

THE BOSE 901 — A SERIES OF TECHNICAL ARTICLES

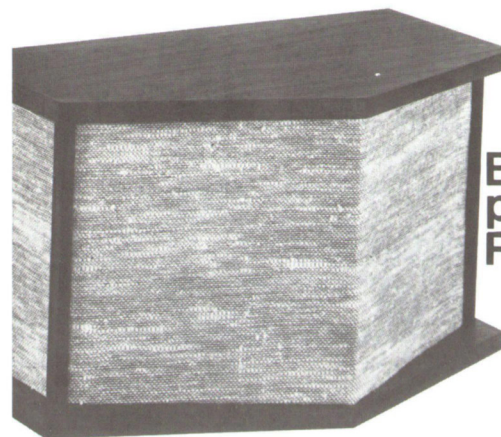
The technology behind THE BOSE 901

Hersteller
Michael Otto
-Classic.de

© beim Hersteller
Archiv Michael Otto
HiFi-Classic.de

BOSE[®]
DIRECT/REFLECTING[®] SPEAKER SYSTEMS

This article is one of a series explaining the features and benefits of the Bose 901 — the most highly reviewed speaker regardless of size or price.



BOSE
puts you in the
REVERBERANT FIELD

What's behind the BOSE 901

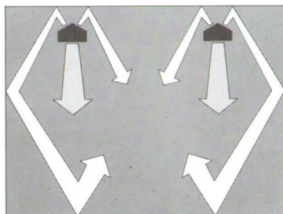
DIRECT/REFLECTING®

Speaker System?

If you have heard the BOSE 901 DIRECT/REFLECTING® speaker system, or if you have read the unprecedented series of rave reviews, you already know that the 901 is the longest step forward in speaker design in perhaps two decades. Since the performance of the 901, covered by U.S. and foreign patents issued and pending, derives from an *interrelated group of advances*, each depending on the others for its full potential, we hope you will be interested in a fuller explanation than is possible in a single issue.

In this issue, we'd like to tell you what our research revealed about the roles of direct and reflected sound in the reproduction of music. The direct sound is what you would hear if the walls and roof of the concert hall were removed. If you have ever listened to an orchestra outside, without a reflecting shell, you know that it is very soft and dull compared to what you experience in the hall. The difference is the reflected sound.

The reflected sound comes to your ears from the walls of the concert hall in almost equal quantities from all directions whereas the direct sound comes to you from the direction of the instruments. The direct sound is responsible for your sense of localization while the reflected sound contributes to the fullness, presence and warmth of the concert hall performance. As the research indicates, "this spatial property of the sound incident upon a listener is a parameter ranking in importance with the frequency spectrum of the incident energy for the subjective appreciation of music."^{*}



HOW THE 901 INCORPORATES THESE FINDINGS

The 901 has eight speakers on the back panels and one on the front. This accomplishes two objectives. First, it radiates the desired ratio of about 89% reflected sound to 11% direct sound. Secondly, by proper choice of the angles of the rear panels (see fig.) the 901 projects the image of a musical performance

spread across a stage that is located about two feet behind the speaker. This image is established to the extent that it is possible to hear the full stereo spread from a wide range of listening positions including directly in front of one speaker — a feat that is not possible with conventional speakers.

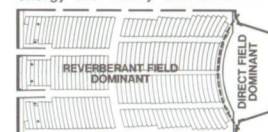
This concept of direct and reflected sound would result in an improved speaker by itself but it would fall far short of providing the realism offered by the 901. There are three other essential advances that must be used in combination with the direct and reflected sound to obtain the full benefits offered by the 901. These will be the subjects of other issues.

^{*}From 'ON THE DESIGN, MEASUREMENT AND EVALUATION OF LOUSPEAKERS', Dr. A. G. Bose, a paper presented at the 1968 convention of the Audio Engineering Society. Copies of the complete paper are available from the Bose Corp. for fifty cents.

BOSE
Framingham, Massachusetts 01701

© beim Hersteller
Archiv Michael Otto
HiFi-Classic.de

In a room, "the Sound Pressure Level drops off as the distance from the source increases until the direct field becomes smaller than the reverberant field. Beyond this point, the intensity is independent of distance and its variation with room position is a function only of the standing wave pattern in the room." This becomes significant for loudspeaker design "when we examine the sound field in concert halls and find that for virtually all seats, the reverberant field is dominant. Even for a large hall such as Symphony Hall in Boston, the reverberant field equals the direct field at about 19 feet from the source." In the reverberant field, "since the energy in this field arrives at any point via reflections from the surfaces of the room, the angles of incidence of the arriving sound energy are widely distributed. . . .



BOSTON SYMPHONY HALL FLOOR PLAN

We've mentioned in another issue that the "spatial property of the sound incident on a listener is a parameter ranking in importance with the frequency spectrum of the incident energy for the subjective appreciation of music."^{*} By "spatial property", we mean the directions from which the sound arrives at the listener — not the direction in which the sound leaves the speaker.

Yet though it is as important as frequency response, spatial property has played little part in the design of speakers prior to the 901. Measurements of a speaker, on-axis in an anechoic environment, deliberately avoid spatial property ("room effects") because in order to measure spatial characteristics, the speaker and the room must be considered as a system. No way was previously known to distinguish the contribution of the speaker from that of the room.

Conventional speaker design however results in the dominance of the direct field from the loudspeakers with the consequent localization of stereo sound in two points and the noticeable lack of fullness or openness of the reproduced sound."^{*}

How The 901 Incorporates These Findings

The use of the Direct/Reflecting® technique in the 901, with only 11% direct sound, is designed to simulate the concert hall experience by placing the listening area in the reverberant field, rather than the direct field. The stereophonic experience of the listener is uniform throughout the room. The speakers vanish as point sources — even to a listener directly in front of one speaker. Instead, they project the image of the musical performance across the entire wall behind the speakers.

These spatial characteristics are combined with three other essential advances to produce the full range of benefits offered by the 901. They are the subjects of other issues. Meanwhile, if you'd like to hear what spatial property means, ask your franchised BOSE dealer for an A-B comparison of the 901 with the best conventional speakers he carries, regardless of size or price.

© beim Hersteller
Archiv Michael Otto
HiFi-Classic.de

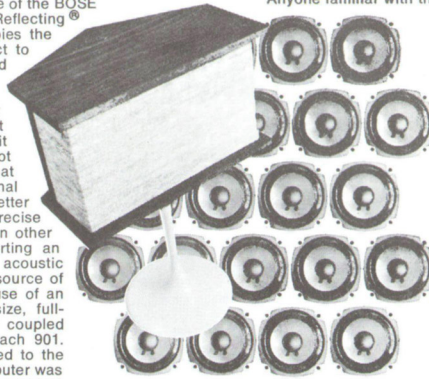
How does the BOSE 901 eliminate audible RESONANCES?

normal listening environment that are subjectively indistinguishable from those that would be produced by an ideal pulsating sphere in the same environment." *

Any speaker has many inherent resonances — frequencies where its response is irregular. Our research determined that when many similar speakers are closely spaced and acoustically coupled to a common chamber, the resonant frequencies of each speaker diverge from those of every other speaker. As a result, each resonance becomes inaudible, since it causes a change in the output of only one speaker of the many.

Anyone familiar with the problems of resonances in conventional speaker design will appreciate how important a discovery this is. In the case of the 901, it means that only one speaker out of 9 can be in resonance at a time — a proportion which is inaudible. The resultant freedom from audible resonances and other forms of distortion helps to account for the utter clarity and honesty of musical performance for which the 901 has already become famous. For the present, if you would like to hear the difference that a multiplicity of full-range speakers can make (in combination with 3 other major advances), ask your franchised BOSE dealer for an A - B comparison of the 901 with the best conventional speakers — *regardless of their size or price*. Then, go back to your present speakers — if you can.

The best known feature of the BOSE 901 is its Direct/Reflecting® design, which copies the proportion of direct to reflected sound measured in the concert hall. But aiming a speaker at a wall does not magically give it greatness. What is not yet so well known is that even in conventional terms the 901 is a better speaker — a more precise instrument than other speakers for converting an electrical into an acoustic signal. The primary source of this precision is the use of an array of 9 same-size, full-range, acoustically coupled speakers in each 901. In the research that led to the 901, a digital computer was used to simulate an ideal vibrating surface "having no resonances, phase shift, diffraction, or distortion of any kind." It was then proved (and demonstrated at a professional group meeting of the I.E.E.E. in Nov. 1964) that a multiplicity of closely spaced, acoustically coupled, full-range speakers "can produce music and speech signals in a

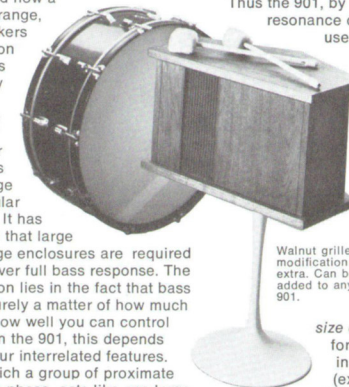


for music reproduction. Contrary to convention, the fundamental resonance of the 901 is designed upward to about 200 Hz. The reasons for this departure are:

- 1) Below 200 Hz, phase irregularities are much more audible than above 200 Hz.
- 2) Any speaker exhibits strong phase irregularities in the region of and above its fundamental resonance.
- 3) Below fundamental resonance, these irregularities are absent. Both amplitude and phase characteristics are very smooth functions of frequency and are electronically equalizable.

Thus the 901, by having its fundamental resonance designed at 200 Hz, allows us to make use of this region of smooth response to reproduce bass instruments with unprecedented accuracy of timbre.

In other issues of this series we have explained how a multiplicity of same-size, full-range, acoustically coupled speakers "eliminate(s) the sound coloration caused by resonances of speaker systems using only a small number of speakers and by irregularities in the radiated energy spectrum of systems employing crossover networks." But how does the use of 4 inch, full-range speakers allow such spectacular bass performance? It has always been assumed that large



Walnut grille modification extra. Can be added to any 901.

woofers in large enclosures are required to deliver full bass response. The answer to this question lies in the fact that bass performance is purely a matter of how much air you can move and how well you can control its movement. In the 901, this depends on four interrelated features.

- A) *The 'Array Effect'*, by which a group of proximate small speakers, moving in phase, acts like one large speaker with the area of the group.
- B) *The Special Design of the Drivers Used in the 901*. These are special long-exursion, high compliance speakers with large magnets, which can move large amounts of air.
- C) *Use of the Well-Controlled Frequency Region Below Fundamental Resonance*. In conventional speaker design the fundamental resonance is pushed as low as possible and the region below this is discarded

for the deep accurate bass of the 901 in contrast to the artificial bass (excessive response between 80 Hz and 200 Hz) which is often mistaken in conventional speakers for good low frequency response, but whose thumping and droning cause listener fatigue.

D) *Active Equalization*. Since phase and amplitude are very smooth below fundamental resonance, it is possible through active equalization to control the amplifier signal to maintain flat radiated power down to lower frequencies than even the largest conventional speakers can produce. Ask your franchised BOSE dealer for an A-B comparison test with the best conventional speaker systems, *regardless of their size or price*. Listen especially

© beim Hersteller
Archiv Michael Otto
HiFi-Classic.de

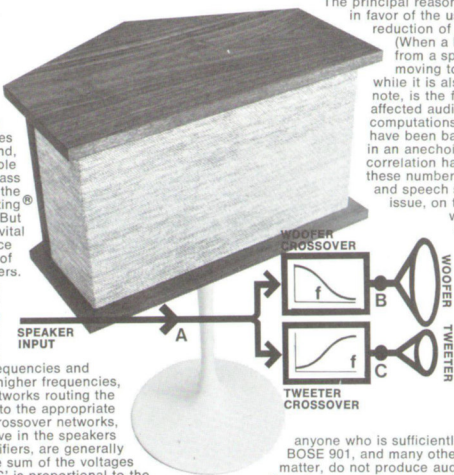
© beim Hersteller
Archiv Michael Otto
HiFi-Classic.de

© beim Hersteller
Archiv Michael Otto
HiFi-Classic.de

Why BOSE eliminates woofers, tweeters and CROSSOVERS

In other issues we describe how a multiplicity of same-size, acoustically coupled speakers eliminates audible resonances and, in addition, makes possible the unprecedented bass performance of the BOSE 901 Direct/Reflecting speaker system. But there is yet another vital benefit from this advance — the elimination of crossovers.

The best answer which had previously been found, for reproducing the full audio spectrum with dynamic speakers, was the use of a large speaker for the bass frequencies and smaller speakers for the higher frequencies, with crossover networks routing the appropriate frequencies to the appropriate speakers. (see fig.) Crossover networks, whether they are passive in the speakers or electronic in amplifiers, are generally designed so that the sum of the voltages at 'B' and 'C' is proportional to the speaker input signal at 'A'. This would be adequate only if the speakers were themselves perfect for then we might have an acoustical signal at 'D' which bore a close relation to the speaker input 'A'. However, woofers and tweeters are far from ideal. They exhibit both phase and amplitude irregularities in the crossover region. Phase differences between the woofer and tweeter, for example, can cause the cone of the woofer to advance while the cone of the tweeter is retreating. The result is sound coloration caused by the fact that the sum of the output of the woofers and tweeters is widely varying in the region of the crossover frequencies.



Block Diagram of Conventional Speaker System Employing Woofers, Tweeters and Crossovers.

Equally important, the directionality (dispersion) of a speaker varies with its diameter. Therefore, the spatial characteristics of the sound can change sharply in the crossover region as the radiation shifts from the large woofer to the small tweeter. "This spatial property of the sound incident upon a listener is a parameter ranking in importance with the frequency spectrum . . . for the subjective appreciation of music."¹

The principal reason which had been put forth in favor of the use of crossovers was the reduction of possible doppler distortion. (When a high frequency note is emitted from a speaker core which is 'slowly' moving toward or away from the listener while it is also reproducing a bass note, is the frequency of the higher note affected audibly?) Measurements and computations in support of this hypothesis have been based on sine waves, on one axis, in an anechoic environment. No correlation has been established between these numbers and what we hear with music and speech signals, in a room. In another issue, on the subject of DISTORTION, we shall explain how we were able to prove (in an experiment which is reproducible by

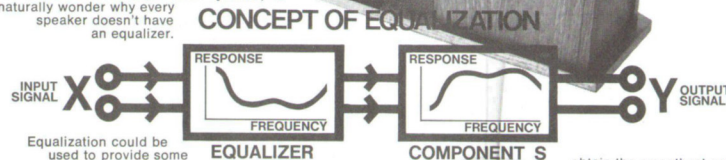
anyone who is sufficiently interested) that the BOSE 901, and many other good speakers, for that matter, do not produce audible doppler distortion on music or speech. If you would like to hear the performance of a speaker with no woofers, tweeters or crossovers (and several other major advances), ask your franchised BOSE dealer for an A-B comparison of the BOSE 901 with the best conventional speakers he carries—regardless of their size or price.

Why doesn't every speaker system have an EQUALIZER?

3. The fundamental resonance of conventional speakers lies in a low frequency range (below 100 Hz) for which the ear is very critical of both amplitude and phase irregularities. Despite many attempts over the past decades, no really successful solutions have been found for the equalization of conventional speakers through the frequency range of their fundamental resonance. We can now ask: HOW DOES THE 901 USE THE FULL POTENTIAL OF EQUALIZATION?

1. By using a large number of acoustically coupled full-range speakers, we take advantage of 'resonance-splitting' (See our issue on RESONANCES). Equalization is required for only the smooth average curve rather than for the complicated individual speaker characteristics.
2. The crossover problem is eliminated by the use of nine full-range speakers.
3. In the 901, the fundamental resonance is designed upward to near 200 Hz in order to.

The principle of equalization is depicted in the accompanying block diagram. An input signal X passes first through an equalizer and then component S (a speaker, for example) to reach the output Y. Component S is said to be equalized when the response of the equalizer is complementary to that of component S, to create the desired uniform response of the overall system from input X to output Y. When we consider that this concept is used throughout engineering from (all) phonographs and tape recorders to complicated television and communication systems, we naturally wonder why every speaker doesn't have an equalizer.

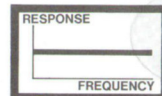


Equalization could be used to provide some improvements in conventional speakers. But the results would fall far short of realizing the full potential of equalization. The possible benefits would be restricted, even negated, by a number of practical constraints. There would be a high probability of introducing more sound coloration than was removed.

PROBLEMS IN EQUALIZATION OF CONVENTIONAL SPEAKERS

1. Any mechanically vibrating membrane manifests many irregularities (normal modes) which are individually too complex to equalize.*
2. No satisfactory solution has ever been obtained for the equalization of a speaker system over the crossover region where two speakers of grossly different amplitude, phase and spatial radiation characteristics are attempting to make an acoustical transition.

OVERALL RESPONSE FROM X TO Y OF EQUALIZED SYSTEM



obtain the smoothest possible phase and amplitude response (ideal for equalization) in the critical region below 200 Hz (See our issue on BASS).

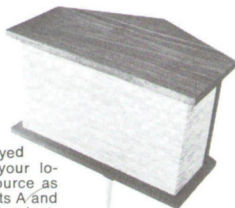
If you'd like to hear what equalization can mean in sheer clarity and smoothness of response, along with a number of other major (audible) improvements, ask your franchised BOSE dealer for an A-B comparison of the 901 with the best conventional speakers—regardless of their size or price.

© beim Hersteller
Archiv Michael Otto
HiFi-Classic.de

© beim Hersteller
Archiv Michael Otto
HiFi-Classic.de

BOSE on SOUND LOCALIZATION

the sound to *point* A, the speaker. Experiment 2 results in your localizing the source of sound primarily to *point* C on the side wall. Experiment 3, when both speakers are played together, results in your localizing the sound source as an *area* between points A and C. The experiment is fascinating; try it. After doing these easy experiments you will understand, in part, how the direct/reflecting® principle of the 901 creates a sound image much larger than the speaker and causes your ear to localize the source of sound as if it originated from a stage. Add to the direct/reflecting design factor a multiplicity of full-range speakers, active equalization, and the criterion of flat spectrum of power radiation* and you are in for a most pleasant surprise when you A-B the 901 with any conventional speaker, regardless of size or price. Your franchised Bose dealer can arrange the A-B experiment.



When you stop to think, it is really demanding to expect a few microphones in the concert hall, and two speakers in a living room even to begin to recreate the listening experience provided by a wide stage on which perhaps 100 instruments are playing. Yet we try. It is easy to show that *no* two speakers (even ours) can recreate the live experience *exactly*. But there are speaker design factors that *can* be incorporated to produce significant improvements over conventional speakers.

One of these factors (And you may do simple experiments to verify it, using conventional speakers in your own home.) is the proper LOCALIZATION OF SOUND. In a live performance the wall behind the musicians is one of the most important surfaces in the acoustical design of the hall. It reflects the sound to provide the fullness characteristic of live performances. (Even outdoors, a reflecting shell is a necessary part of good musical performances.) It is for the same reason that speakers should be designed to use one wall of a room to simulate the stage of a live performance. Since home rooms and speakers are smaller than stages and orchestras, good simulation requires that each speaker be capable of presenting a sound image that is broader (physically larger) than the dimensions of the speaker itself.

But how can a speaker accomplish this? Try the simple sequence of experiments indicated in Figure 1 and you will discover the answer. In experiment 1 you will localize the source of

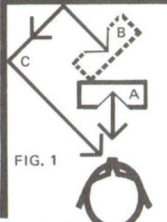


FIG. 1

1. Play Speaker A
2. Play Speaker B
3. Play Both Speakers—adjusting the relative volume levels (B greater than A) to give the best spatial image

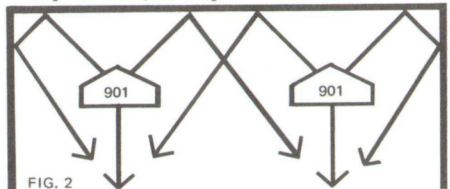


FIG. 2

*See 'ON THE DESIGN, MEASUREMENT AND EVALUATION OF LOUDSPEAKERS', Dr. A. G. Bose, a paper presented at the 1968 convention of the Audio Engineering Society. Copies of the complete paper are available from the Bose Corp. for fifty cents.

Why is the BOSE 901 designed for FLAT POWER RADIATION?

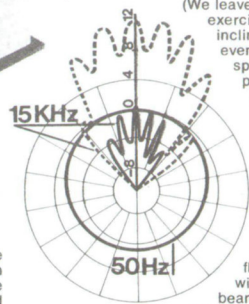
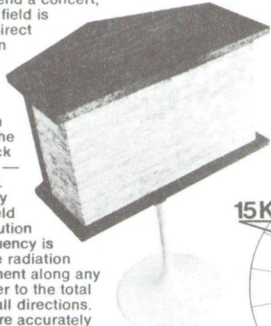
can enjoy the 901 at a much higher volume level than they could tolerate with conventional speakers.)

WHY CONVENTIONAL SPEAKERS CANNOT HAVE FLAT POWER RADIATION:

Figure 1 shows the measured directional radiation of one of the better conventional speakers at 50Hz and 15KHz. The fact that the two solid curves coincide on the speaker axis indicates that the speaker has the same response on-axis at the two frequencies. However, the much smaller radiation pattern at 15KHz (both horizontally and vertically) shows that the total power radiated in all directions at 15KHz is only a fraction of the power radiated at 50Hz. This is why you notice that the high frequencies drop off as you move off axis with a conventional speaker. If this speaker were to be equalized to radiate flat power, the on-axis response at high frequencies would be so intense (indicated by the dotted line) that you could not sit in front of the speaker. This problem is fundamental in conventional speakers.

THE NEED FOR FLAT POWER RADIATION:

In previous articles we have explained that when you attend a concert, the reverberant field is dominant over the direct field at your seat. In order to create a similar situation in your living room, the speaker must use one wall of your room in the same way that the orchestra uses the back wall of the stage—to reflect sound. A fundamental property of the reverberant field is that its distribution of power vs. frequency is related, not to the radiation of a musical instrument along any one axis, but rather to the total power it radiates in all directions. Therefore, in order to more accurately simulate the live performance in



(We leave it as an interesting exercise for the technically inclined reader to show that even a cylindrically shaped speaker cannot employ flat power radiation without excessive high frequency radiation toward the listening area.)

HOW IS FLAT POWER RADIATION POSSIBLE WITH THE 901?

— By directing the greater percentage of the radiation at precisely selected angles to the rear wall, the 901 achieves flat power radiation without high frequency beaming toward the listening area.

your home, the loudspeaker must be designed for a flat power radiation into the room rather than flat frequency response on axis. The need for flat power radiation was first recognized in the research that led to the BOSE 901, and the 901 is the only speaker that uses this principle. The result—you can now listen to an ensemble of violins or other instruments playing in the higher registers of the musical scale and enjoy all the overtones and proper attacks without suffering from the annoying shrillness so characteristic of Hi Fi. (Musicians and many women are very sensitive to shrill and screechy sounds—they will instantly recognize the unique properties of the BOSE 901 in this respect. In fact, many owners have commented that their wives

Ask your franchised BOSE dealer for an A-B comparison test with the best conventional speaker systems, regardless of their size or price. Note especially the absence of the 'Hi Fi edge' on the violins and the uniform distribution of the highs throughout the room.

© beim Hersteller
Archiv Michael Otto
HiFi-Classic.de

© beim Hersteller
Archiv Michael Otto
HiFi-Classic.de

© beim Hersteller
Archiv Michael Otto
HiFi-Classic.de

FEATURES & BENEFITS of the BOSE 901

TECHNICAL FEATURES → PRODUCE → BENEFITS YOU CAN HEAR

A multiplicity of full range speakers acoustically coupled (to a common chamber)

1. Eliminates sound coloration produced by different-sized speakers with crossover networks. *The result is increased definition and clarity.*
2. The acoustic coupling disperses the many resonances of individual speakers to render them inaudible in the 901 array. *Instrumental sound is reproduced with greater accuracy.*
3. In any speaker most of the input power is dissipated as heat in the voice coil. By providing nine areas instead of one for heat dissipation, the 901 can handle much more power than conventional speakers. *This means that the 901 is capable of a much larger dynamic range (the ratio of the loudest to the softest audible passages). With small amplifiers (30 watts per channel) the 901 has a dynamic range superior to most conventional speakers. With larger amplifiers, you will experience dynamic ranges you never thought possible in recorded music.*

DIRECT/REFLECTING® One front speaker and eight rear speakers positioned at precisely calculated angles to the wall.

1. Simulates the spatial properties of the direct and reverberant sound fields of a live performance: — *Much more of a sense of presence and realism in which one wall of your room is used as the stage wall is used behind a live performance.*
2. The precise ratio of reflected to direct sound and the angles of the reflections from the rear wall allow stereo listening from almost any position in the room — even 3 feet in front of one speaker.

FLAT POWER RADIATION

In a live performance you respond to the balance of the total acoustical energy radiated by an instrument, not to its frequency response on any axis. The 901 is designed to radiate this same balance of total acoustical energy. The result is that you can now hear the attack of instruments without the excessive screech that has for so long accompanied HiFi sounds.

ACTIVE EQUALIZATION Over 100 components precisely tailor the musical signal fed to the 901.

Provides precise control over the acoustical radiation of the 901 at all audible frequencies: — Unprecedented accuracy of instrumental timbre.

These features and benefits of the 901 have been the subjects of the unprecedented series of rave reviews in all the major music magazines. The 1970 issue of HI FI BUYERS GUIDE comments on the other reviews and on the 901 as follows:

"Utilizing a 'new' approach to sound reproduction . . . the Bose 901 is capable of delivering some of the most natural sound ever heard from a speaker system. Its midrange and highs are magnificently transparent, its lows neither smeared nor boomy, its over-all sound quality so clean that the listener is almost unaware of the electronics between him and the instruments . . . Widely acclaimed by most anyone putting pen to paper, the 901 has been hailed again and again as a breakthrough in technology . . . The sound? The 901 is very possibly the only speaker to date to pour forth in true concert-hall fashion."

When you hear the 901 you will immediately notice its wide margin of (patented) superiority over any other speaker, regardless of size or price. Ask your franchised dealer to let you audition the 901 in your home on a trial basis. You have nothing to lose but your satisfaction with your present HiFi system.

*See "ON THE DESIGN, MEASUREMENT AND EVALUATION OF LOUDSPEAKERS", Dr. A. G. Bose, a paper presented at the 1968 convention of the Audio Engineering Society. Copies of the complete paper are available from the Bose Corporation for fifty cents.



Technology must be confirmed by performance.

Here are the judgements of the most respected critics and reviewers.

"... I must say that I have never heard a speaker system in my own home which could surpass, or even equal, the Bose 901 for overall 'realism' of sound."

**Hirsch-Houk Laboratories,
STEREO REVIEW**

"The 901 is very possibly the only speaker to date to actually pour forth in true concert hall fashion."

HI FI BUYERS' GUIDE

BOSE . . . the most highly reviewed speaker

The complete text of an unprecedented series of rave reviews of the BOSE 901 DIRECT/REFLECTING® speaker system



by
Equipment Reviewers
and
Music Critics

"But these speakers provide a quality which is not to be matched."

STEREO & HI FI TIMES

"It is our opinion that this is the speaker system to own, regardless of price if one wants the ultimate in listening pleasure."

e/e HIGH FIDELITY

"I urge that you listen for yourself. I think you will have to agree that Bose has, in a single giant step, produced one of the finest speaker systems ever made."

AMERICAN RECORD GUIDE

"... if your response to it is like ours, you'll be reluctant to turn it off and go to bed."

Norman Eisenberg, HI FIDELITY

"After a time trial measured in months rather than weeks, this one can definitely proclaim Bose is best, big or small, high or low."

**Irving Kolodin,
SATURDAY REVIEW**

Available Free at Bose Dealers.

"To hear a thunderous "low C" organ pedal . . . or a clean, weighty impact of a bass drum is truly impressive . . . There is no doubt that the much abused and overworked term "breakthrough" applies to the Bose 901 and its bold new concepts."

Bert Whyte — AUDIO

"The Bose have replaced forever our bulky studio speakers with compact, handsome units. The only trouble is — our studio is beginning to look like a living room!"

DOWN BEAT

© beim Hersteller
Archiv Michael Otto
HiFi-Classic.de

© beim Hersteller
Archiv Michael Otto
HiFi-Classic.de

© beim Hersteller
Archiv Michael Otto
HiFi-Classic.de

You can now read THE ULTIMATE REVIEW by the owners themselves

The relevance of the research which produced the 901 and the value of the reviews rest solely upon your ultimate appreciation of the product. Every day we receive letters and comments from owners expressing an appreciation that goes far beyond the expected reaction to just another good product.

We decided to share these owner observations with you in a 68 page booklet that we believe makes some of the most fascinating reading in the field of high fidelity. It is entitled "The Owner Reports on the Bose 901". Included are letters from owners, warranty cards, and survey replies.

In it you can read the words of the owners on:

- 1 How different owners describe the esthetic experience of music and the sound of the 901.
- 2 What equipment owners use with the 901.
- 3 What equipment owners traded to buy the 901.
- 4 What happened when a customer tried to buy the 901 from a dealer that was not franchised.
- 5 What owners would like us to develop next.
- 6 What owners would like to see improved about the 901.
- 7 The influence owners have in selling the 901.
- 8 Candid remarks on many topics by people who, just like you, are searching for the best in stereo.

If your reaction is similar to the response of those who have already seen the booklet, you will read every page before putting it down.

And when you finish, you will know why we get much more satisfaction from our work than could ever be derived from profits alone.



Copies of "The Owner Reports" are available from BOSE Corporation for one dollar.

You can hear the difference now

BOSE®

BOSE CORPORATION, THE MOUNTAIN, FRAMINGHAM, MA. 01701

HI-FI-TECHNIK

Loch überbrückt

„Cadillac-Qualität im Format eines Volkswagens“ bescheinigten Kritiker einem Hi-Fi-Lautsprecher aus Amerika. Die zwei Millionen Dollar Entwicklungskosten zahlte die Air Force.

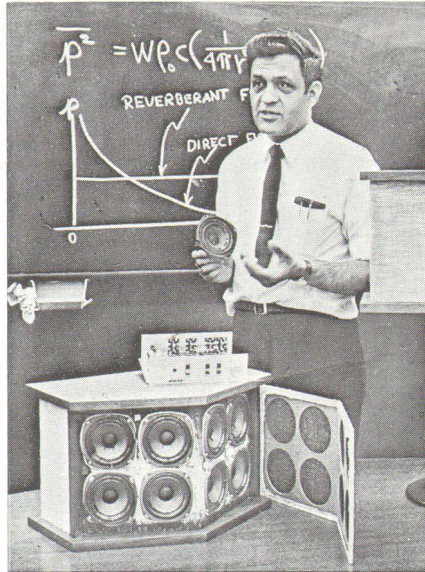
Für etliche tausend Mark dreht sich — Traum eines jeden Hi-Fi-Fans — der Plattenteller extrem gleichläufig, empfängt ein Tuner mit höchster Empfindsamkeit, liefert der Verstärker linealglatten Frequenzgang, Klirrfaktor nahe Null. Und wenn es dann immer noch nicht richtig klingt, schrieb der Hamburger Hi-Fi-Kritiker Stratos Tsobanoglou, „kann die Misere nur am letzten Glied der Kette liegen“, beim Lautsprecher.

So widerfuhr es, vor Jahren, auch dem amerikanischen Physiker und (Freizeit-)Violinisten Amar G. Bose, Professor am Massachusetts Institute of Technology (MIT) in Cambridge bei Boston. „Bei meiner ersten Anlage“, erzählt er, „die ich nach Prospekten zusammengestellt hatte, klangen die Geigen derart scheußlich, daß ich am liebsten alles wieder verkauft hätte.“

Doch der Professor fand sich nicht damit ab. Als Leiter eines Wissenschaftler-Teams beim MIT erforschte er zwölf Jahre lang die Grundgesetze elektronischer Schallumwandlung und menschlichen Hörens. Dann kam er mit einem Paar Lautsprecher-Boxen auf den Markt, bei deren Klang Hi-Fi-Experten in Ekstase gerieten.

Das amerikanische Fachblatt „High Fidelity“: „Eines der besten Systeme, die wir je gehört haben.“ Die „Stereo & Hi-Fi Times“: „Was für ein hinreißender Klang!“ Und Irving Kolodin, Musikkritiker der „Saturday Review“, fand die Lobesformel: „Cadillac-Qualität im Format eines Volkswagens.“

Daß die „Bose 901“-Lautsprecher „in ihrer Art konkurrenzlos“ seien (so das



Physiker Bose, Bose-Lautsprecher* Konzept aus dem Computer

Karlsruher Fachblatt „HiFi Stereophonie“, bestätigen mittlerweile auch westdeutsche Hi-Fi-Kenner. Ohne Beispiel jedenfalls ist die eigenwillige Kombination technischer Mittel, wie Bose sie in seinem Boxen-System vereinigt hat — allesamt im Widerspruch zur herkömmlichen Lautsprecher-Technologie.

Die Bose-Boxen, seit einigen Monaten auch auf dem deutschen Markt,

- ▷ sind nicht als geschlossene, an der Wand stehende Kästen konstruiert, sondern strahlen 89 Prozent des erzeugten Schalls nach rückwärts gegen die Zimmerwände ab,
- ▷ sind nicht mit getrennten Lautsprechersystemen für den Tief-, Mittel- und Hochtonbereich bestückt, sondern mit insgesamt neun akustisch gekoppelten Klein-Lautsprechern (acht rückwärtig, einer vorn), von denen jeder das gesamte Frequenzspektrum verarbeitet,
- ▷ werden gesteuert von einem sogenannten „Equalizer“, einem elektro-

nischen Klangregelgerät, mit dessen Hilfe die Schalldruckkurven der Boxen den akustischen Erfordernissen des jeweiligen Hörraums und Musikprogramms angeglichen werden.

Der „Equalizer“, Ergebnis langwieriger Berechnungen und mit mehr als 100 elektronischen Bauteilen bestückt, ist ein Zusatzgerät im Lexikonformat und wird jeweils mit den zwei Bose-Lautsprechern zusammen geliefert — Gesamtpreis der Anlage: 2590 Mark.

Besonders verblüffend erschien den Experten die — gemessen an ihrer Leistung — geringe Größe der Bose-Boxen: Klangfülle und saubere Tiefenwiedergabe bis zum Orgel-Kontra-C (32 Hertz), wie sie sonst nur schrankgroßen Super-Lautsprechern zu entlocken sind, entströmen einem knapp 33 Zentimeter hohen, 52 Zentimeter breiten Kasten. Die Boxen haben einen fünfeckigen Grundriß, wobei die Rückfronten einen genau berechneten Winkel (120 Grad) zueinander bilden.

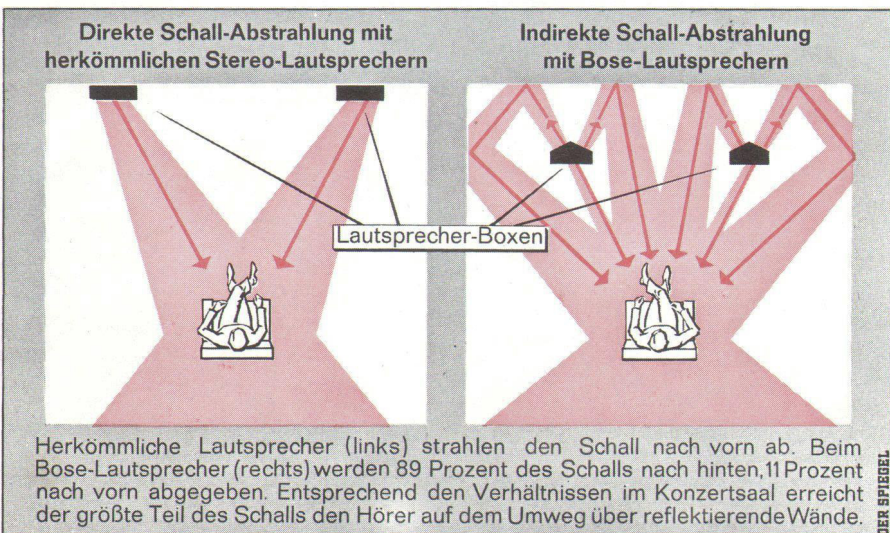
Hauptnachteil der Bose-Boxen ist, daß sie nicht ins Bücherregal passen, sondern im Abstand von etwa 30 Zentimetern vor einer reflektierenden Wand aufgestellt werden müssen. Nur dann kann sich die Räumlichkeit und Durchsichtigkeit des Klangbildes entfalten. Bei richtiger Aufstellung freilich ist der Stereo-Effekt, anders als bei den meisten herkömmlichen Boxen, buchstäblich an jedem Punkt des Raumes wirksam; und das von vielen Hi-Fi-Fans gefürchtete „Loch“ zwischen den beiden Schallquellen entfällt.

Mindestens zwei Millionen Dollar, schätzt Professor Bose, sind für die Forschungen, die zu diesem Lautsprechersystem führten, aufgewendet worden — bezahlt hat sie letzten Endes die U.S. Air Force, die das Wissenschaftler-Team am MIT mit ihren Projekten zusammenhielt und finanzierte.

Etwa 500 000 Dollar hätte allein die Benutzung des MIT-Computers gekostet, dessen sich die Bose-Mannschaft ausgiebig bediente: nachts, wenn das Elektronengehirn von anderen Forschergruppen nicht gebraucht wurde.

Bose nutzte den Computer, um erstmals das exakte mathematische Modell eines Ideal-Lautsprechers zu entwickeln. Sodann fütterte er den Rechner mit Sprach- und Musikmustern in Form elektrischer Signale — und fand so, welchen Schallanteil der Lautsprecher und welchen die jeweilige Raumcharakteristik liefert.

Bis dahin waren die Meßdaten von Lautsprechern immer in sogenannten schalltoten Räumen ermittelt worden, also unter wirklichkeitsfremden Bedingungen. Bose hingegen ließ Dutzende von Versuchspersonen in einer wohnzimmerähnlichen Umwelt den verschiedensten akustischen Signal-Kombinationen lauschen. Jedesmal wenn sie



* Auf dem Lautsprecher: das geöffnete Chassis des „Equalizers“.

einen Unterschied wahrnehmen, mußten sie eine Taste drücken.

Aus den Computerberechnungen und solchen Vergleichstests entwickelten die MIT-Physiker schließlich die Konstruktionsprinzipien für das Bose-System: eine Vielzahl von kleinen „full range“-Lautsprechern und die richtige, den Verhältnissen im Konzertsaal entsprechende Mischung zwischen direktem und indirektem Schall, vor allem aber die gleichmäßige Verteilung der Schallenergie über den ganzen Raum („flat power radiation“).

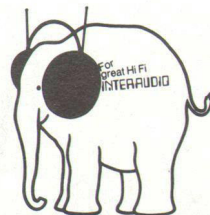
Das Ergebnis der Forscher-Mühen geriet so überzeugend, daß die (von den MIT-Eggheads gegründete) Bose Corporation innerhalb eines Jahres rund 10 000 Paar ihrer fünfeckigen Boxen absetzte — so beispielsweise auch für die Beschallung ehemaliger Kirchen, die in den USA neuerdings zu Diskotheken umfunktioniert werden.

Für Europa nehmen zwei junge Wissenschaftler in Frankfurt die Bose-Belange wahr. Zu der sich auch hier schon formierenden Gemeinde von Bose-Gläu-

bigen zählen „Anatevka“-Star Ivan Rebroff ebenso wie der Münchner Musikprofessor und Pianist Erik Then-Bergh („Ich kenne nichts Besseres“).

Das einzige, was die Bose-Leute noch ändern wollen, ist das äußere Erscheinungsbild der Boxen; sie entsprechen nicht ganz dem — durch Braun-Design verwöhnten — europäischen Geschmack. Der Professor aus Massachusetts freilich mag das nicht so wichtig nehmen. „Sie sehen so häßlich aus“, sagt er, „daß jeder gleich sehen kann, die sind nicht billig.“

© beim Hersteller
Archiv Michael Otto
HiFi-Classic.de



INTERAUDIO
BOSE

Weiteres Informationsmaterial über die 12-jährige Bose-Forschung sowie Auszüge von über 15 Testberichten liegen für Sie bereit.

6 Frankfurt/M., Schumannstr. 34 a, Tel. 0611/749404

background of the new speaker development

For more than thirty years, speaker design has consisted of rearranging speakers in enclosures and making modifications in diaphragm materials, magnetic structures and crossover networks. Very little basic work was done to scientifically investigate the many problems of sound recording and reproduction until almost ten years ago. At that time, the research program referred to in this brochure was launched. This program combined theoretical principles of acoustics with the latest instrumentation and newly developed computer techniques. At each step, the results were submitted to extensive subjective testing and confirmation to insure that the technical approach was always focused upon the ultimate objective — natural sounding music for the home listener. The results of the study fell into three categories:

- 1) Basic properties required of the sound radiated from a loudspeaker.
- 2) Measurement techniques for the evaluation and design of speakers.
- 3) Design techniques for achieving the desired properties.

The research provided new knowledge about the difficult problems of sound reproduction and has produced the **Bose 901**. May this speaker system bring many happy hours of good music into your home.

THE **BOSE** CORP.®

1 Strathmore Road • Natick Industrial Centre
Natick, Mass. 01760 • Tel (617) 235-6640

The BOSE 901 is covered by issued and applied for patent rights.

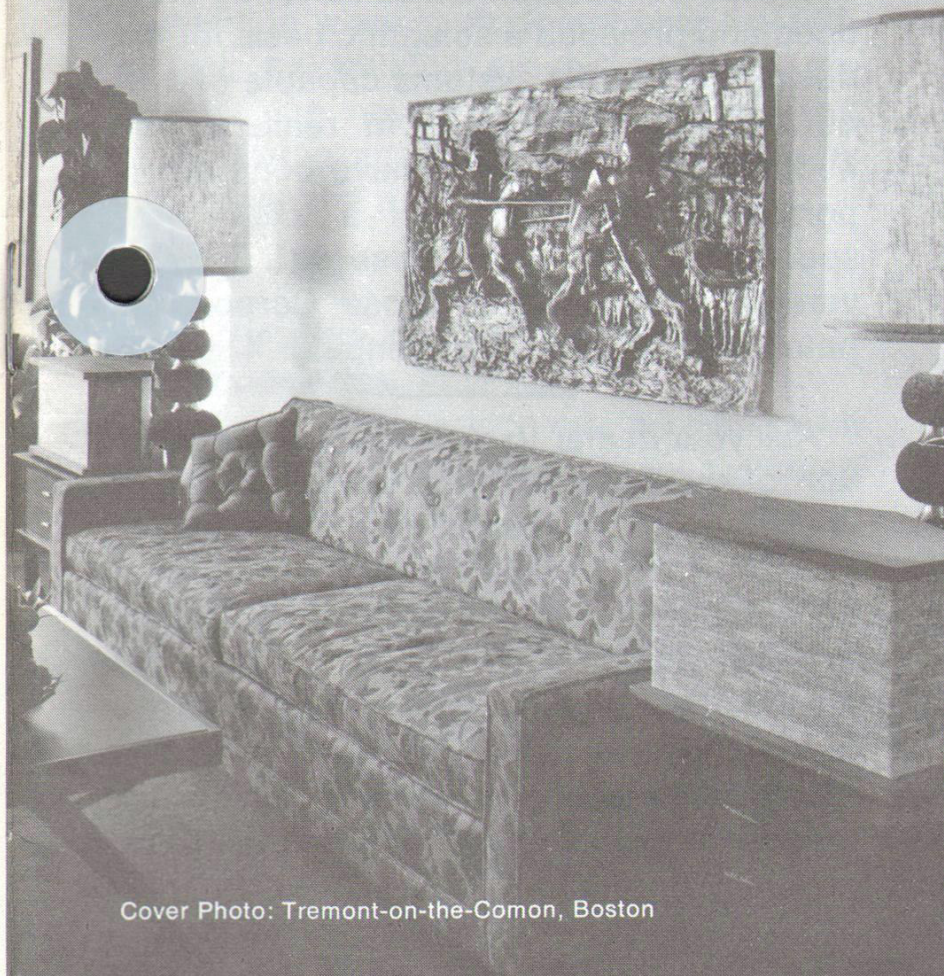
80-100451

recent research findings provide new speaker design principles for added dimensions in sound realism

THE **BOSE** 901®

DIRECT/REFLECTING™
speaker system

Prim Hersteller
Archiv Michael Otto
HiFi-Classics.de



Cover Photo: Tremont-on-the-Common, Boston

The primary activity of the Bose Corporation is research. Recent results of an extensive research program into principles of recording and reproduction of sound are expected to have far reaching effects on speaker designs. The research revealed shortcomings of speaker design and measurement as currently practiced and provided a scientific basis for the design of speaker systems capable of producing new dimensions in realism. The findings of this research have been incorporated in the design of a totally new speaker system — the **Bose 901**. This invention is covered by Bose Corporation patent rights issued and pending.

Ask your dealer to give you a demonstration of the **Bose 901** with any speakers of your choosing — regardless of their price or size. Simply place the **901** on top of a conventional speaker and listen alternately to each system. The factors that will be immediately evident upon comparison are listed on the next pages, followed by the technical reasons for the superior performance that you will observe from the **901**.

WHAT you will hear as you compare the Bose 901 with any other speaker.

sense of presence

The sound will surround you, yet seem to originate from a stage in front of you as in a concert hall. The observation most often made by listeners is, "It's like passing through a door opening into the performance when the switch is thrown from conventional speakers to the **Bose 901!**"

a new dimension in stereo

The orchestra will seem to be uniformly distributed across the stage. The "hole in the middle" effect, so characteristic of conventional stereo, is absent in the **Bose 901**. You will also observe that on good recordings individual instruments will remain fixed in position when reproduced over the **901**. Finally, by walking around you will encounter the new experience of enjoying these stereo advantages from almost any position in the room.

clarity and definition of instruments

A striking comparison can be made with conventional speakers by simply switching from any of them to the **Bose 901** during a loud musical passage involving full orchestration. The clarity and definition of the **901** will be immediately observable, and you will be able to clearly follow any one instrument through a complex passage without losing it in the background rumble that accompanies conventional speaker designs.

accurate tonal balance

On good recordings, you will immediately notice the accuracy with which the **Bose 901** reproduces the correct timbre of each instrument; from the low notes of the organ, through the high ranges of the violins, to the full range of the percussion. Accurately reproduced bass notes will be observed with complete absence of "artificial bass" (excessive response from 80 to 200 Hz). The latter is often mistaken, by the uninitiated, for good low frequency response, but its droning and thumping is known to create listening fatigue. True bass is heard only when it is in the musical score and not as a rumble or droning superimposed on all sounds emerging from a speaker.

WHY the Bose 901 outperforms conventional speakers.

The **Bose 901** was designed using the results of an extensive research study which revealed numerous basic considerations in speaker design. The principal technical reasons for its superior performance follow.

correct balance between reflected and direct sound

The design of every concert hall is concerned with the handling of reflected sound. Only a small portion of the sound reaches the listener through a direct path from the musical instrument; the vast majority of the sound arrives via reflections from the walls as indicated in Figure 1. This consideration has been overlooked in speaker design. Recent research has shown that the ratio of reflected-to-direct sound is a most important parameter for

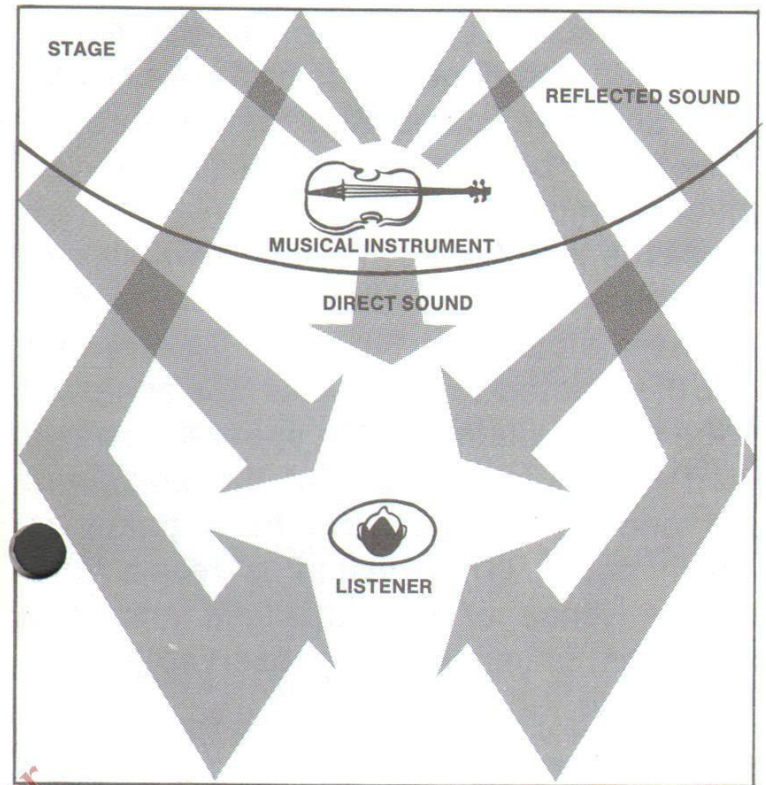


FIGURE 1

In a concert hall, the listener receives a large ratio of reflected-to-direct sound.

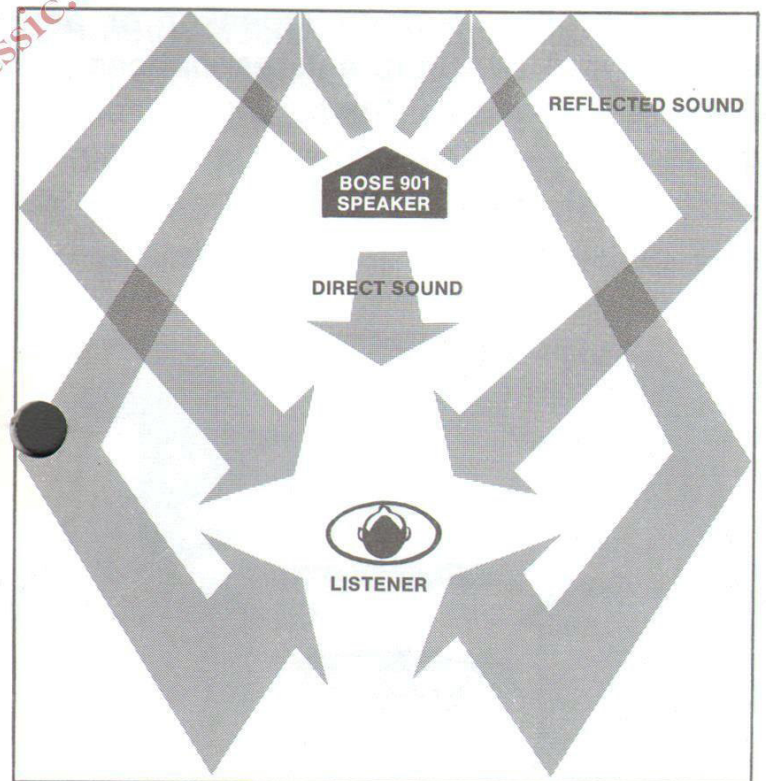


FIGURE 2

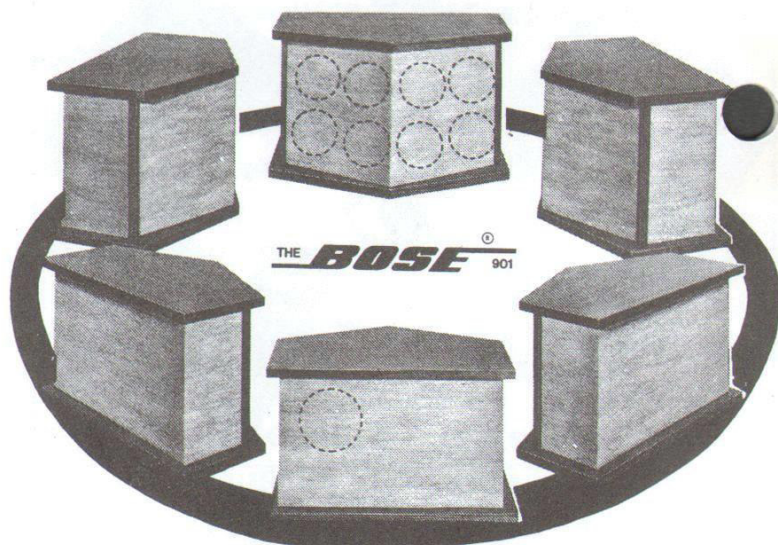
In a home, the listener receives a ratio of reflected-to-direct sound from the Bose 901 similar to that experienced in the concert hall. The wall behind the 901 acts like the reflecting wall of the concert hall stage.

realistic sound reproduction in the home. The shape and dimensions of the **Bose 901** have all been calculated and tested to achieve the best ratio for realistic reproduction of music. The sound radiation from the **901** is indicated in Figure 2, which can be compared to the situation in a concert hall as indicated in Figure 1. This proper ratio of reflected-to-direct sound is achieved in the **901** by placing eight speakers on two tilted panels in the rear of the enclosure and one speaker on the front panel as shown below. This design is responsible for the sense of spaciousness and presence that is immediately observable when listening to the **901**.

**nine driver speakers
simultaneously operating
over the entire audio frequency
range eliminate audible
speaker resonances**

Any vibrating surface (speaker of any size or type) has inherent resonances. At a resonant frequency, the speaker response is irregular — exhibiting a peak or dip in its radiated output. But if many separate

Eight speakers on rear baffles supply the required reflected sound.



Single speaker on front baffle supplies the direct sound. It is mounted off center to prevent irregular response caused by diffraction effects in symmetrical mounts.

speakers are closely spaced, the acoustic coupling causes the resonant frequencies of each speaker to be different from those of every other speaker. As a result, each resonance becomes inaudible since it causes a change in the output of only one speaker of the many. Thus, the coloration of the sound caused by the resonances in any speaker can be overcome by the use of many speakers, each receiving the same audio signal. This approach is largely responsible for the increased definition and clarity of the **Bose 901** when compared with any other speaker.

**new design criterion and
measurement technique**

A principal result of the research was development of a new criterion for the design — and a new technique for the measurement — of loudspeakers. At an early stage, the research revealed shortcomings of both anechoic chamber and “live room” measurements of speakers. Chamber measurements are deficient because the energy radiated by any speaker is very dependent upon the surfaces in the room that are immediately adjacent to the speaker. Therefore, the frequency response of the energy radiated from a speaker measured in an anechoic chamber may differ grossly from the frequency response of the sound energy radiated by the same speaker in its normal room environment. It is this normal room response that is related to the quality of the speaker. On the other hand, “live room” measurements using narrow-band noise suffer because deviations in the measured frequency response caused by the absorption characteristics and resonances of the room cannot be distinguished from deviations in speaker response. (Room absorption characteristics present measurement problems over the entire audio fre-

quency range. Room resonances preclude accurate measurements only at the low frequencies if special averaging techniques are used.)

The new measurement technique enables a speaker to be measured in its normal operating environment. It uses computer data processing to separate the measured response into that part due to speaker radiation and that part caused by room resonances and absorption. The **Bose 901** system includes an active equalizing network, described below, that flattens the frequency spectrum of the radiated energy over the audio band. The result is a speaker system, the **Bose 901**, that will radiate a flat spectrum in any room when placed one foot in front of a wall.

active equalization—precise control of frequency response

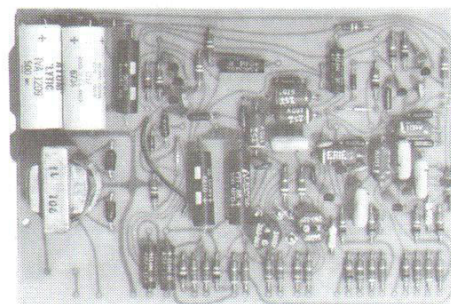
It is a technical fact that the performance of any speaker system, regardless of type or design, can be improved by the use of properly designed equalization networks. Such networks electronically correct for deviations in the frequency response caused by mechanical design constraints in the speaker. **However, the full potential inherent in the concept of electrical equalization can only be realized if the speaker system is composed of a multiplicity of small speakers, each receiving the same audio signal.** This follows from two considerations: First, it is impractical from the



ACTIVE EQUALIZER

This active equalizer is part of the Bose 901 speaker system. Its 10 transistors and over 100 components precisely control the frequency response of the radiated sound.

point of view of complexity and stability to attempt equalization for the individual resonances of any single speaker. Second, the individual resonances of a multiplicity of acoustically coupled speakers spread out in frequency and become inaudible because only one of the many is resonant at any one frequency. Therefore, compensation for individual speaker resonances is unnecessary, and an active equalizer with a smooth curve equalizes the audible responses of the sum of all the speakers.



ACTIVE EQUALIZER CIRCUIT BOARD — rugged fiberglass with high-precision components.

The accuracy of the equalization network is of major importance. Active equalization of the signal before the power amplifier is, in general, far superior to passive equalization after the amplifier because the active equalization does not need to handle high power and does not require the iron-core inductors that introduce distortion in passive equalizers. In addition, it is practical to have many more elements in an active network to provide much greater accuracy in equalization than is practical in the passive case. **The Bose 901 active equalizer contains ten transistors and over one hundred components to accurately equalize the stereo response for the effects of radiation impedances, speaker characteristics, enclosure dimensions, and even for the presence of the fashion fabric grille cloth.** All of this equalization is achieved with the introduction of absolutely no audible distortion on any music or speech signals.

In addition to the equalization that produces the flat frequency response of the radiated sound, the active equalizer in the **Bose 901** system provides the listener with the choice of nineteen additional equalization contours that can be selected from the front panel. This gives the listener the flexibility to exercise his own taste in compensating for recording techniques and listening room characteristics.

crossover networks eliminated

However accurately crossover network may be designed from an electrical network point of view, the acoustical output of the associated speakers cannot be sufficiently controlled in amplitude and phase in the crossover region to remove sound coloration. This is equally true for active, passive and mechanical crossover networks. It is the speaker outputs, not the network outputs, that must cross over smoothly. If correct timbre of all instruments is to be achieved, it is essential to avoid crossover networks. The **Bose 901** achieves this result by driving each of its nine speakers with the same full range, equalized, audio signal.

acoustical blending of stereo channels

Better stereo systems of conventional design, electrically combine the two channels to form a blended third channel that is fed to a center speaker. In the **Bose 901**, the acoustical radiation from one back panel of each speaker is directed toward the space between the two channels. This gives a smooth and continuous acoustical blending of the stereo channels to remove the need for a center speaker.

no enclosure sides parallel to drivers

If a speaker enclosure has any surfaces parallel to that upon which the speakers

are mounted, standing waves result which can sometimes affect the frequency response, even with fiberglass damping. Because of its pentagonal shape, the **Bose 901** avoids this problem. There are no sides parallel to any baffle upon which any of the nine speakers are mounted.

THE **BOSE** 901[®]

Speaker (Each Unit)

Percentages of Reflected and Direct Sound.

Power radiated by reflection	89%
Power radiated directly	11%
(Design percentages based upon concert hall measurements.)	

Speaker Complement.

Each unit contains nine high-compliance full-range speakers with high energy magnets to allow large excursions without audible distortion on any program material. The speakers are acoustically coupled to eliminate audible resonances.

Power Handling Capacity.

The **901** can be used with any high quality amplifier. Its efficiency enables operation with moderately powered amplifiers, yet it can be used with the highest powered amplifiers to reproduce undistorted orchestral peaks at high volume levels.

Nominal Impedance	8 ohms
Dimensions	12 $\frac{3}{4}$ " high, 20 $\frac{9}{16}$ " wide, 12 $\frac{7}{8}$ " deep.
Weight	33 lbs.

Active Equalizer (Two channels)

Frequency Contour Controls.

The normally flat radiated power spectrum can be adjusted, by means of three front panel switches, to yield twenty different frequency contours designed for compensation of recording techniques and room acoustics.

Installation.

The Active Equalizer is easily connected to any preamplifier, amplifier or receiver using the audio cables supplied.

Construction.

The Active Equalizer contains over one hundred components, including ten transistors, mounted on a military quality circuit board. Thirty of these are precision 1% and 5% tolerance components to insure precise control of the entire audio spectrum in every production unit.

Dimensions	21 $\frac{3}{16}$ " high, 9 $\frac{1}{4}$ " wide, 6 $\frac{3}{4}$ " deep.
-------------------	---

durch Abhörtests überprüft, um sicherzustellen, daß der eingeschlagene Weg der richtige war und auf das angestrebte Ziel ausgerichtet blieb, nämlich dem Musikfreund natürlich klingende Musik ins eigene Heim zu bringen.

Die Ergebnisse der Studie lassen sich in drei Klassen einordnen:

- 1) Grundvoraussetzungen für die Wiedergabe von Klangereignissen über Lautsprecher
- 2) Meßmethoden für die Beurteilung und den Entwurf von Lautsprechern
- 3) Herstellungsmethoden zur Verwirklichung der gewünschten Lautsprechereigenschaften

Das Forschungsprogramm erbrachte viele neue Erkenntnisse in Bezug auf die schwierigen Probleme, die mit der Wiedergabe von Schallphänomenen verknüpft sind und führte schließlich zur Entwicklung des **BOSE 901**. Wir hoffen, daß dieser Lautsprecher Ihnen viele glückliche Stunden mit guter Musik in Ihrem Heim beschert wird.

Letzte Forschungsergebnisse bilden die Grundlage einer Revolution im Lautsprecherbau, die einen neuen Wiedergabestandard schafft.

THE **BOSE** 901

Mit kombinierter Direkt-Indirekt-Abstrahlung



THE **BOSE** CORP.

Natick; Mass. 01760 USA

Titelphoto: Tremont-on-the-Comon, Boston

Hauptaufgabe der Firma BOSE ist die Forschung. Letzte Ergebnisse eines ihrer ausgedehnten Forschungsprogramme auf dem Gebiet der Schallaufzeichnung und -wiedergabe werden höchstwahrscheinlich einen weitreichenden Einfluß auf den Lautsprecherbau der Zukunft haben.

Die Untersuchungen ließen Mängel der üblichen Konstruktionsprinzipien von Lautsprechern und der bisher allgemein angewandten Meßmethoden erkennbar werden und lieferten die wissenschaftliche Grundlage für eine Lautsprecher-Konstruktion, die die Naturtreue der Wiedergabe zu bisher nicht gekannten, neuen Grenzen verschiebt, den **BOSE 901**.

Die Erfindung ist der Firma BOSE durch bereits erteilte oder zur Anmeldung gelangte Patente geschützt.

Ersuchen Sie Ihren Händler, Ihnen den **BOSE 901** im Vergleich zu Lautsprecherboxen Ihrer eigenen Wahl vorzuführen und nehmen Sie dabei keine Rücksicht auf deren Größe und Preis.

Stellen Sie einfach den **BOSE 901** auf den zu vergleichenden konventionellen Lautsprecher und hören Sie sich abwechselnd die beiden Lautsprecher an.

Die bei einem solchen Vergleich nicht zu überhörenden Unterschiede sind auf den folgenden Seiten zusammengestellt; anschließend sind die technischen Gründe aufgeführt, welche die überlegene Wiedergabe des **BOSE 901** bedingen.

Was Sie hören, wenn Sie den **BOSE 901** mit irgend einem anderen Lautsprecher vergleichen

Das Gefühl **DABEI ZU SEIN**

Der Klang umgibt den Zuhörer, scheint jedoch von einer Bühne zu kommen, ganz so, wie es im Konzertsaal der Fall ist.

Sehr häufig beschreiben Zuhörer ihren Eindruck bei der Umschaltung von einem konventionellen Lautsprecher auf den **BOSE 901** wie folgt: „Es ist, als trete man durch eine Tür in den Konzertsaal.“

Eine neue Dimension in Stereo

Das Orchester scheint gleichmäßig über die Stereo-Bühne verteilt. Das gefürchtete „Loch in der Mitte“, ein Eindruck, der bei normaler Stereo-Wiedergabe häufig entsteht, fehlt beim **BOSE 901** vollständig.

Man stellt beim **BOSE 901** weiter fest, daß bei guten Aufnahmen die einzelnen Instrumente ihren Standort genau innehalten.

Mit Erstaunen bemerkt man schließlich, daß beim Herumgehen im Raum an fast jeder Stelle der gleiche gute Stereo-Eindruck vorhanden ist.

Reinheit und Definition der Instrumente

Der überzeugendste Vergleich ist die Umschaltung von einem konventionellen Lautsprecher auf den **BOSE 901** während einer lauten Musikpassage mit vollem Orchestereinsatz. Die Reinheit seiner Wiedergabe mit vollem Orchestereinsatz. Die Reinheit seiner Wiedergabe und sein Auflösungsvermögen werden unmittelbar hörbar. Man ist bei ihm in der Lage auch während komplexer Orchesterpassagen die

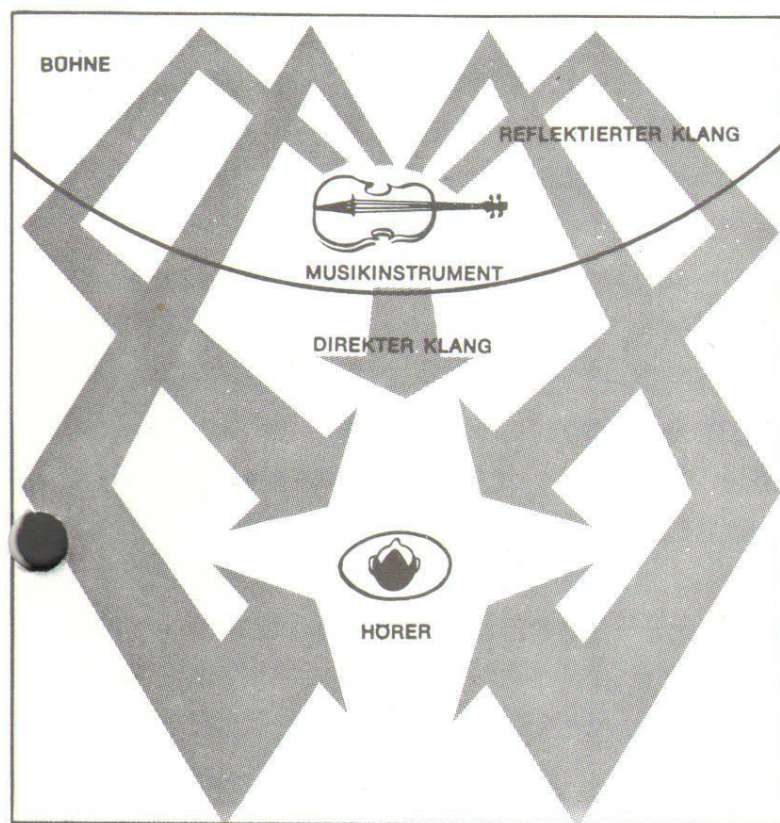
Stimmführung eines einzelnen Instrumentes zu verfolgen, und dieses verliert sich nicht im Hintergrundgeräusch, eine Erscheinung, die bei den meisten Lautsprecherkonstruktionen zu finden ist.

Klangliche Ausgewogenheit

Bei guten Aufnahmen fällt sofort die Klangechtheit auf, mit der der **BOSE 901** die Klangfarbe jedes einzelnen Musikinstrumentes wiedergibt, angefangen bei den tiefsten Tönen der Orgel, über die hohen Lagen der Geigen bis zum vollen Klangbereich der Schlaginstrumente. Naturgetreu wiedergegebene tiefe Töne sind frei von dem, was man als „Pseudo-Bass“ bezeichnet, nämlich einer übertriebenen Wiedergabe des Tonbereiches zwischen 80 und 200 Hz. Der Pseudo-Bass wird vom ungeschulten Hörer häufig mit einer guten Tiefenwiedergabe verwechselt. Gerade die Mängel dieser Art von Übertragung, nämlich deren unnatürliches Dröhnen und Hämmern, sind es jedoch, die Ermüdungserscheinungen beim Hörer hervorrufen. Naturgetreu wiedergegebene Basstöne dürfen nur dann hörbar sein, wenn sie in der Partitur niedergeschrieben sind! Rumpeln und Dröhnen, welches allen aus dem Lautsprecher kommenden Klängen überlagert ist, gehört nicht in die Wiedergabe.

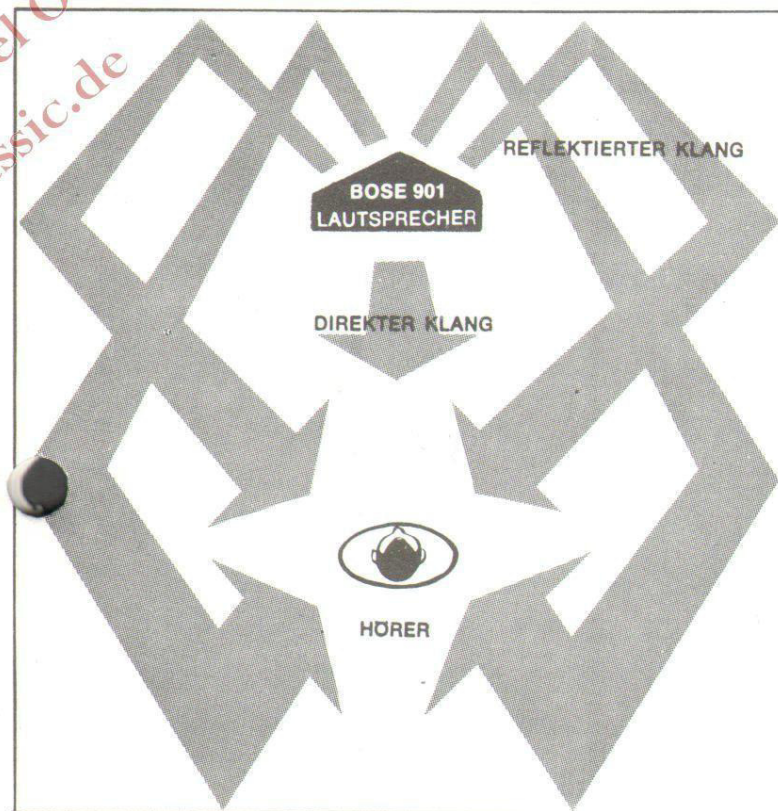
WARUM ist der BOSE 901 konventionellen Lautsprechern überlegen?

Der **BOSE 901** wurde anhand der Resultate eines ausgedehnten Forschungsprogrammes entwickelt, dessen Ergebnisse eine ganze Anzahl wichtiger neuer Erkenntnisse für den Entwurf von Lautsprechern



FIGUR 1

Im Konzertsaal erreicht den Zuhörer ein hoher Prozentsatz reflektierten Schalles.



FIGUR 2

Das vom BOSE 901 im Heim erzeugte Schallfeld gleicht in seinem Verhältnis von reflektiertem zu direktem Schall weitgehend den im Konzertsaal anzutreffenden Hörbedingungen. Die Raumwand hinter dem BOSE 901 wirkt dabei wie die Rückwand der Bühne des Konzertsaales.

zutage brachten. Deren wichtigste sind nachfolgend aufgeführt.

Richtiges Verhältnis zwischen zurückgeworfenem und direkt empfangenem Schall

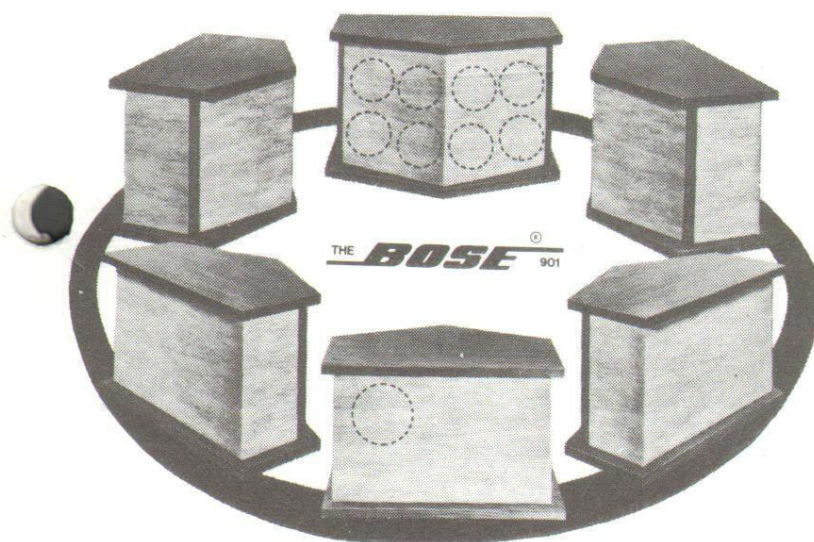
Maßgebend für die Gestaltung eines jeden Konzertsaaes sind vor allem Faktoren, die Art und Ausmaß der Schallrückwürfe betreffen. Nur ein kleiner Teil des vom Orchester ausgehenden Schalles erreicht den Zuhörer auf direktem Weg, während der überwiegende Teil erst nach Reflexion an den Begrenzungsflächen des Saales bei ihm eintrifft, wie dies Figur 1 zeigt. Diese Gegebenheit wurde bisher beim Entwurf von Lautsprechern übersehen. Neueste Forschungen haben gezeigt, daß das Verhältnis zwischen reflektiertem und direkt empfangenem Schall ein außerordentlich wichtiger Faktor bei der Musikwiedergabe im Heim ist. Sowohl Formgebung als auch Abmessung des **BOSE 901** wurden rechnerisch und aufgrund von Versuchsergebnissen so gewählt, daß das günstigste Verhältnis zwischen direktem und reflektiertem Schall erreicht wird. Die Schallabstrahlung des **BOSE 901** ist in Figur 2 dargestellt, so daß ein direkter Vergleich mit den in Figur 1 gezeigten Gegebenheiten im Konzertsaal möglich ist. Das richtige Verhältnis zwischen zurückgeworfenem und direkt empfangenem Schall wird beim **BOSE 901** dadurch erreicht, daß insgesamt acht auf zwei geneigten Schallwänden montierte Lautsprecher an der Rückseite der Box angebracht sind, während die Frontseite nur ein einziges Lautsprechersystem enthält. Die nebenstehende Abbildung zeigt dies. Folge dieser Anordnung ist ein Gefühl der Weite und des Dabeiseins, das man sofort empfindet, wenn man den **BOSE 901** hört.

Neun zusammenarbeitende Breitband-Lautsprechersysteme erfassen den gesamten Tonfrequenzbereich und verhindern das Auftreten hörbarer Lautsprecherresonanzen

Jede schwingende Fläche, d.h. auch jeder Lautsprecher, ganz gleich welcher Größe und welcher Type, besitzt Eigenresonanzen.

In der Resonanzfrequenz ist die Wiedergabe des Lautsprechers unregelmäßig und seine Schalldruckkurve weist an solchen Stellen Schwankungen auf. Werden jedoch mehrere Einzel-Lautsprechersysteme dicht nebeneinander montiert, so tritt infolge der hier gegebenen akustischen Kopplung der Systeme eine solche Verlagerung der individuellen Einzelresonanzen ein, daß Resonanzstellen auf der gleichen Frequenz nicht

Acht Lautsprechersysteme, die auf Schallwänden in die Rückwand der Lautsprecherbox eingesetzt sind, erzeugen den reflektierten Schallanteil.



Ein einzelner Lautsprecher auf einer nach vorn gerichteten Schallwand liefert den direkt empfangenen Schall. Dieser Lautsprecher ist unsymmetrisch angeordnet, um Schwankungen in der Schalldruckkurve zu vermeiden, die bei symmetrischer Anordnung durch Beugungseffekte entstehen können.

entstehen können. Damit aber werden die an sich weiter vorhandenen Einzelresonanzen praktisch unhörbar, denn sie fallen nicht mehr zusammen sondern verteilen sich auf einen gewissen Bereich. Gleichzeitig verschwindet auch die durch die Resonanzstellen verursachten Kolorierung des Klanges, obwohl nach wie vor alle Lautsprechersysteme mit der gleichen Eingangsspannung betrieben werden. Diese Lösung trägt wesentlich zu der im Vergleich zu anderen Lautsprechern überlegenen Klarheit und Definition des **BOSE 901** bei.

Ein neues Kriterium für den Entwurf und die Messung von Lautsprechern

Ein wesentliches Ergebnis der BOSE-Untersuchung war die Festlegung eines neuen Kriteriums für die Entwicklung von Lautsprechern und einer neuen Technik zu deren Messung. Bereits in einem frühen Stadium enthüllte die Untersuchung entscheidende Mängel sowohl der Lautsprechermessung im schalltoten Raum als auch von Lautsprechermessungen im Wiedergaberaum.

Der von einem Lautsprecher abgestrahlte Schall ist in hohem Maße von den unmittelbar benachbarten Raumflächen abhängig. Die Schalldruckkurve eines im schalltoten Raum gemessenen Lautsprechers ist dabei absolut verschieden von der Schalldruckkurve des gleichen Lautsprechers, die an seinem normalen Aufstellungsort aufgenommen wird. Vor allem diese Schalldruckkurve im Wiedergaberaum ist es, die Auskunft gibt über die Qualität eines Lautsprechers. In der Durchführung von Messungen im Wiedergaberaum liegt jedoch die Schwierigkeit.

Sie werden mit schmalbandigem Rauschen vorgenommen und leiden unter der

Tatsache, daß es nicht möglich ist, zwischen Veränderungen des Schalldruckes zu unterscheiden, die durch die Dämpfungseigenschaften und Resonanzen des Wiedergaberaumes bedingt sind und denen, die auf den Lautsprecher zurückgehen. (Schalldruckmessungen in einem schalltoten Raum sind außerordentlich schwierig und im Hörbereich nur unter Anwendung besonderer Ausmittelungsverfahren möglich; der tiefste Frequenzbereich muß wegen störender Raumresonanzen überhaupt ausgeschlossen werden.)

Die neuentwickelte Methode gibt die Möglichkeit, einen Lautsprecher unter den tatsächlich gegebenen Betriebsverhältnissen zu messen.

Unter Computer-Einsatz wird dabei der gemessene Gesamt-Schalldruck in den Teil zerlegt, der durch die Lautsprecher erzeugt wird, und in einen zweiten Teil, der auf Raumresonanzen und Raumabsorption zurückzuführen ist.

Der **BOSE 901** enthält zum Ausgleich dieser letztgenannten Einflüsse einen weiter unten noch beschriebenen aktiven Entzerrer, durch den der im Raum erzeugte Schalldruck innerhalb des gesamten Hörbereiches konstant gehalten wird. Das Ergebnis ist eine Lautsprecheranordnung, die die Schwingungen des gesamten Hörbereiches gleichmäßig in jeden Wiedergaberaum **abstrahlt**. Einzige Voraussetzung ist, daß die Lautsprecherbox in einer Entfernung von ca. 30 cm vor einer Raumwand aufgestellt wird.

Aktive Entzerrung – Konstanter Schalldruck

Es ist bekannt, daß die Wiedergabe jedes Lautsprechers, gleichgültig welcher Ausführung oder Type, durch Anwendung richtig dimensionierter Entzerrer verbessert

werden kann. Derartige Entzerrer gleichen auf elektronischem Wege Schalldruckschwankungen aus, die durch mechanische Gegebenheiten im Lautsprecher bedingt sind. **Die Möglichkeiten, die durch die elektrische Entzerrung gegeben sind, können jedoch nur dann voll ausgenutzt werden, wenn die Lautsprecheranordnung eine Vielzahl verhältnismäßig kleiner Lautsprechersysteme enthält, die alle mit dem gleichen Eingangssignal betrieben werden.** Hierfür sind zwei Gründe maßgebend: Unter Berücksichtigung des Aufwandes, der Kompliziertheit und der Stabilität solcher Entzerrer ist es kaum möglich, jede Einzelresonanz der verwendeten Lautsprechersysteme getrennt für sich zu entzerren, während sich die Parallelschaltung einer mit dem gleichen Eingangssignal betriebenen Vielzahl von Einzellautsprechern relativ einfach korrigieren läßt. Die Resonanzen untereinander akustisch gekoppelter Lautsprechersysteme verteilen sich über das ganze Frequenzspektrum und werden praktisch unhörbar, da jeder Lautsprecher nur bei ganz bestimmten und von den anderen Lautsprechern verschiedenen Frequenzen Resonanzstellen aufweist. Ein Ausgleich der Einzelresonanzen der Lautsprecher erübrigt sich damit und es ist möglich, durch einen einzigen Entzerrer mit einer stetig verlaufenden Entzerrungskurve den von der

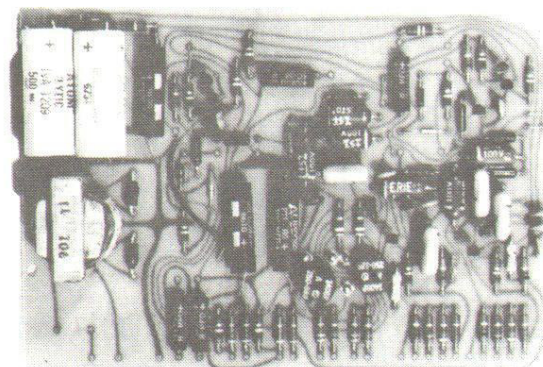


AKTIV-ENTZERRER

Der Aktiv-Entzerrer ist ein Bestandteil des BOSE 901. Seine 10 Transistoren und über 100 weiteren Einzelteile sorgen dafür, daß der Schalldruck im ganzen Übertragungsbereich konstant bleibt.

Summe aller Lautsprecher erzeugten Gesamtschalldruck zu korrigieren.

Die Präzision des verwendeten Entzerrungsnetzwerkes ist dabei von großer Bedeutung. Die Technik einer aktiven Entzerrung des Eingangssignals vor dem Leistungsverstärker ist – ganz allgemein gesehen – einer Entzerrung durch passive Netzwerke hinter dem Verstärker vorzuziehen.



DIE GEDRUCKTE SCHALTUNG IM AKTIV-ENTZERRER;

kräftiges, glasfaserverstärktes Polyester material mit eng tolerierten Einzelteilen.

Ein Grund hierfür ist vor allem die Tatsache, daß ein solcher aktiver Entzerrer keine hohen Leistungen zu verarbeiten hat, und daß in derartigen Geräten keine Induktivitäten mit Eisenkern benötigt werden, wie sie passiven Entzerrern zur Entstehung von Verzerrungen Anlaß geben. Weiterhin ist es in aktiven Entzerrern ohne weiteres möglich, eine wesentlich größere Anzahl von Schaltelementen zur Anwendung zu bringen und damit eine sehr viel höhere Genauigkeit der Entzerrungskurve zu erreichen, als dies bei passiven Entzerrern der Fall ist.

Der BOSE 901 Aktiv-Entzerrer enthält zehn Transistoren und über hundert andere Einzelteile, um die Stereo-Wiedergabe in Bezug auf Strahlungswiderstand der Lautsprecher, spezielle Eigenschaften der verwendeten Systeme, Abmessungen des Lautsprechergehäuses und sogar den Ein-

fluß der Lautsprecherbespannung exakt zu entzerren. Diese Entzerrungsmaßnahmen erhöhen in keiner Weise die Verzerrungen bei der Wiedergabe. Zusätzlich zur Grundentzerrung gestattet der BOSE Aktiv-Entzerrer eine Auswahl unter insgesamt 19 weiteren Korrektur-Kurven, die von der Frontseite des Lautsprechers her einstellbar sind. Der Hörer hat damit die Möglichkeit, nach eigenem Geschmack die Eigenheiten gewisser Aufnahmeverfahren oder bestimmte Auswirkungen der Akustik des Wiedergaberaumes zu korrigieren.

Eine Lautsprecheranordnung ohne elektrische Weichen

Wie sorgfältig elektrische Weichen für Lautsprecher auch immer dimensioniert sein mögen, so geben sie doch in jedem Fall Anlaß zu Amplituden- und Phasenverzerrungen in den Übergangsbereichen ihrer Charakteristik, die ihrerseits der Grund für Klangverfälschungen sind. Dies gilt gleichermaßen für aktive, passive und mechanische Filtermethoden.

Worauf es ankommt, sind gleitende Übergänge im Schalldruckverlauf der einzelnen Lautsprecher und nicht im Frequenzgang der elektrischen Filterketten. Wenn das Ziel erreicht werden soll, die Originalklangfarbe aller Instrumente unverfälscht zu erhalten, so ist der beste Weg, solche elektrischen Weichen gänzlich zu vermeiden. Der **BOSE 901** verwirklicht diese Aufgabe durch Speisung jedes einzelnen seiner neun Lautsprechersysteme mit dem gleichen, unverändert breitbandigen, jedoch vorentzerrten Niederfrequenzsignal.

Akustischer Übergang zwischen den Stereo-Kanälen

In üblichen Stereo-Anlagen hoher Qualität kommt häufig eine Technik zur Anwendung, bei der die beiden Stereo-Kanäle

gemischt werden und einen dritten Übertragungskanal bilden, dessen Ausgang einen zusätzlichen Lautsprecher speist, der in der Mitte zwischen den Basislautsprechern angeordnet ist.

Bei der Lautsprecheranordnung **BOSE 901** erfolgt die Schallabstrahlung je einer Hälfte der auf der Rückseite jeder Lautsprecherbox angeordneten Systeme in Richtung auf den Raum zwischen den beiden Boxen. Hierdurch wird ein gleichmäßiger und sauberer akustischer Übergang zwischen den Schallfeldern beider Lautsprecher erreicht, so daß sich ein Mittelkanal-Lautsprecher erübrigt.

Eine Box ohne parallele Begrenzungsflächen zu den Lautsprechersystemen

Besitzt das Einbaugehäuse einer Lautsprecheranordnung Begrenzungsflächen, die parallel zu der die Lautsprechersysteme tragenden Schallwand verlaufen, so treten – trotz vorschriftsmäßiger Dämpfungsmaßnahmen mit Glaswolle – im Gehäuse stehende Wellen auf, die in vielen Fällen die Wiedergabe ungünstig beeinflussen.

Der **BOSE 901** vermeidet dieses Problem durch sein Gehäuse mit fünfeckigem Grund-

Zu den Schallwänden, die die neun Lautsprecher tragen, gibt es innerhalb des Gehäuses keine einzige parallele Fläche.

Lautsprecherbox

Verhältnis des reflektierten zum direkt abgestrahlten Schall

Über Schallrückwürfe abgestrahlte Leistung 89%
Direkt abgestrahlte Leistung 11%
(Die Wahl dieses Verhältnisses erfolgte aufgrund von Messungen im Konzertsaal)

Bestückung

Jede Box enthält neun Breitband-Lautsprechersysteme mit sehr weicher Membranaufhängung, die bei jedem Programmmaterial große Membranauslenkungen ohne hörbar werdende Verzerrungen verarbeiten können. Hochleistungsmagnete verleihen den Systemen einen hohen Wirkungsgrad. Die Einzelsysteme sind akustisch miteinander gekoppelt, um Resonanzen im Hörbereich zu unterdrücken.

Belastbarkeit

Der BOSE 901 kann an jedem hochwertigen Verstärker betrieben werden. Sein hoher Wirkungsgrad erlaubt ohne weiteres die Verwendung von Verstärkern von nur mittlerer Leistung, jedoch steht einer Verwendung von Verstärkern höchster Leistung nichts im Wege, wenn eine unverzerrte Wiedergabe von Orchester-Fortissimi in voller Lautstärke gefordert wird.

Anschlußwiderstand: 8 Ohm

Abmessungen: 32,5 x 52,5 x 33,5 cm
H B T

Gewicht: 15 kg

Aktiv-Entzerrer (für zwei Kanäle)

Frequenzgang-Regler

Die normalerweise geradlinig verlaufende Wiedergabekurve kann mittels drei auf der Frontplatte der Box zugänglicher Schalter verändert werden. Insgesamt sind hierbei 20 verschiedene Frequenzgänge einstellbar, die eine Korrektur von Eigenheiten der Aufnahmetechnik oder von besonderen akustischen Eigenschaften des Wiedergaberaumes gestatten.

Einbau

Der Aktiv-Entzerrer kann unter Verwendung der mitgelieferten Anschlußkabel in einfacher Weise mit jedem Vorverstärker, Endverstärker oder Steuergerät verbunden werden.

Konstruktion

Der Aktiv-Entzerrer enthält über 100 Einzelteile, einschließlich 10 Transistoren, die auf einer Platine nach MIL-Vorschriften montiert sind. Dreißig der verschiedenen Einzelteile sind mit 1% und 5% toleriert, um sicherzustellen, daß die vorgeschriebenen Daten des Gerätes bei jedem Einzelstück eingehalten werden.

Abmessungen:

7,2 x 23,5 x 17 cm
H B T

Die Hintergründe dieser neuen Lautsprecher-Entwicklung

Während mehr als dreißig Jahren begnügte man sich beim Entwurf von Lautsprechern damit, in verschiedener Weise Lautsprechersysteme in irgendwelchen Gehäusen anzuordnen, neue Membranmaterialien auszuprobieren, andere Formen für die Erregermagnete zu suchen und elektrische Weichen neu zu dimensionieren.

Bis vor etwa 10 Jahren waren die Anstrengungen gering, die zu einer wissenschaftlichen Erforschung der vielen Probleme, die die Schallaufzeichnung und -wiedergabe aufwirft, unternommen wurden. Zu jener Zeit wurde das Forschungsprogramm aufgestellt, von dem in dieser Broschüre die Rede ist. Es wurde unter Zugrundelegung aller vorhandenen wissenschaftlichen Erkenntnisse und unter Einsatz der modernsten Meßinstrumente und der gerade erst entwickelten Computertechnik durchgeführt. Jeder Schritt vorwärts wurde

On the other hand, 'live room' measurements using narrow-band noise cannot distinguish deviations in the measured frequency response caused by the absorption characteristics and resonances of the room from deviations in speaker response.

Solution: A principal result of the research was the development of new criteria for the design and new techniques for the measurement of loudspeakers. The new measurement techniques enable a speaker to be measured in its normal operating environment. Computer data processing is used to separate the measured response into that part due to speaker radiation and that part caused by room resonances and absorption. Unfortunately, these new measurement techniques -- which are the very heart of what makes the superiority of the 901 so instantly obvious -- cannot be described simply enough to be communicated here. (For the technically inclined, these new measurement methods and computer techniques will be published in technical journals beginning in the spring of 1969.) Nor can we give you a simple set of numbers -- even our own numbers -- with which the 901 can be compared to other speakers.

By way of illustration: Though the spatial characteristics of the 901 allow the use of the word 'breakthrough', and though we know that the 901's spatial characteristics are intimately related to its ratio of reflected to direct radiation, it must be admitted that spatial characteristics as such are still unmeasurable. We refer here to the listener's sense of the space in which the music is performed, not to the speaker's dispersion, which is measurable and is often confused with spatial awareness.

But the superiority of the 901 is so immediately obvious, even to the average ear, that no technical measurements should be required beyond comparison listening tests against the best conventional speakers, to form a judgement.

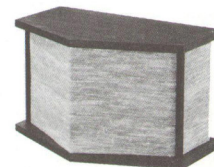
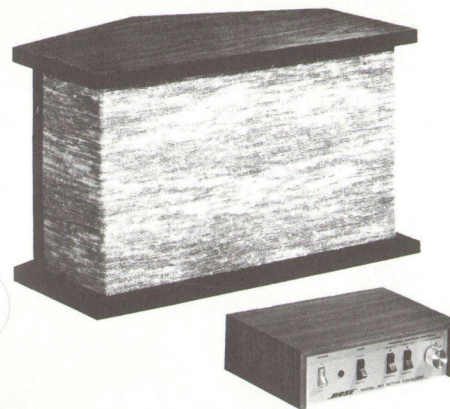
Almost Too Much Of A Good Thing

This has been an unusually lengthy exposition of the advantages claimed for a new speaker. If you have read this far, you understand why. Any basic improvement in loudspeaker technology may require elaborate and detailed explanation. But the BOSE 901 incorporates four major advances in speaker design which reflect themselves in improved performance in a number of different ways. Any one of these advances would make possible a better speaker than was previously available. Under other circumstances, each improvement would merit full and exclusive presentation on its own. There is a real danger that the revolutionary aspects of each of these major gains will be shadowed by the presence of the others unless each one is explained in careful detail. We would rather tell you a little too much than not enough. As we have said above, it is the combination of these advances which has made the superiority of the BOSE 901 so obvious to the ear. If your own comparison listening tests confirm this claim, then you will undoubtedly find this detailed explanation of interest in helping you to understand how it was done.



BOSE CORPORATION, ONE STRATHMORE RD., NATICK INDUSTRIAL CENTRE, NATICK, MASS. 01760 • CABLES: BOSE • TEL. (617) 655-5560, 235-6640

NEW BOSE LOUDSPEAKER SYSTEM COMBINES
SEVERAL MAJOR ADVANCES TO SOLVE LONGSTANDING
PROBLEMS IN SPEAKER DESIGN



© beim Hersteller
Archiv Michael Otto
Hifi-Classics.de

Although you wouldn't guess it from the glowing descriptions and claims in the advertising, it is generally acknowledged that speaker systems are an order of magnitude poorer than other high fidelity components in precision of response. Yet even though they are aware of this fact, high fidelity enthusiasts, after long hours -- sometimes weeks -- of patiently comparing speakers to satisfy themselves of a slight edge in one over the other, are unconsciously convinced there is so little room for improvement left above today's better speakers that it is no longer possible for a new speaker to surprise them by a clear, immediately apparent superiority.

It is precisely this kind of superiority that the BOSE Corporation of Natick, Mass., claims for its new speaker system, the BOSE 901. Even more surprisingly, the 901 is a small speaker -- substantially smaller than the better bookshelf speakers. Because of limitations in speaker design that were heretofore inviolable, any description of the performance of a small speaker, however enthusiastic, was always qualified by the phrase 'for its size.' "Incredible performance 'for its size.'" etc. The BOSE Corporation states that in faithfulness to the original performance the superiority of the 901 is immediately apparent, over any loudspeaker now on the market, regardless of size, or price.

These are large claims in a field that has heard many large claims. For speakers more than for almost any other product, the proof of the pudding is in the eating. You can't play music through a collection of technical claims, no matter how convincing. This is why, in its advertising, the BOSE Corporation is asking prospective purchasers to listen to the BOSE 901 in comparison tests with speakers they know and respect before concerning themselves with the technical rationale of the new speaker. There is more new technology in the 901 than in any speaker of the last decade or two, but only after the listener has heard what he judges to be clearly superior musical reproduction does he have a frame of reference into which to fit the new information. (And if he should feel that the speaker was no better than others he had heard, no amount of technical explanation would convince him otherwise.)

During a period of twelve years, Dr. Amar Bose, who teaches acoustics, was able to research several basic questions, each of them in a separate area of speaker theory. (It was during this period that his establishment of the superiority of multiple small speakers in reproducing the full audio range without audible resonances or distortion led to the development of the technique known as 'frequency-contouring'. Dr. Bose holds basic patents on full-range frequency-contouring.) Each of these lines of inquiry has led to a major improvement in speaker design. The incorporation of these several advances in one speaker system makes for a difficult and complicated task in giving each improvement its full credit, but it also makes for a listening experience that can only be described as shocking. It is no casual matter to become aware of the limitations in a comparison speaker system you have always thought of as approaching perfection. Yet A - B'ing from the best conventional speakers to the BOSE 901 is like opening a door to the performance -- a door the listener never knew was there.

Out of these twelve years of research and development, the BOSE 901 offers new and better answers to a series of problems which have plagued speaker designers since the beginning of high fidelity.

Problem: Woofers, Tweeters and Crossovers

The best answer which had so far been found to the problem of reproducing the full audio spectrum was the use of a large speaker for the bass frequencies and smaller speakers for the higher frequencies, with crossover networks routing the appropriate frequencies to the appropriate speakers. In spite of the distorting effects of this elaborate arrangement on the response curves of speaker systems, it was the only feasible method of reproducing the full audio spectrum with dynamic speakers.

Solution: It required many hundreds of hours of precise measurements of room characteristics and computer analysis of taped performances, using techniques developed especially for this research, to establish beyond contradiction Dr. Bose's thesis that multiple small speakers could achieve the same subjective performances as an ideal vibrating surface with no resonances or distortions. The BOSE 901 uses nine small (4") speakers, all of them reproducing the full audio range. There are no crossovers. The spectacular bass of the 901 is made possible, first, by the use of special long-excursion, high-compliance speakers which can move large amounts of air; secondly by the 'array effect', by which a group of proximate small speakers, moving in phase at low frequencies, acts like one large speaker with the area of the group, and finally by the full-range, tailored electronic equalization that accurately controls the frequency and phase response of the electrical signal which is fed to the speaker. All of these elements are essential. It is their combination that accounts for the bass performance of the 901.

Problem: Resonances

Each speaker, no matter what its size, has a number of frequencies at which it is resonant. At these frequencies, the speaker response is irregular. There are peaks and drops in the response curve which are almost impossible for the designer to eliminate completely. As long as you have only a small number of speakers (or, even worse, only one) reproducing a given band of frequencies, resonances are audible.

Solution: If many separate speakers are closely spaced, the acoustic coupling causes the resonant frequencies of each speaker to be different from those of every other speaker. As a result, each resonance becomes inaudible since it causes a change in the output of only one speaker of the many. In this way, the coloration of the sound caused by resonances in conventional speaker systems can be overcome

by the use of many speakers, each receiving the same audio signal. This approach is largely responsible for the increased definition and clarity of the BOSE 901 when compared with other speakers.

A standing wave is also a resonance. If a speaker enclosure has any surfaces parallel to that on which the speakers are mounted, standing waves result which can effect the frequency response, even with fiberglass damping. Because of its pentagonal shape, the BOSE 901 avoids this problem. There are no sides parallel to any baffle on which any of the nine speakers are mounted.

Problem: The Brick Wall

Reproducing the performance of the concert hall in a living room through a pair of conventional speaker systems is like sealing the audience away from the orchestra with a brick wall penetrated by two holes. If the wall were then removed, you can imagine how gross a difference you would hear. In a live musical presentation, the hall is an integral part of the performance. Most of the sound of the orchestra reaches the listener by reflection from the walls of the stage and hall. Yet the conventional speaker system has attempted to reproduce this total musical environment by beaming sound directionally into the room, especially in the high frequencies, in the same manner as an attempt to illuminate the room with a pair of powerful searchlights. To the speaker designer, this has meant extreme variation in 'delivered frequency response' at different points in the room. In addition, it has meant a limited area of balanced stereo effect and another, known as 'the hole in the middle', in which the sound is recognized as coming from only 2 points. Even if you make the speaker 'multidirectional' or 'omnidirectional', as has been attempted in a few recent designs, the speaker is still essentially a point source.

Solution: In order to approach the concert hall performance, a specific proportion of reflected sound is necessary. The correct ratio between the amount radiated directly to the listener and that reflected from the walls has been calculated from measurements taken in concert halls. This ratio of reflected to direct sound is accomplished in the BOSE 901 by placing eight speakers on two angled panels in the rear of the enclosure and one speaker on the front panel. How important this achievement is can only be judged by listening to the 901 in comparison tests against the best current speakers.

One of the most important gains in the 901 from the radiation of 89% of its output against the walls of the room is the uniform dispersion of the high frequencies throughout the room. This, more than any other characteristic of the 901, accounts for the listener's sensation of the full orchestra spread across the stage before him. To the listener who is accustomed to thinking, from his knowledge of conventional speakers, that the high frequencies will be lost if they are not radiated directly toward him, this omnipresence of the high end is as startling a discovery when he first hears the 901 as the overwhelming experience of its bass performance. The reason for this seeming violation of a familiar 'axiom' of the dispersion of treble frequencies is that reflective radiation allows the 901 to be designed for full, flat power output of the high frequencies into the room, whereas the conventional speaker's total-power high-frequency response must be severely rolled off in the attempt to achieve flat response along the axis of the speaker. If the conventional speaker were designed for flat power output, its treble response along and near the axis would be intolerably excessive.

© beim Hersteller
Archiv Michael O.
HiFi-Classic.de

Problem: Variations

As difficult as it has been to produce a speaker whose acoustic output is so close a match to its electrical input, the problem only begins here. In addition, there are a variety of factors operating to complicate the goal of a precise match, for which it is important to provide compensation without introducing new distortion. Some of these factors involve variations in the program material itself -- variations either deliberate or unavoidable in the frequency spectrum of the recordings. Some involve variations in the listening room -- its size, shape and decor -- accentuating one section of the spectrum or another. Some involve drawbacks in the reproducing equipment, such as the presence of rumble or the possibility of feedback from the speakers to the pickup. Some involve variations in the listener's hearing or his tastes in program material.

The conventional types of bass and treble controls, whether incorporated in the amplifier or in the woofer and tweeter level controls in the speaker itself, are designed only for a more or less casual adjustment to provide the sensation of increased treble or bass. They make no pretense of providing or maintaining a smooth response curve, much less of correcting for any of the specific problems discussed above. In fact, they introduce new distortion of their own.

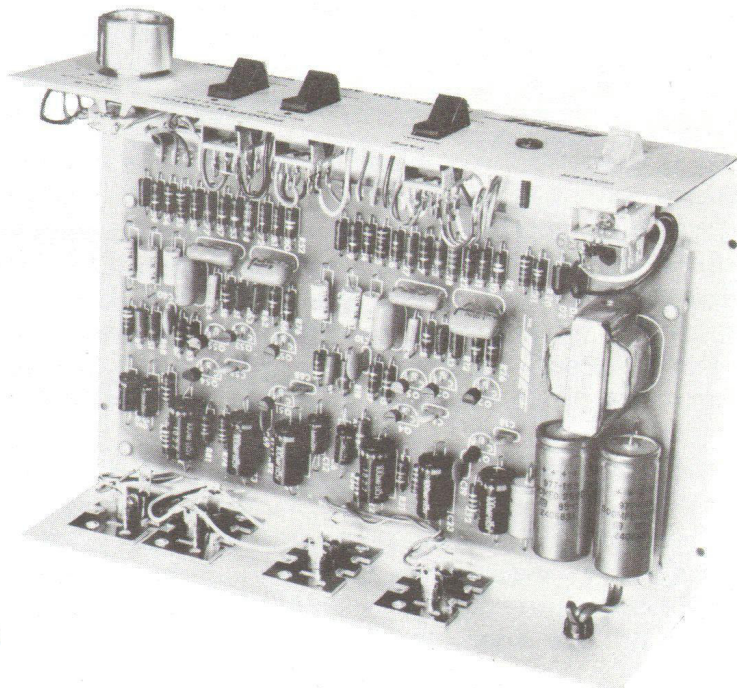
Frequency-contoured amplifiers designed independently of a specific speaker may or may not be one step better than tone controls, depending on whether the contouring curve happens to match the bass roll-off of the particular speaker the amplifier is used with. Commonly, with a contouring curve designed for small speakers, when the amplifier is used with a larger speaker, the result is a bump in the bass curve which causes a 'juke box' sound.

Solution: The Active Equalizer MATCHED To The Speaker

The performance of any speaker system, regardless of design, could be improved to some extent by the use of properly designed electronic networks to 'equalize' deviations from a flat frequency response. But since it is not practical to attempt equalization for deviations due to resonances, this principle can only be utilized effectively in a speaker system which is essentially free of resonance effects. Because the BOSE 901 is such a speaker, the Active Equalizer which is a matched part of the system makes possible a flatness of radiated power vs. frequency never before attainable in a commercial loudspeaker.

The BOSE 901 Active Equalizer is a highly sophisticated electronic console containing ten transistors and more than a hundred components to equalize accurately the stereo response for the effects of radiation impedances, speaker characteristics, enclosure dimensions and even for the presence of the fashion fabric grille cloth. This equalization to flat power radiation is achieved with absolutely no audible distortion of any music or speech signals.

Active equalization of the signal before the power amplifier is far superior to passive equalization after the amplifier because it avoids the need to handle high power and does not require the iron-core



inductors that introduce distortion in passive equalizers. In addition, it is feasible to use many more elements in an active network to provide much greater accuracy in equalization than is practical in the passive network. If you have any familiarity with electronics, we invite you to open the equalizer and examine it. You will find that you have never seen a consumer product with so many high quality components -- components held to 5% and 1% tolerances.

But the Active Equalizer does much more than just equalize. In addition to providing the flat acoustic output of the BOSE 901, the Active Equalizer offers the choice of nineteen additional contours that can be selected from the front panel. This gives the listener the flexibility to exercise his own taste in compensating for recording techniques, listening room characteristics and the other variables described above. As an example of what is possible through active equalization, the equalizer panel contains a switch marked 'BELOW 40', which reduces turntable rumble and other low frequency disturbances through a unique filter design which provides a uniform attenuation below 40 Hz while causing no audible deviations above 50 Hz. The rumble is removed without removing the life of the bass along with it.

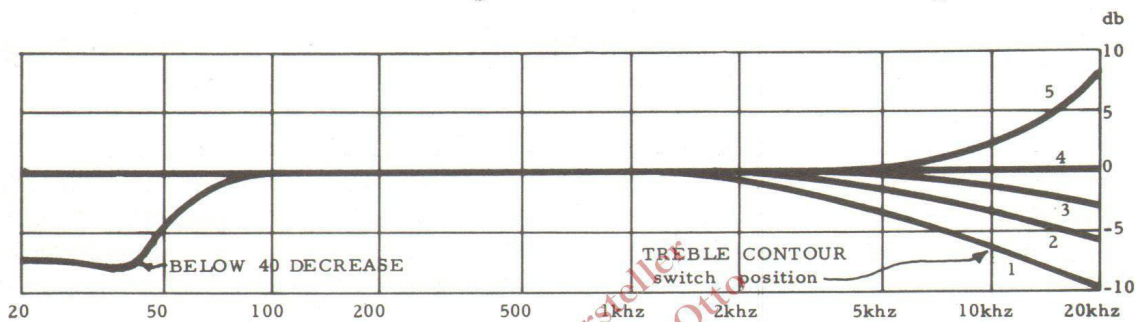


Figure 4. Contours available with the TREBLE LEVEL switch in the normal or dotted position.

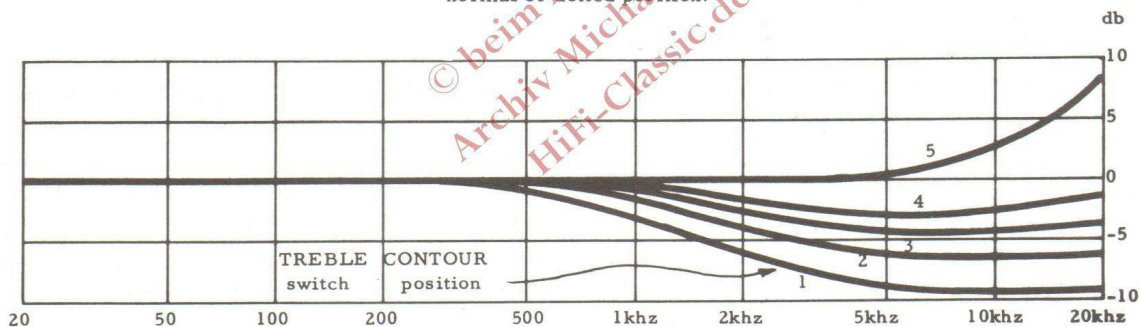


Figure 5. Contours available with the TREBLE LEVEL switch in the DECREASE position.

Problem: How Do You Measure What The 901 Does?

It is now becoming generally recognized that standard measuring techniques for loud-speaker quality, while useful, do not correlate with naturalness in the reproduced performance nearly as well as had been assumed. It was his observation that speakers which were nearly perfect by conventional measurements sounded so unlike the actual performance that led Dr. Bose into the researches which established the failure of conventional measurement techniques to encompass key parameters in the fidelity of the reproduced performance. At an early stage, these researches revealed shortcomings of both anechoic chamber and 'live room' measurements of speakers.

Anechoic chamber measurements are deficient because the quality of the sound radiated by any speaker is very dependent on the surfaces in the room immediately adjacent to the speaker. The frequency spectrum of a speaker measured in an anechoic chamber may differ grossly from the frequency spectrum radiated by the same speaker in its normal room environment. It is this normal room response that is related to the quality of the speaker.

Die Zukunft der Musikaufnahme.

(Teil 2)

■ Fazit:

Es gibt keinen bestimmten Winkel für die Mikrofonplatzierung, der für alle Frequenzen Signale aufzeichnet, die den Signalen des gesamten abgestrahlten Schalls entsprechen.

Oder mit anderen Worten: Steht das Mikrofon hauptsächlich im direkten Schallfeld, dann kann es nicht das ausgeglichene Frequenzspektrum des nachhallenden Schallfeldes aufnehmen. Gerade das nachhallende Feld im Live-Konzert bestimmt aber in erster Linie den Höreindruck.

Nun gut. Stellen wir das Mikrofon eben weiter entfernt im nachhallenden Schallfeld auf. Leider läßt sich das Problem so einfach auch nicht lösen. Die Aufnahme im nachhallenden Feld enthält alle Einflüsse durch die sog. Normalfrequenzen – also die Resonanzen des Aufnahmeraums. Werden sie im Hörraum (und das ist in der Regel der Wohnraum) reproduziert, so überlagern sich selbstverständlich dessen Normalfrequenzen. Das „Resultat“ wären Klänge wie aus einem Topf, die nun wirklich nicht erwünscht sind.

Eine fatale Zwickmühle für den Toningenieur. Stellt er sein Mikrofon in das direkte Schallfeld, dann nimmt er einen Frequenzverlauf auf, der von der Mikrofonposition bestimmt wird, jedoch nicht das ausgeglichene Spektrum des nachhallenden Feldes. Stellt er sein Mikrofon in das nachhallende Feld, dann zeichnet er zwar dessen Spektrum auf, hat aber Probleme mit den Normalfrequenzen.

Es ist recht interessant zu erfahren, daß viele Toningenieure (ohne sich der Problematik bewußt zu sein) genormte Richtmikrofone an einer Stelle plazieren, an der die Pegel des direkten und indirekten Schallfeldes nahezu gleich sind. Auf diese Weise wird das aufgenommene Spektrum bis zu einem gewissen Grad vom Spektrum des nachhallenden Feldes beeinflusst, ohne daß allzu große Probleme bei der Wiedergabe durch die Normalfrequenzen entstehen. Der beste Kompromiß zwischen zwei schlechten Alternativen.

■ Wir streben eine andere Lösung an: Aufnahmen, die das Spektrum der gesamten abgestrahlten Schallenergie enthalten, aber nicht von den Normalfrequenzen des Aufnahmeraums beeinflusst sind!

Noch untersuchen wir die Möglichkeiten, akustische Umgebungen zu entwerfen, die in diese Richtung führen. Es würde uns nicht

überraschen, daß Aufnahmen zukünftig in recht eigenwillig gestalteten Räumen stattfinden werden. Räume, die als „akustische Linsen“ fungieren und den abgestrahlten Schall bündeln. Die Aufnahmen müßten anschließend in einen Computer gegeben werden, der die Signale so aufbereitet, daß bei der Reproduktion im Wohnraum viel von der Akustik großer Konzerthallen wiederersteht.

■ Wie wir die Zukunft sehen:

1. Der Stand der Technik bei den einzelnen HiFi-Bausteinen ist heute so hoch, daß große Verbesserungen mit Ausnahme des Dynamikumfangs kaum zu erwarten sind. Die Kriterien für die Entwicklung sind lediglich Zuverlässigkeit, Größe, Gewicht und Herstellungskosten.

2. Wir erwarten gewaltige Verbesserungen hinsichtlich der Gesamtheit der Systeme. Allerdings nicht durch die Entwicklung einzelner Bausteine, sondern durch neue Systemkonstruktionen. Und zwar solche, die alles umfassen, von der Aufnahme bis zur Wiedergabe. Wir denken weiter an bestimmte Signalprozesstechniken, die in Verbindung mit vorhandenen Geräten oder modifizierten Versionen in der gesamten Kette die Signale so beeinflussen, daß wirklich herausragende „Super-HiFi-Systeme“ entstehen.

Genau diesen Weg ging die Elektronik-Industrie. Es wurden zunächst eigenständige Schaltkreiselemente entwickelt und in neuen Schaltkreisen zusammengesetzt. Und heute werden sie zu kompletten Schaltungsblöcken kombiniert, um Hochleistungssysteme für alle technischen Bereiche zu haben. Angefangen von der Prozessteuerung bis zu Leitsystemen für Raumfahrzeuge. Auch für die HiFi-Industrie ist diese Zeit jetzt endlich gekommen.

Die Wege dieser Industrie waren und sind zum Teil noch immer sehr verworren. Man lese „Des Kaisers neue Kleider“ von Christian Anderson und ersetze jedesmal das Wort „Kaiser“ durch „HiFi“. Das Resultat ist ein charakteristisches Bild vieler Entwicklungs- und Bewertungsklimmzüge in der HiFi-Industrie. Aber – kein gutes. Doch vielleicht sind wir heute an einem Wendepunkt und gehen den Weg ernsthafter und zwangsläufig erfolgreicher Forschung. Der Lohn werden HiFi-Systeme sein, die vielen Menschen ein Musikverständnis geben, was heute noch unvorstellbar ist.

BOSE

Deutschland: BOSE GmbH, Postfach 1160,
6380 Bad Homburg, Tel. (0 61 72) 4 20 42
Schweiz: BOSE AG, Haus Tanneck,
4460 Gelterkirchen, Tel. 061/995544
Österreich: Generalvertretung Brüder & Weiner,
Spittelwiese 7, 4020 Linz/Donau, Tel. 7 16 66



Sound Recording and Reproduction.

Kein Baustein einer HiFi-Anlage kennt so viele Varianten wie der Lautsprecher. Jahr für Jahr werden neue Modelle entwickelt. Jahr für Jahr verbesserte Varianten angeboten.

Das ist verständlich. Denn kein Baustein wirft auch so viele Probleme auf wie das letzte und nach wie vor wichtigste Glied der HiFi-Kette. Als BOSE 1956 mit seinen Forschungen begann, glaubte man in der HiFi-Industrie – und damit auch bei uns – einen hohen Wissensstand zu besitzen. Ein Trugschluß. 1960 mußten wir erkennen, daß wir quasi wieder am Anfang standen.

Die vorherrschenden Meinungen beruhten auf falschen Voraussetzungen.

Heute, nach Jahrzehnten intensiver Grundlagenforschung (wir glauben, sie wird nirgends so intensiv betrieben wie bei BOSE), kennen wir nicht einmal die Hälfte dessen, was bei der Aufnahme und bei der Wiedergabe musikalischer Ereignisse eine Rolle spielt.

Über die Erkenntnisse unserer Forschung, über die Auswirkungen auf die Konzeption von Lautsprechern und Aufnahmetechniken, informieren wir in diesem Sonderdruck.

© beim Hersteller
Archiv Michael Otto
HiFi-Classics.de

In der schalltoten Kammer.

Als wir 1956 mit unseren Grundlagenforschungen begannen, war der gleichmässige Frequenzverlauf eines Lautsprechers ein wichtiges Kriterium für seine Wiedergabequalität.

Gemessen wurde dieser Frequenzgang in der schalltoten Kammer.

Die Messung lief folgendermassen ab:

Frontal zur Lautsprecherachse stellt man ein Messmikrophon auf. Dann wird der Lautsprecher über den zu messenden Frequenzgang mit Sinussignalen gleicher Amplitude gespeist. Die vom Lautsprecher ausgehenden Schallwellen werden vom Mikrophon wieder in analoge elektrische Wellen umgewandelt und mit einem Oszillograph oder einem Schreiber aufgezeichnet. Sind die Schalldrücke des Lautsprechers über den gemessenen Frequenzbereich annähernd gleich, spricht man von einem flachen, gleichmässigen Frequenzverlauf. Und je geringer die Unterschiede im Schalldruck, umso besser, so die damals vorherrschende Meinung. In dem Käufer die bessere Wiedergabequalität des Lautsprechers zu demonstrieren, legte man die zugehörige Frequenzkurve bei.

Bei unseren Messungen, die wir nach den damals üblichen, international standardisierten Messmethoden in der schalltoten Kammer nachvollzogen, stimmten unsere Messwerte jedoch nie mit der beiliegenden Frequenzkurve überein. Abweichungen von 20 bis 25 dB (das 10-fache und mehr) waren nicht gerade selten.

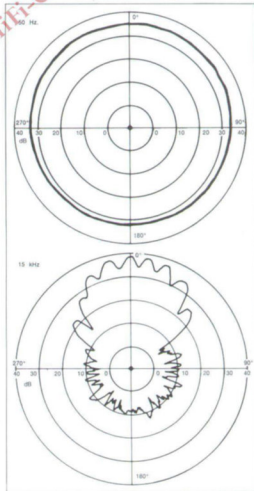


Abb. 1

Frequenzgang in der schalltoten Kammer flach war. Doch schon bald fragten wir uns, ob diese Zielsetzung nicht überhaupt falsch wäre. Denn was geschieht, wenn wir einen Lautsprecher nicht in der schalltoten Kammer sondern unter realen Bedingungen messen? Dort, wo wir auch hören - im Wohnzimmer?

Betrachten wir uns einmal die Abstrahlcharakteristik eines konventionellen Lautsprechers.

Wir sehen, daß im tiefen Frequenzbereich die Schallwellen rundherum fast mit dem gleichen Schalldruck abgestrahlt werden. Ganz anders jedoch im Hochtonbereich. Bereits bei einer Abweichung von 60° zur Längsachse beträgt der Schalldruck bei 15 kHz nur noch 4% (!) gegenüber dem Schalldruck frontal der Längsachse. Nach hinten wird so gut wie keine Hochtonenergie abgestrahlt. (Siehe Abb. 1).

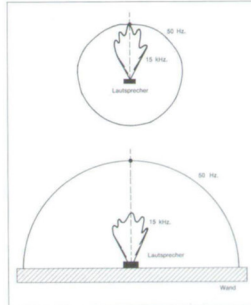


Abb. 2

bereich änderte sich kaum.

Aber Welch ein Unterschied bei den Bässen. Durch die Reflexion an der Wand wurde der Schalldruck verdoppelt! Den gleichen Effekt erzielten wir, als wir die Wand unter dem Lautsprecher plazierten. Bauten wir den Lautsprecher in einer Eckwand auf, wurde der Schalldruck sogar vervierfacht, weil die Basswellen von 2 Flächen reflektiert wurden. (Abb. 2).

Fazit: Selbst wenn der Frequenzverlauf eines Lautsprechers in der schalltoten Kammer auf der Lautsprecherachse völlig linear ist, so ist dies für den Wohnraum ohne Belang. Im Wohnraum kann der flache Verlauf unter keinen Umständen erreicht werden.

Unsere Versuche mit einer Wand können Sie in Ihrem Wohnzimmer selbst nachprüfen. Stellen Sie zunächst Ihren Lautsprecher in ein Regal oder hängen ihn an der Wand auf. Anschließend stellen Sie ihn vor einer Wand auf den Fußboden. Und zuletzt in eine Ecke Ihres Wohnraumes. Jedesmal erhöht sich die Intensität der Basswiedergabe und das gesamte Klangbild verändert sich.

(Was geschieht, wenn man den Frequenzverlauf eines Lautsprechers nicht im schalltoten Raum sondern im Wohnraum misst? Kommen wir der Problemlösung näher oder treten andere Schwierigkeiten auf?)

Was geschieht nun, wenn wir den Lautsprecher nicht in eine schalltote Kammer mit keinerlei Reflexionen sondern in den Wohnraum mit seinen vielen Reflexionsflächen stellen?

Um das herauszufinden, stellten wir zunächst in der schalltoten Kammer eine Wand hinter dem Lautsprecher auf. Die Abstrahlcharakteristik im hohen Frequenz-

Schall und Raum.

Unsere Versuche in der schalltoten Kammer haben gezeigt, daß es völlig sinnlos ist, einen Lautsprecher zu konstruieren, dessen Frequenzverlauf in der schalltoten Kammer flach verläuft. Unser nächster Gedanke war deshalb, den Frequenzverlauf im Wohnraum zu messen.

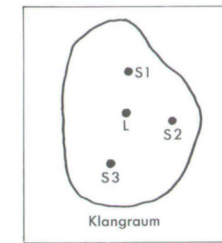
Jeder Raum hat aber Resonanzen, die den Schall bei den Reflexionen über Wände, Decke und Fußboden verstärken. Die Zahl der Resonanzen - wir nennen sie „Normalfrequenzen“ - ist enorm. In einem rechteckigen Raum von 6 m Länge, 4,5 m Breite und 2,7 m Höhe sind es allein über 50 Millionen im hörbaren Frequenzbereich. Da diese Normalfrequenzen wie enge Bandfilter wirken, wird der Schall in Bandbereichen verstärkt oder geschwächt.

Die Schalldruckänderungen betragen bis zu 30dB. Mißt man also die Frequenzkurve eines Lautsprechers an zwei verschiedenen Stellen im Wohnraum, so weisen beide Kurven viele Unterschiede auf. Es ist unmöglich zu erkennen, welche Unterschiede auf den Raum zurückzuführen sind oder welche vom Lautsprecher verursacht werden. Dieser Weg führt folglich nicht weiter.

Diese Messung kennzeichnen wir durch eine Linie vom Feld 1 zum Feld 2. Was sagt diese Messung aber über die Wahrnehmung aus? Nichts! Denn wir können aus ihr keine eindeutige Beziehung ableiten. Also keinen eindeutigen Punkt im Feld der Wahrnehmung zuordnen.

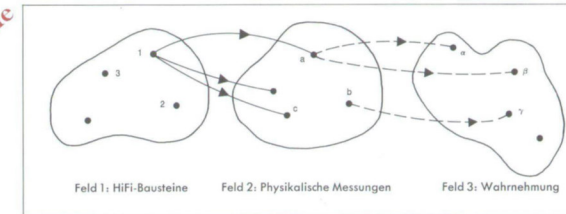
Um es genau zu sagen: unsere heutigen Meßmethoden sind ungeeignet, relevante Aussagen über die Wahrnehmung zu machen.

Blieben wir bei der Wahrnehmung.



Anlage wird anders klingen. Daher ergeben sich drei Punkte S1, S2 und S3.

Denken wir uns einen abstrakten Raum, in dem die verschiedenen Punkte unterschiedliche Klangspektren darstellen. Punkt L sei das Klangbild, das wir in einem Konzertsaal hören. Wir schneiden das Konzert mit und spielen das Band über drei verschiedene Musikanlagen ab. Jede



Um Ihnen einen besseren Einblick in die Gesamtproblematik zu geben, denken wir uns einmal 3 abstrakte Felder. Das Feld 1 stellt das Feld der HiFi-Bausteine dar. Punkt 1 sei ein bestimmter Lautsprecher, Punkt 2 ein anderer Lautsprecher, Punkt 3 ein Plattenspieler.

Das Feld 2 ist das Feld der physikalischen Messungen, die wir an den einzelnen Bausteinen durchführen können. Jeder Punkt in diesem Feld ist eine ganz bestimmte physikalische Messung. Zum Beispiel: Frequenzverlauf, Abstrahlcharakteristik, Klirrfaktor usw.

Das Feld 3 ist das Feld unserer Wahrnehmung. Wenn wir das gleiche Musik- oder Sprachsignal mit verschiedenen HiFi-Bausteinen reproduzieren, werden sie hörbar unterschiedlich klingen. Die Punkte im Feld 3 stellen diese hörbar verschiedenen Klangbilder dar.

Nehmen wir jetzt einen Lautsprecher im Feld 1 und messen seine Abstrahlcharakteristik.

Und nun die entscheidende Frage: Welche Wiedergabe, S1, S2 oder S3 kommt der Live-Darbietung am nächsten?

Wir können diese Frage nicht beantworten. Bei unseren Experimenten mit Musikern hat sich klar gezeigt, daß sie zwar die drei Klangbilder unterscheiden konnten. Keiner konnte jedoch sagen, welche Wiedergabe der Live-Darbietung am

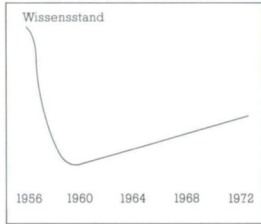
nächsten kommt.

„Sie könnten mich auch fragen“, so der Kommentar eines Musikers, „ob ein Pfirsich oder eine Grapefrucht eher wie eine Zitrone aussieht. Der Pfirsich hat mehr die Größe der Zitrone, die Grapefrucht gleicht ihr mehr im Aussehen“...

So der damalige Stand unserer Entwicklungen. Wir hatten erkannt, daß die vorherrschenden Meßmethoden falsch waren, daß wir andere entwickeln mußten. Aber wo sollten wir ansetzen?

Differenz-Experimente.

Nach 3 Jahren Forschung hatte unser Wissen den Tiefstand erreicht. Wir hatten viele fundamentale Probleme erkannt und verstanden, was an den existierenden Lautsprecher-Konstruktionsmethoden falsch war, konnten aber keinen konstruktiven Weg aufzeigen. Es fehlte nicht viel und wir hätten das Forschungsprogramm aufgegeben.



Wissenskurve über Kenntnisse bei Lautsprecherkonzeptionen seit 1956

In der Tat sieht es für einen Wissenschaftler, der in den mathematischen Disziplinen zuhause ist und sich auf ein Gebiet begibt, wo alles nicht mehr greifbar zu sein scheint, so aus, als ob die Probleme nicht in den Griff zu kriegen sind. Andererseits wollten wir uns aber nicht durch das Problem hindurchwursteln, indem wir Leute nach ihrer Meinung fragten, um ein System zu konzipieren, das einer oder mehreren Personen gefallen hätte. Wir wollten wissen, ob es wissenschaftlich lösbar war, zwar konnten wir nicht den besten Lautsprecher herausfinden. Aber konnten wir nicht konstruktive Elemente eines Lautsprechers bestimmen, die entscheidend dazu beitragen würden, Musik exakter zu reproduzieren?

Die Suche auf diesem Weg erwies sich als sehr fruchtbar. **Wenn man die sich stellenden Fragen auf ein vernünftiges Maß begrenzt, erhalten wir in der Tat viele brauchbare Informationen über verschiedene Konstruktionsparameter und ihre Beziehungen zur Wahrnehmung. Und wie wir gleich sehen werden, können wir sogar die Grenzen zur Optimierung verschiedener Konstruktionsparameter festlegen. Grenzen, worüber hinaus es keine hörbaren Wahrnehmungsunterschiede mehr gibt.**

Der Schlüssel zu diesen wertvollen Erkenntnissen ist ein Grundkonzept von psychoakustischen Testmethoden, die wir als Differenz-Experimente bezeichnen.

Bei diesen Experimenten werden einem Hörer zwei aufeinanderfolgende Musiksignale vorgespielt, die sich nur in dem zu untersuchenden Parameter unterscheiden. Dabei sollen die Testpersonen nur angeben, ob sie überhaupt irgend-einen hörbaren Unterschied zwischen beiden Musiksignalen erkennen.

Die Untersuchungen umfassen eine ganze Testreihe. Das erste Musiksignal bleibt über den ganzen Testverlauf gleich. Das zweite Signal dagegen wird variiert. Mal stimmt es mit dem Signal 1 überein, mal wird der zu untersuchende Parameter geändert. So läßt sich leicht feststellen, in welchem Bereich Parameteränderungen hörbar sind oder nicht.

Nehmen wir einen sehr einfachen Fall und sehen, was wir daraus lernen können.

Nehmen wir an, all unser Wissen über den Prozess menschlichen Hörens sei plötzlich ausgelöscht. In diesem Fall könnten wir uns willkürlich entscheiden, ein HiFi-System mit einem Frequenzbereich bis zu 1 MHz zu entwickeln. Wie können wir feststellen, daß dies nicht notwendig ist, denn ein solches HiFi-System dürfte recht teuer werden?

Die Lösung ist einfach. **Zunächst spielen wir unserem Hörer ein Musiksignal mit einer Bandbreite von 1 MHz vor. Dann spielen wir ihm das gleiche Signal nochmals vor, schneiden die Frequenzen jedoch an einer bestimmten Stelle ab. Liegt der Schnittpunkt bei 5 kHz, dann wird unsere Testperson sofort erkennen, daß sich das zweite Musiksignal vom ersten unterscheidet. Natürlich muß unser Musikbeispiel Instrumente enthalten, deren Tonlagen in höhere Frequenzen hineinreichen.**

Legen wir den Schnittpunkt aber bei 20 kHz und benutzen dazu einen sehr steilen Filter, zeigt sich schnell, daß die Testperson keinen Unterschied zwischen dem Signal 1 mit einer Bandbreite von 1 MHz und dem Signal 2 mit einer Bandbreite von 20 kHz wahrnehmen wird.

In der gleichen Weise können wir weitere sehr wertvolle und manchmal sehr überraschende Informationen über andere Parameter gewinnen. In allen Experimenten ist jedoch streng darauf zu achten, daß nur der Parameter geändert wird, den man untersuchen will.

Das mag selbstverständlich klingen. Aber die Entwicklungsgeschichte beweist, die Ursache vieler Fehlschlüsse lag darin, daß man mehrere Parameter änderte, aber Schlüsse auf einen einzigen zog.

Das Konzept der Differenz-Experimente läßt sich sogar auf viel schwierigere Situationen anwenden, um aussagekräftige Informationen zu erhalten.

Die ideal pulsierende Sphäre.

Die ideal pulsierende Sphäre ist ein theoretischer Begriff in der Akustik. Man versteht darunter eine perfekt schwingende Oberfläche, die von Resonanzen, Verzerrungen oder anderen Unregelmäßigkeiten vollkommen frei ist. Die von ihr abgestrahlte Schallwelle ist ein exaktes Ebenbild der eingesperrten elektrischen Welle.

In Fachkreisen herrschte Einmütigkeit, daß kein Lautsprechersystem in der Lage ist, Musik so rein wie die ideale Sphäre zu reproduzieren. Unsere bisherigen Forschungsergebnisse ließen uns jedoch vermuten, daß diese weitverbreitete Ansicht ein Irrtum sein könnte. Wir waren der Ansicht, daß man mit einer Reihe kleiner Breitbandsysteme auf einer kugelförmigen Oberfläche durchaus Musik so wiedergeben kann, daß sie von der Abstrahlung einer idealen Sphäre nicht zu unterscheiden ist. Doch wie konnten wir es beweisen? Eine ideal pulsierende Sphäre kann man nicht konstruieren.

Das war der Gegenstand unserer Forschungen in den nächsten 4 Jahren. Ein Differenz-Experiment war der Schlüssel zur Lösung des Problems. Mit Hilfe eines vom M.I.T. entwickelten Hochgeschwindigkeits-Digital-Computers erhielten wir Aufnahmen von Schall, den die ideale Sphäre in einem Raum produzieren würde. Diese Aufnahmen wurden dann in dem Vergleichstest mit unserer Lautsprecherkonstruktion verwendet.

Zum besseren Verständnis ein paar kurze Sätze über die Grundidee des Computereinsatzes. Bei sehr hohen Schalldrücken folgt die Schallausbreitung im Raum mathematisch betrachtet linearen Gesetzen. Der Verlauf linearer Systeme läßt sich jedoch relativ einfach berechnen. Es genügt, den Verlauf bei einem extrem kurzen und scharfen Impuls zu kennen. Dann kann man den Verlauf des Systems bei jedem Eingangssignal berechnen. Wir brauchten also nur eine Schallquelle zu konstruieren, die den gleichen Impuls produzieren kann wie die ideal pulsierende Sphäre.

In den so programmierten TX-2 Computer wurden nun Musik- und Sprachsignale eingegeben und entsprechend umgeformt. Aus dem Computer wurde somit eine Art HiFi-System. Er produzierte Tonbänder, die mit Aufnahmen identisch waren, die man mit einem Mikrofon von Musik- und Sprachsignalen aufgezeichnet hätte, wenn sie über eine ideal pulsierende Sphäre in dem gleichen Raum wiedergegeben worden wären.



Abb. 2 BOSE 2201

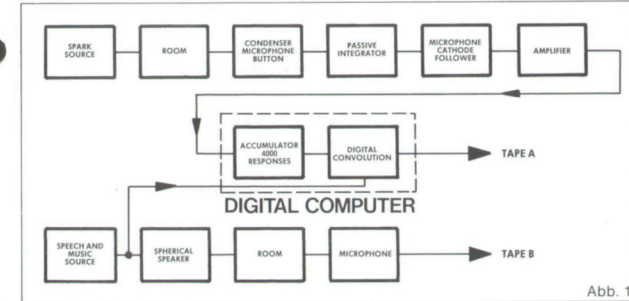
Im Differenz-Experiment wurden den Testpersonen über Kopfhörer zwei Bänder vorgespielt. Das Tonband A des Computers und das Tonband B; also die Aufnahme der Musik- und Sprachsignale, die von unserer Lautsprecherkonstruktion in den Raum abgestrahlt wurden (Abb. 2).

Das Resultat: Keine der Testpersonen konnte zwischen der Darbietung über unseren Lautsprecher und der computersimulierten Darbietung über die ideal pulsierende Sphäre unterscheiden. Zwei fundamentale Erkenntnisse folgten aus diesem Experiment:

1. Eine Anordnung von Breitbandsystemen ist in der Lage, Musik so zu reproduzieren, daß die Darbietung nicht von der Reproduktion über die ideal pulsierende Sphäre zu unterscheiden ist (Das Forschen nach anderen elektroakustischen Wandlern und anderen Materialien ist also sinnlos, weil hörbar keine besseren Ergebnisse möglich sind).

2. Die Unregelmäßigkeiten einer solchen Anordnung von Breitbandsystemen (Klirrfaktor, Unregelmäßigkeiten im Frequenzverlauf usw.) lassen sich zwar meßtechnisch erfassen, sind aber unhörbar. Dieses neu gewonnene Wissen löste bei uns verständlicherweise Begeisterung aus. Schließlich hatten wir wissenschaftlich bewiesen, daß die Meinung der Fachwelt ein Irrtum war.

Aber beim Hören der ersten stereophonen Wiedergabe wurden wir durch ein völlig unerwartetes Ergebnis schockiert: Die höheren Tonlagen von Violinensoloes und Blasinstrumenten klangen immer noch schrill. Es mußte also weitere Dimensionen in Konzeption und Meßmethodik geben, die wir noch nicht entdeckt hatten.



Nach Versuchen mit vielen Schallquellen fanden wir endlich heraus, daß die elektrische Funkenentladung alle notwendigen experimentellen Voraussetzungen erfüllt. Wir lösten also eine Funkenentladung in unserem Raum aus (Abb. 1) und nahmen das akustische Ergebnis über ein Mikrofon auf Band auf. Nach entsprechender Vorbehandlung wurden die aufgenommenen Signale in unserem Computer gespeichert. Somit besaßen wir die notwendigen Informationen für das kommende Differenz-Experiment. Denn das gespeicherte Signal enthält alle Einflüsse, die zwischen Funkenentladung und Mikrofon auftreten.

Abb. 1

Binaurale Aufnahmen.

Zunächst hatte es nach unserem Differenz-Experiment mit der ideal pulsierenden Sphäre und unserer Lautsprecherkonstruktion BOSE 2201 den Anschein, als wären wir keinen Schritt weitergekommen. Denn unser Lautsprecher besaß bei stereophoner Wiedergabe die gleichen unerwünschten Eigenschaften wie andere Boxen.

In Wirklichkeit waren wir aber viel weiter als zu Beginn unserer Forschungen im Jahre 1954. Weil Frequenzverlauf, Einschwingverhalten und Abstrahlcharakteristik unseres Lautsprechers hörbar nicht von der ideal pulsierenden Sphäre unterscheidbar waren, mußte es noch andere Parameter geben, die wir bislang nicht berücksichtigt hatten.

Mit der Suche nach diesen Parametern begannen wir 1965. Als erstes beschäftigten wir uns mit einer Methode zur Klangaufnahme und Klangwiedergabe, die anerkanntermaßen für die exakteste gehalten wird: die binaurale Methode.

Binaurale Aufnahmen erfolgen mit Hilfe zweier Mikrophone. Sie werden in die Ohren eines Kunstkopfes eingesetzt, der während einer Live-Darbietung im Zuhörerraum aufgestellt wird. Die von den beiden Mikrofonen im linken und rechten Ohr des Kunstkopfes aufgenommenen Signale werden dann über Kopfhörer analog auf das linke bzw. rechte Ohr eines Hörers überspielt. Also ein Versuch, die vom Kunstkopf aufgenommenen Signale in den Ohren des Hörers zu duplizieren.

● **Wer jemals binaurale Aufnahmen gehört hat, weiß, daß sie in manchen Punkten der Klangqualität selbst bester Lautsprechersysteme überlegen sind. Mit einer wesentlichen Einschränkung – und das ist die wichtigste: Bei binauralen Aufnahmen ändern sich die Signale nicht beim Bewegen des Kopfes, wie dies in einer Live-Darbietung geschieht.**



Abb. 1

● **Das ist der Grund, warum bei binauralen Aufnahmen die Schallquelle im Kopf zu sitzen scheint und nicht außerhalb.**

Unser erstes wichtiges binaurales Experiment führten wir auf dem Tanglewood Musik Festival in Zusammenarbeit mit dem Bostoner Synchronie Orchester durch (Abb. 1). Der Kunstkopf wurde in der Mitte der fünften Reihe aufgestellt. Bei der Wiedergabe der 2-spurigen Aufnahme über Kopfhörer erkannten wir sofort, daß die binaurale Reproduktion frei von jenem grellen, scharfen Klang war, der für herkömmliche Lautsprecher charakteristisch ist.

● **Das aussagekräftigste Resultat erhielten wir bei der Addition des linken und rechten Signals zu einem Monosignal. Spielten wir das monaurale Signal über Kopfhörer ab, war sofort der grelle, scharfe Klang wieder da. Für dieses Experiment stellten sich viele Musiker und Dirigenten zur Verfügung.**

● **Das Ergebnis war stets das Gleiche. Ein Gast-Dirigent warf beim Umschalten auf das monaurale Signal den Kopfhörer weg und sagte "Was haben Sie denn gemacht? Alle Übel meiner HiFi-Anlage sind wieder da."**

Bei diesem A/B Vergleich wurden die konventionellen Parameter (Frequenzgang, Einschwing-

verhalten usw.) nicht verändert. Das monaurale Signal wurde durch eine einfache Addition beider binauraler Kanäle erzeugt. Genau diese Art von Experiment war notwendig. Ein Experiment, in dem die Grundparameter früherer Untersuchungen unverändert blieben, aber neue Parameter geändert wurden. Wir wußten zwar noch nicht, wie es funktionierte. Aber zum ersten Mal konnten wir den scharfen, schrillen Klang unterdrücken, ohne das charakteristische Klangbild der aufgenommenen Musik zu verlieren.

Versuchen wir, die Ergebnisse unserer Untersuchungen zu interpretieren.

Bei einer Live-Darbietung werden die von den Instrumenten abgestrahlten Schallwellen von allen Oberflächen im Konzertsaal reflektiert. Sie treffen folglich aus allen Richtungen auf das Gehör des Zuhörers. Betrachten wir uns eine Schallwelle, die den Kopf aus irgendeiner Richtung erreicht. Abgesehen von dem Fall, in dem sich die Schallquelle exakt vor oder hinter unserem Zuhörer befindet, erreicht jede Schallwelle das eine Ohr früher als das andere. Denn die Weglängen sind unterschiedlich. Zum zweiten ist das Signalspektrum der Schallwelle am linken und rechten Ohr verschieden. So werden hohe Frequenzen z.B. schwächer, weil sie um den Kopf gebrochen werden. Es gibt also sowohl zeitliche als auch spektrale Unterschiede zwischen den Signalen an beiden Ohren.

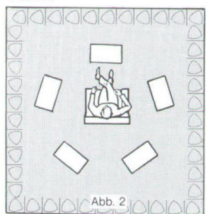


Abb. 2

Bei binauralen Aufnahmen messen wir den Schalldruck auf der Ohrmuschelfläche beider Ohren. Also die Summe aller ankommenden Schallwellen. Über die Kopfhörer versuchen wir diesen Schalldruck am gleichen Ohr wieder zu reproduzieren. Beim Addieren des linken und rechten Signals empfängt der Hörer jedoch auf beiden Ohren das gleiche Signal. Die zeitlichen und

spektralen Unterschiede werden aufgehoben. Genau das läßt sich auch ohne Kopfhörer erreichen. Man stellt einen Lautsprecher sehr nahe vor den Kopf des Hörers und richtet den Schall direkt auf sein Gesicht.

● **Es zwingt sich deshalb die Frage auf, ob die Schrilte und Schärfe eines Lautsprecherklangbildes vom Einfallswinkel der Schallwellen auf den Kopf abhängig sind. In diesem Fall muß der auf den Hörer gebündelte Schall die Ursache für diesen unnatürlichen Effekt sein.**

Vom Ergebnis der binauralen Experimente ausgehend, legten wir den neuen Schwerpunkt unserer Forschungen auf die räumlichen Aspekte der auf den Hörer einfallenden Schallwellen. Wir wollten feststellen, welchen Einfluß auf die Wahrnehmung die Änderung des Einfallswinkels hat.

Eines der folgenden Experimente führten wir mit 5 direkt abstrahlenden Lautsprechern durch, die um den Hörer gruppiert wurden (Abb. 2). Zunächst schalteten wir nur den Lautsprecher direkt vor dem Gesicht der Testperson ein. Dann alle fünf. Das Frequenzspektrum aller fünf Lautsprecher war so justiert, daß es in Position des Hörers mit dem Einzellautsprecher identisch war. Wir stellten fest, daß sich der unerwünschte scharfe, grelle Klang bedeutend verringerte, wenn alle Lautsprecher gleichzeitig eingeschaltet wurden.

● **Das Fazit dieser Experimente: Offenbar schien es sehr wichtig, die Schallwellen aus vielen verschiedenen Einfallswinkeln zum Kopf des Hörers zu leiten. Also genau das Gegenteil bisheriger Praktiken im Lautsprecherbau.**

Direkte und nachhallende Schallfelder.

Durch die Ergebnisse zahlreicher, räumlicher Untersuchungen im Konzertsaal bestärkt, nahmen wir das nächste Projekt in Angriff: Die Analyse des auf den einzelnen Hörer einfallenden Schallfeldes.

Zweckdienlich teilt man bei akustischen Forschungen in der Architektur den Schall in zwei Komponenten auf: **direkter Schall und nachhallender Schall.**

Direkter Schall ist die Komponente, die den Hörer unmittelbar erreicht. Also der Schall, der auf direktem, geradem Wege vom Musikinstrument zu den Ohren gelangt. Nachhallender Schall dagegen wird einmal oder mehrfach von Flächen oder Gegenständen im Konzertsaal reflektiert, bevor er den Hörer erreicht.

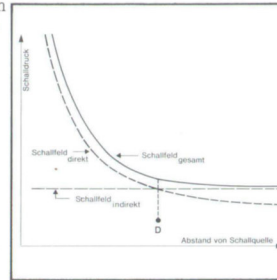
Nach dieser allgemein üblichen Definition ist leicht verständlich, daß die Summe beider Komponenten aus direktem und nachhallendem Schall das gesamte Schallfeld ergeben.

Stellen wir uns zum besseren Verständnis eine omni-direktionale Schallquelle auf der Bühne vor. Wie unsere Grafik eindeutig zeigt, stehen Schalldruck und Abstand von der Schallquelle im umgekehrt proportionalen Verhältnis. Je kürzer der Abstand von der Quelle, umso stärker nimmt der Schalldruck zu. Das ist die gleiche Situation wie im Freien, wo so gut wie keine Reflexionen auftreten und ein Hörer nur den direkten Schall wahrnimmt.

Ganz unterschiedlich verhält sich jedoch der Schalldruck des nachhallenden Feldes. **Mit Ausnahme der Eigenresonanzen in einer Konzerthalle ist das nachhallende Feld nahezu gleich und nicht abhängig von der Position im Auditorium.**

Die beiden Kurven verraten einige sehr interessante Aspekte des totalen Schallfeldes und seiner beiden Komponenten. **Bei einer bestimmten Distanz von der Schallquelle (Punkt D) sind die Schalldrücke des direkten und nachhallenden Feldes gleich groß. Bei Entfernungen kleiner als D dominiert das direkte Feld und sein Schalldruck steigt rapide, je mehr wir uns der Schallquelle nähern. Bei Entfernungen größer als D dagegen dominiert das nachhallende Feld. In diesem Bereich ist das gesamte Schallfeld so gut wie unabhängig von der Distanz zur Schallquelle.**

Die Konsequenzen aus diesem Kurvenverlauf haben Sie beim Radiohören selbst schon zuhause erlebt. Wenn Sie sehr nah vor dem Lautsprecher standen (innerhalb 30 cm Abstand), klingt das Radio sehr laut. Die Lautstärke nimmt beim Entfernen ab. Doch sobald Sie mehr als 2 Meter entfernt sind, bleibt die Lautstärke ziemlich konstant, unabhängig wie groß Ihr Wohnraum ist. Auch die räumliche Charakteristik des Schallfeldes in den Regionen vor und nach dem Punkt D sind sehr unterschiedlich. Wo das direkte Feld überwiegt, wandert der Schall logischerweise nur aus einer Richtung zu unserem Gehör – nämlich aus Richtung der Schallquelle. In der anderen Region jedoch erreicht uns der Schall aus vielen Richtungen, weil sich das nachhallende Feld aus Schallwellen zusammensetzt, die von allen Oberflächen



und Gegenständen im Konzertsaal ausgehen. **Der Schalldruck ist bei großen Entfernungen für alle Einfallswinkel nahezu gleich groß, Einschließlich des Einfallswinkels der direkten Schallwellen, denn die Größe des direkten Feldes ist sehr klein verglichen mit dem gesamten nachhallenden Feld.**

Ein weiterer wichtiger Unterschied zwischen beiden Regionen ist das jeweilige Frequenzspektrum. In Nähe der Schallwelle – also die Region, in der der direkte Schall dominiert – stimmt das Spektrum mit den Schallwellen überein, die von der Schallquelle entlang der Achse zum Messpunkt ausgehen.

Im nachhallenden Feld jedoch wird das Frequenzspektrum von der **gesamten akustischen Energie bestimmt**, welche die Schallquelle in alle Richtungen abstrahlt. **Dem der Erreger des nachhallenden Feldes ist die Gesamtenergie.** Interessant ist nun die Frage, in welcher Region wir uns in einem Konzertsaal befinden.

Bei einer gegebenen Schallquelle wird die Größe des nachhallenden Feldes einmal von der Raumgröße und zum anderen von den akustischen Eigenschaften des Materials im Raum bestimmt. Mit wachsender Raumgröße und wachsender Absorption der Wände und Gegenstände nimmt die Größe des nachhallenden Feldes ab.

Somit wird auch die Distanz zur Schallquelle, an der beide Felder gleich groß sind, länger. Bei omni-direktionalen Schallquellen differiert diese Distanz von ca. 1 Meter in kleinen Räumen bis zu einer Entfernung von rund 6 Meter in der Boston Symphony Hall. Bei direkt abstrahlenden Schallquellen ist die Entfernung größer und hängt vom Grad der Richtwirkung ab.

Es leuchtet also ein, daß fast alle Zuhörer in einer Konzerthalle in dem Feld bzw. in der Region sitzen, in der das nachhallende Feld dominiert. **Für den auf den Hörer im Auditorium einfallenden Schall gelten folglich die räumlichen und spektralen Aspekte des nachhallenden Feldes.**

Die physikalischen Eigenschaften dieses Feldes scheinen auf den ersten Blick unseren Wahrnehmungsfähigkeiten zu widersprechen. Denn die Tatsache, daß das nachhallende Feld mit seinen aus vielen Winkeln einfallenden Schallwellen gleicher Intensität überwiegt, müßte unsere Fähigkeit, die Position der Instrumente zu lokalisieren, ausschließen, ja, es dürfte uns nicht einmal möglich sein, die Richtung der Bühne zu bestimmen.

Natürlich ist dies nicht der Fall. Ein Instrument sendet kontinuierlich neue akustische Signale aus. Jedes Signal erreicht zunächst unsere Ohren auf dem kürzesten, direkten Wege. Einen Bruchteil von tausendstel Sekunden später hören wir das Signal als reflektierte Wellen im nachhallenden Feld noch einmal.

Es ist erwiesen, daß wir mit der direkten Welle – also dem direkten Feld – die Platzierung der Schallquelle orten. Selbst wenn der Schalldruck weit geringer ist als der des nachhallenden Feldes.

Das nachhallende Feld spielt eine sehr wichtige Rolle bei der Wahrnehmung des musikalischen Timbres. Da dieses Feld dominiert, bestimmt es die Relation zwischen den Grund- und Obertönen eines Instruments und somit auch das Klangbild. Auch die Einfallswinkel und die zeitlichen Aspekte beeinflussen stark diese Fähigkeit der Wahrnehmung. Auch diese Kriterien werden mehr von den nachhallenden Feldern bestimmt.

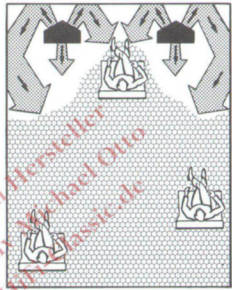
Der entscheidende Schritt.

Unsere Untersuchungen mit binauralen Aufnahmen hatten bewiesen, daß der scharfe, schrille Klang der Lautsprecher auf die direkte Abstrahlung des Schalls zum Hörer zurückzuführen war.

Die folgenden Experimente im Konzertsaal zeigten dann auch eindeutig, daß bei einer Originalaufführung der Schall aus vielen verschiedenen Einfallswinkeln gleichmäßig zum Kopf des Zuhörers gelangt.

Unsere Absicht mußte es also sein, einen Lautsprecher zu entwickeln, der nur einen kleinen Teil der Schallenergie direkt auf den Hörer abstrahlt. Der überwiegende Teil dagegen sollte die Wände des Hörraumes quasi "abgrasen". Wir wollten eine Schallverteilung im Wohnraum erreichen, vergleichbar der im Auditorium.

Beim Experimentieren mit diesem Konzept erzielten wir ausgezeichnete Resultate bei ca. 10% direkter und ca. 90% indirekter Abstrahlung, wobei die indirekte Schallenergie in einem Winkel von 30° gegen die Rückwand gerichtet wurde.



Energieverteilung des BOSE 901

In die Praxis umgesetzt sah das so aus: 1 Lautsprechersystem wurde auf der Frontseite des Gehäuses plaziert. Auf den 30° abgewinkelten beiden Flächen der Rückseite

wurden je 4 Einzelsysteme montiert. Die Wand hinter dem Lautsprecher übernahm also die Aufgabe der Bühnenrückwand im Konzertsaal.

Fassen wir nun an dieser Stelle alle Forschungsergebnisse zusammen.

Damit wird zugleich das Konzept unseres Lautsprechers formuliert.

1. Die Vielzahl von Breitbandsystemen.

Aus dem Experiment mit der Funkenentladung haben wir gelernt, daß Verzerrungen, Resonanzen oder andere Unregelmäßigkeiten im Frequenzverlauf beseitigt, d. h. unhörbar werden, wenn man mehrere, akustisch gekoppelte Breitbandsysteme verwendet.

2. Direkter und reflektierter Schall.

Unsere Studien der räumlichen Charakteristik eines Schallfeldes haben bewiesen, daß wir einen Lautsprecher entwickeln müssen, der den Hörer quasi in das dominierende, nachhallende Feld versetzt.

Das ist durch eine bestimmte Verteilung des direkten und reflektierten Schalls zu erreichen.

3. Gleichmäßige Energieverteilung

Wir haben weiter festgestellt, daß das Frequenzspektrum des nachhallenden Feldes von dem Spektrum der gesamten abgestrahlten Schallenergie der Schallquelle oder des Lautsprechers bestimmt wird.

Wenn wir also erreichen wollen, daß die Ausgewogenheit des Frequenzspektrums im Hörraum mit der einer Livedarbietung im Auditorium übereinstimmt, dann muß der Lautsprecher nach dem Kriterium der gleichmäßigen Schallenergieverteilung konzipiert werden, aber nicht nach dem Kriterium flacher Frequenzgang längs der Achse.

4. Equalisation.

Das Kriterium gleichmäßige Energieverteilung wird von konventionellen Lautsprechern nicht erfüllt, weil man am überkommenen Konstruktionsmodell des "geradlinigen Frequenzganges" festhält.

Durch exaktes Equalisieren lassen sich indes die Frequenzen des elektrischen Eingangssignals am Lautsprecher so abgleichen, daß die in akustische Signale umgewandelte Energie weitgehend dem Kriterium der gleichmäßigen Verteilung (also eine geradlinige Energieverteilung über den gesamten hörbaren Frequenzbereich) entsprechen. Als elektronisches Hilfsmittel bedient man sich dabei am besten sog. aktiver Frequenzregelnetzwerke.

Alle diese wichtigen Forschungsergebnisse hatten wir in der Konzeption unseres Lautsprechers einbezogen.

Trotzdem blieb ein Grundproblem: der Klangraum (s. HiFi-Stereophonie, März 1976: Schall und Raum). Es gibt keine objektiven Meßmethoden, ihn zu erfassen. Folglich auch keinen objektiven Weg, der uns sagen kann, ob ein Lautsprecherkonzept einem anderen überlegen ist oder nicht. Ganz abgesehen davon, welches System das Optimum überhaupt ist.

Fest stand nur eines: Basierend auf unseren akustischen und psychoakustischen Forschungen mußte jedes der 4 Konzepte in dem neuen Lautsprecher ein Schritt zu einer wirklichkeitsnäheren Musikwiedergabe sein. Wir besaßen aber keine objektiven Mittel, um vorauszusagen, ob diese Schritte klein oder von eminenter Bedeutung waren in Hinblick auf die hörbare Wahrnehmung.

Dies Urteil würde letztlich die Öffentlichkeit fällen.

Im Jahre 1968 begannen wir mit der Fabrikation unseres Lautsprechers. Das Echo war enorm. Das Konzept seitdem unbestritten.

Die Zukunft der Musikwiedergabe.

Können wir in Zukunft bessere Systeme zur Wiedergabe von Musik erwarten?

Die Antwort ist selbstverständlich „Ja“. Denn es ist ein ungeschriebenes Gesetz, daß weitere Forschungen neue Erkenntnisse an den Tag bringen, die zu entscheidenden Verbesserungen führen werden. Allerdings können die Wege in ganz andere Richtungen gehen, als wir heute annehmen.

Auf Grund dessen, was bisher getan wurde und was noch zu tun ist, ergeben sich 3 Problemgruppen.

1. Spektrale Probleme

Darunter fallen die Themen Frequenzverlauf, Verzerrungen und Einschwingverhalten.

2. Räumliche Probleme

Sie schließen die Verteilung der Schalleinfallswinkel auf den Zuhörer ein. Dieses Thema ist nicht zu verwechseln mit der Ortung von Instrumenten, die mit der Aussteuerung der Stereokanäle im Aufnahme- prozess zusammenhängt. Unter räumlichen Problemen sind geometrische Faktoren zu verstehen, die sich auf die Lautsprecher, den Hörraum und den Hörer beziehen.

3. Zeitliche Probleme

Hierunter fällt z. B. die Charakteristik der Umgebung, die es ermöglicht, die Akustik einer großen Halle von der eines kleinen Raumes zu unterscheiden.

Betrachten wir zunächst die erste Problemgruppe. Bei der Musikwiedergabe haben wir die spektralen Probleme bereits gelöst. Das Differenzexperiment mit der ideal pulsierenden Sphäre hat bewiesen, daß mittels gekoppelter Breitbandsysteme und durch Equalisieren noch vorhandene Verfärbungen unter der Schwelle des Hörbaren liegen. Verbesserungen werden es nur in der Produktion geben, wo verfeinerte Methoden zu engeren Toleranzen führen werden.

Entscheidende Verbesserungen sind sicher auf dem Gebiet der räumlichen Probleme möglich. Immerhin haben wir bereits recht gute Ergebnisse erzielt, um den Klang eines großen Orchesters mittels zweier Lautsprecher im Wohnraum zu reproduzieren. Doch erwarten wir keine großen Verbesserungen hinsichtlich der räumlichen Wiedergabequalität eines Systems des Typs, wie es im Laufe unserer Forschungen entwickelt wurde (BOSE 901).

Vielleicht ließen sich durch eine übergroße Abstrahloberfläche, welche die gesamte vordere

Wohnraumwand bedeckt und auf die seitlichen Wände übergreift, erstaunliche Ergebnisse erzielen – eine äußerst unpraktische Lösung. Praktischer hingegen wäre ein zweites Lautsprecherpaar, das in einem Winkel von 30 bis 45° vor dem Hörer aufgestellt wird (siehe Abbildung). Dadurch erzielt man eine durchaus befriedigende Steigerung in der räumlichen Wiedergabe.

Die größten Möglichkeiten eröffnen sich in der dritten Problemgruppe: die zeitlichen Probleme. Sie entziehen sich dem Einfluß des Lautsprecherkonstruktors.

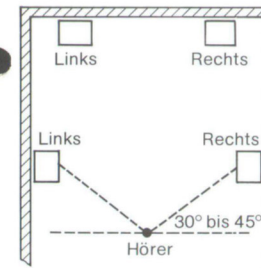
Zum besseren Verständnis der zeitlichen Parameter denken wir uns folgendes Experiment. Stellen Sie sich vor, Sie werden mit verbundenen Augen in eine Konzerthalle und dann in einen kleinen Raum geführt. In beiden Räumen sollen Sie sprechen, oder sich ein Musikinstrument anhören. Dann sollen Sie beurteilen, ob Sie sich in dem Konzertsaal oder in dem kleinen Raum aufhalten. Sie werden mit Bestimmtheit richtig antworten.

Gelegentlich wird behauptet, daß die Unterscheidung auf Grund verschiedener Nachhallzeiten möglich ist. Obwohl Sie die Zeitunterschiede wahrnehmen, ist dies nicht der dominierende Faktor. Beispielsweise werden Sie in einem gekachelten Bad von ca. 4,5 bis 6 m Länge mit Sicherheit sagen, Sie befinden sich in einem kleinen Raum. Und das trotz der erwiesenen Tatsache, daß solche Räume oft wesentlich längere Nachhallzeiten haben als Konzertsäle.

Heute wissen wir, daß die Zeitspanne zwischen einzelnen Schallreflexionen der dominierende Parameter ist, um die Größe eines Raumes zu bestimmen. Die ist im Konzertsaal weit größer als im Wohnraum.

Hier ergibt sich ein äußerst wichtiger Aspekt für die Wiedergabanlage, die der Livedarbietung nahe kommen soll. Der gesamte, abgestrahlte Schall „springt“ im Wohnraum herum und wird vielfach reflektiert. Die Zeitspannen zwischen den einzelnen Reflexionen betragen je nach Raumgröße 7 bis 12 Millisekunden. Also nur ein Bruchteil der Zeitspannen im Konzertsaal. Es ist daher unmöglich, mit einem Lautsprecher die gleichen Zeitintervalle zu erzeugen, die den Eindruck einer Originalaufführung im Konzertsaal ausmachen.

Wie läßt sich das Problem vielleicht lösen? Nach unseren bisherigen Forschungsergebnissen zu urteilen, müßten zusätzliche Übertragungskanäle eingeführt werden. Als mißlungener Versuch in dieser Richtung muß man heute die Quadrophonie bezeichnen.



Die Zukunft der Musikwiedergabe.

(Teil 2)

Der typische Klangeindruck einer Konzertsalaufführung hängt wesentlich von der Zeitspanne zwischen den einzelnen Reflexionen ab. Im Wohnraum sind die Zeitintervalle gering und nicht zu verwirklichen.

Der Konzertsaal im Wohnzimmer – eine beliebte Formulierung der Werbung – ist und bleibt Utopie.

Zu einem geringen Grade lassen sich Nachhallvorgänge in die Aufnahme einspiegeln. Der gewünschte Effekt ist jedoch sehr begrenzt.

Aus folgenden Gründen:

■ **Der nachhallende Schall wird zusammen mit dem Ursprungssignal von dem Lautsprecher ausgestrahlt. Beide Signale „springen“ gleichzeitig im Wohnraum umher.**

Das Resultat: Beide Signale neigen dazu, an Definition zu verlieren.

■ **Zum anderen können durch diese Aufnahmetechnik unerwünschte Effekte auftreten. Und zwar bereits lange vor dem Zeitpunkt, bei dem hinzugefügte Hallanteile die Größenordnung des Halls im Konzertsaal erreichen.**

Zweifelloos werden die nächsten 5 bis 10 Jahre große Fortschritte bringen. Den Konzertsaaeindruck im Wohnraum wird man besser simulieren können. Es scheint, daß zusätzliche Lautsprecher weiter hinten im Wohnraum der Lösung am nächsten kommen. Nur müßten ihnen ganz bestimmte Signale eingegeben werden. So würde der Hörer einen Eindruck bekommen, was von Bühnenrückwand und Seitenwänden des Konzertsaals ausgeht.

Selbstverständlich müssen sich diese Signale von den Stereosignalen der vorderen Kanäle unterscheiden.

Zudem ist für jeden Lautsprecher ein getrennter Kanal erforderlich.

Daraus folgert jedoch nicht, daß die Signale für die Zusatzkanäle aus

Aufnahmen im hinteren Teil des Konzertsaals stammen. Solchen Aufnahmen würde bei der Wiedergabe der Nachhall des Wohnraums hinzugefügt.

Ein unerwünschtes Resultat.

Nach unseren bisherigen Forschungen zu urteilen, müßten die Signale für weitere Kanäle aus der Stereoaufzeichnung abgeleitet werden. Stereoaufnahmen selbst sollten, wie heute vielfach praktiziert, nahe am Orchester erfolgen.

Nach einer entsprechenden Umformung (Computer Processing) könnte bei der Wiedergabe über zusätzliche Lautsprecher im Wohnraum etwas vom Konzertsaaeindruck reproduziert werden.



Noch sind wir nicht ganz sicher.

Auf Grund der Forschungsergebnisse sind die Aussichten jedoch gut.

Allerdings nicht mit den heutigen Techniken. Der Geräteaufwand für eine mehrkanalige Musikanlage wäre zu aufwendig.

Die schnelle Entwicklung integrierter Schaltkreise könnte in einigen Jahren zu Geräten führen, deren Größe und Preis mit den heutigen Receivern vergleichbar wären.

Ein System mit zusätzlichen Kanälen ist kommerziell unter dem Namen Quadrophonie bekannt.

Während das Grundprinzip ausgezeichnete Zukunftsaussichten hat, lassen die jetzigen Systeme viel zu wünschen übrig.

Insbesondere die Matrixverfahren, bei denen 4 Kanäle zunächst in 2 Kanäle verschachtelt und im Verstärker wieder getrennt werden (Pseudoquadrophonie, wo aus 2 Kanälen künstlich 4 werden, ist ohnehin indiskutabel).

Das Problem der Matrixmethoden, 4 Kanäle in 2 Kanäle zu pressen, ohne die Bandbreite und Dynamik zu vergrößern, ist den Problemen der Fernsehtechnik vor 25 Jahren analog.

Damals stand man vor der Aufgabe, die zusätzlichen Informationen für Farbfernsehen in den Bandbreiten des Schwarz/Weiß-Fernsehens unterzubringen.

Allerdings hat die Fernsehindustrie einen wesentlich größeren Forschungsaufwand mit wirklich kompetenten Wissenschaftlern betrieben.

Nicht so die HiFi-Industrie.

Mit Sicherheit kann man deshalb sagen, daß keine der Matrixmethoden technologisch fundiert sind und dem Stand heutiger Entwicklungsmöglichkeiten entsprechen.

Ein Schulbeispiel dafür, wie gefährlich es ist, wenn Marketingabteilungen erlaubt wird, etwas auf den Markt zu werfen, was noch im ersten Forschungsstadium ist.

Die Bauchlandung der Industrie beim Verbraucher kam nicht von ungefähr.

Die Zukunft der Musikaufnahme.

(Teil 1)

Der Blick auf zukünftige Entwicklungen von HiFi-Anlagen verlangt auch eine kritische Betrachtung der Aufnahmetechniken. Aufnahme und Wiedergabe lassen sich nicht voneinander trennen.

■ **Bei der Aufnahme von Musik dominieren zwei Problemkreise:**

1. Welche Grenzen werden durch die technischen Einrichtungen gesetzt?
2. Welche Grenzen sind durch die Akustik des Aufnahmerraums gegeben?

Bei den technischen Einrichtungen ist der Dynamikumfang das Kernproblem, weil der störende Geräuschpegel mitaufgenommen wird. Das zeigt sich besonders bei sehr leisen Musikpassagen.

Schon das kleinste hörbare Zischen auf einer Aufnahme schmälert merklich die Wiedergabequalität.

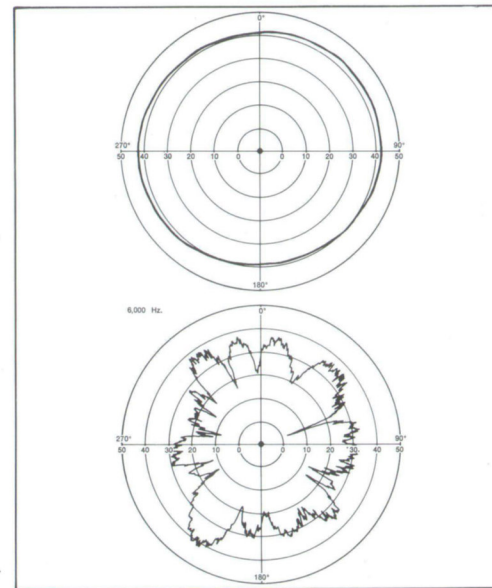
Bei Forschungsexperimenten treten diese Probleme weniger auf. Einmal werden nur wenige Kopien vom Mutterband gezogen – im Gegensatz zu kommerziellen Aufnahmen. Zum anderen kann man vor der Aufnahme spezielle Messungen durchführen, um das Experiment nicht zu gefährden. Solche Musikaufnahmen sind nahezu geräuschfrei. Der Vergleich zwischen experimentellen und kommerziellen Aufnahmen ist deshalb verblüffend. Selbst bei kommerziellen Aufnahmen mit sehr geringem Geräuschpegel ist der Effekt auf den Hörer größer als erwartet.

In den letzten Jahren wurden aber große Fortschritte erzielt. Die Qualität magnetischer Aufzeichnungsverfahren hat sich durch bessere Magnetbänder enorm gesteigert. Zudem wurden wirkungsvolle Systeme zur Reduzierung des Grundrauschens entwickelt.

Bald ist es möglich, völlig geräuschlose Aufnahmen zu produzieren.

Wesentlich schwieriger sind dagegen die Probleme auf dem akustischen Gebiet. Sie verlangen noch viel grundlegende Forschungsarbeit.

Schneiden wir hier nur ein typisches Problem an: die Aufnahme eines Violinolos. Wie bei vielen Instrumenten wird die polare Abstrahlcharakteristik sehr komplex, wenn die Wellenlänge der Töne klein in Relation zur Größe des Instrumentes wird. Abbildung 1 zeigt das Polardiagramm des 660 Hz Grundtons der E-Seite und Abbildung 2 die 9. Harmonische von 6.000 Hz.



Erinnern wir uns:

Das Frequenzspektrum des nachhallenden Schallfeldes im Konzertsaal wird hauptsächlich durch das Frequenzspektrum des gesamten Schallfeldes bestimmt. Nur zu einem ganz geringen Bruchteil von der direkten Komponente auf Achse. Um die gesamte abgestrahlte Schallenergie der 9. Harmonischen zu erfassen, müßten folglich für viele Ebenen je ein Polardiagramm erstellt werden. Erst dann hätten wir eine sphärische Oberfläche mit der Violine im Zentrum.

Und auch

das nur für eine einzige Frequenz (!).

Doch auch in einer einzigen Ebene sind die Probleme schon groß genug. Wenn wir unser Aufnahmemikrofon nahe an der Violine aufstellen, so, daß es überwiegend direkten Schall aufzeichnet, dann variiert der Schalldruck leicht bis zu 20 dB und mehr. Je nach dem Aufnahmewinkel. Bei 90° messen wir rund 30 dB. Bei 70° dagegen knapp 10 dB. Bei anderen Frequenzen wiederum ist die Situation völlig anders. Für 660 Hz spielt der Winkel kaum eine Rolle. Für 70° und 90° ist der Schalldruck so gut wie gleich.