

ISOPHON
Lautsprecher

Isophon
Lautsprecher
richtig
eingebaut



Lieber Isophon-Freund

Sie haben Interesse an einem Erzeugnis, das auf Grund seiner Qualität einen hervorragenden Ruf in Fachkreisen aller Länder genießt, bedingt durch die Tätigkeit von vielen hundert Fachkräften, die in unseren Werken arbeiten und an der Entwicklung, Fertigung und Verteilung beteiligt sind.

Die mechanische und akustische Entwicklung erfolgt unter ständiger Berücksichtigung der Marktwünsche und Beachtung der Fertigungsmöglichkeiten. In der eigenen Membranherstellung und in der Magnetgießerei wird Einfluß auf die Qualität und die akustischen Eigenschaften genommen.

Der Vertrieb unserer Lautsprecher erfolgt über ein ausgedehntes Netz langjähriger ISOPHON-Vertreter in Europa und Übersee.

Es spielen heute Millionen Stück ISOPHON-Lautsprecher, die im Laufe des 35jährigen Bestehens der Firma hergestellt wurden, zur vollsten Zufriedenheit ihrer Besitzer. Täglich verlassen Tausende von Lautsprechern die Werke, nachdem sie ein kompliziertes Prüfsystem durchlaufen haben.

Bedeutende Firmen der Rundfunk-, Fernseh- und artverwandten Industrie in Europa und Übersee verwenden ISOPHON-Lautsprecher zur Bestückung ihrer Geräte.

Unseren Werken ist aber an einer Beratung des Bastlers und Amateurs gelegen, der die Standard-Lautsprecher aus dem Handelsprogramm verwendet.

Mit dieser kleinen Schrift wollen wir das Werbeblatt „Handelsprogramm“ erläutern und auf verschiedene Probleme eingehen, die täglich an uns herangetragen werden. Es ist natürlich unmöglich, alle Probleme erschöpfend zu behandeln, denn diese Druckschrift wird in den verschiedensten Ländern gelesen, in denen zum Teil andere Voraussetzungen sowohl technischer als auch physiologischer Art anzutreffen sind.

Wir hoffen aber, daß diejenigen Beispiele, die wir nachstehend aufführen, schon einen gewissen Anhalt bieten und für Sie eine Hilfe darstellen.

Inhaltsverzeichnis:

1. **Erläuterung der technischen Daten von Lautsprechern**
2. **Auswahl der geeigneten Lautsprecher und des zugehörigen Verstärkers**
 - 2.1 Auswahl nach dem abzustrahlenden Frequenzbereich
 - 2.2 Auswahl nach der richtigen Widerstandsanpassung an den Verstärker
 - 2.3 Auswahl nach der Belastbarkeit der Lautsprecher
3. **Das Zusammenschalten mehrerer Lautsprecher**
 - 3.1 Zusammenschaltung von Lautsprechern mit verschiedenen Frequenzbereichen
 - 3.2 Zusammenschaltung mehrerer Lautsprecher mit gleichem Frequenzbereich
4. **Lautsprecheranlagen**
 - 4.1 Heimanlagen
 - 4.2 Anlagen zur Beschallung von Sälen
 - 4.3 Anlagen zur Aufstellung im Freien
5. **Bewährte Lautsprecherkombinationen**
 - 5.1 Allfrequenzkombinationen für HiFi-Anlagen
 - 5.2 Stereo-Basis-Lautsprecher
6. **Lautsprechergehäuse**
 - 6.1 Wirkungsweise
 - 6.2 Ausführung von Lautsprechergehäusen

1. Erläuterung der technischen Daten von Lautsprechern

Die in unseren Listen und Datenblättern angegebenen Lautsprecherdaten sind nach den Norm-Vorschriften DIN 45 500, DIN 45 570, DIN 45 573, DIN 45 574 und speziellen Werknormen festgelegt. Auf die folgenden Einzelheiten, die sich aus den angeführten DIN-Normen und unseren Werknormen ergeben, möchten wir besonders hinweisen. Beachten Sie bitte, daß es sich bei allen Angaben um Nennwerte handelt, und die tatsächlichen Werte der gelieferten Lautsprecher – innerhalb der Toleranzen – von diesen Werten abweichen können.

- 1.1 Die Dauerlast (Nennbelastbarkeit) ist nach DIN 45 573, Bl. 2 im Betrieb mit Rauschen ermittelt. Diese Belastung vertragen Lautsprechersysteme in ihrem ungünstigsten Betriebszustand (d. h. freiliegend) im Dauerbetrieb, ohne daß bleibende Schäden auftreten. Nach Einbau in ein Gehäuse oder eine Schallwand liegt die Belastbarkeit je nach Bedämpfung höher.

Bei Gehäuselautsprechern gelten die Angaben der Nennbelastbarkeit für die gesamte Kombination. Für einzelne Frequenzbereiche, insbesondere für hohe Frequenzen, kann die Belastbarkeit (bei Prüfung mit Sinuston) niedriger liegen.

- 1.2 Die Spitzenbelastbarkeit (music power/peak) gibt an, welche Belastungsspitzen bei Betrieb des Lautsprechers mit Sprache und Musik unter normalen Einbaubedingungen kurzzeitig ohne Gefahr für den Lautsprecher auftreten dürfen.

Bei günstigen Betriebsverhältnissen, d. h. kein akustischer Kurzschluß und besonders gute Bedämpfung bei Tieftonlautsprechern bzw. Unterdrückung tiefer Frequenzen durch einen Vorschaltkondensator bei Mittel- und Hochtonlautsprechern, liegt die zulässige Belastung noch über den Listenangaben.

Für HiFi-Lautsprecher ist in DIN 45 500 Blatt 7 der Begriff der Grenzbelastbarkeit genormt. Der Lautsprecher muß von 150 Hz bis zur unteren Grenzfrequenz eine Belastung mit Sinustönen in Höhen der Grenzbelastbarkeit vertragen, ohne daß ein Anstoßen der Schwingspule oder Membrane hörbar wird oder sonstige auffallende Klirrscheinungen auftreten. Der Begriff der Grenzbelastbarkeit wird wahrscheinlich im zunehmenden Maße den nicht genormten Begriff der Spitzenbelastbarkeit ablösen.

- 1.3 Die Resonanzfrequenz (Eigenresonanz f_n) versteht sich mit einer Toleranz von ± 10 Hz bei Frequenzen unter 100 Hz bzw. ± 10 % bei Frequenzen über 100 Hz. Bei den Gehäuselautsprechern sind Lautsprechersysteme und Gehäuse aufeinander abgestimmt. Die Toleranzen der Nennresonanzfrequenz liegen bei diesen Typen noch enger.

- 1.4 Der Übertragungsbereich unserer Lautsprecher ist so ermittelt, daß der Schalldruckabfall bei den Grenzfrequenzen 10 dB gegenüber dem mittleren Schalldruck beträgt.

Für HiFi-Lautsprecher beträgt nach DIN 45 500 Blatt 7 der Übertragungsbereich mindestens 50 Hz bis 12 500 Hz, wobei hier nicht wie bei den herkömmlichen Lautsprechern mit Sinustönen, sondern mit Terzrauschen gemessen wird. Der Abfall gegenüber dem Mittelwert im Bereich 100 Hz bis 4000 Hz darf dabei nur 8 dB betragen.

- 1.5 Die Impedanz (Nennscheinwiderstand z_n) der Schwingspulen bezieht sich auf eine Frequenz von 1000 Hz. Ihre Toleranz beträgt maximal ± 10 %.

- 1.6 Die magnetische Induktion gibt die Dichte des magnetischen Feldes im Luftspalt an. Da sie sich leicht messen läßt, wird wie bei der Fertigung von Magnetsystemen zur Kontrolle der gleichbleibenden Qualität eines Magnetsystemtyps benutzt. Die zulässigen Abweichungen vom Nennwert betragen nach DIN 45 578 ± 7 %.

- 1.7 Der magnetische Fluß ist das Produkt aus magnetischer Induktion und der Luftspaltfläche.

- 1.8 Das Magnetgewicht wird auf besonderen Wunsch unserer überseeischen Kunden angegeben. Die in eigener Gießerei hergestellten Alnico-Spezial-Magnete besitzen durch Vorzugskristallisation sowie magnetischer Vorzugsrichtung besonders hohe Energiedichten, die zu kleineren Abmessungen und geringeren Gewichten führen als bei herkömmlichen Materialien. Daher

lassen Magnetgewichtangaben keinen Schluß auf die Qualität eines Lautsprechers zu.

- 1.9 Die Übertragungskurve der Lautsprechersysteme wird im schalltoten Raum auf unendlicher Schallwand und die der Gehäuselautsprecher unter Freifeldbedingungen aufgenommen. Der Meßpunkt liegt dabei in 1 m Entfernung vom Lautsprecher in dessen Mittelachse. In Sonderfällen ist auch ein Meßabstand von 3 m möglich. Die Übertragungskurve wird mit 1-W-Eingangsleistung aufgenommen. Dem 12-dB-Wert der Ordinate unserer Übertragungskurve entspricht ein Schalldruck von $1 \mu\text{bar}$. Dieser entspricht wiederum 74 Phon bzw. dB als Lautstärkemaß.
- 1.10 Die Luftspaltenergie gibt die Energiemenge an, die im Luftspalt eines Magnetsystems vorhanden ist. Sie wird aus dem Volumen des Luftspaltes und dem Quadrat der Induktion berechnet. Sie ist gleichzeitig ein Maß für den Energieinhalt des verwendeten Magneten.
- 1.11 Die Kennempfindlichkeit gibt an, welchen mittleren Schalldruck Lautsprecher in 1 m Entfernung, gemessen auf der Mittelachse bei einer Eingangsleistung von 1 Watt im Frequenzbereich von 250 bis 4000 Hz, erzeugen. Bei Lautsprechersystemen ohne Gehäuse gilt dieser Wert bei Einbau in die unendliche Schallwand.
- 1.12 Die Betriebsleistung gibt an, welche Leistung erforderlich ist, um im freien Schallfeld einen mittleren Schalldruck von $12 \mu\text{bar}$ (96 dB bzw. Phon) in 1 m Abstand im Frequenzbereich von 100 Hz bis 4000 Hz zu erzeugen.

2. Auswahl der geeigneten Lautsprecher und des zugehörigen Verstärkers

- 2.1 Auswahl nach dem abzustrahlenden Frequenzbereich
Es ist nicht möglich, den gesamten Tonfrequenzbereich von 20 bis 20 000 Hz mit einem einzelnen Lautsprecher richtig wiederzugeben, da der Wiedergabebereich eines Lautsprechers von seiner Bauart und seiner Größe abhängt. Für die Wiedergabe hoher Töne muß die Membran eines Lautsprechers leicht und dabei steif sein; für die Wiedergabe tiefer Töne dagegen ist eine möglichst große, weich aufgehängte Membran mit ausreichender Steifigkeit erforderlich. Man teilt daher die Lautsprecher allgemein in Tiefton-, Mittelton- und Hochton-Lautsprecher ein. Vielfach können auch zwei Bereiche von einem Lautsprechersystem wiedergegeben werden. Dadurch entstehen Bezeichnungen wie Mittel-Tiefton-Lautsprecher und Hoch-Mittelton-Lautsprecher.

Wegen des geforderten Frequenzbereiches (mindestens 50–12 500 Hz) sind bei HiFi-Anlagen immer Kombinationen aus mehreren Lautsprechersystemen erforderlich. Für untergeordnete Zwecke, z. B. als Zweitlautsprecher oder für Sprachwiedergabe genügt häufig ein Mitteltonsystem, das einen ausreichenden Anteil an tiefen und hohen Frequenzen mit abstrahlt (Breitbandsystem).

Prinzipiell ist es gleichgültig, ob bei einer Kombination mehrere Lautsprechersysteme zusammen in einem Gehäuse untergebracht sind oder jedes System ein eigenes Gehäuse besitzt. Diese Tatsache kann man sich bei der Zusammenstellung von Lautsprecher-Anlagen zunutze machen, indem man bereits vorhandene Lautsprecher (z. B. in einem Rundfunkgerät) mit verwendet. Häufig wird es dadurch möglich, die viel Platz wegnehmenden Tieftongehäuse räumlich von der für die Ortungsmöglichkeiten wichtigen Mittel- und Hochtonwiedergabe zu trennen.

Besonders wichtig ist – darauf wird unter Punkt 6 näher eingegangen – die richtige Ausführung der Gehäuse. Insbesondere für eine gute Tieftonwiedergabe sind große stabile Gehäuse erforderlich. Eine Ausnahme in dieser Hinsicht machen nur die sogenannten Kompaktboxen (z. B. unsere HSB-Typen), die durch Verwendung von Spezial-Tieftonsystemen mit kleineren Gehäusen auskommen. Es sei in diesem Zusammenhang noch auf die physikalische Gesetzmäßigkeit hingewiesen, daß hohe Frequenzen von Lautsprechern grundsätzlich gebündelt abgestrahlt werden. Die Bündelung ist um so stärker, je höher die Frequenz und je größer der Membrandurchmesser ist. Wenn eine räumlich breite Abstrahlung aller Frequenzen gewünscht wird, muß man mehrere Hochtonlautsprecher gegeneinander gewinkelt anordnen. Der Winkel zwei Lautsprecherabstrahlachsen zueinander soll dabei etwa 30° betragen.

2.2 Auswahl nach der richtigen Widerstandsanpassung an den Verstärker

Sämtliche ISOPHON-Lautsprecher haben eine Impedanz zwischen 4 und 5 Ohm bzw. eine Impedanz von 8 Ohm. Sie eignen sich damit zum Anschluß an die in Deutschland üblichen Verstärkerausgänge von 4 bis 6 Ohm. Die Lautsprecher mit 8 Ohm Impedanz können außerdem an die international üblichen Verstärker mit 8-Ohm-Ausgängen angeschlossen werden. Lautsprecher mit 8 Ohm Impedanz ergeben beim Anschluß an einen 4-Ohm-Verstärkerausgang lediglich eine geringfügige Lautstärkeverminderung, ohne daß eine Qualitätsverschlechterung eintritt.

Einzelne Lautsprechertypen besitzen zusätzliche Anschlußmöglichkeiten für andere Impedanzen wie z. B. 15 bis 16 Ohm und für 100-V-Ausgänge.

Ist die Impedanz des Lautsprechers kleiner als der Anschlußwert des Verstärkers, spricht man von Unteranpassung, im umgekehrten Falle von Überanpassung. Unteranpassungen sind – insbesondere bei Transistorverstärkern – zu vermeiden. Überanpassungen dagegen schaden dem Verstärker nicht, führen jedoch zu einer Verminderung der Leistungsabgabe, die aber erst bei 50 % Fehlanpassung deutlich hörbar wird. Zum Anschluß von Lautsprechern an Verstärker mit von den üblichen Werten abweichenden Impedanzen sind zwischen Verstärker und Lautsprecher Übertrager zu schalten. Diese können von den ISOPHON-Werken bezogen werden. Bei einigen Verstärkertypen mit eisenloser Transistorendstufe kann es notwendig sein, um Fehlanpassungen bei Frequenzen unterhalb der Grenzfrequenz des Übertragers zu vermeiden, zwischen Verstärkerausgang und Übertrager einen Kondensator zu schalten.

Die Maßnahmen, die erforderlich sind, um auch bei der Kombination mehrerer Lautsprecher die richtigen Anpassungsverhältnisse zu erhalten, werden unter Punkt 3.1 und 3.2 näher beschrieben.

2.3 Auswahl nach der Belastbarkeit der Lautsprecher

Diese und die Mindestleistung, die zur Erzielung einer ausreichenden Lautstärke erforderlich ist, sind zwei weitere wichtige Größen bei der Auswahl eines Lautsprechers. Beide stehen in keiner festen Beziehung zueinander. Es ist ebenso gut denkbar, daß ein Lautsprecher, der bereits bei kleinster Leistungsaufnahme eine ausreichende Lautstärke erzielt, 20 Watt Leistung verarbeiten kann, wie umgekehrt, daß ein Lautsprecher, der das Vielfache an Mindestleistung braucht, nur mit 5 Watt belastbar ist. Andererseits ist es natürlich so, daß ein Lautsprecher, der einen geringeren Wirkungsgrad besitzt, mechanisch stärker belastbar ist als ein sonst gleicher Lautsprecher mit höherem Wirkungsgrad.

Die Nennbelastbarkeit eines Lautsprechers oder einer Lautsprecherkombination sollte grundsätzlich höher sein als die beim Betrieb tatsächlich auftretende Belastung, um in dem Bereich kleinster Lautsprecherverzerrungen zu bleiben. Geht man von einer vorhandenen Verstärkerleistung aus, so sollte die Spitzenbelastbarkeit der Lautsprecher keinesfalls weit unter der maximalen Verstärkerleistung liegen, damit eine versehentliche Zerstörung der Lautsprecher ausgeschlossen wird.

Wie hoch die Belastung eines Lautsprechers während des Betriebes ist, läßt sich nicht allgemein gültig sagen, da dieser Wert zu sehr von den räumlichen Verhältnissen und von dem Störgeräuschpegel abhängt. In Wohnräumen kann man bei Verwendung von Lautsprechern mit üblicher Kennempfindlichkeit bei „Zimmerlautstärke“ mit einem Mittelwert von 20–50 mW rechnen, was bei Tanz- und Marschmusik Spitzenwerten von etwa 60 mW–150 mW entspricht. Bei Orchesteraufnahmen auf guten Schallplatten sind bei gleicher mittlerer Leistungsaufnahme Spitzenwerte bis 15 Watt und darüber hinaus möglich.

Bei den sogenannten Kompaktboxen (z. B. unsere HSB-, KSB- und FSB-Typen) muß man mit etwa 2fachen Werten des Leistungsbedarfs rechnen.

Aus diesen Werten kann man außer auf die erforderliche Lautsprecherbelastbarkeit auch auf die nötige Ausgangsleistung des Verstärkers schließen.

Für Tanz- und Unterhaltungsmusik genügen bei Zimmerlautstärke 2–3-Watt-Verstärker bei Verwendung von üblichen Lautsprechern vollkommen. Bei Benutzung von Kompaktboxen sollten wenigstens 5 Watt bzw. 2–3 Watt je Kanal zur Verfügung stehen.

Werden hohe Ansprüche gestellt, wie sie sich z. B. aus der Wiedergabe der Dynamik großer Orchester ergeben, so sollte eine Verstärkerleistung von 10 Watt bzw. bei Stereo-Anlagen 2 x 6 Watt die untere Grenze sein. Für die Beschallung von größeren Räumen (Sälen, Fabrikhallen) und freien Flächen lassen sich keine allgemein gültigen Leistungsangaben machen. Richtwerte finden Sie in den nachstehenden Tabellen 1 und 2.

Tabelle 1: Mindestverstärkerleistungen für geschlossene Räume.

Rauminhalt in m ³	hallendem Raum	Verstärkerleistung in Watt bei	
		normalem Raum	stark ge- dämpften Raum
100... 500	0,5...1,5 k	1... 3 k	2... 4 k
500...5000	0,8...3 k	3...15 k	5...30 k
über 5000	über 5 k	über 20 k	über 40 k
k = 1 bei völliger Ruhe k = 2... 5 bei mittlerem Störpegel k = 5...20 bei größerem Störpegel			

Tabelle 2: Mindestverstärkerleistungen für freie Flächen.

Zu beschallende Fläche in m ²	Verstärkerleistung in Watt
500	5
1 000	8
2 000	10
5 000	25
10 000	75
20 000	100

Die vorstehenden Leistungsbetrachtungen gelten selbstverständlich nur bei etwa linear eingestelltem Frequenzgang des Wiedergabeverstärkers. Sollte bedingt durch Eigenheiten des zur Wiedergabe benutzten Lautsprechers oder des Wiedergaberaumes eine starke Baßanhebung erforderlich sein, so steigt dadurch der Leistungsbedarf beträchtlich. Eine Anhebung von 5 dB z. B. bedeutet etwa 3fache Leistung im angehobenen Frequenzbereich.

Wegen der geringen bei hohen Frequenzen auftretenden Energien ist eine Höhenanhebung meist unbedenklich möglich.

3. Das Zusammenschalten mehrerer Lautsprecher

Wie aus den unter Punkt 2 erläuterten Gesichtspunkten hervorgeht, ist es immer, wenn eine hochwertige Anlage verlangt wird, erforderlich, mehrere Lautsprecher zu kombinieren. Kombinationen können – außer für einen geforderten großen Frequenzbereich – auch für eine gleichmäßige Beschallung eines Raumes von verschiedenen Punkten aus oder sogar mehrerer Räume notwendig werden.

Um bei Parallelbetrieb von Lautsprechern das gleichphasige Abstrahlen zu gewährleisten, ist ein Anschluß unserer Lautsprecher rot gekennzeichnet. Legt man zur Prüfung oder zum Vergleich mit Lautsprechern unbekannter Polarität an den roten Anschluß den Pluspol einer etwa 3-Volt-Taschenlampenbatterie (die kurze Kontaktfahne bei Flach- bzw. der isolierte Mittelpol bei Rundbatterien), dann bewegt sich die Membran aus dem Lautsprecher heraus.

Bei der Reihenschaltung von Lautsprechern wird der gelb oder nicht gekennzeichnete Pol des einen mit dem roten Pol des anderen verbunden. Bei Parallelschaltung werden jeweils die roten Pole der Lautsprecher miteinander verbunden.

3.1 Zusammenschaltung von Lautsprechern mit verschiedenen Frequenzbereichen

Hierbei sei vorausgeschickt, daß bekanntlich Drosseln (Induktivitäten) und Kondensatoren (Kapazitäten) einen von der Frequenz abhängigen Wechselstromwiderstand (Scheinwiderstand, Impedanz) haben. Bei tiefen Frequenzen ist er bei Drosseln sehr niedrig und bei Kondensatoren sehr hoch. Mit steigender Frequenz nimmt dieser Unterschied immer mehr ab, bis sich das Verhältnis bei hohen Frequenzen sogar umkehrt. Bei welcher Frequenz der Übergangspunkt liegt, hängt von der Induktivität der Drosseln bzw. der Kapazität der Kondensatoren ab.

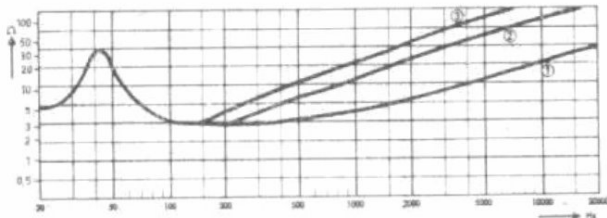


Abb. 1

Scheinwiderstandsverlauf eines Tieftonlautsprechers (P 30/37 A)

1. ohne Drossel
2. mit Drossel 1,5 mH in Reihe
3. mit Drossel 3 mH in Reihe

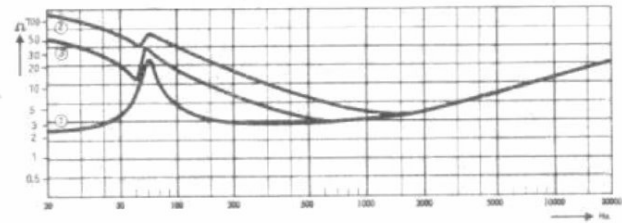


Abb. 2

Scheinwiderstandsverlauf eines Mitteltonlautsprechers (P 203 C)

1. ohne Kondensator
2. mit Kondensator 50 μF in Reihe
3. mit Kondensator 100 μF in Reihe

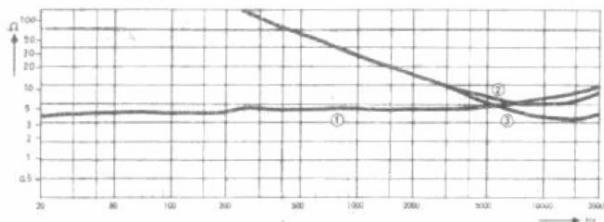


Abb. 3

Scheinwiderstandsverlauf eines Hochtonlautsprechers (HM 10 C)

1. ohne Kondensator
2. mit Kondensator 5 μF in Reihe
3. 2 Stück – mit einem gemeinsamen Kondensator 5 μF in Reihe – parallel

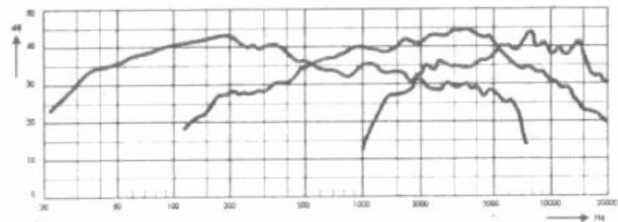


Abb. 4

Prinzipieller Schalldruckverlauf der einzelnen Lautsprecher in der Schaltung nach Abb. 5

Dieses Verhalten von Drosseln und Kondensatoren macht man sich bei der Aufteilung des Tonfrequenzbereichs auf mehrere Lautsprecher zunutze. Dem Lautsprecher für die tiefen Frequenzen schaltet man eine Drossel und dem für die hohen Frequenzen einen Kondensator vor. In Abb. 1 bis 3 ist der Scheinwiderstandsverlauf verschiedener Lautsprecher mit dem zugehörigen Vorschaltelementen dargestellt.

Die erforderlichen Induktivitäts- und Kapazitätswerte richten sich nach den gewünschten Übergangsfrequenzen zwischen den einzelnen Lautsprechern und deren Scheinwiderständen. Bewährt haben sich bei Verwendung eines Tief-, eines Mittel- und eines Hochtonsystems als Übergangswerte etwa die Frequenzen 500 Hz und 4000 Hz. Bei Verwendung eines Tief- oder Mittelton- und eines Hochtonsystems wählt man als Grenzfrequenz etwa 4000 Hz. Bei der Übergangsfrequenz soll der Scheinwiderstand der Reihenschaltung aus Drossel und Tieftonlautsprecher etwa doppelt so hoch sein wie der Scheinwiderstand des Tieftonlautsprechers allein. Für die Kombination von Mittel- bzw. Hochtonlautsprecher gilt sinngemäß das gleiche. Der exakte Übergangspunkt liegt

bei der Frequenz, bei der der Scheinwiderstand beider Reihenschaltungen gleich groß ist. Wie sich eine solche Schaltung auf die Schallabstrahlung der einzelnen Lautsprecher auswirkt, wird im Prinzip in Abb. 4 gezeigt.

Zur Erzielung der angegebenen Frequenzbereiche sind (s. Abb. 1 bis 3) bei Verwendung von 4–5-Ohm-Lautsprechern dem Tieftonlautsprecher eine Drossel 1,5 mH (ISOPHON-Typ D 1), dem Mitteltonlautsprecher ein Kondensator 50 μ F und dem Hochtonlautsprecher ein Kondensator 5 μ F vorzuschalten. Letzterer wird von den ISOPHON-Werken auf Wunsch bereits an den Hoch-Mittelton-Lautsprecher – Typ HM 10 C – angebaut geliefert. Die theoretisch in Reihe mit dem Mitteltonlautsprecher erforderliche Drossel zur Begrenzung der hohen Frequenzen kann entfallen, da, wie aus Abb. 2 erkennbar, der Scheinwiderstand ausreichend zu den hohen Frequenzen hin ansteigt.

In Abb. 5 ist die oben beschriebene Zusammenschaltung dargestellt, und in Abb. 6 der Scheinwiderstandsverlauf der gesamten Zusammenschaltung. Der wahlweise anschaltbare zweite Hochtonlautsprecher gestattet eine breite Abstrahlung der hohen Frequenzen (s. Punkt 2.1 und 4.1).

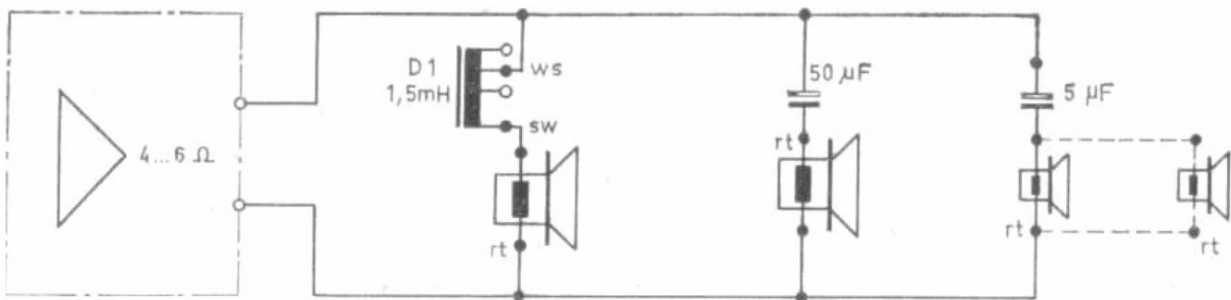


Abb. 5

Tieftöner

Mitteltöner

1 oder 2 Hochtöner

Schaltung einer Kombination aus Tief-, Mittel- und Hochtonlautsprecher (rt = rote, sw = schwarze, we = weiße Kennzeichnung des Anschlusses)

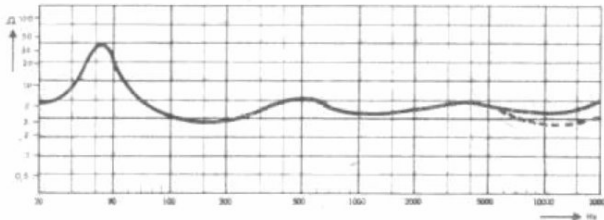


Abb. 6

Scheinwiderstand einer Kombination nach Abb. 5 ... mit 2 Hochtonlautsprechern

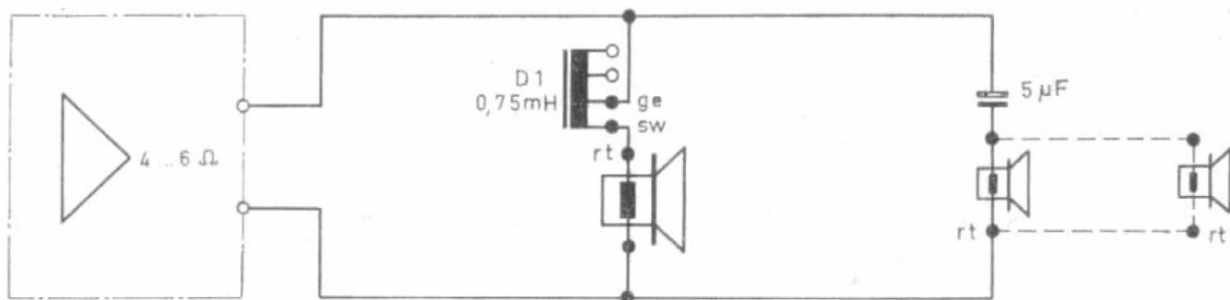


Abb. 7

Tieftöner oder Mitteltöner

1 oder 2 Hochtöner

Schaltung einer Kombination aus Tief- oder Mittelton- und Hochtonlautsprecher (rt = rote, sw = schwarze, ge = gelbe Kennzeichnung des Anschlusses)

Abb. 7 zeigt die Zusammenschaltung eines Tieftonlautsprechers mit 1 oder 2 Hochtonlautsprechern, wenn kein zusätzlicher Mitteltonlautsprecher verwendet werden soll. Die gleiche Schaltung findet auch bei der Kombination eines Mitteltonlautsprechers mit Hochtonlautsprechern Verwendung, wie sie z. B. für Stereo-Anlagen nach Abb. 11 und Abb. 12 benötigt wird. In diesem Fall kann die Drossel D 1 entfallen.

Werden Lautsprecher oder Lautsprechergruppen mit einem anderen Nennscheinwiderstand als 4–5 Ohm zur Erzielung einer größeren Frequenzbereiches kombiniert, so sind die oben angegebenen Induktivitätswerte mit dem gleichen Faktor wie der Lautsprecherscheinwiderstand zu multiplizieren und die Kapazitätswerte durch diesen Faktor zu dividieren.

Beispiel: Ein Hochtonlautsprecher mit 10 Ohm Impedanz besitzt gegenüber 5 Ohm den Faktor 2. Man benötigt also als Vorschaltkondensator statt $5 \mu\text{F}$ nur $2,5 \mu\text{F}$.

Als Kondensatoren sollten verlustarme Elektrolytkondensatoren aus unserem Handelsprogramm, bzw. – bei Wechselspannungen über 15 Volt – MP-Kondensatoren verwendet werden.

Die in der Einführung zu Punkt 3 erwähnte Forderung nach gleichphasiger Abstrahlung aller Frequenzen ist in der in Abb. 5 gezeigten Stellung berücksichtigt. Die gegenphasige Polung der Lautsprecher erklärt sich durch eine phasendrehende Wirkung der Kondensatoren und Drosseln.

Die Belastbarkeit (s. auch Punkt 1.1 und 1.2) von Kombinationen richtet sich in erster Linie nach der Belastbarkeit des Tiefton- und des Mitteltonlautsprechers, da beide den größten Teil der auftretenden Energie zu verarbeiten haben. Man kann bei der oben angeführten Aufteilung der Frequenzen mit einer Belastung des Tieftöners und des Mitteltöners bis zu je 50 % und des Hochtöners oder der Hochtongruppe bis zu 15 % der Gesamtbelastung rechnen. Zu beachten ist dabei allerdings, daß der Tieftöner die größte Bewegungsamplitude zu verarbeiten hat und in dieser Hinsicht zu 100 % belastet wird. Der Mittel- und der Hochtonlautsprecher werden dagegen fast nur thermisch belastet.

Die hier gemachten Belastungsangaben gelten nur bei linearer Einstellung des Verstärkerfrequenzganges, so daß je nach Einstellung des Höhen- und des Tiefenreglers andere Verhältnisse auftreten können. Diese Tatsache ist bei Anlagen, bei denen die Lautsprecher im Betrieb stark ausgelastet werden, unbedingt zu beachten.

3.2 Zusammenschaltung mehrerer Lautsprecher mit gleichem Frequenzbereich

Um eine ausreichend hohe Belastbarkeit zu erreichen oder um von einem Verstärker aus mehrere Räume bzw. einen Raum gleichmäßig mit mehreren Lautsprechern beschallen zu können, ist es häufig notwendig, Lautsprecher oder Lautsprechergruppen mit annähernd gleichem Frequenzgang richtig zusammenzuschalten. Dies erreicht man am einfachsten mit Verstärkern, die einen 100-Volt-Ausgang besitzen.

3.21 100-Volt-Anlagen bzw. -Verstärkerausgänge

Hierbei muß jeder Lautsprecher über einen Übertrager angepaßt werden. Der Übertrager muß so bemessen sein, daß bei 100 Volt Eingangsspannung die gewünschte Leistung am Lautsprecher auftritt. Der Übertrager muß sekundär die Impedanz des Lautsprechers – meist 4 bis 6 Ohm – besitzen. Primär ist die Impedanz nach der geforderten Leistungsaufnahme wie folgt zu berechnen:

$$\text{Impedanz} = \frac{100 \text{ V} \cdot 100 \text{ V}}{\text{geforderte Leistungsaufnahme}}$$

Beispiel: Bei 2 Watt Leistungsaufnahme des Lautsprechers ist die Primär-

$$\text{impedanz} = \frac{10000}{2} = 5000 \text{ Ohm} = 5 \text{ kOhm}.$$

Insgesamt können an eine 100-Volt-Anlage maximal so viele Lautsprecher angeschlossen werden, bis die insgesamt entnommene Leistung dem Nennwert des Verstärkers entspricht. Die Leitungslängen sind auch bei kleinen Leitungsquerschnitten praktisch nicht begrenzt. Es ist aber auf die für Starkstromanlagen vorgeschriebene Isolation zu achten.

3.22 4–6 Ohm, 8 Ohm und 16 Ohm Anlagen bzw. Verstärkerausgänge

Bei diesen Anlagen müssen die Lautsprecher so zusammengeschaltet werden, daß der Gesamtscheinwiderstand der Schaltung der Impedanzforderung des Ver-

stärkers annähernd entspricht. Wird nicht die volle Leistung des Verstärkers benötigt, so darf der Gesamtscheinwiderstand über der Verstärkerimpedanz liegen.

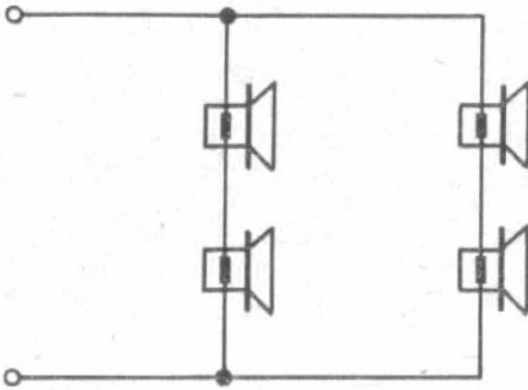


Abb. 8

Zusammenschaltung von
4 Stück Lautsprechern
zu je 4,5 Ohm
zu insgesamt 4,5 Ohm

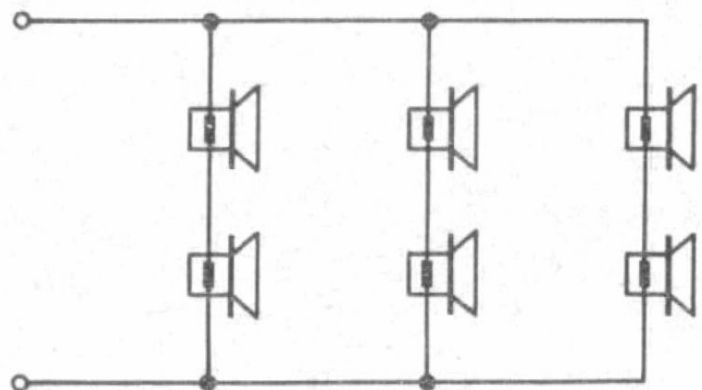


Abb. 9

Zusammenschaltung von
6 Stück HM 10 C zu je
5 Ohm zu insgesamt 3,3 Ohm

An einem 4–6-Ohm-Verstärkerausgang kann man z. B. vier Lautsprecher zu je 4,5 Ohm anschließen, indem man je zwei Stück in Reihe und die beiden Gruppen parallel schaltet (s. Abb. 8). 16 Lautsprecher schaltet man sinngemäß, d. h. 4 Gruppen zu je 4 Stück in Reihe und die 4 Gruppen parallel.

Will man eine hoch belastbare Lautsprechergruppe mit breitem Streuwinkel aus Hochtonlautsprechern zusammenstellen, so kann man 6 Stück nach Abb. 9 schalten. Die geringfügige Fehlanpassung schadet dabei im allgemeinen nicht, wenn man nur dafür sorgt, daß die Wiedergabe durch Vorschalten eine 4- bis 50- μ F-Kondensators vor die Kombination auf die hohen Frequenzen beschränkt bleibt.

Bei Verwendung eines Verstärkers mit anderen Ausgangsimpedanzen ist entsprechend zu verfahren. 2 Lautsprecher zu je 4,5 Ohm in Reihe geschaltet passen z. B. zu 8-Ohm-Ausgängen und 4 Stück zu je 4,5 Ohm in Reihe zu 16-Ohm-Ausgängen. 16 Lautsprecher schaltet man an einen 16-Ohm-Ausgang zu je 8 Stück in Reihe und die beiden Gruppen parallel.

Grundsätzlich sollte man, wenn man die Wahl zwischen verschiedenen Möglichkeiten hat, eine Parallelschaltung oder eine gemischte Parallelschaltung einer reinen Reihenschaltung vorziehen, da bei Reihenschaltungen die Resonanzfrequenzen der Einzelsysteme sich gegenseitig beeinflussen.

Bei Parallelschaltung mehrerer Lautsprechergruppen ist, um eine gleichmäßige Leistungsaufnahme aller Lautsprecher zu erreichen, darauf zu achten, daß alle Gruppen den gleichen Scheinwiderstand besitzen.

Die Belastbarkeit einer Zusammenschaltung aus mehreren Lautsprechern ohne Verwendung von Frequenzweichen ist grundsätzlich das Produkt aus der Anzahl der Lautsprecher und der Belastbarkeit des am schwächsten belastbaren Lautsprechers. Es hat also keinen Zweck, hoch belastbare Typen mit niedrig belastbaren zu kombinieren, wenn eine große Belastbarkeit der Gesamtanlage gefordert wird. Werden z. B. 4 Lautsprecher, von denen einer mit 2 Watt und drei Stück mit je 8 Watt belastbar sind, nach Abb. 8 zusammenschaltet, so beträgt die Gesamtbelastbarkeit $4 \times 2 \text{ Watt} = 8 \text{ Watt}$.

Die Länge der Verbindungsleitungen zwischen Verstärkern und Lautsprechern darf bei 4–6 Ohm Verstärkerausgängen, um eine merkliche Lautstärkeverminderung zu vermeiden, bei Verwendung von Leitungen von $2 \times 0,75 \text{ mm}^2$ Querschnitt maximal 10 m und bei Verwendung von Leitungen von $2 \times 1,5 \text{ mm}^2$ Querschnitt maximal 20 m betragen. Bei 16 Ohm Verstärkerausgängen sind die entsprechenden Werte 40 m bzw. 80 m.

3.23 Einstellen der Lautstärke

Bei gleichzeitiger Beschallung mehrerer Räume von einem Verstärker aus ist es häufig wünschenswert, die Lautstärke der verschiedenen Lautsprecher einzeln einstellen zu können. Bei der Verwendung von 100-Volt-Anlagen ist eine grobe – häufig ausreichende – Einstellmöglichkeit durch den Anschluß jedes einzelnen Lautsprechers über einen gesonderten Übertrager mit Anzapfung gegeben. Bei anderen Anlagen, besonders wenn eine feinere Einstellmöglichkeit gefordert wird, schaltet man dem Lautsprecher ein Drahtpotentiometer mit etwa dem 10fachen Widerstand des Lautsprechers, meist also 50 Ohm wie in Abb. 10 dargestellt, vor.

Die Belastbarkeit des Potentiometers muß mindestens der Belastbarkeit des Lautsprechers entsprechen.

Bei dieser Anordnung werden, wenn der Innenwiderstand des Verstärkers nicht sehr klein ist (maximal $\frac{1}{3}$ des Belastungswiderstandes), die übrigen Lautsprecher beim Verstellen des Potentiometers in ihrer Lautstärke etwas beeinflußt. Abhilfe ist durch Verwendung eines sogenannten L-Reglers möglich, wovon aber praktisch nur in Studioanlagen Gebrauch gemacht wird.

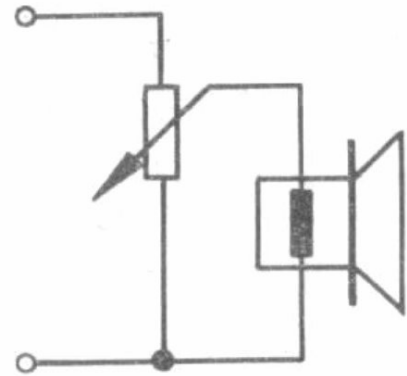


Abb. 10

Anschluß eines Potentiometers zur Lautstärkeeinstellung

4. Lautsprecheranlagen

Wenn man sich vergegenwärtigt, unter wieviel verschiedenen Bedingungen Lautsprecheranlagen eingesetzt werden, so wird einem klar, daß sich keine Universal-Rezepte aufstellen lassen. Es sollen daher nachstehend nur einige grundsätzliche Fragen der wesentlichsten Anwendungsgebiete behandelt werden.

4.1 Heimanlagen

Bei Heimanlagen und vergleichbaren Anlagen in Gaststätten und ähnlichen Räumlichkeiten wird heute, wenn man von Ausnahmen, wie z. B. der Beschallung von Nebenräumen, absieht, allgemein eine hohe Wiedergabetreue (High Fidelity – kurz HiFi) verlangt. Es soll bei dem Hörer der Eindruck entstehen, als erlebe er in seinem Wohnraum eine Original-Darbietung. Dafür ist es erforderlich, daß die Lautsprecheranlage einen möglichst großen Teil aller hörbaren Frequenzen abstrahlen kann. Für HiFi-Anlagen verlangt man heute einen Mindestwiedergabebereich von 50–12 500 Hz.

Aber nicht nur die Hörbarkeit der Frequenzen muß gewährleistet sein, sondern der Schall soll sich im Wiedergaberaum etwa so verteilen, wie es den Ausbreitungsverhältnissen bei einer Original-Darbietung im Konzertsaal entspricht. Es ist leicht einzusehen, daß das nicht allein von den Lautsprechern, sondern im hohen Maße von der Größe und Ausstattung des Wohnraumes abhängt.

Der Raum darf weder eine auffällig große Halligkeit noch eine übermäßig starke Dämpfung aufweisen. Eine zusätzliche Schalldämpfung kann durch Gardinen, Vorhänge, Polstermöbel, Teppiche usw. erreicht werden. Zu beachten ist bei der Ausstattung eines Raumes, daß die Wand hinter den Lautsprechern weniger bedämpft sein sollte als der Raumteil, in dem sich die Zuhörer befinden.

Wie bereits erwähnt (s. Punkt 2.1 und Punkt 3.1), werden hohe Frequenzen von Lautsprechern nicht unter breitem Winkel, sondern gebündelt abgestrahlt. Da eine solche Abstrahlung nicht den Verhältnissen im Konzertsaal entspricht und außerdem der Zuhörer durch die Kleinheit des vom Lautsprecher gleichmäßig beschallten Bereichs zu sehr an einen bestimmten Platz gebunden ist, wählt man häufig breit abstrahlende Kombinationen wie z. B. den ISOPHON-Typ

DHB 6/2-10 oder stellt entsprechende Kombinationen selbst zusammen. Ein Beispiel, wie man zwei Hochtonlautsprecher beim Selbstbau einer Box gegeneinander gewinkelt einbauen kann, zeigt Abb. 15.

Da die Abwinkelung der Hochtonlautsprecher meist nur seitlich, nicht aber von oben nach unten erfolgt, sollte die Abstrahlung der hohen Frequenzen möglichst in Ohrhöhe der Zuhörer erfolgen. Ist dies nicht möglich, so können die Hochtonlautsprecher auch schräg auf die Zuhörer ausgerichtet werden.

Alle bisherigen Angaben beziehen sich sowohl auf Mono- wie auch auf Stereo-Heimanlagen. Nachstehend seien noch einige spezielle Ausführungen für Stereo-Anlagen gemacht:

Bei der monophonen Wiedergabe wird der Klang als Gemisch empfunden, in dem nur eine räumliche Dimension erkennbar ist, nämlich die Tiefe. Der Klang der vom Aufnahmemikrophon weiter entfernter Instrumente unterscheidet sich von dem der näheren durch geringere Stärke und veränderte Klangfarbe. Beim Stereo-Prinzip kommt eine wichtige Komponente hinzu: Die Breiten-dimension, die von den rechts und links angebrachten Stereo-Strahlern der Lautsprecheranlage (sogenannte Basislautsprecher) in den Wiedergaberaum projiziert wird.

Auf diese Weise werden beispielsweise die Instrumentengruppen eines Orchesters in einer großen Fläche vor dem Zuhörer ausgebreitet, wobei die verschiedenen Standorte der einzelnen Instrumente deutlich unterscheidbar werden. Dadurch ergibt sich gegenüber der monophonen Wiedergabe, bei der auch unter Verwendung mehrerer Lautsprecher das Klanggemisch letzten Endes doch nur einer Quelle entstammt, eine viel größere Differenziertheit des Klangbildes. Diese Durchsichtigkeit fasziniert ebenso wie die Fülle des Klages, die aus der ganzen Fläche zwischen den beiden Eck-Lautsprechern und deren Umgebung herauszukommen scheint.

Der Stereo-Eindruck wird beim Zuhörer in erster Linie durch Töne, die im Frequenzbereich zwischen 250 Hz und 5000 Hz liegen, hervorgerufen. Dieser Frequenzbereich muß auf jeden Fall von zwei räumlich und elektrisch voneinander getrennten gleichartigen Strahlern wiedergegeben werden, und zwar wird der Stereo-Eindruck um so wirksamer, je größer der gegenseitige räumliche Abstand dieser Strahler ist. Als Norm kann gelten, daß der Zuhörer diese Strahler in einem Winkel von 60–90° zueinander erblicken soll. Bei 4 Meter gegenseitigem Strahler-Abstand liegt z. B. der günstigste Platz für den Zuhörer etwa 2–3,5 m von der Mitte zwischen den beiden Strahlern in senkrechter Richtung entfernt. Wie weit der Hörer von dieser Mittellinie abweichen darf oder – anders ausgedrückt – welcher Anzahl von Zuhörern das stereofonische Gleichgewicht von links oder rechts ohne wesentliche Verschiebung richtig vermittelt wird, hängt außer von den Raumeigenschaften, von der Art der Stereo-Strahler ab.

Diese Gleichgewichtszone ist schmal, wenn auf beiden Seiten Einzellautsprecher mit starker Richtwirkung benutzt werden, hingegen breit, wenn Strahler verwendet werden, welche die Stereo-Frequenzen in breitem Winkel abstrahlen. Einzellautsprecher (sogenannte Punktstrahler) vermitteln allerdings eine hervorragende Ortungsmöglichkeit bei schmaler Hörzone; Breitstrahler hingegen eine breite Hörzone bei größerer Klangfülle, aber verminderter Ortungsmöglichkeit.

Die Abstrahlung der Frequenzbereiche kann mit drei verschiedenen Lautsprecheranordnungen erfolgen.

- A. Von jeder Seite alle Frequenzen räumlich und elektrisch getrennt, also auf beiden Seiten Allfrequenz-Lautsprecherkombinationen nach Abschnitt 5.1.
- B. Von jeder Seite werden nur die Stereo-Frequenzen oberhalb 250 Hz abgestrahlt, die tiefen Frequenzen bis 250 Hz dagegen von zwei elektrisch getrennt bleibenden Tieftönern, die dicht beieinander in der Mitte zwischen den Basislautsprechern oder sogar in einem gemeinsamen Gehäuse untergebracht sind. Die Schaltung einer solchen Anlage erfolgt z. B. nach Abb. 11. Geeignete Basislautsprecher finden Sie unter Punkt 5.2.
- C. Von jeder Seite werden nur die Stereo-Frequenzen oberhalb 250 Hz abgestrahlt, die tiefen Frequenzen bis 250 Hz dagegen nur von einem dazwischen stehenden Tieftöner, der aus beiden Kanälen gemeinsam gespeist wird.

Bei Verstärkern mit eingebauten Ausgangsübertragern, die getrennte Anschlußmöglichkeiten für 4- bis 6-Ohm- und 15- bis 16-Ohm-Lautsprecher besitzen, kann der gemeinsame Tieftonlautsprecher entsprechend Abb. 12 angeschlossen werden. Bei anderen Typen, bei denen ein Mono-Ausgang (Summe A + B) vorhanden ist, kann der Differentialübertrager DF 10 entfallen und der Tieftonlautsprecher mit Drossel D 1 und Elektrolytkondensator 250 μF direkt an den Summenausgang angeschlossen werden.

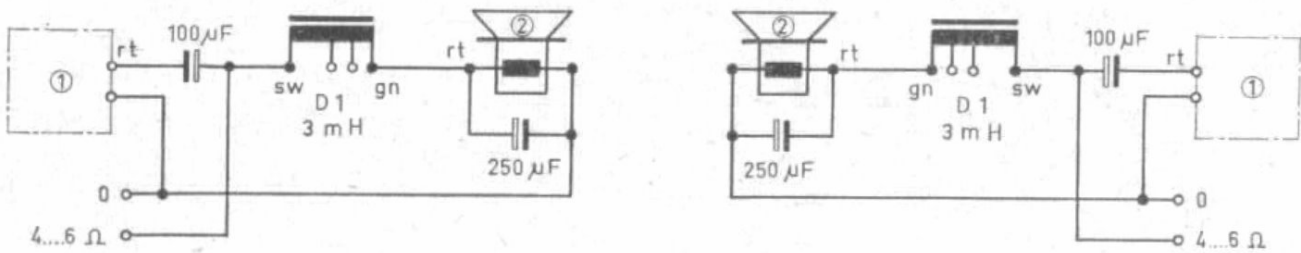


Abb. 11

Stereo-Anlage mit zwei Tieftonlautsprechern in der Mitte

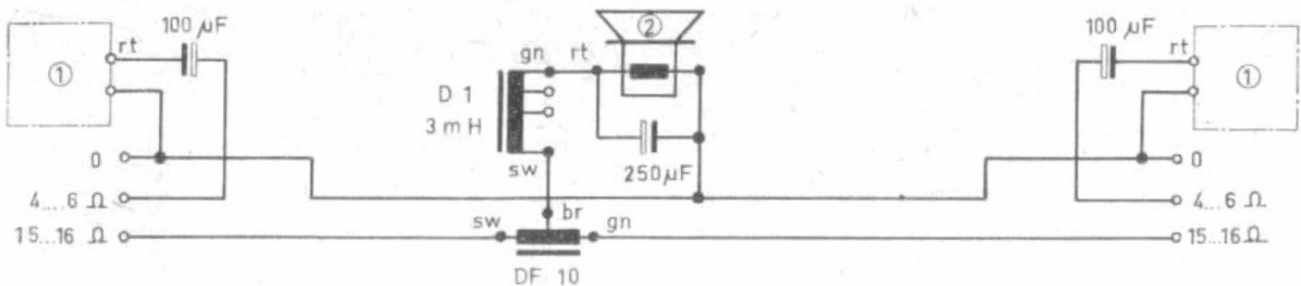


Abb. 12

Stereo-Anlage mit einem gemeinsamen Tieftonlautsprecher in der Mitte

Erläuterungen zu Abb. 11 und 12

1. Basislautsprecher rechts und links
2. Tieftonlautsprecher rechts und links bzw. in der Mitte

rt = rote, sw = schwarze,
gn = grüne, br = braune Kennzeichnung des Anschlusses

In Zweifelsfällen ist es auf jeden Fall zweckmäßig, sich von dem Verstärkerhersteller über das richtige Anschalten der Lautsprecher beraten zu lassen.

Die unter B und C angeführten Verfahren bieten für das Stereo-Klangbild einen gewissen Vorteil. Es zeigt sich nämlich bei manchen Stereo-Aufnahmen, die mit Anordnungen nach A wiedergegeben werden, daß die räumliche Mitte zwischen den Lautsprechern klanglich zu leer erscheint. Dem wirken in der Mitte eingesetzte Tieftöner, die noch einen gewissen abnehmenden Anteil an Stereo-Frequenzen erhalten, entgegen.

Bei einigen neueren Verstärkern ist dieser Effekt allerdings nicht mehr wichtig, da die Möglichkeit besteht, beide Kanäle beliebig zu mischen, was ebenfalls dem Eindruck der leeren Mitte entgegenwirkt.

Bei der Auswahl der Lautsprecher ist zu beachten, daß der oder die Tieftonlautsprecher im vorliegenden Fall, wo sie bis 250 Hz benutzt werden, nur etwa 25 % der Leistung jedes Kanals aufnehmen. Dementsprechend müssen die Basislautsprecher eine ausreichende Belastbarkeit besitzen (s. auch Punkt 2.3).

Grundsätzlich sollten für beide Stereo-Kanäle gleiche Lautsprecherkombinationen verwendet werden, um eine gleichmäßige Wiedergabe beider Kanäle zu erreichen. Geringe Unterschiede, wie sie durch Fertigungsstreuung innerhalb eines Typs auftreten können, stören bei ISOPHON-Lautsprechern durch die engen Toleranzen innerhalb der Fertigung nicht. Sie sind im allgemeinen geringer als die durch die Unsymmetrie des Hörraumes auftretenden Unterschiede.

4.2 Anlagen zur Beschallung von Sälen

Soweit es die räumlichen Gegebenheiten (nicht zu großer Raum ohne Pfeiler und Nischen) erlauben, kann nach Punkt 4.1 verfahren werden.

Bei großen Sälen empfiehlt sich die Verwendung von Tonzeilen, die eine etwa gleichmäßige Beschallung von einer Schmalseite aus erlauben. Die Schaltung solcher Zeilen wird zweckmäßigerweise nach Punkt 3.22 vorgenommen, wobei bei großen Leitungslängen jede Zeile nach Punkt 3.21 an einen 100-Volt-Verstärker anzuschließen ist.

Zum Aufbau von Tonzeilen können – je nach dem geforderten Frequenzbereich – unsere Typen P 10 C bis P 25 A verwendet werden, wobei letzterer für Musikwiedergabe zu bevorzugen ist. In manchen Fällen kann eine Ergänzung durch Hochtonlautsprecher zweckmäßig sein.

Besonders einfach lassen sich Tonzeilen durch Montage einer Reihe von Gehäuselautsprechern, wie z. B. unsere Typen TWEL 5 R, ZL 4 und TW 4 auf eine Wand oder ein Brett herstellen.

In anderen Fällen, in denen Tonzeilen wegen der komplizierten Form der Räume oder weil an verschiedenen Punkten unterschiedliche Lautstärken vorhanden sein sollen, nicht anwendbar sind, arbeitet man mit verteilten Einzellautsprechern. Es können hier sowohl kleine Gehäuselautsprecher (z. B. ZL 5R, ZL 6, TWEL 5 R, TW 4 und TW 5 RTS) als auch in Wände oder Decken eingebaute Lautsprecherchassis verwendet werden (z. B. DW 18, DW 1521 und FREL 6 R). In solchen Fällen empfiehlt sich grundsätzlich die Verwendung von 100-Volt-Anlagen mit in Lautsprechernähe angeordneten Übertragern.

4.3 Anlagen zur Aufstellung im Freien

Die Beschallung von freien Flächen erfolgt im Prinzip genauso wie die von größeren Räumen. Es sind nur wegen der fehlenden Reflektionen bedeutend größere Verstärkerleistungen erforderlich. Außerdem ist auf wetterfeste Auslegung der Gehäuse zu achten. Die Membranen der ISOPHON-Lautsprecher besitzen zwar eine Imprägnierung gegen übermäßige Wasseraufnahme, müssen aber trotzdem vor Spritzwasser geschützt werden.

Insbesondere für Sprachwiedergabe gut geeignete Lautsprecher mit hohem Wirkungsgrad in spritzwassergeschützter Ausführung sind die ISOPHON-Hornlautsprecher DKT 6 B 200, DKT 8 F 210, DKT 8 A 400 und DKT 8 F 2246.

5. Bewährte Lautsprecherkombinationen

5.1 Allfrequenz-Kombinationen für HiFi-Anlagen

5.11 Fertige Gehäuselautsprecher

Als fertige Gehäuselautsprecher können die Typen unserer HSB-, KSB- und FSB-Serien verwendet werden.

5.12 Selbstbauvorschläge

A. 1 PT 203 C und 1 oder 2 HM 10 C nach Abbildung 7 zusammenschaltet*

B. 1 P 25 A und 1 oder 2 HM 10 C nach Abbildung 7 zusammenschaltet*

C. 1 P 25 A und 1 P 1521 K und 1 oder 2 HM 10 C nach Abbildung 5 zusammenschaltet

D. 1 P 30/31 A oder 1 P 30/37 A und 1 P 21 A und 1 oder 2 HM 10 C nach Abbildung 5 zusammenschaltet

E. 1 P 30/31 A oder 1 P 30/37 A und 1 DHB 6/2-10 parallel geschaltet

F. 1 P 38 A und 6 HM 10 C (jeweils mit 1 Kondensator 5 μ F vorgeschaltet)

Die Schaltung der Hochtonlautsprecher erfolgt nach Abb. 9. Statt des einzelnen Kondensators vor jedem Hochtonlautsprecher kann auch der gesamten Schaltung nach Abb. 9 ein gemeinsamer Kondensator 6 μ F mit entsprechend höherer Spannungsfestigkeit (MP-Kondensator) vorgeschaltet werden.

G. 1 PSL 130 und 1 HMS 8 nach Abb. 7 zusammenschaltet

H. 1 PSL 170 und 1 HMS 8 oder 1 HMS 1318 nach Abb. 7 zusammenschaltet

I. 1 PSL 203 und 1 HMS 1318 nach Abb. 7 zusammenschaltet

K. 1 PSL 245 und 1 HMS 1318 nach Abb. 7 zusammenschaltet

L. 1 PSL 300 und 1 HMS 1318 nach Abb. 7 zusammenschaltet

* In diesen Fällen kann die Drossel in Abb. 7 entfallen.

Die Gesamtbelastbarkeit und die untere Grenzfrequenz der Selbstbauvorschläge ist je nach Einbau des Tieftonlautsprechers unterschiedlich (s. auch Punkt 6.22). Die obere Grenzfrequenz beträgt jeweils 18 000 bis 20 000 Hz.

5.13 **Vorgefertigte Kombinationen zum Selbsteinbau und Breitbandlautsprecher**
Orchester, PH 2132 E, G 3037, BS 35/8, BS 20/4,, BS 15/4, BS 12/4, BPSL 100 und BPSL 130

5.2 **Stereo-Basis-Lautsprecher**

5.21 **Fertige Gehäuselautsprecher**
Alle Typen der KSB-, FSB- und ZL-Serien.

5.22 **Selbstbauvorschläge**

P. 1 P 203 C und 1 oder 2 HM 10 C nach Abb. 7 zusammengeschaltet*

Q. 1 P 203 C und 1 oder 2 HMS 1318 nach Abb. 7 zusammengeschaltet*

R. 6 P.713 E nach Abb. 9 zusammengeschaltet

S. 1 BPSL 100

T. 1 BPSL 130

* In diesen Fällen kann die Drossel in Abb. 7 entfallen.

Die Dauerbelastbarkeit der Selbstbauvorschläge P. bis T. beträgt bei Anschluß nach Abb. 11 oder Abb. 12 jeweils etwa 15 Watt. Die obere Frequenzgrenze ist bei P., S. und T. 20 000 Hz und bei Q. und R. 18 000 Hz. Da keine Abstrahlung tiefer Frequenzen erforderlich ist, kann das Gehäuse für diese Kombination so klein ausgeführt werden, daß die Lautsprecher gerade Platz haben. Empfehlenswert ist ein vollständig geschlossenes Gehäuse, das mit Dämpfungsmaterial lose gefüllt ist.

6. **Lautsprechergehäuse**

Da die ISOPHON-Werke sich ausschließlich mit der Serienfertigung von Lautsprechern befassen, ist es ihnen nicht möglich, Leergehäuse oder Gehäuselautsprecher in Sonderanfertigung zu liefern. Die nachstehenden Ausführungen sollen es jedem Interessenten ermöglichen, Gehäuse nach seinen eigenen Wünschen anzufertigen oder von einem Tischler anfertigen zu lassen.

6.1 **Wirkungsweise**

Lautsprechergehäuse stellen nicht allein eine mehr oder weniger gut aussehende Verkleidung der Lautsprecher dar, sondern sollen in erster Linie die Abstrahlung der tiefen Frequenzen ermöglichen. Sie sind daher ebenso wichtig für eine gute Wiedergabe wie die Lautsprecher selbst.

Betreibt man ein Lautsprecherchassis freistehend, so wird der Schall von der Membran sowohl nach vorn als auch nach hinten abgestrahlt. Ist der Durchmesser des Lautsprecherchassis klein gegenüber der Wellenlänge des Schalls (das ist bei tiefen Frequenzen der Fall), so findet ein Druckausgleich zwischen Membran-Vorderseite und -Rückseite statt. Dadurch gelangt kein Schall in die weitere Umgebung des Lautsprechers. Man spricht dann von akustischem Kurzschluß. Nähert sich in steigender Frequenz die Schallwellenlänge den Lautsprecherabmessungen, so wird mehr Energie abgestrahlt. Bei einem Lautsprecherdurchmesser von $\frac{1}{3}$ der Schallwellenlänge beträgt die abgestrahlte Energie z. B. etwa 80 % der maximal möglichen. Bringt man jedoch rings um den Lautsprecher eine Schallwand an, so wird der akustische Kurzschluß entsprechend der Schallwandgröße verhindert und die Tieftonwiedergabe verbessert. Um bei 30 Hz noch 80 % der möglichen Leistung abstrahlen zu können, ist z. B. ein Schallwanddurchmesser von 3,5 m erforderlich. Bei 100 Hz ist es nur noch 1 m. Schallwände in der erforderlichen Größe lassen sich im allgemeinen nicht unterbringen. Man knickt daher die Schallwand nach hinten um, so daß ein auf einer Seite offenes Gehäuse (wie z. B. bei Rundfunkgeräten) entsteht. Ein solches Gehäuse weist die gleichen Eigenschaften wie eine entsprechend große Schallwand auf. Zusätzlich können allerdings noch Gehäuse resonanzen verschlechternd auftreten.

Verschließt man ein solches Gehäuse vollständig, so ist kein akustischer Kurzschluß mehr möglich, man hat eine „unendliche Schallwand“. Leider hat dieses Verfahren den Nachteil, daß – wenn das Gehäusevolumen nur klein ist – die Resonanzfrequenz des Lautsprechers stark ansteigt. Da unterhalb dieser die Schallabstrahlung stark abfällt, tritt wiederum eine Verschlechterung der Tieftonwiedergabe ein. Um diesen Effekt möglichst gering zu halten, müssen für vollständig geschlossene „Kompaktboxen“ besonders tief abgestimmte Tieftonsysteme, die für extrem große Membranhübe ausgelegt sind, verwendet werden. Solche Lautsprecher werden von den ISOPHON-Werken einzeln unter der Serienbezeichnung PSL... und als Bausatz (fertig verdrahtet mit Hochtonlautsprecher und Frequenzweichen) unter der Serienbezeichnung BS... angeboten. Die für den Selbstbau der zugehörigen Gehäuse erforderlichen Angaben sind in der nachstehenden Tabelle 3 sowie in der jedem Lautsprecher beiliegenden Gebrauchsanleitung aufgeführt.

Bringt man an einem vollständig geschlossenen Gehäuse eine zusätzliche Öffnung an, so ist ein gewisser Druckausgleich möglich, ohne daß ein vollständiger akustischer Kurzschluß stattfindet. Ein spezieller Sonderfall eines solchen Gehäuses ist das „Baßreflexgehäuse“. Bei diesem stimmt man die Gehäuseresonanz (Helmholzresonator) so ab, daß sie zur Anhebung der sonst nur noch schwach abgestrahlten tiefen Frequenzen dient. Da ein echtes Baßreflexgehäuse zur richtigen Abstimmung ein recht großes Luftvolumen und genaue Meßmöglichkeiten benötigt, werden in der nachstehenden Tabelle 4 ausschließlich Angaben über die nicht so kritischen Ausgleichsöffnungen gemacht.

6.2 Ausführung von Lautsprechergehäusen

Wie aus dem vorigen Abschnitt hervorgeht, dient ein Gehäuse in erster Linie zur Erzielung einer einwandfreien Tieftonwiedergabe. Deshalb beziehen sich die nachfolgenden Angaben ausschließlich auf Gehäuse für Tieftonlautsprechersysteme. Mittel- und Hochtonsysteme können in das gleiche Gehäuse mit eingesetzt werden. Sie dürfen aber – um Interferenz- und Intermodulationserscheinungen zu vermeiden – nicht von dem Tieftonlautsprecher zum Schwingen angeregt werden. Mittel- und Hochtonlautsprecher sollten daher auf jeden Fall mit einer zusätzlichen rückwärtigen luftdichten Abdeckung versehen werden. Bei Hochtonlautsprechern ist diese Abdeckung häufig bereits vom Werk her in Form eines geschlossenen Lautsprecherkorbes vorhanden. Die Größe dieser Abdeckung ist nicht kritisch. Zur Vermeidung von Resonanzen sollte sie mit Steinwolle oder Polsterwatte locker gefüllt werden. Es ist dabei – notfalls durch Anbringen eines Schutzbeutels aus weitmaschigem Gewebe – dafür zu sorgen, daß das Dämmmaterial nicht an die Lautsprechermembran kommen kann. Das fertige Gehäuse soll – insbesondere bei Kompaktboxen – möglichst luftdicht sein, da sich jede Undichtigkeit verschlechternd auf die Baßwiedergabe auswirkt. Zum Abdichten von miteinander verschraubten Gehäuseteilen empfehlen wir, selbstklebenden Schaumstoffstreifen oder ein anderes Dichtungsmaterial zwischen diese Teile zu legen.

6.21 Gehäusematerial

Die Wände eines Lautsprechergehäuses sollen so stabil sein, daß sie möglichst nicht mitschwingen. Dazu müssen sie aus ausreichend dickem Material bestehen, das – z. B. mit Kaltleim – sorgfältig zu verleimen ist. Abnehmbare Gehäusewände sind mit kräftigen Schrauben zu befestigen.

Für mittlere Gehäusegrößen dürfte 19 mm starke Tischlerplatte angemessen sein. Ist trotzdem noch ein starkes Schwingen der Gehäusewände zu bemerken, so hilft das Aufleimen kräftiger Leisten. Für Gehäuse mit 45 l Inhalt und weniger genügt als Baumaterial meist sogar 16-mm-Tischlerplatte und bei Gehäusen mit weniger als 8 l Inhalt 8-mm-Tischlerplatte.

Zur Bespannung der Frontseite des Gehäuses wählen Sie bitte ein möglichst lockeres und dadurch schalldurchlässiges Gewebe. Am besten eignen sich spezielle Lautsprecherbespannstoffe, die Sie in einschlägigen Fachgeschäften erhalten können.

Die übrigen Gehäusewände können Sie, je nach Geschmack, beliebig, d. h. mit Furnier, Stoff, Plastikfolie oder Lack, beschichten.

6.22 Bedämpfung von Lautsprechergehäusen

Im Innern eines Lautsprechergehäuses dürfen sich keine stehenden Wellen ausbilden. Deswegen sollen die Wände innen nicht schallreflektierend sein. Die gewünschte Reflexionsverminderung erreicht man durch Auskleiden des gesamten Gehäuses mit einer – je nach Gehäusegröße – bis zu etwa 8 cm starken Schicht Dämpfungsmaterial.

Insbesondere bei vollständig geschlossenen Kompaktboxen ist über die Bedämpfung der Wände hinaus häufig eine zusätzliche Bedämpfung des Tieftonlautsprechers erwünscht. Dazu wird das gesamte Gehäuse locker mit Dämpfungsmaterial gefüllt. Soweit keine genauen Erfahrungswerte für den betreffenden Lautsprechertyp vorliegen, kann die richtige Menge an Dämpfungsmaterial leicht erprobt werden: Ist der Klang der Box in den Bässen unsauber und röhrig, so ist die Box zu wenig bedämpft. Können sich im Gegensatz dazu die Bässe nicht richtig entfalten und klingen unterdrückt, so ist der Tieftonlautsprecher zu stark bedämpft. Zu beachten ist bei den Versuchen, daß die gleiche Menge Dämpfungsmaterial um so stärker wirkt, je näher sie an den rückwärtigen Schallöffnung des Tieftonlautsprechers angeordnet ist.

Gut geeignet als Dämpfungsmaterial sind Stein- und Glaswolle, Polyesterwatte und offenporiger Schaumstoff.

In Tabelle 3 sind Mindestmengen an Dämpfungsmaterial bei der Verwendung von Polyesterwatte angegeben. Die maximale Menge, die bei der Erprobung erforderlich werden kann, ist etwa das Doppelte der in Tabelle 3 angegebenen Menge. Bei Verwendung von Glas- bzw. Steinwolle oder offenporigem Schaumstoff ist etwa die doppelte Gewichtsmenge wie bei der Verwendung von Polyesterwatte erforderlich.

6.23 Gehäuseabmessungen

Die Abmessungen und die Form des Gehäuses können – unter Einhaltung des nach folgender Tabelle gewählten Nettovolumens – frei bestimmt werden. Selbstverständlich ist dabei auf ausreichenden Platz für die Lautsprecher zu achten.

Bei Benutzung der Tabelle achten Sie bitte darauf, daß die Volumenangaben sich auf das nicht mit Watte gepolsterte und noch nicht mit Lautsprechern bestückte Gehäuse beziehen. Beim Einbau von zwei gleichen Tieftonlautsprechern in ein gemeinsames Gehäuse ist zur Erreichung der gleichen unteren Grenzfrequenz wie bei einem Lautsprecher das 1,4fache Gehäusevolumen erforderlich. In Abb. 13 und 14 finden Sie zwei Ausführungsbeispiele für Lautsprechergehäuse. Das Eckgehäuse ist gegenüber der Vitrine in der Baßwiedergabe etwas günstiger, da die Raumecken verstärkend wirken. Außerdem ist die Gefahr von Gehäuseresonanzen durch die unparallelen Wände geringer.

Sollte bei den von Ihnen gewählten Gehäuseabmessungen der Abstand zwischen zwei Außenwänden größer als 1,50 m werden, so nehmen Sie bitte eine Unterteilung durch eine oder mehrere kräftige, gut mit Dämmmaterial belegte Trennwände vor. Die Trennwände sollen entweder nicht über die volle Gehäusebreite gehen oder Durchbrüche von etwa $\frac{1}{4}$ ihrer Fläche aufweisen.

Die Abstände zwischen verschiedenen Gehäusewänden oder Trennwänden sollten niemals genau gleich sein, um eventuell entstehende stehende Wellen auf verschiedene Frequenzen zu verteilen.

Während die Abbildungen 13 und 14 Gehäuse zeigen, die sich zum Einbau eines Tieftonlautsprechers oder eine Koaxial-Kombination, wie die ISOPHON-Typen ORCHESTER und PH 2132 E eignen, ist in Abb. 15 eine erprobte Anordnung der Lautsprecher nach dem unter Punkt 5.12 D angeführten Selbstbauvorschlag dargestellt. Während die Anordnung der Lautsprecher zueinander nicht wesentlich geändert werden sollte, können die Abmessungen des Gehäuses auch hier entsprechend den Angaben der nachstehenden Tabelle gewählt werden.

Tiefton- lautsprecher	Hochton- lautsprecher	Schallwand	Gehäuse- volumen innen	Füllmenge Polsterwatte	untere Grenzfrequenz	Dauer- belastbarkeit	Betriebs- leistung
BPSL 100	—	—	3,5 l	30 g	90 Hz	5 W	2,1 W
BPSL 130	—	—	6,5 l	40 g	75 Hz	6 W	2,1 W
PSL 130	HMS 8	BS 12/8	5 l	40 g	80 Hz	12 W	1,7 W
PSL 130	HMS 8	BS 12/8	10 l	80 g	70 Hz	12 W	1,7 W
PSL 170	HMS 8	—	10 l	80 g	65 Hz	15 W	1,7 W
PSL 170	HMS 8	—	20 l	160 g	50 Hz	15 W	1,7 W
PSL 170	HMS 1318	BS 15/4	10 l	80 g	75 Hz	15 W	1,0 W
PSL 170	HMS 1318	BS 15/4	20 l	160 g	55 Hz	15 W	1,0 W
PSL 203	HMS 1318	BS 20/4	20 l	160 g	60 Hz	20 W	0,85 W
PSL 203	HMS 1318	BS 20/4	40 l	320 g	50 Hz	20 W	0,85 W
PSL 245	HMS 1318	—	40 l	320 g	50 Hz	20 W	0,85 W
PSL 245	HMS 1318	—	60 l	480 g	45 Hz	20 W	0,85 W
—	—	BS 35/8	43 l	350 g	45 Hz	20 W	1,0 W
PSL 300	HMS 1318	—	60 l	480 g	40 Hz	25 W	0,85 W
PSL 300	HMS 1318	—	100 l	1000 g	30 Hz	25 W	0,85 W

Tabelle 3

Lautsprechertyp	Gehäuse- volumen innen	Ausgleichsöffnung	untere Grenzfrequenz		Dauer- belastbarkeit
			mit Öffnung	ohne Öffnung	
PT 203 A	20 l	—	—	70 Hz	12,5 W
	45 l	64 cm ²	50 Hz	60 Hz	
	100 l	50 cm ²	40 Hz	50 Hz	
P 25 A	45 l	64 cm ²	55 Hz	60 Hz	12,5 W
	100 l	50 cm ²	45 Hz	50 Hz	
	160 l	100 cm ²	40 Hz	45 Hz	
PH 2132 E	30 l	—	—	70 Hz	12,5 W
	45 l	64 cm ²	55 Hz	60 Hz	
	100 l	50 cm ²	45 Hz	50 Hz	
	160 l	100 cm ²	40 Hz	45 Hz	
P 30/31 A	100 l	50 cm ²	45 Hz	55 Hz	15 W
P 30/37 A	160 l	100 cm ²	40 Hz	50 Hz	
G 3037	240 l	360 cm ²	35 Hz	45 Hz	
Orchester	100 l	50 cm ²	40 Hz	50 Hz	25 W
	160 l	100 cm ²	35 Hz	45 Hz	
	240 l	360 cm ²	30 Hz	40 Hz	
P 38	100 l	50 cm ²	50 Hz	60 Hz	40 W
	160 l	100 cm ²	40 Hz	45 Hz	
	240 l	360 cm ²	30 Hz	35 Hz	

Tabelle 4

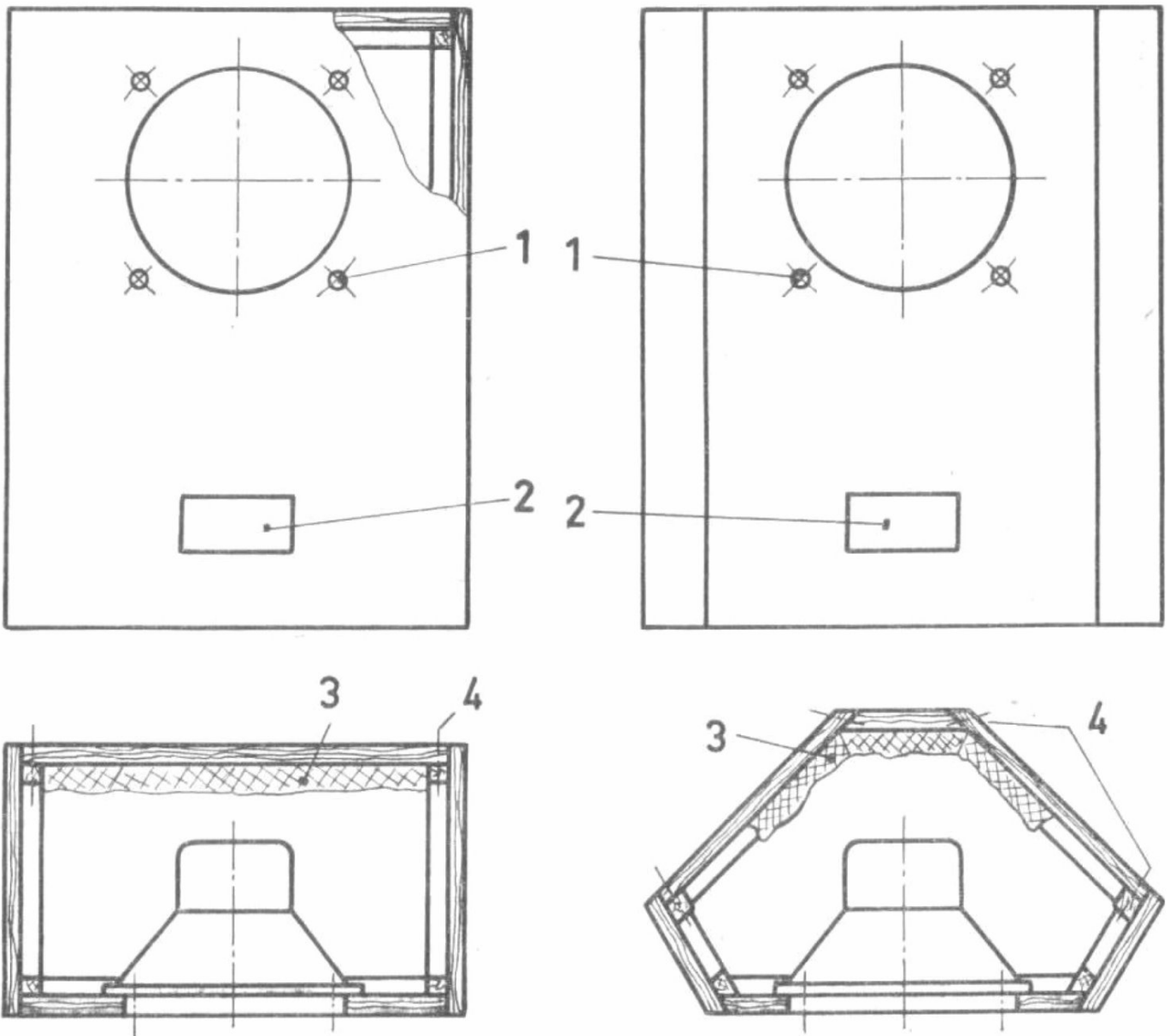


Abb. 13

Lautsprechergehäuse
in Vitrinenform

Abb. 14

Lautsprecher-Eckgehäuse

Erläuterungen zu Abb. 13 und 14:

1. Versenkte Befestigungsschrauben des Lautsprechers
2. Ausgleichsöffnung (kann, wenn das Gehäuse auf Beinen steht, auch im Boden angebracht werden)
3. 2–3 cm dicke Steinwolle- oder Polyesterwatteschicht
4. Befestigungsschrauben der abnehmbaren Rückwand

6.24 Ausgleichsöffnungen und Baßreflexöffnungen

Ebenso wie das Äußere des Gehäuses kann die Form der Ausgleichsöffnungen frei gewählt werden. Es sind sogar mehrere Öffnungen bzw. eine Reihe kleinerer Bohrungen (Lochdurchmesser nicht unter einer Wandstärke) möglich. Während echte Baßreflexöffnungen möglichst in der Nähe des Tieftonlautsprechers liegen sollten, ist die Lage der Ausgleichsöffnungen nicht kritisch. Wesentlich ist nur, daß sie freie Verbindung mit dem Raum, in den der Tieftonlautsprecher abstrahlt, haben.

Bei einem Gehäuse mit einer Lautsprecheranordnung nach Abb. 15 z. B. ist es zweckmäßig, wenn das Gehäuse mit Füßen versehen wird, die Ausgleichsöffnung in den Boden zu schneiden. Ist das nicht möglich, so kann sie auch in der Rückwand oder einer Seitenwand des Gehäuses angeordnet werden. Das Gehäuse ist dann so aufzustellen, daß von der Öffnung bis zur nächsten Zimmerwand oder dem nächsten Möbelstück wenigstens 15 cm Platz bleibt.

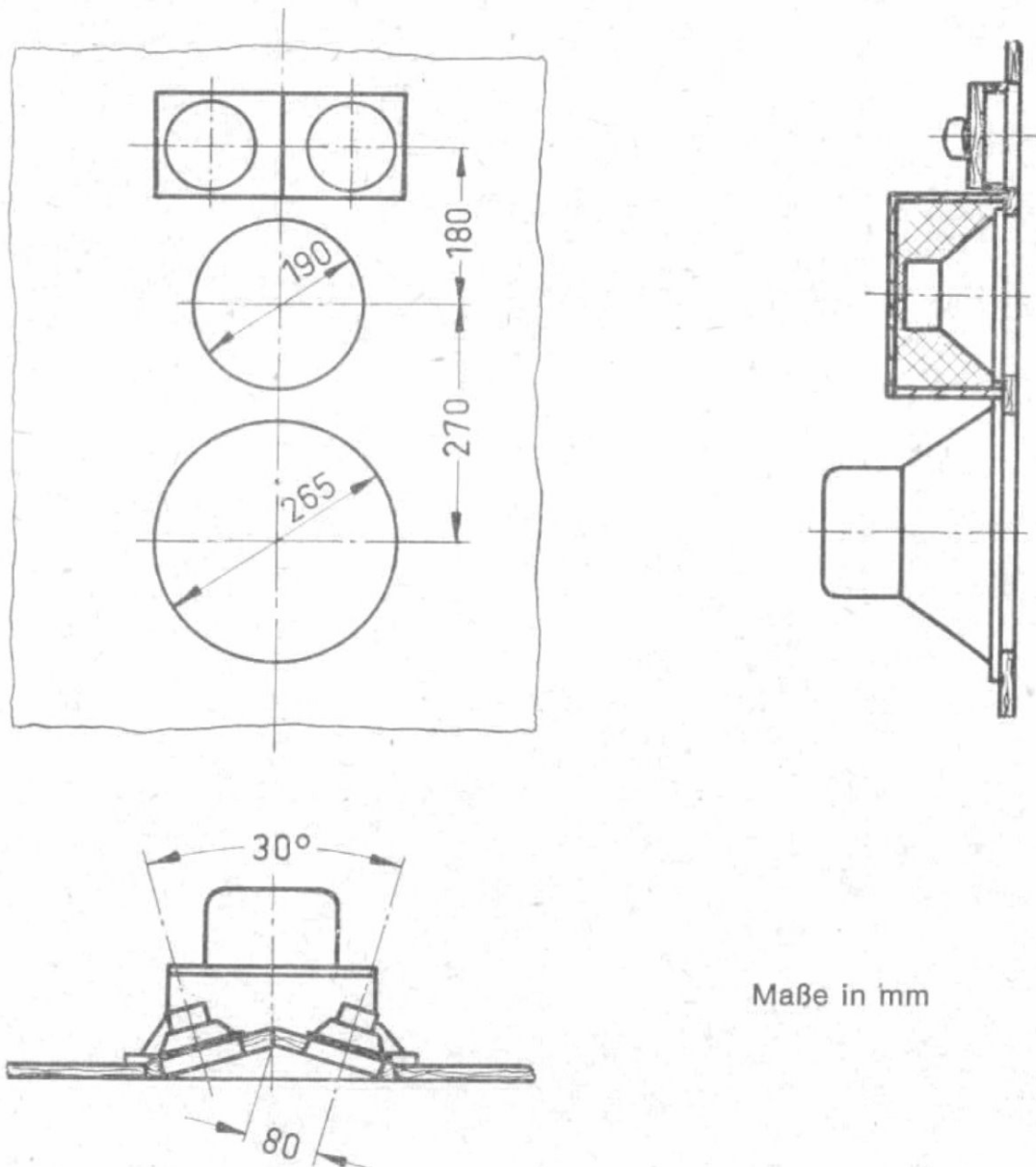


Abb. 15

Anordnung eines Tiefton-, eines Mittelton- und zweier Hochtonlautsprecher auf einer Schallwand

ISOPHON-Werke GmbH

1 Berlin 42

Eresburgstraße 22-23

Tel. (0311) 75 06 01

Fernschreiber: 01-83 282

Telegramme:

Isophon Berlin

Ihr Fachhändler: