt im Interesse der Industrie, daß der Konsument stetige Freude an seinem Gerät empfindet und daher oft nach einigen Jahren bereit ist, wieder ein neues, besseres zu erwerben.

Es stellte sich weiter heraus, daß neben der Frequenzkurve des Gerätes auch Empfangs-Störungen durch Interferenz-

Töne, Prasselgeräusche usw. zur Ermüdung führen. Durch diese Beobachtungen gelang es, die heutigen modernen Rundfunkgeräte zu entwickeln, bei denen man die störenden Einflüsse ausgeschaltet hat. Aber eine Schwierigkeit trat noch immer auf, und zwar die punktförmige Schall-Abstrahlung des Rundfunkgerätes, die eine realistische Wiedergabe verhindert.

Solange es Probleme gibt, werden Wissenschaftler und Forscher darangehen, diese zu lösen. So gab es 1948 schon in Dänemark Rundfunkgeräte, bei denen die Lautsprecher nicht mehr allein an der vorderen Schallwand, — wie bisher üblich — befestigt waren, sondern es befand sich ein Lautsprecher für die tiefen Töne an der einen Seitenfläche, und ein Lautsprecher für die hohen Töne an der anderen Seitenwand. Dadurch sollte ein größerer Klangkörper vorgetäuscht werden.

Andere Entwickler versuchten auf dem Umweg über eine elektrische Laufzeitverzögerung einen Pseudostereophon Effekt auszulösen. Dabei wurde oft Gebrauch von sogenannten Mehrkanalverstärkern gemacht. Der relativ hohe technische Aufwand und die damit verbundenen Kosten ließen diese Geräte sehr bald wieder in den Hintergrund treten.

Die rasche Weiterentwicklung der Fernsehtechnik zeigte neue Wege in der Breitbandverstärkung auf, während die Röhrenindustrie Hochleistungsrohren mit großen Kraftreserven lieferte. Es wurden zusätzlich Seitenlautsprecher in die Rundfunkgeräte eingesetzt, die in einem bestimmten Amplituden-Verhältnis zu den nach vorn abstrahlenden Tieftonlautsprechern die oberen Frequenzen wiedergaben. Diese Verwendung von Seitenlautsprechern jedoch stieß auf zwei sich widersprechende Forderungen.

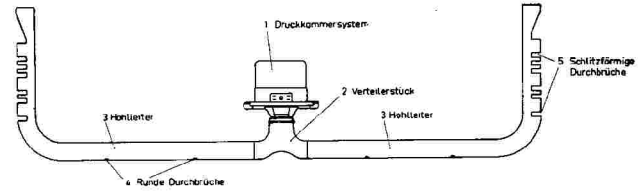
Um eine gute und verzerrungsfreie Wiedergabe der hohen Töne zu erhalten, sollten die Membranen-Maße möglichst klein sein und die Membrane eine hohe Steifigkeit aufweisen. Bei dieser Forderung sinkt aber der Wirkungsgrad eines Lautsprechers. Um trotzdem noch eine befriedigende Lautstärke zu erzielen, wurde man gezwungen, hart an der Übersteuerungsgrenze der Endstufe zu arbeiten, wodurch ein hoher Klirrfaktor und sogar Intermodulation hervorgerufen wurde. Für die weniger technisch Versierten mag hier eingeflachten sein, daß sich der Begriff der Intermodulation erst seit wenigen Jahren in der Niederfrequenz-Übertragung eingeführt hat. Man versteht hierunter eine Mischung von verschiedenen hohen Tönen, die zu neuen, beim Original nicht vorhandenen Kombinationstönen führen. Um nun dem Konsumenten klarzumachen, welche Vorteile eine Wiedergabe mit dieser Schallabstrahltechnik hat, führte man den werbekräftigen Slogan von dem 3-D-Klang ein.

Vor mehr als 2 Jahren löste das elektroakustische Entwicklungs-Labor der GRAETZ-Werke die Rundabstrahlung nach einem neuartigen System, das mit „4R-Raumklang“ bezeichnet wurde. Bei der 4R-Technik wurden der mittlere und der obere Tonbereich senkrecht nach oben abgestrahlt und über einen besonderen Umlenkkörper nach allen Seiten gleichmäßig verbreitet.

Ein Resonanzboden sorgt für eine gleichmäßige Abstrahlung über einen großen Frequenzbereich. Die Geräte in der 4R-Raumklang-Technik dürfen sich in Anspruch nehmen, sehr wesentlich zur Verbesserung der Tonqualität beigetragen zu haben. Aber ein Entwicklungs-Ingenieur ist nie mit dem Erreichten zufrieden. So gab es zwei Dinge, denen mit eiserner Energie nachgespürt wurde. Einmal die Verbesserung des Wirkungsgrades der Mittel- und Hochtonlautsprecher, um Übersteuerung und Intermodulation im NF-Verstärker zu verhindern und zum anderen ein stärkerer stereophonischer Effekt.

Die Wirkungsgradverbesserung erzielt man am bequemsten durch ein Druckkammersystem. Die Vorzüge desselben

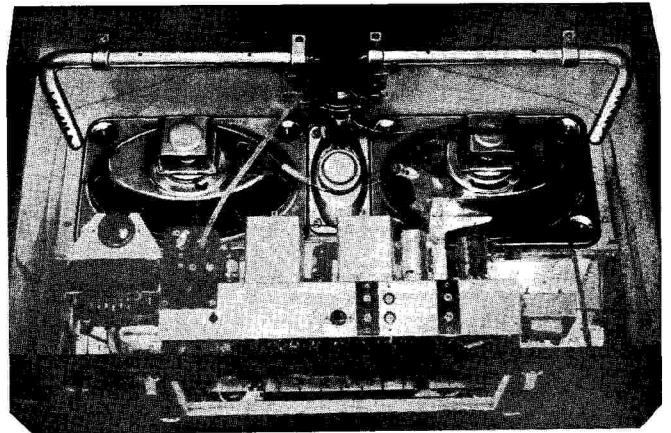
sind schnell aufgezählt: Die Maße von Membrane und Schwingspule sind stark reduziert; dadurch ist das Trägheitsmoment vermindert und verringert so die An- und Ausschwingvorgänge. Das aber bedeutet praktisch keine Verzerrungen mehr. — Die klassische Betriebsweise des



Druckkammersystems ist die Verbindung desselben mit einem Exponentialtrichter, kurz Horn genannt. Dies geschieht zur Erzielung eines möglichst hohen Wirkungsgrades. Vielleicht erinnern Sie sich selbst noch an die Trichter aus der Urzeit des Rundfunks. Ein solches Exponentialhorn läßt sich rein gehäusetechnisch schlecht in einem modernen Rundfunkgerät unterbringen. Selbst in Truhen kann man derartig umfangreiche Bauelemente schlecht einfügen. Dazu kommen noch einige andere Gründe, die gegen das Horn sprechen.

Angeregt durch die Schalleitung bei Blasinstrumenten überlegte man, ob sich nicht auch beim Druckkammersystem die von der Membrane (Generator) erzeugten Tonschwingungen durch ein Rohrsystem leiten ließen. Aus diesem Grunde wurde der durch die Druckkammer geschwindigkeitstransformierte Luftstrom mittels zylindrischer Rohre weitergeleitet, die an ihren Enden durch besondere Formgebung eine gute Anpassung an den Strahlungswiderstand des umgebenden Mediums gewährleisten. Durch die Geschwindigkeitstransformation vergrößert sich der Strahlungswiderstand der Druckkammermembrane proportional dem Quadrat des Flächenverhältnisses Membrane-Rohrende. So ergibt sich bei der Druckkammer mit dem Rohrsystem, Schallkompressor genannt, bei kleinem Massewiderstand (gegenüber der Konusmembrane) ein relativ größerer Strahlungswiderstand und somit ein besserer Wirkungsgrad.

Da bei dem Schallkompressor der Rohrdurchmesser im Verhältnis zur Rohrlänge sehr klein ist, bestehen fast die gleichen Ausbreitungsbedingungen wie für unendlich



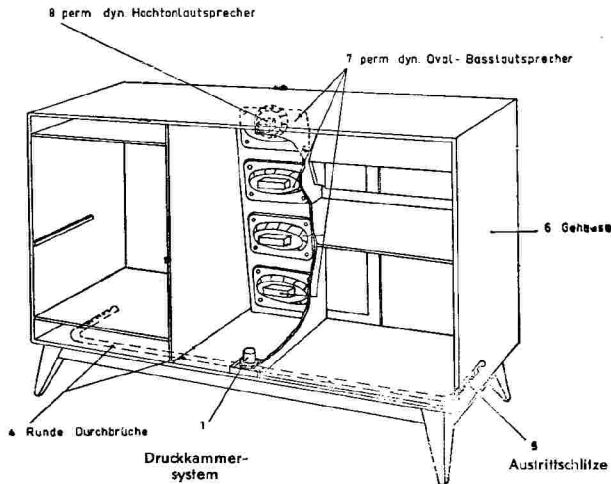
lange Rohre, für die die Abstrahlungs-Impedanz frequenzunabhängig wird. Durch diese Tatsache wie auch durch besondere Formgebung der Austrittsslitze konnte die Abstrahlung in einem großen Bereich fast frequenzunabhängig gemacht sowie Eigenresonanzen des Rohrsystems weitestgehend vermieden werden.

Da die tiefen Frequenzen ohnehin kugelförmig durch die gebräuchlichen Ovallautsprecher abgestrahlt werden, konnte die untere Frequenz für den Schallkompressor bei etwa 500 Hz angesetzt werden. Es versteht sich, daß dieser Wert bei verschiedenen Gehäusegrößen und -Formen entsprechend geändert wird.

Um durch Eigenresonanzen der Rohrleitungen erzeugte Verzerrungen auszuschalten, wurden einige Löcher von ca. 3—4 mm ϕ in die Rohre gebohrt. Wenn man sich ein Ersatzschaltbild für ein Rohrsystem vorstellt, dann entspricht es einem LC-Kreis. Die Löcher wirken wie Shunt-Induktivitäten, die Endschlitz dagegen als Dämpfung. Sind beide Enden eines Rohres schallhart oder -weich abgeschlossen, so entspricht dies einem Serienresonanzkreis, d. h. der Resonanzfall tritt ein, wenn die Rohrlänge ein ganzzahliges Vielfaches von $\lambda/2$ ist. Ist dagegen ein Ende hart, und das andere schallweich abgeschlossen, so kann man es mit einem Parallelresonanzkreis vergleichen, d. h. die Rohrlänge beträgt beim Grundton $\lambda/4$ der Wellenlänge.

Während man zu Beginn der „Raumklang-Epoche“ den Frequenzen von über 10 kHz eine sehr große Bedeutung zumaf, weiß man heute, daß durch Reflektionen stehende Wellen usw. bei Wellen unterhalb des Ohrabstandes (ca. 12 cm) kein ausgesprochenes Richtungshören mehr möglich ist. Viel wichtiger zum Erzielen des Raumklangeffektes sind also die Frequenzen zwischen 500—7000 Hz, also gerade der Bereich, in dem die größte Empfindlichkeit unseres Ohres und in dem die menschliche Sprache liegt. Bisher haben wir nur die Vorteile erörtert, die der Schallkompressor durch größeren Wirkungsgrad und besseren Frequenzgang bietet. Vielleicht ist noch wichtiger, den ungewöhnlichen Raumklangeffekt zu erwähnen, der durch den Schallkompressor erzielt wird. Namentlich bei der Wiedergabe von großen Konzerten oder Musik mit künstlichem Echoeffekt kommt dies zur Geltung. Das Warum ist schnell erklärt. Durch die Geschwindigkeitstransformation in der Druckkammer und die Ausbreitung in dem Rohrsystem er-

zielt man eine verzögerte Abstrahlung des Schalls. Um einen echten Echoeffekt hervorzurufen, müßte man nach bisherigen Untersuchungen allerdings ca. 15—20 Milli-



sekunden Verzögerung erzeugen. Diese Verzögerung kann aber bei gleichem Echoeffekt bei entsprechender Abstufung der Seiten- zur Frontabstrahlung kleiner gehalten werden. Eine Richtwirkung, d. h. einen Phasen- oder Lautstärkenunterschied zwischen beiden Ohren nimmt man aber bereits ab 2 Millisekunden wahr. Während der Zeit von 2 Millisekunden durchläuft der Schall eine Wegstrecke von 60 cm im freien Schallfeld. Es gelingt also, durch eine Schallverzögerung in dieser Größenordnung das Gehäuse des Gerätes bzw. den Abstand der Lautsprecher scheinbar um 60 cm zu vergrößern. Dadurch löst sich der Klang aus dem Gerät und man hört nicht mehr den „keyhole-effect“, sondern bekommt „presence“ in das Klangbild. Kurz, man glaubt, mitten im Orchester zu sitzen.