DYNACORD

Electro-Voice

Planungshandbuch

Inhaltsverzeichnis

Seite

A) Grundlagen der Beschallungstechnik 6

I. Das Gehör 6

II. Größen und Einheiten der Elektroakustik 11
1. Formeln 11
2. Umrechnung von Pegeln (Dezibel) in physikalische Größen und Verhältnisse 13
3. Schallausbreitung 19
   a) Raumakustik 22
      α) Schallabsorptionsgrade typischer Materialien 26
      β) Abschätzung wichtiger raumakustischer Parameter 27
   b) Freilandakustik 29
   c) Grundbegriffe der Akustik 30

III. Mikrofone 31
1. Mikrofonbauformen 31
2. Mikrofoneigenschaften 31
   a) Schallumwandlung 33
   b) Richtcharakteristik 34
   c) Nahbesprechungseffekt 36
   d) Maximalschalldruckpegel 36
   e) Ersatzschallpegel 36
   f) Frequenzgang – Übertragungsbereich 36
   g) Besonderheiten von Mikrofonen aus dem EV-Programm 37
3. Mikrofontypen und verschiedene Prinzipien 38
4. Mikrofonschaltungen 39

IV. Leistungsverstärker 40
1. Ausgangsleistung 40
2. Leistungsbandbreite 40
3. Fremdspannung, Geräuschspannung 40
4. Empfindlichkeiten 40
5. Verstärkergröße 41
6. Wichtige Schutzfunktionen 41

V. Lautsprecher 42
1. Funktionsprinzipien 42
2. Lautsprecherkombinationen 43
3. Schallführungen, Gehäuse, Gruppenbildung 44
4. Die IP-Schutzarten nach IEC 529 / DIN 40 050 46
5. Schaltungstechnik in Lautsprecheranlagen 47
   a) Grundlage 47
   b) Technische Grundprinzipien 47

VI. Beschallungslösungen 48
1. Klassifizierung von Beschallungsanlagen 48
   a) Unterscheidung nach dem zu übertragenden Programmmaterial 48
   b) Mitkopplungsmöglichkeiten 49
   c) Optisch-akustische Zuordnung 50
   d) Verteilung der Lautsprecher im Raum 50
2. Vorgehensweise bei der Planung von Beschallungsanlagen 50
   a) Klärung der Aufgabenstellung 50
   b) Berechnungen 52

VII. Installationshinweise 55
1. Schaltungssymbole 55
2. Leitungsadernanzahl 57
3. Leitungsdimensionierung 58
   a) Kabeldimensionierungen 58
   b) Nominalimpedanzen 59
4. Induktionsschleifen für Schwerhörigen-Anlage 64
5. Mikrofonleitungen 65
6. Tonträgerleitungen 65
7. Typische Stecker und deren Belegung 65
8. Lautsprecherinstallation 72
9. Schalldruckpegel / dB in Abhängigkeit von Leistung und Entfernung 72
10. Einmessen der Anlage 74
11. Installationsbeispiele 75

VIII. Formelsammlung zur Berechnung von Beschallungsanlagen 76
1. Nachhallzeit 76
2. Effektiver Hallradius 76
3. Konsonantenverlust 76
4. Schalldruckpegel als Funktion der Entfernung und der Leistung 77
5. Einfache Berechnung von Logarithmen 78
6. Legende 78

B) ELA 79

I. Schaltungsbeispiele 79
1. Hochohmige Technik 79
2. Lautstärkesteller 81
a) Anwendungen 81
b) Schaltungen 82

C) ProSound 84

I. Grundlagen 85
1. Begriffserklärungen 85
2. Lautsprecher-Schaltungsbeispiele 88

II. Anwendungsbeispiel 90
1. Veranstaltungshalle 90
2. Typische Lautsprecher- und Elektronik-Komponenten 95

D) Anhang 99

I. Begriffserklärungen 99

A) Grundlagen der Beschallungstechnik

A) I. Das Gehör

Ziel jeder elektroakustischen Übertragung ist die Übermittlung von Informationen über den Gehörsinn des Menschen. Um die Probleme der Beschallungstechnik kennen zu lernen, sollte man sich den Weg der Information vor Augen halten.

Informationsquelle	(menschliche Stimme, Musikinstrument, Tongenerator)
⇓	
Schallfeld	(Raum, Außenraum)
⇓	
Wandler	(Mikrofon)
⇓	
Signalbearbeitung	(Filter, Dynamikregler, Equalizer, Mixer)
⇓	
Verstärker	(Vorverstärker, Endverstärker)
⇓	
Wandler	(Lautsprecher, Kopfhörer)
⇓	
Schallfeld	(Raum, Außenohr)
⇓	
Informationssenke	(Gehör)

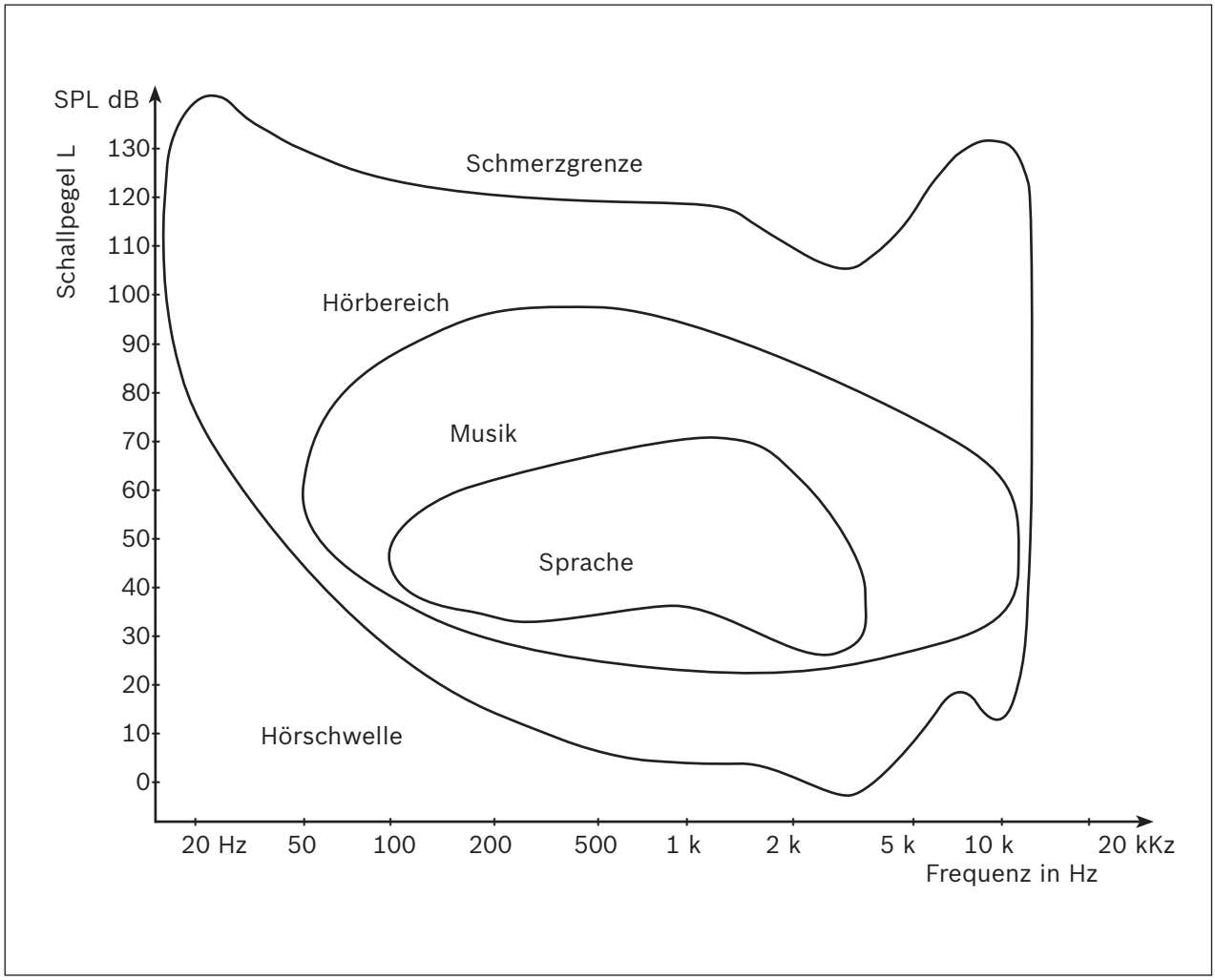
Selbstverständlich können Teile des Informationskanals (Teil zwischen Quelle und Senke) mehrfach und auch in anderer Reihenfolge passiert werden. Die Beispiele sind auch keineswegs vollständig. Wesentlich ist aber, dass das Gehör Ziel jeder Beschallungstechnik ist, natürlich nur in dem hier zu vertretenden Sinne; technisch-medizinische Anwendungen der Ultraschalltechnik interessieren hier z. B. nicht.

Daher sollen zunächst einige wichtige Eigenschaften des Gehörs erläutert werden. Hierbei wird sich allerdings auf das Nötigste beschränkt.

Hörumfang

Landläufig wird gesagt:
Man hört einen Frequenzbereich von 16 Hz bis 16 kHz;
Bei 0 dB (20 µPa) liegt die Hörschwelle;
Bei 140 dB (200 Pa) liegt die Schmerzgrenze.

Jemand, der sich mit Beschallungstechnik beschäftigt, sollte es etwas genauer wissen. Genauer nicht in dem Sinne, dass er noch eine Kommastelle mehr weiß, sondern dass er Zusammenhänge kennt. Wesentliche Zusammenhänge verdeutlicht das folgende Diagramm:



Man erkennt deutlich, dass die Hörschwelle und auch die Schmerzgrenze stark frequenzabhängig sind. Bei sehr tiefen und sehr hohen Frequenzen muss sehr viel mehr Schallenergie als bei mittleren Frequenzen an das Ohr dringen, um die entsprechenden Schwellen zu überschreiten.

Lautstärkeempfindungen

Lautstärkeempfindungen sind nicht durch einfache Größen wie Schalldruck (Pa) oder Schalldruckpegel (dB) zu beschreiben. Das Diagramm rechts zeigt die grundsätzlichen Zusammenhänge zwischen Schalldruck (-pegel), Frequenz und Lautstärke.

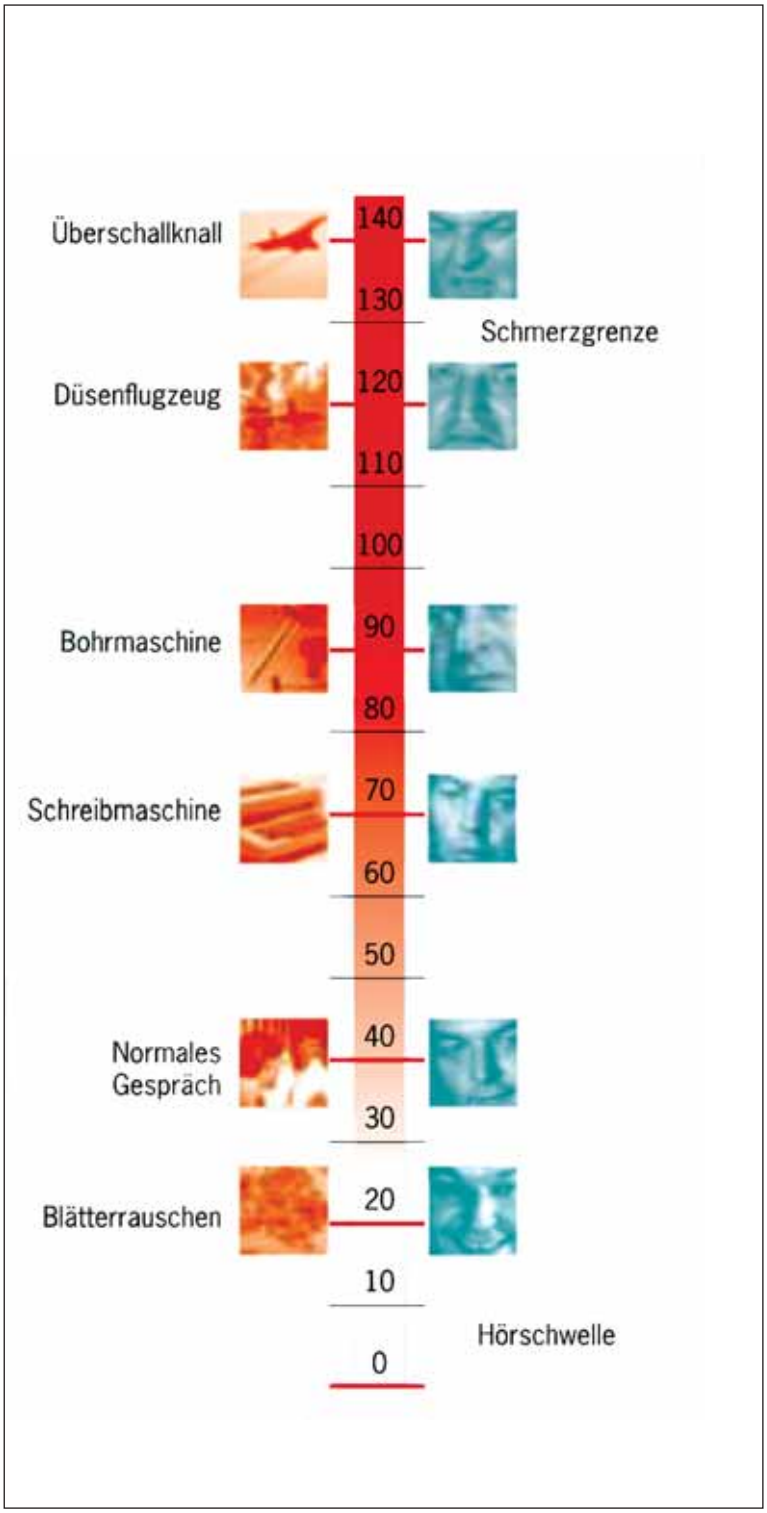
Streng genommen erläutert dieses Bild die Zusammenhänge nur für Einzeltöne, nicht für Tongemische oder Geräusche.

Wichtig ist, dass die Linien gleicher Lautstärke im Bereich 500 – 3 000 Hz untereinander die größten Abstände haben. In diesem Bereich entspricht auch eine Differenz von 10 Phon der Lautstärke einer Schalldruckpegeldifferenz von 10 dB. In diesem Bereich werden Lautstärkeunterschiede vom Gehör am nuanciertesten wahrgenommen.

Für den Elektroakustiker sind zwei andere Interpretationen möglich und wichtig:

Soll eine Lautstärke von 40 Phon in allen Frequenz-bereichen erzielt werden, muss bei 100 Hz rund 10 dB mehr Schalldruck am Ohr herrschen als bei 1 000 Hz. In erster Näherung bedeutet das, dass der Tieftonlautsprecher die 10-fache Schallleistung abgeben muss. Die zweite Interpretation ist die der „Tiefenanhebung durch Schallverstärkung“.

Betrachtet man die 40-Phon-Kurve bei 100 Hz: der Schnittpunkt 100 Hz / 40 Phon liegt etwa auf der 50-dB-Linie, der Schnittpunkt



1000 Hz / 40 Phon natürlich auf der 40-dB-Linie. Verstärkt man diesen phon-linearen Bereich genau linear um 20 dB, befindet man sich bei 1 000 Hz genau auf der 60-Phon-Linie, bei 100 Hz aber deutlich oberhalb dieser Linie. Trotz gleicher Verstärkung in allen Frequenzbereichen wird subjektiv eine Klangänderung wahrgenommen.

Ohne dies weiter zu erläutern, sollte man außerdem noch wissen, dass bei breitbandigen Geräuschen die Erhöhung des Schalldruckpegels um 10 dB subjektiv nur als Verdopplung der Lautstärke registriert wird. In der Endkonsequenz bedeutet das, dass eine Vertausendfachung der Verstärkerleistung zur Erzielung des acht- bis zehnfachen Lautstärkeeindrucks erforderlich ist.

Tonauflösung

Es ist wichtig zu wissen, dass das Normalgehör im mittleren Frequenzbereich (500 – 3 000 Hz) zwischen zwei benachbarten musikalischen Tönen sehr viel mehr Zwischenschritte unterscheiden kann als im Tief- oder Hochtonbereich. Im Zusammenhang mit der besseren Lautstärkeauflösung im gleichen Frequenzbereich sollten hier Übertragungsfrequenzgänge von Geräten besonders kritisch betrachtet werden.

Richtungsabhängigkeit

Gleicher Schalldruck aus unterschiedlichen Richtungen führt zu unterschiedlich starken Höreindrücken. Besonders empfindlich ist das Gehör für Schallereignisse, die von vorn oder von oben kommen. Nach vorn und leicht seitlich kann das Gehör auch relativ genau die Herkunft des Schallereignisses bestimmen (gute Winkelauflösung), nach oben hin ist diese Eigenschaft weniger gut ausgeprägt. Schallereignisse, deren Herkunft nicht genau geortet werden kann, werden häufig der Richtung „oben, hinten“ zugeordnet.

Richtungszuordnung

Die Gehöreigenschaften haben sich in einem jahrtausendelangen Evolutionsprozess herausgebildet. Solange es keine Elektroakustik gab, war es ganz natürlich, die Quelle eines Schallereignisses in der Richtung zu suchen, aus der das Gehör die erste Information erhalten hat, denn alle Zusatzinformationen, die über reflektierende Flächen etc. zum Gehör kommen, haben längere Wege und kommen dadurch später an. Der Teilschalldruck der einzelnen Wege spielt dabei nur eine untergeordnete Rolle; d. h. eine Zweitinformation eines Schallereignisses, die energiereicher als die Originalinformation ist, beeinflusst den Richtungseindruck nicht (zumindest nicht in sehr weit gesteckten Grenzen). Ein typisches Beispiel für diesen Sachverhalt ist ein Theaterschauspieler, der die Hände an den Mund legt und in Richtung Seitenbühne ruft. Obwohl der Energiegehalt der Seitenwandreflexionen in der Parkettmitte wesentlich höher sein dürfte als der des Direktschalls, wird der Schauspieler auch mit geschlossenen Augen in der Bühnenmitte geortet.

Verwirrung in diesen Mechanismus kommt erst seit dem Einsatz elektroakustischer Hilfsmittel. Seitdem ist es möglich, dass mit dem Originalsignal korrespondierende Signale früher beim Hörer eintreffen als das Originalsignal. Ein Teil des Weges zwischen Quelle und Gehör wird durch die „1 000 000 Mal schneller als Luft arbeitenden elektrischen Leitungen“ überbrückt. Daher kann es beim Einsatz von Lautsprecheranlagen zu Fehlortungen kommen.

Verdeckungen

Bisher war die Rede immer nur von Tönen. In der Praxis ist das Hören von Tönen aber die Ausnahme, üblich sind Tongemische und Geräusche, beide zeitlich veränderlich.

Was empfindet das Ohr, wenn mehrere Schallereignisse gleichzeitig auftreten?

Es gibt viele denkbare Kombinationen, am einfachsten, man geht von praktischen Beispielen aus. Da ist als erstes ein Störgeräusch, sehr breitbandig, evtl. impulshaltig, z. B. Verkehrs- oder Arbeitslärm, Geräusche von Klimaanlagen oder sich unterhaltende Menschen. Gegen diese Störgeräusche sollen zum einen Töne oder Klänge übertragen werden (z. B. Aufmerksamkeitsgong) und zum anderen Sprache (Durchsage). Wie sind die Pegelverhältnisse zu wählen?

Dazu folgende Faustregel:

- Töne und Klänge in breitbandigen Störgeräuschen werden erkannt, wenn ihr Pegel etwa gleich dem Störpegel ist („Töne setzen sich durch“);
- Sprache muss im Pegel mindestens 10 dB über dem Störgeräusch liegen, damit sie verstanden wird.

Verständlichkeit

Die Verständlichkeit von Texten ist ein Gütekriterium für Räume und darin installierte elektroakustische Anlagen. Wichtige Mess- und Rechengrößen sind:

- Die Silbenverständlichkeit (wird mit Testhörern, Kunstwörtern und statistischen Methoden ermittelt, sehr aufwändig); Werte größer 80 % sind gut;
- Der Artikulationsverlust alcons; ca. 100 % Silbenverständlichkeit (kann relativ einfach aus wenigen anderen Raum- und Anlagenkenngrößen ermittelt werden); Werte unter 20 % sind ganz brauchbar;
- STI- oder RASTI-Werte (ursprünglich Messverfahren, Werte können aus Raum- und Anlagenkennwerten abgeschätzt werden, Werte können per Diagramm in Silbenverständlichkeit umgerechnet werden); Werte über 55 % sind gut;
- Deutlichkeitsmaß C50 (wird aus Impulsantwort des Raumes berechnet, kann aus anderen Größen geschätzt werden); Werte über 0 dB sind gut.

(⇒ siehe auch C) I.) Seite 85.

Aus den bis jetzt erläuterten Gehöreigenschaften und allgemeinen Grundregeln für technische Anlagen lassen sich die wesentlichen Aufgaben und Anforderungen einer Beschallungsanlage ableiten:

- Betriebssicherheit und rationelle Bedienung
- Zweckentsprechende Übertragung der Information bezüglich Verständlichkeit und Klang bei Vermeidung von Eigenstörungen (Rückkopplungen, Brummen, Knacken, Knistern);
- Erzielung von dem Genre entsprechenden Lautstärken an allen Zuhörerplätzen, einschließlich der Dosierung der Lautstärke in Abhängigkeit von Umgebungsgeräuschen sowie die Schallversorgung von Aktionsflächen und Nebenräumen;
- Erzielung eines Lautstärkegleichgewichtes zwischen unterschiedlichen Quellen;
- Die Schallquellen müssen lokalisierbar sein (Übereinstimmung Optik-Akustik).

Zusatzforderungen:

- Kompensation raumakustischer Defekte (Verlängerung der Nachhallzeit);
- Inszenierungsunterstützung (Einspielen von Theatergeräuschen aus verschiedenen Richtungen);
- Effektmöglichkeiten (Verfremdungen, Illusionen...).

Eine in der „klassischen“ Literatur zu Beschallungsanlagen kaum erwähnte Forderung ist die Umweltverträglichkeit. Dies gilt insbesondere in der Richtung, dass die ausgestrahlte Schallenergie für den beteiligten Zuhörer eine wichtige Information enthält, für den unbeteiligten Nachbarn nichts als redundanten „Lärm“ bedeutet. Der Anlagenplaner kann sich hier nicht nur auf den Bauakustiker verlassen, auch er hat Mittel in der Hand, die Umweltverträglichkeit seiner Anlagen zu verbessern.

A) II. Größen und Einheiten der Elektroakustik

A) II. 1. Formeln

a) Schalldruck p — [p] = Pa (=10 µbar)
Wechselanteil des Luftdruckes für Frequenzen im Hörbereich (20 Hz – 20 kHz)

b) Bezugs-Schalldruck p_0 — $p_0 = 20\ \mu Pa = 2 \cdot 10^{-5}$ Pa

c) Elektrische Leistung P — [P] = W = VA

d) Akustische Leistung P_{ak} — $[P_{ak}] = W$

e) Schallintensität I
Akustische Leistung pro Fläche — $I = P_{ak}/S$

f) Bezugs-Schallintensität — $I_0 = 10^{-12} \cdot W/m^2$

g) Schall(druck)pegel L_p — $[L_p] = dB$
Logarithmisches Maß für den Schalldruck bzw. die Schallintensität.
$L_p = 20 \lg (p/p_0) = 10 \lg (I/I_0)$

h) Fläche S — $[S] = m^2$

i) Schallabsorptionsgrad α — dimensionslos
Eine materialspezifische Größe, die angibt, welcher Teil der auftreffenden Schallleistung absorbiert (verschluckt) wird.

j) Mittlerer Schallabsorptionsgrad $\overline{\alpha}$ — dimensionslos
Über alle Schallabsorptionsgrde eines Raumes gemittelte Größe

k) Äquivalente Absorptionsfläche A — $[A] = m^2$
(= “Offene Fenster-Fläche”) — $A = \overline{\alpha} \cdot S = \Sigma_i (\alpha_i \times S_i)$

l) Nachhallzeit T_N — $[T_N] = S$
Während T_N fällt nach dem Abschalten einer Schallquelle der Diffusschallpegel um 60 dB ab.

m) Hallradius r_H — $[r_H] = m$
Beim Kugelstrahler (Q = 1) Grenze zwischen direktem und diffusem Schallfeld.

n) Effektiver Hallradius r^*_H — $[r^*_H] = m$
Wie r_H, aber für bündelnden Lautsprecher.
$r^*_H = r \cdot \sqrt{Q}$

o) Bündelungsgrad (Directivity) Q — dimensionslos
Größe zur Beschreibung der Bündelung eines Lautsprechers oder eines Mikrofons.
Q = 1 entspricht Kugelcharakteristik, Q > 1 entspricht Bündelung (in Literatur auch γ).

p) Abstrahlwinkel Φ, Einheit 1° [Φ] = 1°
Winkelbereich um die Bezugsachse eines Strahlers, innerhalb dessen der Schallpegel bei konstanter Entfernung um nicht mehr als 6 dB abnimmt.

q) Elektroakustischer Wirkungsgrad η dimensionslos
$\eta = P_{ak}/P$

r) Lautstärkepegel L_N $[L_N]$ = Phon
Der Zahlenwert des L_N entspricht dem Schallpegel eines gleich lauten 1-kHz-Tones.

s) A-bewerteter Schallpegel L_A $[L_A]$ = dB (A)
Über ein A-Filter (IEC 60 651) gemessener Schallpegel.

t) Lautheit N [N] = sone
Gehörbezogene Größe zur Beschreibung der empfundenen Lautstärke.

u) Spannung U [U] = V

v) Spannungspegel L_U $[L_U]$ = dB
$L_U = 20 \lg (U/U_0)$ dB

Bei einem Bezugswert von: U_0 = 0,775 V (1 mW an 600 Ohm)
$L_U = 20 \lg (U/U_0)$ dBu

Bei einem Bezugswert von: U_0 = 1,0 V: $L_U = 20 \lg (U/U_0)$ dBV

A) II. 2. Umrechung von Pegeln (Dezibel) in physikalische Größen und Verhältnisse

Pegel/dB	Energieverhältnis	Verhältnis von Druck oder Spannung	Schall-druck/Pa	Schallleistung		elektr. Leistung/W
Bezug	1	1	20 µPa	1pW		1 mW
-10	0,100	0,316				0,000100
-9	0,126	0,355				0,000126
-8	0,158	0,398				0,000158
-7	0,200	0,447				0,000200
-6	0,251	0,501				0,000251
-5	0,316	0,562				0,000316
-4	0,398	0,631				0,000398
-3	0,501	0,708				0,000501
-2	0,631	0,794				0,000631
-1	0,794	0,891				0,000794
0	1,000	1,000	0,000020	0,000001	µW	0,001000
1	1,259	1,122	0,000022	0,000001	µW	0,001
2	1,585	1,259	0,000025	0,000002	µW	0,002
3	1,995	1,413	0,000028	0,000002	µW	0,002
4	2,512	1,585	0,000032	0,000003	µW	0,003
5	3,162	1,778	0,000036	0,000003	µW	0,003
6	3,981	1,995	0,000040	0,000004	µW	0,004
7	5,012	2,239	0,000045	0,000005	µW	0,005
8	6,310	2,512	0,000050	0,000006	µW	0,006
9	7,943	2,818	0,000056	0,000008	µW	0,008
10	10,000	3,162	0,000063	0,000010	µW	0,010
11	12,589	3,548	0,000071	0,000013	µW	0,013
12	15,849	3,981	0,000080	0,000016	µW	0,016
13	19,953	4,467	0,000089	0,000020	µW	0,020
14	25,119	5,012	0,000100	0,000025	µW	0,025
15	31,623	5,623	0,000112	0,000032	µW	0,032
16	39,811	6,310	0,000126	0,000040	µW	0,040
17	50,119	7,079	0,000142	0,000050	µW	0,050
18	63,096	7,943	0,000159	0,000063	µW	0,063
19	79,433	8,913	0,000178	0,000079	µW	0,079
20	100,000	10,000	0,000200	0,000100	µW	0,100
30	1.000	32	0,000632	0,001000	µW	1,000
40	10.000	100	0,002000	0,010000	µW	10
50	100.000	316	0,006325	0,100000	µW	100
60	1.000.000	1.000	0,020000	1,000000	µW	1.000
70	10.000.000	3.162	0,063246	0,000010	W	10.000
80	100.000.000	10.000	0,200000	0,000100	W	100.000
90	1.000.000.000	31.623	0,632456	0,001000	W	1.000.000
100	10.000.000.000	100.000	2,000000	0,010000	W	10.000.000
110	100.000.000.000	316.228	6,324555	0,100000	W	100.000.000
120	1.000.000.000.000	1.000.000	20,000000	1,000000	W	1.000.000.000
130	10.000.000.000.000	3.162.278	63,245553	10,000000	W	10.000.000.000

Verschiedene Pegelmaße

dBU

⇒ Wird verwendet zur Beschreibung von Spannungsverhältnissen in der Tontechnik

Bezugsgröße: 0,775 V

dBU	Spannung/V	dBU	Spannung/V
-70	0,000245	0	0,775
-65	0,000436	1	0,870
-60	0,000775	2	0,976
-55	0,001378	3	1,095
-50	0,002451	4	1,228
-45	0,004358	5	1,378
-40	0,007750	6	1,546
-35	0,013782	7	1,735
-30	0,025	8	1,947
-25	0,044	9	2,184
-20	0,078	10	2,451
-15	0,138	11	2,750
-14	0,155	12	3,085
-13	0,174	13	3,462
-12	0,195	14	3,884
-11	0,218	15	4,358
-10	0,245	16	4,890
-9	0,275	17	5,487
-8	0,309	18	6,156
-7	0,346	19	6,907
-6	0,388	20	7,750
-5	0,436	21	8,696
-4	0,489	22	9,757
-3	0,549		
-2	0,616		
-1	0,691		

dBm

⇒ Wird verwendet in der Übertragungstechnik (lange Leitungen)

Bezugsgröße: 1 mW

dBm	Leistung/mW	Spannung/V (bei 600 Ohm Abschluss)	dBm	Leistung/mW	Spannung/V (bei 600 Ohm Abschluss)
-70		0,000245	0	1,000	0,775
-65		0,000436	1	1,259	0,870
-60	0,000001	0,000775	2	1,585	0,976
-55	0,000003	0,001378	3	1,995	1,095
-50	0,000010	0,002451	4	2,512	1,228
-45	0,000032	0,004358	5	3,162	1,378
-40	0,000100	0,007750	6	3,981	1,546
-35	0,000316	0,013782	7	5,012	1,735
-30	0,001000	0,025	8	6,310	1,947
-25	0,003162	0,044	9	7,943	2,184
-20	0,010	0,078	10	10,000	2,451
-15	0,032	0,138	11	12,589	2,750
-14	0,040	0,155	12	15,849	3,085
-13	0,050	0,174	13	19,953	3,462
-12	0,063	0,195	14	25,119	3,884
-11	0,079	0,218	15	31,623	4,358
-10	0,100	0,245	16	39,811	4,890
-9	0,126	0,275	17	50,119	5,487
-8	0,158	0,309	18	63,096	6,156
-7	0,200	0,346	19	79,433	6,907
-6	0,251	0,388	20	100,000	7,750
-5	0,316	0,436	21	125,893	8,696
-4	0,398	0,489	22	158,489	9,757
-3	0,501	0,549			
-2	0,631	0,616			
-1	0,794	0,691			

dBV

⇒ Häufig angewendet in Videotechnik

Bezugsgröße: 1 V

dBV	Spannung/V	dBV	Spannung/V
-70	0,000316	0	1,000
-65	0,000562	1	1,122
-60	0,001000	2	1,259
-55	0,001778	3	1,413
-50	0,003162	4	1,585
-45	0,005623	5	1,778
-40	0,010000	6	1,995
-35	0,017783	7	2,239
-30	0,032	8	2,512
-25	0,056	9	2,818
-20	0,100	10	3,162
-15	0,178	11	3,548
-14	0,200	12	3,981
-13	0,224	13	4,467
-12	0,251	14	5,012
-11	0,282	15	5,623
-10	0,316	16	6,310
-9	0,355	17	7,079
-8	0,398	18	7,943
-7	0,447	19	8,913
-6	0,501	20	10,000
-5	0,562	21	11,220
-4	0,631	22	12,589
-3	0,708		
-2	0,794		
-1	0,891		

dBµV

⇒ Häufig angewendet in Empfangstechnik/ Antennentechnik

Bezugsgröße: 1 µV

dBµV	Spannung	
-10	0,316	µV
-6	0,501	µV
-3	0,708	µV
0	1,000	µV
3	1,413	µV
6	1,995	µV
10	3,162	µV
14	5,012	µV
17	7,079	µV
20	10,000	µV
23	14,125	µV
26	19,953	µV
30	31,623	µV
34	50,119	µV
37	70,795	µV
40	100,000	µV
43	0,141	mV
46	0,200	mV
50	0,316	mV
54	0,501	mV
57	0,708	mV
60	1,000	mV
63	1,413	mV
66	1,995	mV
70	3,162	mV
74	5,012	mV
77	7,079	mV
80	10,000	mV
83	14,125	mV
86	19,953	mV
90	31,623	mV
94	50,119	mV
97	70,795	mV
100	100,000	mV
103	0,141	V
106	0,200	V
110	0,316	V
114	0,501	V
117	0,708	V
120	1,000	V

dBr

⇒ Wird verwendet zur Beschreibung von Aussteuerungsverhältnissen im Studio und im Rundfunk

Bezugsgrößen:	1,55 V 6 dBm	1,228 V 4 dBm		1,55 V 6 dBm	1,228 V 4 dBm
dBr	**Spannung/V**	**Spannung/V**	**dBr**	**Spannung/V**	**Spannung/V**
-70	0,000490	0,000388	0	1,550	1,228
-65	0,000872	0,000691	1	1,739	1,378
-60	0,001550	0,001228	2	1,951	1,546
-55	0,002756	0,002184	3	2,189	1,735
-50	0,004902	0,003883	4	2,457	1,946
-45	0,008716	0,006906	5	2,756	2,184
-40	0,015500	0,012280	6	3,093	2,450
-35	0,027563	0,021837	7	3,470	2,749
-30	0,049015	0,038833	8	3,893	3,085
-25	0,087163	0,069056	9	4,368	3,461
-20	0,155	0,123	10	4,902	3,883
-15	0,276	0,218	11	5,500	4,357
-14	0,309	0,245	12	6,171	4,889
-13	0,347	0,275	13	6,924	5,485
-12	0,389	0,308	14	7,768	6,155
-11	0,437	0,346	15	8,716	6,906
-10	0,490	0,388	16	9,780	7,748
-9	0,550	0,436	17	10,973	8,694
-8	0,617	0,489	18	12,312	9,754
-7	0,692	0,549	19	13,814	10,945
-6	0,777	0,615	20	15,500	12,280
-5	0,872	0,691	21	17,391	13,778
-4	0,978	0,775	22	19,513	15,460
-3	1,097	0,869			
-2	1,231	0,975			
-1	1,381	1,094			

Spannungen in verschiedenen Pegelmaßen

Spannung	Spannung/V	dbµV	dBU	dBV	dBr(6dBU)	dBr(4dBU)
Bezug		0,000001 V	0,775 V	1 V	1,55 V	1,228 V
1 µV	0,000001	0	-118	-120	-124	-122
2 µV	0,000002	6	-112	-114	-118	-116
5 µV	0,000005	14	-104	-106	-110	-108
10 µV	0,00001	20	-98	-100	-104	-102
20 µV	0,00002	26	-92	-94	-98	-96
50 µV	0,00005	34	-84	-86	-90	-88
100 µV	0,0001	40	-78	-80	-84	-82
200 µV	0,0002	46	-72	-74	-78	-76
500 µV	0,0005	54	-64	-66	-70	-68
1 mV	0,001	60	-58	-60	-64	-62
2 mV	0,002	66	-52	-54	-58	-56
5 mV	0,005	74	-44	-46	-50	-48
10 mV	0,01	80	-38	-40	-44	-42
20 mV	0,02	86	-32	-34	-38	-36
50 mV	0,05	94	-24	-26	-30	-28
100 mV	0,1	100	-18	-20	-24	-22
200 mV	0,2	106	-12	-14	-18	-16
500 mV	0,5	114	-4	-6	-10	-8
1 V	1	120	2	0	-4	-2
2 V	2	126	8	6	2	4
5 V	5	134	16	14	10	12
10 V	10	140	22	20	16	18
20 V	20	146	28	26	22	24
50 V	50	154	36	34	30	32
100 V	100	160	42	40	36	38

A) II. 3. Schallausbreitung

Die Art und Weise, wie sich Schall ausbreitet, ist von zwei wichtigen Einflussgrößen abhängig:

- der Schallquelle selbst
- den Begrenzungsflächen eines Raumes

Weitere Einflussgrößen sind lokale Temperaturunterschiede im Ausbreitungsmedium Luft sowie Bewegungen im Medium (Wind). Diese Einflüsse sollen jedoch zunächst vernachlässigt werden. Fehlen die Raumbegrenzungsflächen oder schlucken sie sämtlichen auftreffenden Schall, spricht man vom freien Schallfeld. Im freien Schallfeld ist die Schallausbreitung nur von den Eigenschaften der Schallquelle abhängig. Die Akustik hat mehrere Modelle entwickelt, um die Erscheinungen der Schallausbreitung möglichst genau zu beschreiben.

Ebene, fortschreitende Welle

In der ebenen, fortschreitenden Welle breitet sich Schall nur in eine Richtung aus. Die Schall-energie ist an jedem Punkt des Raumes gleich groß und eine reelle Größe (keine Blindanteile). Es gibt keine Ausbreitungsdämpfung. Dieses an sich sehr theoretische Modell wird gern zur Beschreibung von akustischen Vorgängen benützt, die sich in relativ großer Entfernung von der Schallquelle abspielen.

Kugelwelle, Kugelstrahler nullter Ordnung

Ein sehr kleiner Luftballon wird im Rhythmus der Tonfrequenz aufgeblasen und entlüftet, es entsteht das Modell der atmenden Kugel. Der entstehende Schall breitet sich um diese Kugel auch kugelförmig gleichmäßig aus. Mit zunehmender Entfernung nimmt die Schallintensität I ab. Der Zusammenhang ist quadratisch.

$$\frac{I(r)}{I(r_0)} = \frac{r_0^2}{r^2}$$

Für den Schalldruckpegel gilt:

$$\Delta L = L(r) - L(r_0) = 10 \lg \frac{I(r)}{I(r_0)} \text{ dB} = 10 \lg \left(\frac{r_0}{r}\right)^2 \text{dB} = 20 \lg \frac{r_0}{r} \text{ dB}$$

Ist die Entfernung doppelt so groß wie die, für die der Schalldruckpegel bekannt ist, so gilt:

$$\Delta L = 20 \lg \frac{r_0}{r} \text{dB} = 20 \lg {}^1/_2 \text{ dB} = 20 \cdot (-0{,}3) \text{ dB} = -6 \text{ dB}$$

In kugelförmig sich ausbreitenden Wellen nimmt der Schallpegel um 6 dB mit jeder Entfernungsverdopplung ab (6-dB-Gesetz). Das gilt sowohl für eine Entfernungsverdopplung von 1 m auf 2 m als auch bei einer Verdopplung von 40 m auf 80 m.
Die Wirksamkeit dieses Gesetzes lässt sich sehr eindrucksvoll erkennen, wenn man die Lärmemission eines Abgasschornsteins einer großen Gasfeuerungsanlage oder eines Abluftkanals einer Diskothek misst. Man misst zum Beispiel 1 m neben der Mündung einen Schallpegel von 95 dB, in 100 m Entfernung einen Schallpegel von 55 dB. Wer jetzt meint, in 200 m Entfernung wären nur 15 dB zu messen, der irrt gewaltig. Mit hoher Wahrscheinlichkeit misst man dort einen Schallpegel von 49 dB.
Nach diesem Exkurs in die Umweltproblematik, die immer häufiger auch für Beschallungsanlagen relevant wird (Diskotheken, Stadien, Open-Air-Sessions), zurück zur Kugelwelle. Das 6-dB-Gesetz gilt auch, wenn nur Kugelausschnitte (Sektoren) von der Schallausbreitung betroffen sind.

(⇒ siehe auch VII. 9.) Seite 72.

x	$L(r = x \cdot r_0)$ / dB
0,33	10
0,5	6
0,7	3
1	0
1,4	-3
2	**-6**
3	**-10**
4	-12
5	-14
6	-16
8	-18
10	**-20**
100	-40

Obige Tabelle zeigt wichtige Schallpegelminderungen bei bestimmten Entfernungsverhältnissen. Die hervorgehobenen Wertepaare sollte man sich einprägen, alle anderen lassen sich mit einfachen Logarithmengesetzen leicht herleiten. Das Modell des Kugelstrahlers ist eines der am meisten benützten in der Akustik.

Kugelstrahler 1. Ordnung, Dipolstrahler

Zwei atmende Kugeln befinden sich in einem gewissen Abstand. Immer wenn die eine sich aufbläht, fällt die zweite zusammen. Eine andere Modellvorstellung ist dieser äquivalent. Danach wird eine sehr kleine Kugel auf einer Achse um den oben schon erwähnten Abstand hin und her geschoben. In Richtung dieser Schwingachse breitet sich der Schall am stärksten aus, senkrecht zu dieser Achse breitet sich kein Schall aus. In den Richtungen zwischen diesen beiden Extremen ist die Schallabstrahlung stark vom Winkel zur Achse abhängig. Für große Entfernungen gilt in jeder Richtung wieder das 6-dB-Gesetz.
Die typische Anwendung dieses Modells ist seine eigene Umkehrung, nämlich die Beschreibung der Empfangsverhältnisse eines Achter-Mikrofons. (⇒ siehe III.2. b)

Linienförmige Schallstrahler, Zylinderwellen

Ein sehr langer, linienförmiger Körper bläht sich auf und fällt wieder zusammen. Die Schallausbreitung erfolgt nur senkrecht zur Achse in Form eines Zylinders.

Das 6-dB-Gesetz gilt nicht. Es gilt:

$L = 10 \lg \frac{r_0}{r}$ dB

Für Entfernungsverdopplung gilt: $L = 10 \lg \frac{1}{2}$ dB = -3 dB.

Das praktische Beispiel für dieses Modell sind die Lärmstörungen, die in großen Entfernungen von stark befahrenen Straßen hervorgerufen werden. Für hohe Frequenzen ist dieses Modell auch zur Beschreibung eines zeilenförmigen Lautsprechers geeignet.
Soweit die Modelle für die Schallausbreitung im freien Schallfeld. Durch die Kombination von verschiedenen Modellen können auch andere Verhältnisse simuliert werden. So ergibt die Überlagerung von Kugelstrahler und Dipolstrahler einen Nierenstrahler. Sobald das freie Schallfeld gestört wird, sind andere Modellvorstellungen notwendig.

Reflexion, Beugung

Trifft Schall auf ein schweres Hindernis, wird die Schallausbreitung gestört. Ist das Hindernis klein gegenüber der Wellenlänge des Schalls, kommt es zur Schallbeugung. Ist das Hindernis groß gegenüber der Wellenlänge, kommt es zu einer Reflexion entsprechend der optischen Gesetze. Die Reflexionsgesetze werden in den folgenden Abschnitten ausführlicher behandelt. Zur Abschätzung, ob ein Hindernis reflektierend oder Schall beugend wirkt, sollte man sich die folgenden Frequenz-Wellenlängen-Relationen einprägen.

Frequenz in Hz	100	1 000	10 000
Wellenlänge in m	≈ 3	≈ 0,3	≈ 0,03

Eine besondere Rolle spielt die diffuse Reflexion. Sie kann als „Schallzerstreuung mit Vorzugsrichtung“ umschrieben werden. Zur Erklärung dieser speziellen Zusammenhänge muss auf die Fachliteratur verwiesen werden.

Stehende Wellen

Beträgt der doppelte senkrechte Abstand zwischen einer Schallquelle und einer Wand ein ganzzahliges Vielfaches der Wellenlänge, kommt es zu stehenden Wellen. Die von der Schallquelle ausgehende Schallwelle überlagert sich so mit reflektierten, dass es zu lokalen feststehenden Maxima und Minima des Schalldruckes kommt. Innerhalb der stehenden Welle gibt es keinen Energietransport mehr. Die Schallquelle arbeitet quasi im Leerlauf, sie hat für diese einzelne Frequenz einen hervorragenden Wirkungsgrad. Stehende Wellen können auch durch mehrfache Reflexionen entstehen. Alle stehenden Wellen, die sich zwischen den Raumbegrenzungsflächen eines Raumes ausbilden können, heißen Eigenmoden des Raumes. Ihre Lage zueinander auf der Frequenzachse ergibt Rückschlüsse für das Klangverhalten eines Raumes im Tieftonbereich.

Diffuses Schallfeld

Das zweite extreme Modell, um Schallausbreitungsvorgänge zu beschreiben, ist im Gegensatz zum freien Schallfeld das diffuse Schallfeld.

Es hat folgende Kennzeichen:

- der Schalleinfall an einem Punkt dieses Feldes erfolgt gleichmäßig aus allen Raumrichtungen;
- das diffuse Schallfeld existiert nur bei Anregung durch breitbandige Geräusche.

Im stationären Zustand sind die dem Schallfeld zugeführte und die abfließende Energie gleich groß. Zur Beschreibung eines diffusen Schallfeldes eignen sich weniger die üblichen skalaren und vektoriellen Größen wie Schalldruck, Schallschnelle oder Schallintensität. Eventuell werden ihre Effektivwerte zur Beschreibung herangezogen. Noch häufiger erfolgt die Beschreibung über die Größen Nachhallzeit, Volumen, Absorptionsfläche oder Hallradius. Die typische Realisierung des diffusen Schallfeldes ist ein Raum mit kaum Schall schluckenden Materialien, in dem ein ungerichteter Lautsprecher Rauschsignale sendet.
Ein diffuses Schallfeld ist hier in relativ großer Entfernung vom Lautsprecher und von den Raumbegrenzungsflächen vorhanden.

A) II. 3. a) Raumakustik

In einem geschlossenen Raum breitet sich der Schall einer Schallquelle nach allen Seiten gleichmäßig aus und wird an den Wänden, der Decke und am Boden reflektiert und teilweise absorbiert. Am Abhörort wird man also nicht ein genaues Abbild des ausgestrahlten Schallsignals, sondern vielmehr eine Addition von Direkt-Schall und reflektiertem Schall empfangen.

Eine gute Klangcharakteristik ist die wichtigste Anforderung, die an einen Raum für Sprach- und Musikdarbietungen gestellt werden muss. Die Forderung ist erfüllt, wenn informative Schallereignisse an irgendeiner Stelle des Raumes erzeugt werden und an jeder anderen Stelle des Raumes ohne Echo und mit richtiger Nachhalldauer wahrnehmbar sind.

Die Übertragungsqualität wird beeinflusst durch:

- die Raumform
- die Raumgröße
- die Raumausstattung
- den Ort der Schallquelle
- die Schallquelle selbst
- den Ort des Hörers
- Störgeräusche (Publikum, Haustechnik, Lärm von außen)

Raumgeometrie

Günstig sind Grundrisse, die für die Zuhörer eine gute Sicht ermöglichen, die im Mittel kurze Entfernungen zwischen Akteur und Zuhörer ermöglichen. Der Raum soll ein angemessenes Volumen haben. Die Wirkung von gekrümmten und geneigten Flächen auf die Schallübertragung kann sowohl positiv als auch negativ sein. An dieser Stelle muss auf entsprechende Fachliteratur zum Thema Raumakustik verwiesen werden. Im Zweifelsfall muss ein erfahrener Raumakustiker hinzugezogen werden. Wichtig ist, dass Sichtbeeinträchtigungen immer auch eine schlechte Voraussetzung für gute Raumakustik sind. Als angemessenes Volumen gilt:

- Räume für Sprachveranstaltungen (Hörsäle, Kongresssäle) und Räume, die fast ausschließlich durch elektroakustische Anlagen beschallt werden (Kinos, Diskotheken): ca. 4 m^3 pro Platz;
- Räume, in denen vorwiegend Musik ohne elektroakustische Hilfsmittel aufgeführt wird (Kirchen, Konzertsäle): mehr als 8 m^3 pro Platz.

Für ausgesprochene Mehrzweckräume (Stadthallen, Dorfgemeinschaftshäuser) stellt der Wert von 6 m^3 je Platz einen guten Kompromiss dar.

Raumausstattung

Die Raumausstattung bestimmt neben der Raumgeometrie im Wesentlichen die Raumakustik des Raumes. Durch die Raumausstattung kann die Nachhallzeit wirksam beeinflusst werden. Entspricht das Volumen des Raumes etwa den im vorigen Abschnitt genannten Größen, kommt der Raum-ausstattung aus akustischer Sicht vorwiegend die Aufgabe zu, die Nachhallzeit von der Besetzung unabhängig zu machen. Die bewährteste Methode besteht darin, ein dick gepolstertes Gestühl zu verwenden, wobei dann ein unbesetzter Stuhl etwa die gleichen Schallschluckeigenschaften hat wie ein besetzter. Dazu sind textile Bespannungen (kein Leder o. ä.) und offenporige Polster-werkstoffe wie die traditionelle Watte-Seegras-Kombination oder ausgesuchte Kunststoffschäume erforderlich.

Als Raumoberflächen gibt es prinzipiell keine akustisch günstigen oder ungünstigen Werkstoffe oder Werkstoffkombinationen. Entscheidend ist der akustische Zweck, den die jeweilige Oberfläche zu erfüllen hat. Man unterscheidet:

- poröse Absorber (Raumtextilien, textile Fußbodenbeläge, Polsterstühle, „Akustikplatten und –decken“),
- Resonanzabsorber (schwingfähige Platten auf einem Luftpolster vor einer Wand, Hohlräume mit speziell dimensionierten Öffnungen),
- Diffusoren (unebene Gebilde; deren Unebenheiten müssen in der Größenordnung der Wellenlänge liegen),
- Reflektoren (schwere glatte Flächen, viel größer als die Wellenlänge des zu reflektierenden Schalls). Transparente Abdeckungen (Sichthindernis ohne größere akustische Wirkung im betrachteten Frequenzbereich, z. B. Kunststofffolien mit weniger als 30 g/m^2 oder Bleche bis 1 mm Dicke und einem Lochanteil von ca. 20 %).

Die Auswahl dieser Stoffe trifft üblicherweise der Architekt in Zusammenarbeit mit dem Akustikberater. Der Planer von elektroakustischen Anlagen sollte die wichtigsten Eigenschaften dieser Anordnungen und Materialien kennen und die sich daraus ergebenden Probleme rechtzeitig mit dem Architekten und dem Akustikberater besprechen.

Lage der Schallquellen

Auch hier gilt wieder, dass gute Sichtverhältnisse die beste Voraussetzung für gute Raumakustik sind. Natürliche Schallquellen (Sprecher, Musikinstrumente) werden häufig noch so angeordnet, dass durch vorhandene Raumbegrenzungsflächen nützliche Reflexionen oder aber auch Abschattungen (typ. Fall: Orchestergraben im Opernhaus) erzeugt werden. Lautsprecher als sekundäre Schallquellen sollten zusätzlich so angebracht werden, dass von ihnen keine Fehlinformationen zum Primärschallereignis geliefert werden. Fehlinformation bezieht sich hier auf die Richtung und auf echoartige Störungen. Um echoartige Störungen zu vermeiden, sollten Lautsprecher so angeordnet werden, dass die Differenz der Abstände zweier Lautsprecher zu einem beliebigen Hörer nie größer wird als 17 m. Die oft zitierte Regel, dass Lautsprecher nicht mehr als 17 m voneinander entfernt sein dürfen, ist an sich falsch. Auf den Entfernungsunterschied zum Hörer kommt es an. So kann man in einem Stadion, in dem die Lautsprecher in 12 m Höhe an der Vorderkante des Tribünendaches angebracht werden sollen, durchaus einen Lautsprecherabstand von 25 m wählen, ohne Echoprobleme fürchten zu müssen.

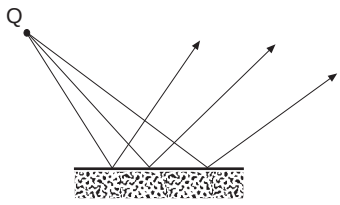
Nachhallzeit

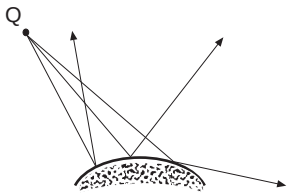
Nachhall entsteht durch mehrfache Rückwürfe des direkten Schalls von den Begrenzungsflächen des Raumes. Der Hörer empfindet diese als Abklingen des Schalls. Sind die Rückwürfe zeitlich vom direkten Schall getrennt, so nennt man sie Doppelhören (Echo).

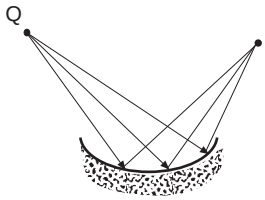
Raumakustisch stellt jedes hörbare Echo einen Fehler dar, wogegen Nachhall in verschiedenem Ausmaß erwünscht ist.
Die Nachhallzeit kann durch die Raumgröße und Verwendung von Schallschluckstoffen reguliert werden. Für jeden Raum gibt es eine optimale Nachhallzeit, welche abhängig von Volumen und Verwendungszweck (Sprache, Musik) des Raumes ist.

(⇒ siehe auch C) I.1.) Seite 85.

Reflexionsgesetze







Q = Schallquelle

Ebene Fläche
reflektiert den Schall

- praktisch unverändert -

Konvexe Fläche
wirkt Schall zerstreuend

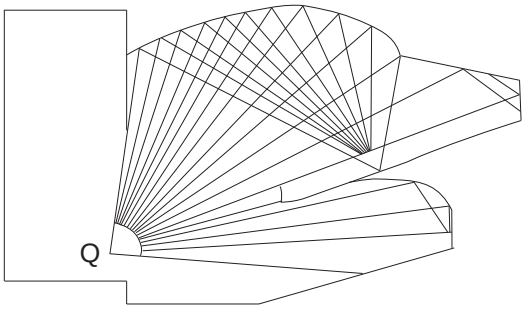
- dispergierend -

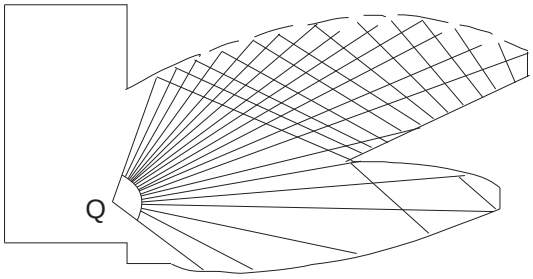
Konkave Fläche
wirkt Schall sammelnd

- konvergierend -

Gültigkeit:
sofern die Fläche groß gegenüber der Wellenlänge ist.

Beispiele:

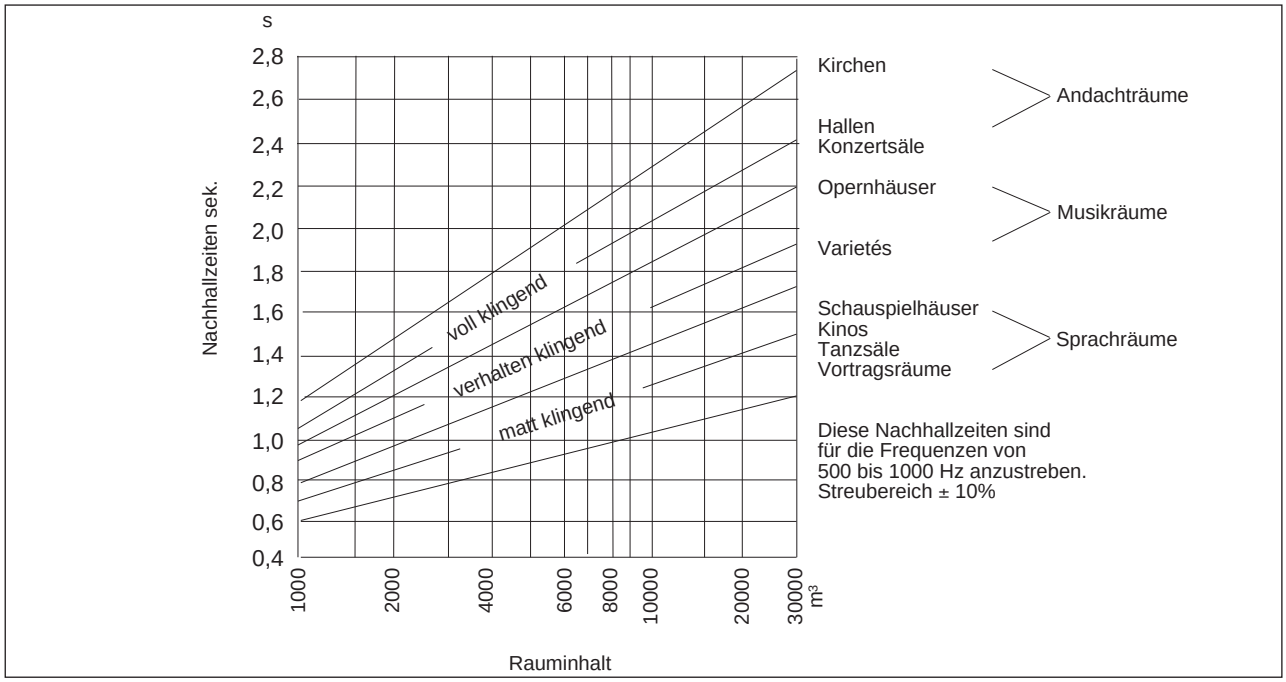




Q = Schallquelle

Konkave Decke
sehr ungünstig

Gebrochene Decke
bewirkt gleichmäßige Schallverteilung



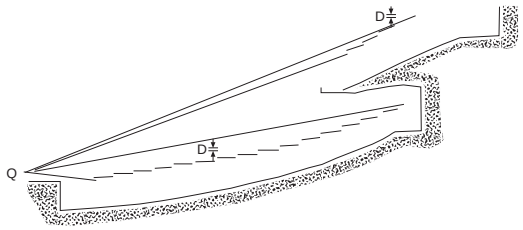
Angenehme Nachhallzeiten bei voller Besetzung

Die Schallschluckfläche wird aus der Raumoberfläche S und dem Schallabsorptionsgrad α bestimmt:

$A = \alpha \cdot S$
$[A] = m^2$
$[S] = m^2$

Wichtigste Planungsgröße:

spez. Volumen = K = Raumvolumen : Plätze
typ. Sprechräume K ≈ 4 m³ / Platz
typ. Musikräume K > 8 m³ / Platz



Sitzreihenüberhöhung für freie Schallwege, D = 80 mm
Bestimmung der Nachhallzeit:
(nach Sabine, W.C.: Amer. Arch. and Building News)

$T = 0{,}16 \cdot V/A$
$[T] = s$
$[V] = m^3$
$[A] = m^2$

Hierbei ist T die Nachhallzeit, V das Raumvolumen und A die äquivalente Absorptionsfläche (sog. „Offene-Fenster-Fläche“)

A) II. 3. a) α) Schallabsorptionsgrade typischer Materialien

Material	Frequenzband / Hz					
	125	250	500	1000	2000	4000
Luft/m³				0,00	0,01	0,02
Publikumsflächen						
Besetztes Polstergestühl	0,20	0,45	0,70	0,80	0,80	0,75
Dgl. unbesetzt	0,45	0,60	0,73	0,80	0,75	0,64
Unbes. Polstergestühl, Lederbezug	0,40	0,49	0,55	0,57	0,53	0,46
Unbehandelte Wandflächen						
Marmor	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03	0,03
Beton, unverputzt	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03	0,04
Ziegelwand, verfugt	0,03	0,03	0,03	0,04	0,05	0,06
Kalkzementputz	0,03	0,03	0,03	0,04	0,05	0,08
Stuck	0,02	0,03	0,04	0,05	0,05	0,05
Tapete auf Putz	0,02	0,03	0,04	0,05	0,07	0,08
Einfachverglasung, 3 mm auf Glas	0,08	0,04	0,03	0,03	0,02	0,02
Doppelverglasung	0,02	0,06	0,03	0,03	0,02	0,02
Furnierte Platten dicht vor Untergrund	0,04	0,04	0,05	0,06	0,06	0,06
Fußböden						
Linoleum	0,02	0,03	0,03	0,04	0,06	0,05
Spannteppich 1 mm Folie / 5 mm Filz	0,02	0,09	0,31	0,12	0,06	0,03
Parkett auf Massivboden verklebt	0,04	0,04	0,05	0,06	0,06	0,06
Parkett schwimmend, Schwingparkett	0,10	0,07	0,05	0,06	0,06	0,06
Textilbelag, Minimalwert	0,02	0,03	0,06	0,17	0,31	0,29
Teppichboden, sehr gute Ausführung	0,04	0,10	0,31	0,70	0,93	0,74
Vorhänge, Dekostoffe						
Leinengewebe, einfach aufgespannt	0,01	0,00	0,18	0,48	0,54	0,41
Dgl., 3-fach gefaltet, gespannt	0,08	0,53	0,85	0,94	1,26	1,12
Store, Tüll, 3-fach gerüscht	0,00	0,00	0,02	0,03	0,07	0,15
Schwerer Samtvorhang, 3-fach	0,20	0,66	0,94	1,06	1,07	1,11

A) II. 3. a) α) Abschätzung wichtiger raumakustischer Parameter

Material	Frequenzband / Hz					
	125	250	500	1000	2000	4000
Luft/m³				0,00	0,01	0,02
Paneele u. schwingfähige Wandverkleidungen						
Sperrholz 4 mm, 120 mm Wandabstand	0,59	0,24	0,13	0,06	0,06	0,08
Dto., mit rückseitiger Steinwolle	0,95	0,30	0,14	0,09	0,06	0,03
Holzspanplatte 19 mm, 120 mm Wandabstand	0,30	0,11	0,15	0,08	0,17	0,24
Gipskarton 9,5 mm, 60 mm Wandabstand	0,31	0,08	0,04	0,07	0,09	0,08
Gipskarton 12 mm, 100 mm Wandabstand	0,12	0,10	0,04	0,03	0,03	0,02
Paneelbretter, offene Fugen, 50 mm Wandabstand	0,18	0,44	0,75	0,23	0,10	0,20
Dgl., jede 2. Fuge offen	0,24	0,89	0,37	0,18	0,07	0,14
Dgl., jede 3. Fuge offen	0,41	0,72	0,20	0,06	0,07	0,09
Absorptionsmaterialien						
Holzwolle-Leichtbauplatte 35 mm	0,19	0,24	0,19	0,25	0,41	0,50
Steinwolleplatten 20 mm	0,10	0,28	0,72	0,94	0,89	0,83
Dgl., 40 mm	0,45	0,78	0,85	0,82	0,94	0,96
Typische Zwischendeckenmaterialien						
Gipskarton-Lochplatte, Lochanteil 20 %, Mineralfaserplatte	0,75	0,96	0,68	0,79	0,72	0,62
Dgl., Lochanteil 5 %	0,62	0,69	0,45	0,47	0,28	0,23
Lochblech 15 %, Glasfasermatte	0,19	0,85	0,97	0,81	1,08	1,08
Stuckgipselement, Lochanteil 30 %, Mineralfaserauflage eingeschweißt	0,15	0,54	1,03	1,01	0,92	0,86

typische Räume mit Quaderform mit Seitenverhältnis Länge : Breite : Höhe
wie 4 : 2 : 1 mit Mindesthöhe 2,60 m ("Schuhkarton")
alpha 10: Mittlerer Absorptionskoeffizient alpha = 0,1; typ. für akustisch unbehandelte, leere Räume z. B. leere Messehalle
alpha 20: Mittlerer Absorptionskoeffizient alpha = 0,2; typ. für akustisch unbehandelte Räume mit viel Inventar z. B. Messehalle
vollbesetzt: Akustisch unbehandelter Raum mit besetzter Reihenbestuhlung auf 80 % der Grundfläche

						alpha 10		
Volumen/m³	Höhe/m²	Breite/m²	Länge/m²	Grund-fläche/m²	Ober-fläche/m²	Absorption	T_{60}/s	Hallradius/m
50	2,6	3,7	5,2	19,2	84,8	8	0,94	0,4
63	2,6	4,0	6,1	24,2	100,8	10	1,00	0,4
80	2,6	4,3	7,1	30,8	121,1	12	1,06	0,5
100	2,6	4,6	8,3	38,5	144,1	14	1,11	0,5
125	2,6	5,0	9,6	48,1	172,2	17	1,16	0,6
160	2,7	5,4	10,9	58,9	206,3	21	1,24	0,6
200	2,9	5,8	11,7	68,4	239,4	24	1,34	0,7
250	3,1	6,3	12,6	79,4	277,8	28	1,44	0,7
320	3,4	6,8	13,7	93,6	327,5	33	1,56	0,8
400	3,7	7,4	14,7	108,6	380,0	38	1,68	0,9
500	4,0	7,9	15,9	126,0	441,0	44	1,81	0,9
630	4,3	8,6	17,1	147,0	514,4	51	1,96	1,0
800	4,6	9,3	18,6	172,4	603,2	60	2,12	1,1
1000	5,0	10,0	20,0	200,0	700,0	70	2,29	1,2
1250	5,4	10,8	21,5	232,1	812,3	81	2,46	1,3
1600	5,8	11,7	23,4	273,6	957,6	96	2,67	1,4
2000	6,3	12,6	25,2	317,5	1111,2	111	2,88	1,5
2500	6,8	13,6	27,1	368,4	1289,4	129	3,10	1,6
3200	7,4	14,7	29,5	434,3	1520,1	152	3,37	1,7
4000	7,9	15,9	31,7	504,0	1763,9	176	3,63	1,9
5000	8,5	17,1	34,2	584,8	2046,8	205	3,91	2,0
6300	9,2	18,5	36,9	682,2	2387,8	239	4,22	2,2
8000	10,0	20,0	40,0	800,0	2800,0	280	4,57	2,4
10000	10,8	21,5	43,1	928,3	3249,1	325	4,92	2,5
12500	11,6	23,2	46,4	1077,2	3770,3	377	5,30	2,7
16000	12,6	25,2	50,4	1269,9	4444,7	444	5,76	3,0
20000	13,6	27,1	54,3	1473,6	5157,6	516	6,20	3,2
25000	14,6	29,2	58,5	1710,0	5984,9	598	6,68	3,5
32000	15,9	31,7	63,5	2015,9	7055,6	706	7,26	3,8
40000	17,1	34,2	68,4	2339,2	8187,2	819	7,82	4,0
50000	18,4	36,8	73,7	2714,4	9500,5	950	8,42	4,4

Allgemein gilt folgendes:
Diese Abschätzung ersetzt keine raumakustische Beratung! Für größere Projekte empfiehlt es sich daher, einen Akustiker hinzuzuziehen, der wissenschaftlich die auftretenden Probleme angeht und somit Fehler vermeiden hilft (in vielen Fällen muss auf Spezialliteratur und Prüfzeugnisse zurückgegriffen werden).

alpha 20			vollbesetzt		
Absorption	T_{60}	Hallradius/m	Absorption	T_{60}/s	Hallradius/m
17	0,47	0,6	23	0,35	0,7
20	0,50	0,6	28	0,36	0,8
24	0,53	0,7	35	0,36	0,8
29	0,55	0,8	43	0,37	0,9
34	0,58	0,8	53	0,38	1,0
41	0,62	0,9	65	0,39	1,1
48	0,67	1,0	75	0,43	1,2
56	0,72	1,1	87	0,46	1,3
65	0,78	1,1	103	0,50	1,4
76	0,84	1,2	119	0,54	1,5
88	0,91	1,3	139	0,58	1,7
103	0,98	1,4	162	0,62	1,8
121	1,06	1,6	190	0,68	1,9
140	1,14	1,7	220	0,73	2,1
162	1,23	1,8	255	0,78	2,3
192	1,34	2,0	301	0,85	2,5
222	1,44	2,1	349	0,92	2,6
258	1,55	2,3	405	0,99	2,8
304	1,68	2,5	478	1,07	3,1
353	1,81	2,7	554	1,15	3,3
409	1,95	2,9	643	1,24	3,6
478	2,11	3,1	750	1,34	3,9
560	2,29	3,3	880	1,45	4,2
650	2,46	3,6	1021	1,57	4,5
754	2,65	3,9	1185	1,69	4,9
889	2,88	4,2	1397	1,83	5,3
1032	3,10	4,5	1621	1,97	5,7
1197	3,34	4,9	1881	2,13	6,1
1411	3,63	5,3	2217	2,31	6,7
1637	3,91	5,7	2573	2,49	7,2
1900	4,21	6,2	2986	2,68	7,7

A) II. 3. b) Freilandakustik

Im Allgemeinen gelten hier etwa die Gesetze der ungestörten Schallausbreitung. Hierbei tritt als Schallreflektor bzw. Schallabsorber eigentlich nur der Boden auf, dessen Reflexionsvermögen bei besetztem Sportstadion bzw. Freibad o. ä. praktisch gleich Null ist.

Um Hall- bzw. Echoerscheinungen zu vermeiden, ist die Beschallung von einer zentralen Stelle aus (etwas erhöht) zu bevorzugen. Weiterhin können störende Echos bzw. Nachhallerscheinungen auch durch weiter entfernte Gebäude, Erdformationen, Baumgruppen o. ä. ausgelöst werden.

Diese Probleme lassen sich meist durch entsprechend angeordnete und gerichtete Schallquellen lösen. Bei ungünstigen Witterungsverhältnissen können neben den oben besprochenen Problemen zusätzlich Schallverwehungen auftreten.

A) II. 3. c) Grundbegriffe der Akustik

Als Maß für den Schalldruckpegel $L = 20 \cdot \lg p/p_0$ verwendet man die Einheit dB, die angibt, in welchem Verhältnis der auftretende Schalldruck zum Bezugsschalldruck p_0 (= 0 dB; $2 \cdot 10^{-5}$ Pa) steht. Da die Hörschwelle stark frequenzabhängig ist, wurde der Begriff des so genannten Lautstärkepegels mit der Einheit Phon eingeführt, um die Charakteristik des menschlichen Gehörs berücksichtigen zu können. So wird ein 100-Hz-Ton mit 35 dB genauso laut empfunden wie ein 1000-Hz-Ton mit nur 20 dB. Die obere Grenze bildet die Schmerzgrenze, die bei 1 kHz etwa 130 dB von der Hörschwelle entfernt liegt. Die Messung des Schalldruckpegels über spezielle Bewertungsfilter ergibt den bewerteten Schallpegel, z. B. dB (A) bei Verwendung des „A-Filter“.

- Hörschwelle: 3 Phon $\widehat{=}$
- Zulässige Störung in Wohnungen: 30 dB (A)
- Leise Büros: 50 dB (A)
- Zimmerlautstärke: 70 dB (A)
- Gehörschädigung bei Dauerbeschallung: 90 dB
- Propellerflugzeug in 10 m Entfernung: 110 dB
- Düsenflugzeug in 10 m Entfernung / Schmerzgrenze: 130 dB

Schalldruckpegel einiger Schallquellen

Bei Lautsprechern wird die Einheit dB dazu verwendet, um eine Aussage über den zu erwartenden Schalldruck machen zu können. Er wird üblicherweise bei einer zugeführten elektrischen Leistung von 1 W und 1 m Abstand angegeben.

(⇒ siehe auch VII. 9.) Seite 72.

A) III. Mikrofone

Ein Mikrofon ist ein Wandler, der Schallenergie in elektrische Energie umsetzt. Bei Schall handelt es sich um Schwingungen der Luft, die von einer Schallquelle angeregt werden. Der Schallwechseldruck (in der Elektroakustik Schalldruck) wird in Pascal gemessen. Die Mikrofondaten sind bei technischen Daten auf 1 Pa bezogen. Dieser Schalldruck entsteht bei normal lauter Sprechweise bei einem Sprecherabstand von ca. 0,30 m vom Mikrofon. Der Schalldruck von 1 Pa entspricht einem Schallpegel von 94 dB.

A) III. 1. Mikrofonbauformen

Je nach Bauart und Hauptanwendungsgebiet werden Mikrofone als Handmikrofon, Stativmikrofon, Schwanen-halsmikrofon, Rednermikrofon, Musikermikrofon, Studiomikrofon usw. bezeichnet. Teilweise sind auch sehr spezielle Begriffe im Umlauf z.B. Lavaliermikrofone, Richtmikrofone, Parabolmikrofone, Grenzflächenmikrofone, Ansteckmikrofone, Headsets, Miniaturmikrofone, Kugelmikrofon...
Diese Bezeichnungen sind nicht ganz einheitlich und werden von den Anwendern sehr unterschiedlich gehandhabt.

A) III. 2. Mikrofoneigenschaften

Fast alle Mikrofoneigenschaften wirken sich auch auf andere Eigenschaften aus. So haben beispielsweise gerichtete Mikrofone häufig andere Klangeigenschaften als ungerichtete aus der gleichen Familie.
Die Masse eines Mikrofons ist nicht nur entscheidend für die Belastung des Armes eines Sängers, sondern auch wesentlich verantwortlich für die Körperschallunempfindlichkeit des Mikrofons. Die folgende Klassifikation ist also nur der Versuch, wichtige Eigenschaften herauszuarbeiten.

Mechanische Eigenschaften:

- Masse
  (Ansteckmikrofon - wenige Gramm / Studiomikrofone - bis ca. 1 kg)
- Form
  (Rotationssymmetrisch – Universalhalterung oder prismatisch – Spezialhalterung erforderlich)
- Befestigung
  Stativanschluss mit Gewinde 5/8“ und Wechseleinsatz 3/8“ – 1/2“ als Defacto-Standard, teilweise in Sonderausführungen für erhöhten Körperschallschutz;

  Befestigung über Steckverbinder an einem biegsamen Hals (Mikrofon darf nicht zu schwer und Steckverbinder muss stabil sein, die im Studiobereich üblichen Verlängerungsrohre und Gelenke für Modulsysteme könnte man hier einordnen);

  „Schwanenhalsmikrofon“, der biegsame Hals ist Bestandteil des Mikrofons, Anwendung bei Pulten oder in Fahrzeugen;

  Sonderbefestigungen für Kleidung oder Musikinstrumente (Klammern, Halskordeln, Magnetplatten etc.)

Leitungsanschluss

Steckverbinder (gebräuchlich ist der XLR-Steckverbinder, der sich selbst verriegelt. Andere Steckverbinder sind entweder aus dem nicht professionellen Bereich oder sind für spezielle Mikrofone notwendig – fernsteuerbare Richtcharakteristik oder Röhrenvorverstärker) (⇒ siehe VII. 7.) Seite 65.

Freies Leitungsende (für Mikrofone, die in Geräte eingebaut werden oder die fest an Pulten oder Fahrzeugen installiert werden).

Mechanische Robustheit und klimatische Unempfindlichkeit

Hier sind eine ganze Menge von Eigenschaften zusammengefasst, die sehr häufig die Brauchbarkeit eines Mikrofons im konkreten Anwendungsfall bestimmen: in Fahrzeugen kann es durch die ständigen tieffrequenten Schwingungen bei Tauchspulmikrofonen zu Ermüdungserscheinungen an der Klebestelle der Schwingspule an der Membran kommen; in ungeheizten Kirchen kommt es in der kalten Jahreszeit durch die unkontinuierliche Nutzung hin und wieder zu Kondenserscheinungen an reinen Metallmembranen von bestimmten Kondensatormikrofonen, die eine zeitweise Funktionsuntüchtigkeit bewirken können.

Elektrische Eigenschaften

Quellimpedanz (Nennwert 150 Ohm bei amerikanischen Produkten oder 200 Ohm bei europäischen, evtl. noch 600 Ohm bei asiatischen, alles andere nicht mehr Stand der Technik).

Erdsymmetrie und Erdfreiheit (die Quellenschaltung des Mikrofons ist, wenn überhaupt, nur im Mittelpunkt und über einen hohen Widerstand geerdet; über den Schirm des Kabels werden keine Signalströme geführt; nur so und mit den entsprechend niedrigen Quellimpedanzen sind Leitungslängen bis zu 200 m möglich).

Versorgungsspannung

Phantomspeisung:
Die am weitesten verbreitete Möglichkeit zur Stromversorgung von Kondensatormikrofonen (aber auch von anderen elektroakustischen Geräten) über die ohnehin notwendige 2-adrige Tonsignalleitung. Im Verstärkereingang wird durch eine besondere Beschaltung eine Gleichspannung von 12, 24 oder 48 V gleichphasig auf die beiden symmetrischen Tonfrequenzadern der Mikrofonleitung eingespeist. Der Schirm der Mikrofonleitung wird mit dem Minuspol der Spannungsquelle verbunden. Im Mikrofon wird diese Gleichspannung durch entsprechende Beschaltung ausgekoppelt und zur Speisung des Impedanzwandlers bzw. zur Erzeugung der Polarisationsspannung verwendet. Wichtig ist eine gute Symmetrie der Leitung und der Schaltung. Häufig anzutreffen sind auch Mikrofone, die mit Phantomspannungen im Bereich von 9 - 52 V arbeiten können.

Batteriespeisung:
Üblich bei Elektret-Kondensatormikrofonen und bei drahtlosen Mikrofonen; Batterie wird direkt in das Mikrofongehäuse oder in einen Speiseadapter eingelegt; Mikrofone mit derartigen Speisungen sollten Kontrollmöglichkeiten des Ladezustandes der Batterie enthalten;

Sonderspeisungen:
Es sind viele andere Arten der Spannungsversorgung von Kondensatormikrofonen bekannt geworden – Tonaderspeisung, eingebautes Netzgerät, Versorgung über separate Kabeladern -; sie sollten nur angewendet werden, wenn die übrigen Mikrofoneigenschaften ein so versorgtes Mikrofon für den vorgesehenen Anwendungsfall prädestinieren;

Ausgangsspannung

Als Funktion der Mikrofonempfindlichkeit (Leerlauf-Übertragungsfaktor in mV/Pa) und des zu verarbeitenden Schallpegels, je nach Einsatz und Programmmaterial, stehen die zu verarbeitenden Effektivwerte der Ausgangsspannungen in einem Verhältnis von 1 : 300 000, so dass die althergebrachten Angaben wie „dyn. Mikrofon ca. 0,5 bis 2 mV“ völlig unbrauchbar sind. Wichtig für den Anlagenplaner sind die Werte Mikrofonempfindlichkeit, maximale Ausgangsspannung des Mikrofons oder maximaler Schalldruckpegel. Daraus lassen sich Rückschlüsse für den Einsatz des Mikrofons und die notwendigen Eigenschaften der nachfolgenden Verstärkerstufen ziehen. Wichtige Anhaltswerte für die Leerlauf-Übertragungsfaktoren sind:

• Tauchspulmikrofone	1 ... 3	mV/Pa
• Elektretkondensatormikrofone	2 ... 8	mV/Pa
• Kondensatormikrofone in NF-Schaltung	10...20	mV/Pa
• Kondensatormikrofone in HF-Schaltung	bis 40	mV/Pa

Unterdrückung von Einflüssen durch elektromagnetische Störfelder

Tauchspulmikrofone wandeln prinzipbedingt auch tieffrequente Magnetwechselfelder in tonfrequente Spannungen um, zur Unterdrückung werden Kompensationsspulen angeordnet; an den hochohmigen Eingangskreisen von Kondensatormikrofonen kann es zur Demodulation von elektrischen Wechselfeldern kommen, eine HF-dichte Abschirmung ist notwendig;

Eigenstörungen

Jede elektrische Schaltung (auch passive) erzeugt Störsignale, z. B. Rauschen. Die am Ausgang eines Mikrofons messbare Ausgangsspannung kann auch als ein akustisches Ereignis interpretiert werden, das an der Mikrofonmembran einen bestimmten Schallpegel hervorruft. Dieser heißt Ersatz-Störschallpegel. Er kann nach verschiedenen Normen gemessen werden. Dabei liefern die unterschiedlichen Messverfahren an ein und demselben Mikrofon Messwerte, die bis zu 10 dB streuen. Die Ersatz-Störschallpegel liegen beim kritischsten Messverfahren (CCIR) im Bereich zwischen 20 und 30 dB bei Studiomikrofonen.

A) III. 2. a) Schallumwandlung

Wandler mechanisch-elektrisch

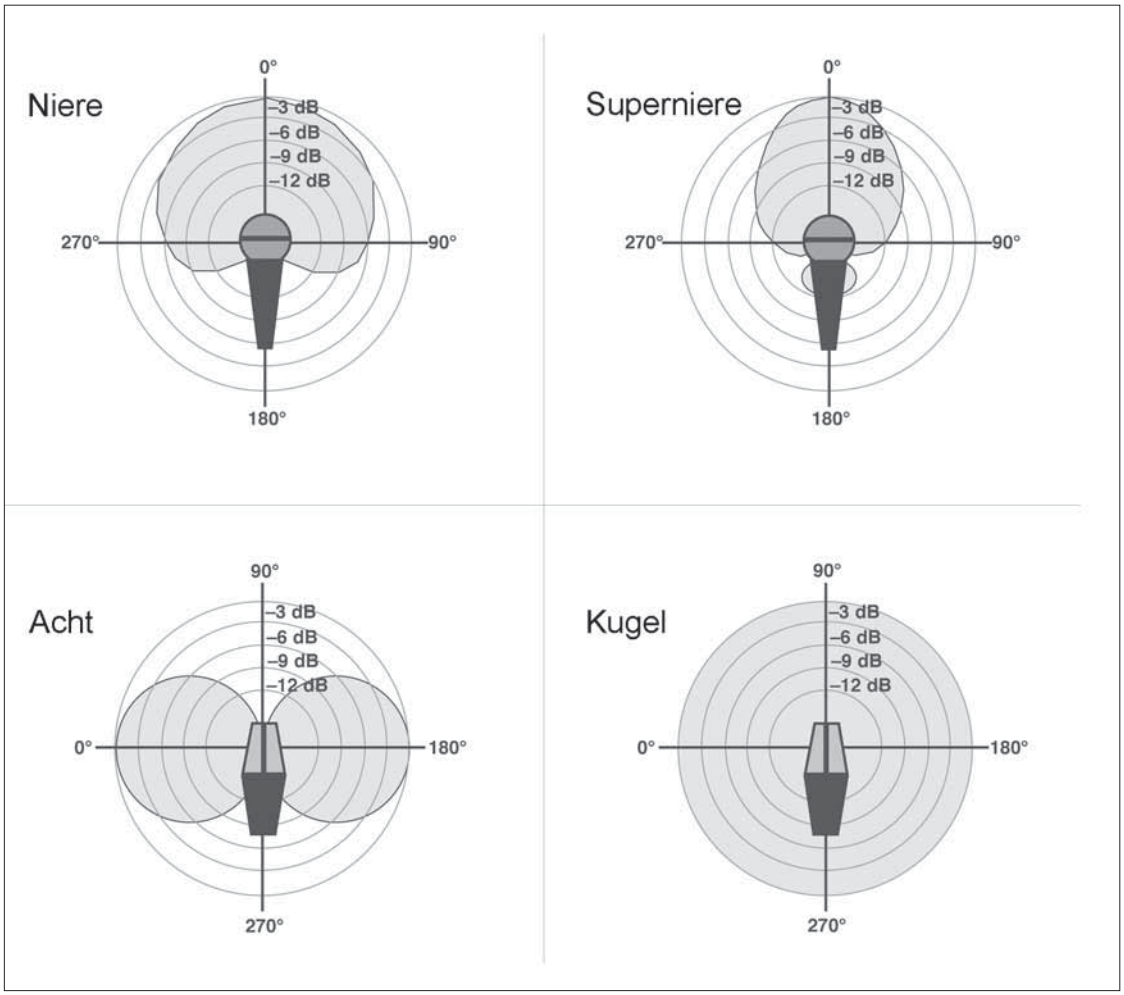
Jedes herkömmliche Mikrofon besteht eigentlich aus zwei Energiewandlern, einem akustisch-mechanischen Wandler in Form einer schwingfähigen Membran und einem mechanisch-elektrischen Wandler, der die Bewegungsenergie der Membran in elektrische Energie umsetzt. Derzeit haben in der Beschallungstechnik zwei Wandlerprinzipien Bedeutung, das elektrodynamische Prinzip und das elektrostatische Prinzip. Die bekanntesten Vertreter sind einerseits das Tauchspul- und das Bändchenmikrofon und andererseits das Kondensatormikrofon. Andere Prinzipien sind bekannt, gegenwärtig für die Beschallungstechnik jedoch ohne Bedeutung. Das jeweils angewendete Wandlerprinzip beeinflusst die Mikrofoneigenschaften entscheidend. Wesentlich ist, dass die Eigenresonanz des Wandlersystems (elastische oder elastisch aufgehängte Membran mit oder ohne Tauchspule) beim dynamischen Mikrofon zur Erzielung eines brauchbaren Übertragungsverhaltens am unteren Ende oder in der Mitte des Übertragungsbereiches liegen muss, beim Kondensator-mikrofon in der Mitte oder am oberen Ende. Dadurch können beim Kondensatormikrofon wesentlich leichtere und steifere Membranen benutzt werden, was eine Menge von Vorteilen mit sich bringt (Einschwingverhalten, Phasengang, Reproduzierbarkeit).

Wandler akustisch-mechanisch

Der akustisch-mechanische Wandler kann so beschaffen sein, dass er den Schallwechseldruck an einem Punkt des Schallfeldes auswertet (Druckempfänger) oder aber den Schalldruckunterschied zwischen zwei Punkten des Schallfeldes (Gradientenempfänger). Konstruktiv sieht das so aus, dass beim Druckempfänger nur eine Seite der Membran für Schallwellen zugänglich ist, beim Gradientenempfänger dagegen beide, wobei in den Zugang zu einer Seite akustische Widerstände bzw. Impedanzen eingebaut sein können. Der Schalldruckunterschied zwischen zwei Punkten ist frequenzabhängig, zur Kompensation dieses Effektes muss die Resonanzfrequenz des Wandlersystems tiefer gelegt werden. Das ist beim Druckempfänger nicht nötig. Zusätzlich ist der Druckunterschied zwischen zwei Punkten des Schallfeldes abhängig vom Winkel zwischen der Schallausbreitungsrichtung und der Verbindungslinie zwischen den beiden Punkten. Daher sind Gradientenempfänger richtungsempfindlich, man kann ihnen konstruktiv eine Vorzugsrichtung verleihen. Das ist wiederum beim Druckempfänger nicht möglich. Aufgrund der höher liegenden Eigenfrequenz haben Druckempfänger einige Klangvorteile und sind unempfindlicher gegen Wind- und Griffgeräusche (⇒ siehe III.2.b) Seite 34). Wie schon erwähnt, ist der Schalldruckunterschied zwischen zwei Punkten des Schallfeldes frequenzabhängig. Diese Frequenzabhängigkeit ändert sich in der Nähe von punktförmigen Schallquellen noch mit der Entfernung zur Schallquelle. Daher kommt bei Gradientenempfängern in der Nähe der Schallquelle eine zusätzliche Bassanhebung zustande, die manchmal erwünscht, manchmal auch unerwünscht ist (Nahbesprechungseffekt oder Proximity-Effekt (⇒ siehe III. 2. c) Seite 36).

A) III. 2. b) Richtcharakteristik:

Klassifizierung der Richteigenschaften von Mikrofonen durch Einzelbegriffe. Dabei werden im Deutschen charakteristische Formen des Polardiagramms nach typischen alltäglichen Formen benannt.
Grundformen sind Niere, Acht, Kugel, Keule. Abgeleitete Formen sind Superniere, Hyperniere und breite Niere.



Niere (cardioid, uni-directional)

Das Richtdiagramm hat die Form einer Niere, Schall von der "Vorderseite" wird bevorzugt aufgenommen, von der Rückseite unterdrückt. Das Nierenmikrofon ist das Standardmikrofon der Beschallungstechnik. Durch gute Bündelungseigenschaften wird bei zweckentsprechender Anordnung der Komponenten eine hohe Rückkopplungssicherheit erreicht. Als Richtmikrofon ist das Nierenmikrofon ein Gradientenempfänger mit dessen prinzipiellen Nachteilen, die auf einer nicht ganz so straff eingespannten Membran beruhen (Wind- und Popempfindlichkeit, Nahbesprechungseffekt).

Superniere, Hyperniere, breite Niere

Sonderformen der Nierencharakteristik im Übergangsbereich zwischen Kugel- und Achtercharakteristik. Häufig angewendet in Beschallungsanlagen werden Super- und Hypernieren, ihr Vorteil gegenüber der Niere liegt in der höheren Bündelung; ein anderer Unterschied besteht darin, dass der unempfindlichste Bereich nicht mehr genau auf der Rückseite ist sondern bei ca. 130°. Das kann z.B. beim Einsatz von Bühnenmonitoren (floor monitors) vorteilhaft sein.

Acht

Das Richtdiagramm hat die Form einer Acht, das Mikrofon nimmt Schall von 2 Seiten gleich stark auf (allerdings gegenphasig) und hat in der Ebene der Membran quasi eine Auslöschung. Das Achtermikrofon wertet die Druckdifferenz zwischen Vorder- und Rückseite der Membran aus (Gradientenempfänger) und ist damit der theoretische Urvater aller Richtmikrofone. Für die Beschallungstechnik hat das Achtermikrofon kaum Bedeutung, aus der Kombination von Acht und Kugel können aber alle Nierenformen abgeleitet werden.

Kugel (omni-directional)

Das Richtdiagramm hat die Form eines Kreises, das Mikrofon nimmt Schall aus allen Richtungen gleichmäßig auf. Ein Mikrofon mit Kugelcharakteristik wird meist als Druckempfänger ausgeführt und hat dadurch einige prinzipbedingte Vorteile, die oft übersehen werden, z.B. geringe Windempfindlichkeit, geringe Griffgeräuschempfindlichkeit, kein Nahbesprechungseffekt. Mikrofone mit Kugelcharakteristik kann man häufig daran erkennen, dass im Gehäuse nur an einer Seite (frontal) Schalleintrittsöffnungen vorhanden sind.

Keule (shotgun)

Das Richtdiagramm hat die prinzipielle Form einer Gymnastikkeule. Durch eine akustische Wellenleiterstruktur (Richtrohr) vor der Membran wird die Bündelung eines Nierenmikrofons weiter erhöht. Dadurch wird eine sehr gute Unterdrückung seitlich und rückwärtig auf das Mikrofon einfallenden Schalls erreicht. Einsatz von Richtrohren in der Beschallungstechnik für spezielle Zwecke, z.B. in sehr halligen Räumen an Rednerpulten bzw. in Interviewsituationen oder zur Aufnahme des Mithörtones für die Garderoben in Theatern. Ebenfalls ein Gradientenempfänger, sehr windgeräuschanfällig, allerdings kommen Nahbesprechungseffekt und Popempfindlichkeit durch den großen mechanischen Vorbau vor der Membran (25 ... 80 cm) nicht zum Tragen. Die Anwendung von Richtrohren erfordert große Disziplin von Rednern bzw. eine große Sachkenntnis des Bedieners.

A) III. 2. c) Nahbesprechungseffekt (proximity effect)

Typische Eigenschaft aller Druckgradientenempfänger (Richtmikrofone). Der Frequenzgang eines Richtmikrofons ist u. a. abhängig von der Entfernung des Mikrofons von einer Schallquelle. Je dichter das Mikrofon an der Schallquelle, umso stärker werden tiefe Frequenzen hervorgehoben. Wichtig: Frequenzgänge von Mikrofonen werden normalerweise (wenn nichts anderes angegeben) in einer Entfernung von 1 m zur Schallquelle aufgenommen, auch bei Mikrofonen, die üblicherweise direkt an der Schallquelle eingesetzt werden (Headsets). Einige Hersteller geben zusätzlich den Frequenzgang bei 5 cm Entfernung an.
Kompensationsmöglichkeiten: Gestaltung des 1-m- Frequenzganges durch Konstruktion oder elektrische Beschaltung mit Tiefenabfall, so dass bei Nahbesprechung ein näherungsweise linearer Frequenzgang entsteht (Nahbesprechungsmikrofone klingen aus größeren Entfernungen "dünn"). Einbau eines frequenzabhängigen akustischen Umwegs auf der Rückseite der Membran (VARIABLE - D®) (⇒ A) III 2.g) Seite 37). Dadurch wird über einen sehr großen Entfernungsbereich der Frequenz-gang unabhängig vom Besprechungsabstand. Erkennen kann man diese Mikrofone häufig an einer Gitterstruktur im Schaft, wodurch aber eine Anwendung in der Hand nahezu unmöglich wird.
Anwendung der Zweiwegtechnik (nur noch selten praktiziert): Durch unterschiedliche Wandlersysteme für Tief-Mitteltonbereich und Mittel-Hochtonbereich wird der Bereich des Besprechungsabstandes mit konstantem Frequenzgang sehr groß.

A) III. 2. d) Maximalschalldruckpegel

Schalldruckpegel an der Membran eines Mikrofons, der zu bestimmten Verzerrungen führt, z.B. 1 % Klirrfaktor. Typische Größenordnungen: 110 dB ... 160 dB. Bitte beachten: Sprache wird in vielen Publikationen mit 74 dB als Durchschnittswert angegeben, Spitzenwerte in 1 m Entfernung können durchaus 94 dB erreichen. Rechnet man das für eine Entfernung von 3 cm um, ergeben sich Werte um 125 dB, was einige Mikrofone schon überfordern dürfte.

A) III. 2. e) Ersatzschallpegel

In elektrischen Bauelementen (auch passiven wie Widerständen, Spulen, Kondensatoren) entsteht bei Stromfluss ein Rauschen, das an den Ausgangsklemmen eines Mikrofons messbar (hörbar) ist. Durch Vergleichsmessungen mit bekannten Schallquellen kann man feststellen: das Rauschen (oder andere Störgeräusche) ist so stark, als ob eine Schallwelle mit einem gewissen Schallpegel auf das Mikrofon auftreffen würde. Übliche Größenordnungen: 5 ... 30 dB(A). Wichtig: Je nach Bewertungsverfahren schwanken die Zahlenangaben bis 15 dB beim gleichen Mikrofon. Faustregel: Je kleiner das Mikrofon, umso größer der Ersatzschallpegel.

A) III. 2. f) Frequenzgang - Übertragungsbereich

Die graphische Darstellung der Mikrofonempfindlichkeit heißt Frequenzgang. Punkte, an denen diese Kurve gewisse, von Normen oder vom Hersteller vorgegebene Toleranzbereiche verlässt, werden Eckfrequenzen genannt. Der Bereich, in dem die Kurve im Toleranzkanal liegt, also der Bereich zwischen zwei Eckfrequenzen, heißt Übertragungsbereich. Der Toleranzkanal muss kein lineares Gebilde sein, Absenkungen und Überhöhungen sind zugelassen bzw. durch den Toleranzkanal z.T. explizit gefordert, denn Mikrofone mit nahezu linearem Frequenzgang sind zumindest für die Beschallungstechnik gar nicht so wünschenswert. Häufig werden Hervorhebungen oder Absenkungen einzelner Frequenzbereiche gewünscht und auch durch die Hersteller realisiert. Trotz dieser Korrekturen sollte aber der Frequenzgang einen glatten und kontinuierlichen Eindruck machen, die Anzahl der lokalen Maxima und Minima sollte gering sein. Das wirkt sich günstig bei der Sicherheit gegenüber akustischen Rückkopplungen aus. Trotz dieser Freiheiten lassen sich Teile des Frequenzganges grob typisieren.

Low-Cut

Die Mikrofonempfindlichkeit lässt bei Frequenzen unter 200 Hz sehr rapide nach, die Steilheit des Frequenzganges beträgt 12 dB / Oktave. Diese Absenkung ist z. T. schaltbar. Sinn dieser Absenkung ist die Unterdrückung von Trittschall und Rumpelgeräuschen.

Roll-Off

Die Mikrofonempfindlichkeit sinkt unterhalb von 800 Hz leicht, aber kontinuierlich ab. Die Steilheit des Abfalls beträgt etwa 6 dB / Oktave. Diese Absenkung ist z. T. auch zuschaltbar, bei einigen Mikrofonen sogar mehrstufig. Der Sinn dieses Filters liegt in der Kompensation des Naheffektes, in der Kompensation der Bassanhebung durch Schallverstärkung und im Ausgleich der häufig sehr langen Nachhallzeiten bei tiefen Frequenzen in üblichen Räumen.

Präsenz

Die Mikrofonempfindlichkeit steigt im Bereich zwischen 1 kHz und 5 kHz um ca. 5 dB gegenüber anderen Bereichen an. Diese Anhebung wird häufig gewünscht, um Sprache nach vorn zu bringen, d. h. um die Verständlichkeit von Sprache zu verbessern. Das gelingt auch recht gut, bei einigen Sprechern führt das allerdings dazu, dass Zischlaute bis zur Verzerrung übertrieben stark wiedergegeben werden. Diese Anhebung ist entweder eingebaut oder nicht, nur in wenigen Fällen ist eine Zuschaltung oder gar eine stufenweise Zuschaltung bekannt.

Brillanzanhebung und DF-Kompensation

Bei sehr hohen Frequenzen gibt es eine Anhebung des Frequenzganges. Der Schwerpunkt der Anhebung liegt oberhalb von 8 kHz. Die Ursache hierfür liegt darin, dass aufgrund bestimmter physikalischer Gesetzmäßigkeiten der Frequenzgang für frontalen Schalleinfall und der für allseitig gleichmäßigen in den Höhenbereichen sehr stark differieren. Die Höhenempfindlichkeit muss für die Achsrichtung angehoben werden, damit der Diffusfeld-Frequenzgang linearisiert wird. Mit derartigen Mikrofonen abgenommene Quellen klingen sehr brillant, Einschwingvorgänge werden besser hörbar.

A) III. 2. g) Besonderheiten von Mikrofonen aus dem EV-Programm

Einige Mikrofone aus dem Produktprogramm von Electro-Voice weisen einige Besonderheiten auf, die hier kurz erläutert werden sollen.

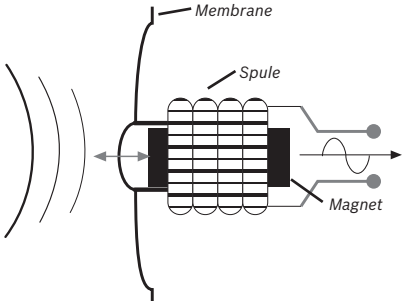
VARIABLE-D® kennzeichnet ein patentiertes Verfahren, das bei Gradientenempfängern den Frequenzgang entfernungsunabhängig macht, es tritt praktisch kein Naheffekt ein. Äußeres Kennzeichen hierfür sind seitliche Schalleintrittsöffnungen am Mikrofonschaft. Diese Mikrofone werden gern zur Abnahme von Naturinstrumenten und von klassisch ausgebildeten Gesangsstimmen eingesetzt.

N/DYM kennzeichnet dynamische Mikrofone mit einem relativ neuen Magnetwerkstoff Neodym. Das ist ein Werkstoff mit sehr guten magnetischen Eigenschaften bei relativ geringer Masse und sehr guter Formbarkeit. Durch Einsatz dieses Werkstoffes ist es gelungen, die Freifeld-Leerlaufübertragungsmaße (Empfindlichkeiten) um mehrere dB zu verbessern, die damit im Bereich von Kondensatormikrofonen liegen. Durch die verringerte Gesamtmasse des eigentlichen Wandlers sind effektivere Körperschall-Schutzkonstruktionen möglich. Das Klangbild der besten dieser Mikrofone kommt dem klassischer Kondensatormikrofone sehr nahe.

A) III. 3. Mikrofontypen und verschiedene Prinzipien

Dynamisches Mikrofon

Die von den Schallwellen angetriebene Membran bewegt einen elektrischen Leiter im Feld eines Permanentmagneten. Durch Induktion wird in dem Leiter eine den Schallwellen entsprechende Wechselspannung erzeugt, welche dann durch Verstärker weiterverarbeitet werden kann.
Ausführungsformen: Bändchenmikrofon, Tauchspulmikrofon.



Schwingspulen-Prinzip

Übliche Anschlusswerte:

Nennimpedanz:	150 oder 200 Ohm
Empfindlichkeit:	1-2,5 mV/Pa

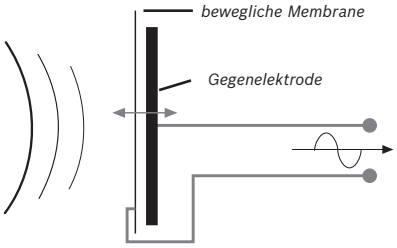
Kondensatormikrofon

Die Membran eines Kondensatormikrofons bildet zusammen mit der Gegenelektrode einen Kondensator, dessen Kapazität sich bei Bewegung der Membran ändert. Mit Hilfe einer Polarisationsspannungsquelle (ca. 40 .. 100 V) erhält man einen der Kapazitätsänderung proportionalen Strom. Diese Stromquelle ist äußerst hochohmig. Aus diesem Grund ist in unmittelbarer Nähe der Gegenelektrode ein Impedanzwandler eingebaut, der z. B. durch Phantomspeisung versorgt werden muss.

Übliche Anschlusswerte:

Nennimpedanz:	150 oder 200 Ohm
Empfindlichkeit:	5-20 mV/Pa.

Üblicherweise erreichen Kondensatormikrofone höchste Übertragungsqualität. Man kann auch den Kondensator zum Bestandteil eines Schwingkreises in einem Oszillator machen. Dann führen die Kapazitätsänderungen durch auftreffende Schallwellen zu Änderungen der Schwing-frequenz und man erhält ein frequenzmoduliertes Signal, das man, wie in einem Rundfunkempfänger üblich, in ein niederfrequentes zurückwandeln kann (Kondensatormikrofon in HF-Schaltung).



Kondensator-Prinzip

Elektretmikrofon

Sonderfall des Kondensatormikrofons. Die Ladung des Kondensators wird permanent durch eine Elektretfolie erreicht, die die Membran selbst sein kann oder auf die Gegenelektrode aufgebracht wird. Die Kennempfindlichkeiten sind etwas niedriger als die des klassischen Kondensatormikrofons.

Drahtlosmikrofon, Funkmikrofon, Wireless

Beim Drahtlosmikrofon wird die übliche elektrische Leitung zwischen Mikrofon und Verstärker durch eine Funkstrecke ersetzt. Das führt zu einer gewissen lokalen Unabhängigkeit der Schallquellen (Redner, Sänger, Instrumentalist) und vermeidet Kabelwege auf Bühnen oder in Studios. Im Mikrofongehäuse (Handheld) oder in einem kleinen separaten Gehäuse (Bodypack) ist ein HF-Sender eingebaut, der durch Batterien versorgt wird. Das Mikrofonsignal wird einem HF-Trägersignal aufmoduliert und dann über eine kleine, z. T. in das Mikrofongehäuse integrierte Antenne zum Funk-empfänger gesendet. Für den Betrieb von Drahtlosmikrofonen gelten Rechtsvorschriften, die von Land zu Land sehr unterschiedlich sein können. Je höher die verwendete Trägerfrequenz, umso wichtiger wird der direkte Sichtkontakt zwischen Sender und Empfangsantenne und umso verlustreicher werden Kabelstrecken zwischen Antenne und Empfänger.

Diversity-Betrieb

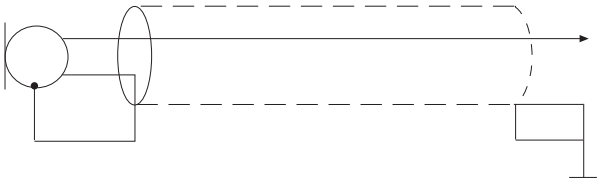
Funkempfangsprinzip, bei dem das bessere Signal von Zweien mit gleichem Inhalt verwendet wird. Verschiedene Realisierungen z.B. Frequenzdiversity in Autoradios (es wird auf die Frequenz eines Programms geschaltet, die den besseren Empfang gewährleistet) oder Ortsdiversity (es wird auf die Antenne umgeschaltet, die den besseren Empfangsstandort hat). Diversitybetrieb bei Drahtlos-mikrofonanlagen ist Orts- oder Localdiversity und erfordert zwei Antennen und zwei mehr oder weniger getrennte Empfänger mit Vergleichs- und Umschalteinrichtung.

Sonstige Mikrofonprinzipien

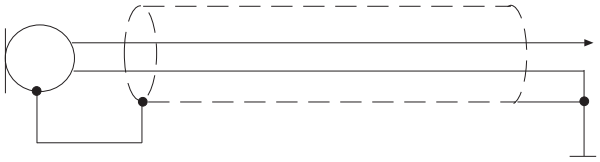
Außer den bisher beschriebenen Mikrofonprinzipien gibt es noch andere, z. B. Kohlekörnermikrofone (Ausnutzung des sich verändernden spezifischen Widerstandes bei unterschiedlicher Materialdichte durch Druck der Membran auf ein Material), Kristallmikrofone (Ausnutzung des piezoelektrischen Effektes) oder Kontaktmikrofone (Urvater des heutigen Mikrofons; eine an einer Membran befestigte Spitze öffnet und schließt im Rhythmus der Schallschwingungen einen elektrischen Kontakt; sehr hohe Verzerrungen). In der Telefontechnik sind diese Mikrofontypen z. T. noch gebräuchlich und damit auch indirekt für die Beschallungstechnik relevant (beim Einsprechen über Telefonanlagen).

A) III. 4. Mikrofonschaltungen

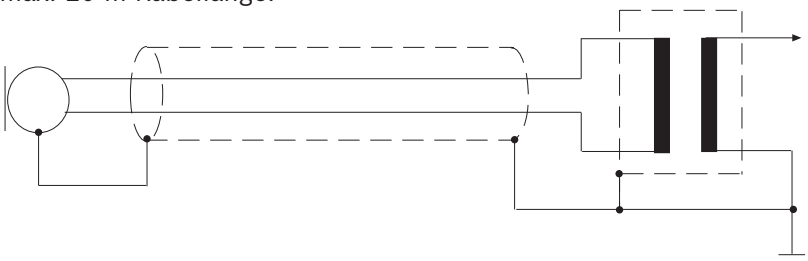
Anschlussarten:



1-polig abgeschirmtes Kabel, max. 5 m, Einstreuungsgefahr.



2-polig abgeschirmtes Kabel an unsymmetrischem Eingang, geringere Einstreuungsgefahr, max. 20 m Kabellänge.



2-polig abgeschirmtes Kabel an symmetrischem Eingang, sehr geringe Einstreuungsgefahr, max. 200 m Kabellänge.

A) IV. Leistungsverstärker

Die Hauptaufgabe der Leistungsverstärker besteht darin, das Nutzsignal ohne Qualitätsverluste auf die von Lautsprechern benötigte elektrische Energie zu verstärken. Gleichzeitig muss ein guter Leistungsverstärker verhindern, dass sich Resonanzfrequenzen von Lautsprechern klanglich negativ auswirken.

A) IV. 1. Ausgangsleistung

Der Wert der Ausgangsleistung kann je nach Messverfahren (IEC 268.3 / 19.4, DIN 45 500, DIN 45 566) stark schwanken.

Beispiel:
Bei einem Verstärker wird nach IEC 268.3 / 19.4 eine Ausgangsleistung von 130 W bei einer Dauerbelastung von 4 Stunden gemessen. Misst man den gleichen Verstärker nach IEC 268.3 / 19.3, so weist der Verstärker eine Ausgangsleistung von 180.1 W und nach 19.2 sogar von 246 W auf.
Es wird daher empfohlen, darauf zu achten, dass die Leistungsangaben der Endstufen der IEC 268.3, Absatz 19.4, entsprechen.

A) IV. 2. Leistungsbandbreite

Die Leistungsbandbreite ist definiert als derjenige Übertragungsbereich, in dem die Ausgangsleistung bei angegebenem Klirrfaktor um nicht mehr als 3 dB gegenüber dem Wert bei 1 kHz abweicht.

A) IV. 3. Fremdspannung, Geräuschspannung

Auch wenn der Eingang eines Leistungsverstärkers kurzgeschlossen wird, kann am Ausgang ein Signal gemessen werden. Als Sammelbegriff für alle Signalkomponenten außerhalb des Nutzsignals wurde die Bezeichnung Fremdspannung eingeführt. Diese Fremdspannung setzt sich aus Rauschen, Brummen und hochfrequenten Störungen zusammen. Bei genügend hohem Pegel wird die Fremdspannung über den Lautsprecher als Störgeräusch wahrgenommen. Die Fremdspannung wird mit einem Bandpassfilter, welcher zwischen 22.4 Hz und 22.4 kHz einen konstanten Übertragungsfaktor hat, gemessen. Meistens findet man in Datenblättern den Fremdspannungsabstand, der das logarithmierte Verhältnis von maximaler Spannungsamplitude zur Fremdspannung ist.
Entsprechende Vereinbarungen gelten auch für Geräuschspannungen, nur dass hier die Störspannungen mit standardisierten Filtern gemessen werden. Üblich sind das aus der Lärmmesstechnik bekannte A-Filter und das Filter nach CCIR-468.3.
Wichtig ist, dass man nur nach gleichen Verfahren gewonnene Messsignale vergleicht.

A) IV. 4. Empfindlichkeiten

Manche Verstärker bieten die Möglichkeit, verschiedene Tonspannungsquellen anzuschließen.

Folgende Eingänge sind hierfür üblich:

ca. 2 Mikrofoneingänge:		0,5 mV an 200 bis 1 000 Ohm
ca. 3 Tonträgereingänge:	Tonband:	100 mV an 470 kOhm
	Tuner:	100 mV an 470 kOhm

A) IV. 5. Verstärkergröße

Die Kosten eines Verstärkers innerhalb einer Baureihe steigen in etwa proportional zur Ausgangsleistung. Die damit erzielbare Lautstärkeerhöhung steigt aber nur logarithmisch. Die Nennausgangsleistung eines Verstärkers muss ausreichen, die angeschlossenen Lautsprecher so weit auszusteuern, dass die geforderten Schallpegel erreicht werden.
Überdimensionierte Verstärker erreichen bessere Klangergebnisse als knapp dimensionierte. Da Lautsprecher kurzzeitig überlastet werden können (3- bis 6-fach) ohne sie zu zerstören, schadet eine Überdimensionierung des Verstärkers nicht. Eine Unterdimensionierung führt durch die schlechteren dynamischen Eigenschaften häufig zu unbefriedigenden Klangergebnissen.

A) IV. 6. Wichtige Schutzfunktionen

Bei Leistungsverstärkern in Beschallungsanlagen sollten folgende Schutzfunktionen integriert sein:

- Strombegrenzung bei Kurzschluss
- Spannungsbegrenzung bei Leerlauf
- Leistungsbegrenzung bei Überlastung
- Leistungsbegrenzung bei Übertemperatur
- “Knackfreies“ Zuschalten des Ausgangs, Einschalten und Ausschalten des Verstärkers

Schutzkonzepte, die nicht sofort zu einer Totalabschaltung des Verstärkers führen, sondern zuerst versuchen die Ausgangsleistung zu reduzieren, sind zu bevorzugen.

A) V. Lautsprecher

A) V. 1. Funktionsprinzipien

Ein Lautsprecher ist eine Einrichtung, die elektrische Schwingungen in sich wellenförmig ausbreitende Schwingungen der Luft umwandelt. Technisch wird das so realisiert, dass die elektrischen Schwingungen zunächst in mechanische Schwingungen umgesetzt werden. Von einer sich im Rhythmus dieser Schwingungen mitbewegenden Fläche wird dann Schall abgestrahlt.

Der technisch meist verwendete Lautsprecher besteht also aus zwei Wandlersystemen,

- dem elektrisch-mechanischen Wandler und
- dem mechanisch-akustischen Wandler.

Beide Systeme haben ihre Einflüsse auf das Gesamtgebilde. Die bekannteste technische Realisierung ist der elektrodynamische Konuslautsprecher (⇒ AV1, Abb.1). Im Luftspalt eines Magnetsystems befindet sich, geführt von einer Zentriermembran, die so genannte Schwingspule. Wird diese von einem tonfrequenten Strom durchflossen, entstehen im Luftspalt magnetische Wechselkräfte, die die Spule und den daran befestigten Membrankegel hin- und herbewegen. Durch eine spezielle, präparierte Randsicke, die ähnlich wie eine Feder wirkt, wird das schwingende System in stromlosem Zustand in die Mittellage zurückgeführt.
Magnet, Schwingspule und die Federkraft der Sicke bilden das elektro-mechanische Wandler-System, die Oberfläche der Membran den mechanisch-akustischen Wandler. Die Masse der Membran geht in das elektro-mechanische System ein.
Jedes der beiden Wandlersysteme hat zwei entscheidende Einflüsse auf die Lautsprechereigenschaften.
Das elektro-mechanische System stellt einen Resonanzkreis dar. Unterhalb seiner Resonanzfrequenz setzt dieser Kreis dem elektrischen Strom kaum Widerstand entgegen (Kurzschluss), so dass kaum Leistung umgesetzt werden kann. Bei sehr viel höheren Frequenzen wird die Massenträgheit der Spule und Membran so groß, dass die umsetzbare Leistung ebenfalls sinkt. Die Größe der Membran beeinflusst auch das Übertragungsverhalten. Solange die Wellenlänge des abzustrahlenden Schalls wesentlich größer ist als die Membranabmessungen, werden Luftteilchen vorwiegend zwischen Vor- und Rückseite der Membran hin- und herbewegt, es kommt kaum zu Schallabstrahlung. Ist die Wellenlänge viel kleiner als die Membran, wird der Schall sehr stark auf der Achse des Lautsprechers gebündelt.
Fazit des Ganzen ist, dass ein einfacher Lautsprecher kaum in der Lage ist, den kompletten Hörschallbereich zu übertragen.
Deswegen werden Lautsprecher konstruktiv für bestimmte Frequenzbänder optimiert. Durch die Zusammenschaltung unterschiedlicher Lautsprecher erhält man Systeme, die den vollen Hörfrequenzbereich übertragen.

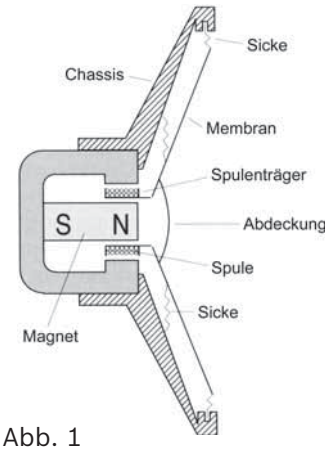


Abb. 1

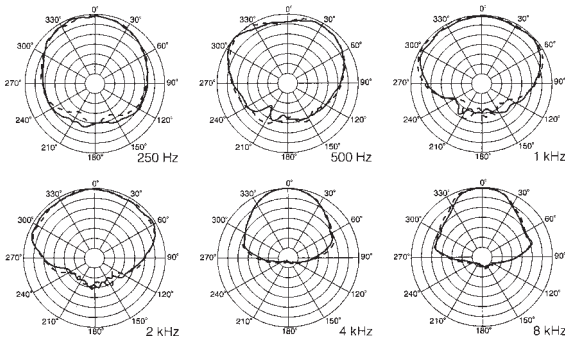


Abb. 2

Wichtige Zielfunktionen bei der Entwicklung von Lautsprechern sind:

- gute Klangeigenschaften (Übertragungsbereich, Richtwirkung)
- hoher Wirkungsgrad (Kennschallpegel)
- zweckentsprechende Richtwirkung (Bündelung, Polardiagramm (⇒ AV1, Abb.2 Seite 42))

Der Wirkungsgrad von Lautsprechern liegt in der Größenordnung von 1% (0,1 ... 10%).

Ring Mode Decoupling® (RMD®)

Sämtliche Lautsprecherkomponenten erzeugen ungewollte Schwingungen – oder Resonanzen – die Verzerrungen sowohl zeitlich als auch frequenzbezogen hervorrufen. Eine zeitliche Verzerrung wird von Lautsprecher-Anwendern häufig als „Nachklingen“ im System beschrieben. Dieses Nachklingen ist über den grundsätzlichen Stimmbereich hinweg deutlich hörbar, und Anwender versuchen meist, dieser Störung mit Entzerrung entgegenzuwirken. Leider beseitigen diese Versuche nicht nur die zeitliche Verzerrung bzw. das Nachklingen sondern auch Teile der Musiksignale. Letzten Endes geht also musikalische Information verloren.

Ring Mode Decoupling® (RMD®) ist ein Verfahren, das von Electro-Voice Entwicklungsingenieuren ausgearbeitet wurde, um der zeitlichen Verzerrung an ihrem Ursprung zu begegnen. Das grundsätzliche Problem ist mechanischer Natur. Daher kann die einzig wirksame Lösung dazu auch nur mechanischer Art sein. Wenn man akustischen Resonanzen entgegenwirken will, muss man auch auf akustischem Wege Abhilfe schaffen. Das gleiche gilt auch für elektrische Resonanzen: Das Entgegenwirken muss auf elektrischem Wege erfolgen.

Mit dem RMD®-Verfahren wird ein akustisches Signal erzeugt, das viel weniger durch mechanisches und akustisches Nachklingen belastet ist. Daraus ergibt sich eine viel höhere Wiedergabetreue besonders im kritischen Sprachbereich. Ein weiterer Vorteil der RMD®-Technik ist die höhere Pegelunabhängigkeit. Viele Techniker haben in der Praxis festgestellt, dass die Entzerrung des Systems sich zusammen mit den Ausgangspegeln des Systems ändern muss. Je lauter das System betrieben wird, desto mehr Veränderungen des EQ werden notwendig um das Klangverhalten des Systems zu erhalten (d. h. die Anlage klingt bei höheren Leistungen anders). Mit RMD® werden die Veränderungen des Klangverhaltens, die mit Pegeländerungen einhergehen, weitgehend reduziert. Systeme, die über RMD® verfügen, bieten daher einen höheren Grad an pegelunabhängiger Wiedergabetreue sowie eine deutlich hörbare Verbesserung der Stimmreproduktion.

A) V. 2. Lautsprecherkombinationen

Sollen bei sehr hohem Wirkungsgrad Schallstrahler mit guten Klangeigenschaften entstehen, werden mehrere Lautsprecher eingesetzt, von denen jeder nur einen Ausschnitt aus dem Gesamtspektrum überträgt. Man spricht von einer Lautsprecherkombination. Um eine solche Kombination richtig auszusteuern, muss dafür gesorgt werden, dass jeder beteiligte Lautsprecher nur Signale aus dem Frequenzband erhält, das er abstrahlen soll. Dazu wird das elektrische Tonsignalgemisch mit Hilfe von Tief-, Band- und Hochpässen in verschiedene Bereiche (Wege) zerlegt. Üblich sind 2 bis 4 Wege.
Die Zerlegung vor dem Leistungsverstärker, das so genannte „Aktiv-Crossover“ erfordert für jeden Weg einen eigenen Leistungsverstärker und einen höheren Installationsaufwand. Die Weichenschaltung kann aber wesentlich präziser und flexibler ausgelegt werden. Außerdem werden durch diese Technik höhere bandspezifische Ausgangsleistungen ermöglicht.
Das Passiv-Crossover hat seinen Vorteil im relativ geringen anlagentechnischen Aufwand und in seiner leichten Handhabbarkeit, es ist aber nicht so präzise und flexibel auszulegen.
Allerdings bietet die passive Frequenzweiche von sich aus gewisse Schutzfunktionen für die Lautsprecher, falls ein Verstärker defekt ist.

Im professionellen Bereich sind zwei Arten von Lautsprecherkombinationen üblich:

- Komplettstrahler vereinigen alle Lautsprecher in einem Gehäuse.
- Modularsysteme enthalten jeweils nur die Lautsprecher eines bestimmten Frequenzgebietes in einem Gehäuse, dadurch sind z. B. Kombinationen mit unterschiedlichen Richteigenschaften möglich.

Kritisch bei Lautsprecherkombinationen ist immer der Übertragungsbereich zwischen zwei Komponenten. Gerade in dem Bereich, an dem zwei Komponenten an der Übertragung eines Frequenzbereiches beteiligt sind, spielen Eigenschaften und Konstruktionen eine Rolle, die durch einfache Frequenzgang- und Klirrfaktormessungen nicht berücksichtigt werden. Die beteiligten Komponenten sollten im Übergangsbereich auch ähnliche Richtungseigenschaften und gleiche Entfernungen zum Zuhörer haben.

A) V. 3. Schallführungen, Gehäuse und Gruppenbildung

Während man die Klangeigenschaften des Lautsprechers durch die Anwendung von Lautsprecherkombinationen verbessern kann, gibt es zur Optimierung von Wirkungsgrad und Richteigenschaften andere Möglichkeiten.
Man kann Lautsprecher in Gehäuse einbauen, Elemente zwischen Lautsprecher und Schallfeld bringen und den gleichen Lautsprechertyp mehrfach anordnen.

Schallführungen

Wenn man einen Lautsprecher in einen kleinen Hohlkörper einstrahlen lässt, der am anderen Ende eine kleinere Öffnung hat als die Membranfläche, erhöht sich der Wirkungsgrad des Lautsprechers. Man spricht von einem Druckkammersystem. Damit das System optimal arbeiten kann, muss die kleinere Öffnung nach bestimmten mathematischen Regeln wieder trichterförmig erweitert werden. In diesem System heißt der Lautsprecher, der für höhere Frequenzbereiche mit der Druckkammer konstruktiv eine Einheit bildet, „Treiber“, der Trichter heißt „Horn“. Das Horn bewirkt neben der optimalen Anpassung zwischen Treiber und Schallfeld ganz gezielt bestimmte Richteigenschaften. Das Horn kann sehr unterschiedliche Bauformen haben, es kann sich beispielsweise nur in eine Richtung erweitern, es kann einfach oder mehrfach gefaltet sein (Umkehrhorn, W-Horn, Doppelfalt-Trichter). Da das Druckkammersystem auch einige Nachteile mit sich bringt, ist eine Optimierung der Eigenschaften in die Richtung Klangqualität, Wirkungsgrad und Übertragungsbereich nötig und möglich.

- Trichterlautsprecher für reine Sprachübertragung haben einen sehr hohen Wirkungsgrad, eine mittlere Übertragungsbandbreite mit relativ großen linearen Verzerrungen und häufig einen sehr hohen Klirrfaktor.

- Basshörner haben in ihrem Arbeitsgebiet einen relativ niedrigen Klirrfaktor, einen hohen Wirkungsgrad, gute Klangeigenschaften aber einen extrem schmalen Übertragungsbereich.

- Hornsysteme für die Musikwiedergabe vereinigen hohen Wirkungsgrad mit guten Klangeigenschaften und relativ großer Bandbreite.

- Eine weitere bekannte Art der Schallführung ist die Akustik-Linse. Sie wurde in den 70er Jahren häufig eingesetzt um die Abstrahlung von Hochtonlautsprechern räumlich zu verbreitern.

Gehäuse

Eine besondere Art der Schallführung stellt die Schallwand dar. Sie ist gleichzeitig der Übergang zum Gehäuse. Wie schon beschrieben, bewegt ein Lautsprecher innerhalb einer bestimmten Frequenz nur noch Luftteilchen zwischen Vorder- und Rückseite der Membran hin und her. Es kommt zum so genannten akustischen Kurzschluss. Um das zu verhindern, baut man den Lautsprecher in eine große Wand ein, die Schallwand. Dadurch wird die Tiefenwiedergabe eines Lautsprechers verbessert. Wird die Schallwand nach hinten abgebogen und geschlossen, entsteht die Kompaktbox. Hier kann es den akustischen Kurzschluss nicht mehr geben. Die Tiefenwiedergabe verbessert sich. Allerdings verschiebt sich die Resonanzfrequenz des Lautsprechersystems zu höheren Frequenzen hin. Durch speziell dimensionierte Öffnungen in der Schallwand einer ansonsten geschlossenen Box entsteht das Bassreflexsystem. Die Öffnungen, die auch als Tunnel ausgebildet sein können, bilden mit dem Luftvolumen der Box ein Resonanzsystem. Durch gezielte Abstimmung auf eine Resonanzfrequenz, die ein bestimmtes Verhältnis zur Resonanz des Lautsprechers hat, kann man erreichen, dass der Übertragungsbereich nach tiefen Frequenzen hin ausgeweitet wird.

Gruppenbildungen

Um den Wirkungsgrad von Lautsprecheranordnungen zu verbessern und die Richteigenschaften gezielt zu beeinflussen, kann man mehrere Lautsprecher von ein und demselben Typ dicht beieinander anordnen und phasengleich aussteuern. Man spricht von einer Gruppenbildung.
Die bekanntesten Arrays sind die ELA-Zeile (Tonsäule, Schallzeile, Gruppenstrahler), die Doppel-15“- oder Doppel-12“-Basslautsprecher oder die 4-x-10“-Gitarrenlautsprecher aus der Musikszene sowie die PA-Stacks bei Konzertbeschallungen. Sämtliche Arrays bewirken eine Erhöhung des Wirkungsgrades gegenüber dem Einzelsystem sowie eine Bündelung des Schalls auf der Hauptachse. Die Bündelung ist, wenn keine besonderen Maßnahmen vorgesehen werden, stark frequenzabhängig und nimmt mit steigender Frequenz zu.

Ziel des Clusters ist es, von einem Punkt aus Flächen zu beschallen, die von diesem Punkt aus unterschiedliche Entfernungen haben und auf solche Raumwinkel abgebildet werden, die ein einzelner Strahler nicht versorgen kann. Die Richtwirkung des Einzelstrahlers soll im Cluster erhalten bleiben.
Das bekannteste Cluster im deutschen Sprachraum ist die Schallampel, bei der sich mehrere Schallzeilen auf der Mantelfläche eines Kegels befinden.
Die Cluster-Beschallungen sind in Nordamerika zur wahren Meisterschaft geführt worden. Dort ist auch die entsprechende Theorie herausgearbeitet worden, um Cluster so zu entwerfen, dass es nur zu geringen Phasenauslöschungen kommt.

A) V. 4. Die IP Schutzarten nach IEC 529 / DIN 40 050

Die Arten für den Schutz von elektrischen Betriebsmitteln durch entsprechende Kapselung werden durch ein Kurzzeichen angegeben, das aus den Buchstaben IP und zwei, manchmal drei Ziffern besteht. Die erste Ziffer gibt den Berührungs- und Fremdkörperschutz und die zweite Kennziffer den Wasserschutz an. Der Stoßschutz als dritte Kennziffer wird in der Regel nicht angegeben.

IP	1. Stelle Berührungs- und Fremdkörperschutz Schutz gegen...	2. Stelle Wasserschutz Schutz gegen...	3. Stelle Stoßschutz Schutz gegen Stoßenergie bis...
0	–	–	–
1	...Fremdkörper > 50 mm	...senkrecht fallendes Tropfwasser	...0,225 J = Aufprall von 150 g aus 15 cm Höhe
2	...Fremdkörper > 12 mm	...schräg fallendes Tropfwasser	...0,375 J = Aufprall von 250 g aus 15 cm Höhe
3	...Fremdkörper > 2,5 mm	...Sprühwasser	...0,5 J = Aufprall von 250 g aus 20 cm Höhe
4	...Fremdkörper > 1 mm	...Spritzwasser	–
5	...Staubablagerung	...Strahlwasser	...2,0 J = Aufprall von 500 g aus 40 cm Höhe
6	...Staubeintritt	...Überflutung	–
7	–	...beim Eintauchen	...6,0 J = Aufprall von 1,5 kg aus 40 cm Höhe
8	–	...beim Untertauchen	–
9	–	–	...20 J = Aufprall von 5 kg aus 40 cm Höhe

A) V. 5. Schaltungstechnik in Lautsprecheranlagen

A) V. 5. a) Grundlage

Zunächst einen kurzen Exkurs in die elektrische Zweipoltheorie.
Die maximale Leistung zwischen einer Energiequelle und einem Verbraucher kann übertragen werden, wenn der Innenwiderstand der Quelle gleich dem Widerstand des Verbrauchers ist (Leistungsanpassung). Der Wirkungsgrad ist 0,5. Um einen hohen Wirkungsgrad zu erhalten, muss der Verbraucherwiderstand sehr viel größer sein als der Innenwiderstand der Quelle.
Während der erste Satz sicherlich Richtschnur war für die Pioniere der Lautsprechertechnik, steht der zweite heute mehr im Blickpunkt. Leistungsanpassung ist nicht mehr nötig, da die Verstärker Innenwiderstände von etwa einem Zehntel ihres Nenn-Abschluss-Widerstands haben.

Es gilt: $Z_{NL\ Ges} \geq Z_{N\ Verst}$
$Z_{NL\ Ges}$: Gesamt-Nennimpedanz des Lautsprechernetzes
$Z_{N\ Verst}$: Nennimpedanz des Verstärkers

Solange obige Forderung eingehalten wird, kann man in Reihe, parallel oder in Brücke schalten soviel man will. Das gilt unabhängig von der Nennspannung und von der Nennimpedanz des verwendeten Verstärkers.

A) V. 5. b) Technische Grundprinzipien

Lautsprecher werden heute für zwei Anpassungsfälle angeboten:

- Mit einer Nennimpedanz im Bereich von 4 Ohm bis 16 Ohm, die im Prinzip nur durch die Impedanz der Schwingspule(n) bestimmt werden (niederohmige Lautsprecher).
- Mit einem vorgesetzten Leistungsübertrager zum Anschalten an ein Leitungsnetz mit 100-V-Tonspannung (bzw. 70 V in Nordamerika), die Impedanzwerte reichen von 25 Ohm bis 15 kOhm (100-V- / 70-V-Lautsprecher).

Zu den beiden Systemen gibt es jeweils die passenden Leistungsverstärker. Beide Systeme haben ihre Vor- und Nachteile. Vorteil des 100-V-Systems ist möglichst geringer Kabelquerschnitt, die geringe Strombelastung von Schaltkontakten sowie relativ einfache Möglichkeiten der Lautstärkeregelung in großen Entfernungen vom Verstärker. Ein weiterer Vorteil ist die Möglichkeit, einfach weitere Lautsprecher parallel schalten zu können, solange die angeschlossene Last die Nennbelastbarkeit nicht überschreitet. Das ist aber nur ein Vorteil für das Rechenverfahren. Die Vorteile der niederohmigen Verstärker und Lautsprecher liegen darin, dass im Übertragungsweg zwei Leistungsübertrager entfallen, die z. T. einen erheblichen Einfluss auf die Übertragungsgüte haben, und dass für niedrige Leistungen auch nur ungefährliche Kleinspannungen benötigt werden. Die Vorteile des einen Systems sind quasi die Nachteile des anderen Systems.

Für die Anwendung des jeweiligen Übertragungssystems gelten die beiden Grundregeln:

- Weit verzweigte Systeme mit vielen Lautsprechern / kleiner Leistung: 100-V / 70-V-Technik (ELA)
- Hohe Leistungen in der Nähe des Verstärkers: niederohmige Technik (ProSound)

Zwischen diesen beiden Extremfällen muss eine Kostenanalyse angefertigt werden, die sowohl die Installations- als auch die Wartungskosten berücksichtigt. Ferner ist der Verwendungszweck zu prüfen. Handelt es sich um eine Alarmierungsbeschallung mit der Möglichkeit, Durchsagen abzusetzen sowie eine Hintergrundbeschallung durchzuführen; oder ist eine sehr hochwertige Beschallungsanlage mit hoher Übertragungsgüte und großem Schalldruckpegel gefordert? Bei modernen Mehrzweckanlagen mit hohem Nutzungsgrad werden beide Übertragungstechniken (ELA bzw. ProSound) in Kombinationen angewendet, d.h. die ProSound-Komponenten werden neben ihrem eigentlichen Verwendungszweck in das Alarmierungs- und Paging-Konzept eingebunden.

A) VI. Beschallungslösungen

A) VI. 1. Klassifizierung von Beschallungsanlagen

Nach der Vielzahl der Aufgaben und der Realisierungsmöglichkeiten von Beschallungsanlagen lassen sich diese auch nach sehr unterschiedlichen Merkmalen einteilen. Aus der großen Anzahl von Möglichkeiten sollen hier vier herausgegriffen werden:

A) VI. 1. a) Unterscheidung nach dem zu übertragenden Programmmaterial

Das zu übertragende Programmmaterial bestimmt wesentlich den notwendigen Übertragungsbereich, die zulässigen Toleranzen dieses Bereiches und die Dynamikmöglichkeiten.

Typische Einteilungen sind:

- Alarmierungs- und Rufbeschallungen
- Sprachübertragungen
- Hintergrundmusikanlagen
- ProSound-Anlagen

(⇒ siehe auch B) Seite 79)

Vorstehende Tabelle kann als Anhaltspunkt für die Auswahl zweckentsprechender Schallstrahler genutzt werden.

Bezeichnung	Übertragungsbereich / kHz	Toleranz / dB	Dynamik / dB
Alarmierung / Ruf	0,40 - 4,0	± 5	20
Sprache	0,20 – 12,0	± 4	40
Hintergrundmusik	0,10 – 15,0	± 4	20
ProSound	0,05 – 18,0	± 4	> 60

Um die Dynamik des Programmmaterials richtig zum Zuhörer zu bringen, muss der Schallstrahler in der Lage sein, am Hörerplatz einen Schallpegel zu erzeugen, der um den Dynamikwert höher ist als der zu erwartende Störschallpegel. Eine zusätzliche Aussteuerungsreserve von 10 dB ist anzuraten.

Beispiele:

1) Schallpegel, den ein Lautsprecher bei Nennleistung in 1m Entfernung erzeugen können muss, dabei sind 10 dB Übersteuerungsreserve eingerechnet.

Ort	Art	Störpegel	Entfernung/m	Dynamik/dB	Max. Schallpegel[1)]
Werkhalle	Ruf	85	10	20	135
Kaufhaus	Hintergrund	65	1	20	95
Kirche	Sprache	45	10	40	125
Stadion	Ruf	85	30	20	145
Theater	Musik	40	30	60	140

A) VI. 1. b) Mitkopplungsmöglichkeiten

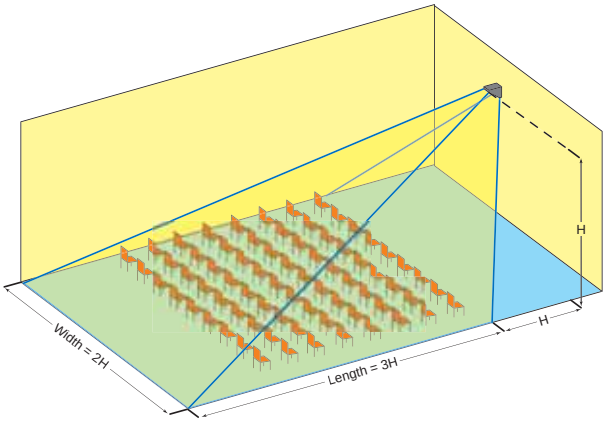
Entscheidend für die Anordnung von Strahlern und deren Auswahl hinsichtlich der Richteigenschaften für eine Beschallungsanlage ist die Frage, ob sich Mikrofon und Lautsprecher im gleichen Raum befinden. Ist dies der Fall, besteht prinzipiell die Gefahr der Mitkopplung. Diese begrenzt die Größe der maximal erreichbaren Schallverstärkung. Um die maximale Schallverstärkung zu erreichen, ist es erforderlich

- gerichtete Mikrofone zu verwenden, die auf die Schallquellen gerichtet und von den Lautsprechern weggerichtet sind.
- gerichtete Lautsprecher zu verwenden, die optimal auf die Zuhörer gerichtet sind und wenig Schall auf die Mikrofone strahlen.
- das Entfernungsverhältnis Lautsprecher – Mikrofon zu Schallquelle – Mikrofon möglichst groß und die Entfernung Lautsprecher – Zuhörer möglichst klein zu halten.

Bei ungünstig errichteten Anlagen mit Mitkopplungsmöglichkeit kann die installierte Leistung nicht ausgenutzt werden bzw. können die berechneten Schallpegel nicht erreicht werden, weil die Mitkopplung einsetzt. Dagegen kann in mitkopplungsfreien Räumen der berechnete Schallpegel immer erreicht werden.

Besonderheit im Lautsprecherprogramm von EV: Vari Intense

Die einzigartige Vari Intense (VI) - Technik von EV birgt viele Vorteile für die meisten Anwendungen in „typisch“ dimensionierten Räumen. Mit Vari Intense ist ein rechteckiger Abstrahlbereich gegeben. Die einzigartige, patentierte Abstrahlcharakteristik des VI-Horns gibt ein Signal an den hinteren Bereich des Raumes ab, das um 6 bis 10 dB stärker ist als bei herkömmlichen Hörnern.
Daraus ergibt sich ein gleichmäßiger Schalldruck auf der gesamten zu beschallenden Fläche. Ein VI-Horn ersetzt zwei Standard-Systeme, womit Kosten erheblich reduziert und störende Interferenzen verhindert werden, die zwischen Nah- und Fernbereichshörnern oder horizontalen Arrays mit verschiedenen Quellen entstehen können.
Das nach unten gerichtete Horn strahlt Schall ausschließlich an den Publikumsbereich ab und erzeugt einen einheitlichen Direktfeld-Schalldruck. Damit wird auch die von der Decke reflektierte Schall-Energie wirksam reduziert. So wird beim Großteil aller Anwendungen eine Verbesserung der Verständlichkeit von 6 dB im Mittel- bis Hochtonbereich erreicht.



A) VI. 1. c) Optisch-akustische Zuordnung

In vielen Beschallungsanlagen ist es von untergeordneter Bedeutung, aus welcher Richtung der Schall wahrgenommen wird. Das ist immer dann der Fall, wenn die eigentliche Schallquelle optisch nicht wahrgenommen werden kann.
In fast allen Ruf-, Durchsage- oder Hintergrundmusikanlagen ist das so. Kann das Schallereignis optisch erfasst werden, sollte auch die akustische Wahrnehmungsrichtung mit der optischen übereinstimmen. Das ist der Fall in Theatern, Konferenzsälen, Kinos, Kirchen oder Konzertsälen. Am einfachsten ist das zu erreichen, wenn die Lautsprecher oberhalb der Schallquellen angeordnet werden. Für sehr große Räume lassen sich so allerdings kaum gleichmäßige Beschallungen erreichen. Man setzt dann weitere Schallstrahler ein. Diese kann man über elektronische Netzwerke zeitlich und pegelmäßig so ansteuern, dass sie die Richtungswahrnehmung nicht negativ beeinflussen. Details hierzu sind der einschlägigen Literatur zu entnehmen.

A) VI. 1. d) Verteilung der Lautsprecher im Raum

In vielen Publikationen wird zwischen zentraler und dezentraler Beschallung unterschieden.

Unter zentraler Beschallung wird die Beschallung des Raumes (der Freifläche) von einem Punkt aus verstanden. In der Nähe der Schallquelle befinden sich ein oder mehrere gerichtete Lautsprecher, die den gesamten Raum versorgen. Als Vorteil wird in der Literatur der relativ gute Richtungsbezug und die Gleichmäßigkeit der Beschallung genannt.

Die klassische dezentrale Beschallung geht von relativ vielen ungerichteten Lautsprechern aus, die sich relativ dicht an den Zuschauern befinden. In ihrer klassischen Form werden diese beiden Beschallungsarten in Europa kaum angewendet. Die klassische Zentralbeschallung hat neben ihren Vorteilen nämlich auch gravierende Nachteile. In größeren Entfernungen sinkt die Sprachverständlichkeit auf unbefriedigende Werte; auch die Rückkopplungssicherheit lässt zu wünschen übrig. In Freiräumen kommen dann häufig noch Lärmstörungen der Nachbarschaft hinzu. Sehr viele realisierte Beschallungsanlagen sind nach dem Kriterium der lokalen Verteilung Mischformen zwischen klassischer zentraler und dezentraler Beschallung. Das Problem der Richtungszuordnung lässt sich weitgehend, wie schon in anderen Abschnitten erwähnt, mit den Mitteln moderner Signalelektronik lösen.

A) VI. 2. Vorgehensweise bei der Planung von Beschallungsanlagen

Die folgenden Ausführungen beziehen sich nur auf die Auswahl und Anordnung von Lautsprechern, weniger auf Bedienelemente und Elektronik.

A) VI. 2. a) Klärung der Aufgabenstellung

Zunächst muss die Aufgabenstellung der zu planenden Beschallungsanlage geklärt werden. Das ist eigentlich der schwierigste Abschnitt der gesamten Planung. Während diese Aufgabenstellung bei Industrieanlagen, Kirchen und professionell genutzten kulturellen Einrichtungen (Theater, Stadthallen, Großstadien) noch relativ einfach zu meistern ist, weil während der Planungsphase die Nutzer bekannt sind oder über ähnliche Anlagen hinreichend viel veröffentlicht worden ist, muss man als Planer bei den kleinen und mittleren Anlagen mit Mehrzwecknutzung (Bürgerhäuser, Hotelsäle, Sportanlagen) häufig eine schwierige Kompromisslösung für die unterschiedlichen Wunschvorstellungen der einzelnen Interessensgruppen bei begrenztem Budget erarbeiten.

Wichtige Fragen zur Klärung der Aufgabenstellung:

- Befindet sich die zu planende Anlage im Raum oder im Freien?
- Dient die Anlage Ruf- und Alarmierungszwecken, für Durchsagen, zur Sprachübertragung, für Hintergrundmusik oder soll es eine ProSound-Anlage werden, also hochwertigste Sprach- und Musikübertragung gewährleisten?
- Welche Planungsunterlagen sind vorhanden, Grundrisse, Schnitte, Lagepläne, Raumbücher, Detailzeichnungen, Tragwerksberechnungen, Bestuhlungspläne, Fluchtwege- bzw. Evakuierungspläne, welche davon sind reprofähig bzw. computergespeichert?
- Wie viele Zuhörer werden in dem zu beschallenden Areal erwartet, ist diese Zahl ein Maximalwert, ein Erwartungswert oder ein Erfahrungswert?
- Gibt es in dem Raum schon eine ähnliche Anlage, wer betreibt diese, welche Mängel und positiven Eigenschaften kennt der Betreiber, wer pflegt und wartet diese Anlage?
- Gibt es im Bereich des Investors eine Anlage, die als Vorbild dienen kann (mit den vorhergehenden Zusatzfragen)?
- Welche Arten von Programmen sind zu übertragen, Sprache, Musik von Konserve, Live-Musik, klassische Musik...?
- Wer wird die Anlage bedienen, hat der Bediener gewisse tontechnische Vorkenntnisse?
- Wie oft im Jahr wird es die erfragten Programme geben, wenn einzelne Programme nur selten stattfinden, soll die Anlage hierfür ausgelegt werden?
- Welche Montageart ist für die Lautsprecher vorgesehen?
- Welche Zusammenhänge, z. B. Denkmalschutz, gibt es, die Lautsprecherstandorte oder –formen beeinflussen?
- Gibt es für die zu beschallenden Räume raumakustische Gutachten, Lärmgutachten oder –prognosen, welche akustischen Störungen, z. B. Publikumsgeräusche, Maschinenlärm oder Verkehrslärm, sind zu erwarten?
- Mit welchen Umgebungseinflüssen, die die Haltbarkeit der Lautsprecher beeinträchtigen könnten, z. B. Feuchtigkeit, Chemikalien, Witterung, Ballwürfe, muss gerechnet werden?
- Gibt es bestimmte Sicherheitsvorschriften, die bei der Installation zu beachten sind, z. B. Explosionsschutz, Schlagwetterfestigkeit, erhöhte Anforderungen an den Berührungsschutz, oder ist die Beschallungsanlage selbst ein Bestandteil eines Sicherheitssystems, z. B. eine Evakuierungsanlage?

Zusammen mit dem Investor / Nutzer / Betreiber sollten Antworten auf diese Fragen gefunden werden, zumindest für den Teil der Fragen, der für die jeweilige Anlage relevant erscheint. Aus den Antworten sollte eine Aufgabenstellung schriftlich fixiert werden, die nach Zustimmung durch den Investor die Arbeitsgrundlage ist. Planer, die öfter mit Beschallungsanlagen zu tun haben, sollten sich ihre persönliche Checkliste zulegen.

A) VI. 2. b) Berechnungen

Beschallungen im Raum – Hallradius

Zunächst sollte der Hallradius des Raumes ermittelt werden:

$r_H \approx \div \sqrt{\frac{A}{50}}$ r_H: Hallradius in m
A: Absorptionsfläche des Raumes in m^2

Die äquivalente Absorptionsfläche A eines Raumes kann man sich vorstellen als die Konzentration der Schall schluckenden Eigenschaften eines Raumes auf einer Fläche, die allen Schall schluckt, während alle anderen Oberflächen des Raumes den Schall dann total reflektieren.
Sie kann auf zweierlei Arten ermittelt werden:

<u>rechnerisch</u>: $A = \Sigma_i \alpha_i; S;$ A: Schallschluckgrad
S: Teiloberfläche in m^2

d. h. alle Oberflächen des Raumes werden mit ihrem Schallschluckgrad multipliziert und dann addiert.

<u>messtechnisch</u>: $A = 0{,}16\ V/T$ V: Raumvolumen in m^3
T: Nachhallzeit in s

Aus der gemessenen Nachhallzeit kann über das Volumen die Absorptionsfläche errechnet werden.
Für erste Überschlagsrechnungen sollte man von folgenden Größen für den Schallschluckgrad α ausgehen:

α = 0,15 ... 0,2
bei üblichen baulichen Oberflächen wie Beton, Putz, Mauerwerk, Glas, Holz.

α = 0,5 ... 0,7
für mit Personen besetzte Flächen, textile Oberflächen und Oberflächen mit Schallschluckstoffen, z. B. Publikum, Polsterstühle, Teppichböden, Gardinen, Vorhänge, „Akustikdecken“, Schall schluckende Wandverkleidungen.

Die gegenüber den üblichen Tabellenangaben erhöhten Werte für die normalen baulichen Oberflächen berücksichtigen z. B. Staubablagerungen und zusätzliche Einbauten wie Kabelbahnen, Rohrtrassen oder Materialvorräte, die einerseits eine erhebliche schallschluckende Wirkung haben und zum Anderen die Oberflächen erheblich vergrößern.

Falls die Nachhallzeit im unbesetzten Raum gemessen wurde, muss die Absorptionsfläche um die Absorption des Publikums erhöht werden.

$A_{bes} = A_{leer} + 0{,}5 \cdot$ Publikumsfläche (m^2)

Als Publikumsfläche sollte eine realistische Größe angenommen werden und nicht eine Wunschvorstellung.

Ist der Hallradius bekannt, kann aus der maximalen Beschallungsentfernung und dem Hallradius der notwendige Bündelungsgrad des Lautsprechers ermittelt werden.

(⇒ siehe auch A) II. 3. a) Seite 22.

Notwendiger Bündelungsgrad:

$$Q \approx \frac{1}{n} \cdot \left(\frac{r_{LH}}{2r_H}\right)^2$$

Q: Bündelungsgrad (auch γ)
n: Anzahl der Schallstrahler
r_{LH}: maximale Beschallungsentfernung in m

Durch die Bündelung eines Schallstrahlers wird die Entfernung, bei der Direktschall und diffuser Schall gleich groß sind, vergrößert. Der Einsatz mehrerer Lautsprecher an unterschiedlichen Orten hat eine entgegengesetzte Wirkung. Man kann außerdem davon ausgehen, dass auch in einem Teil des diffusen Feldes eine Verbesserung der Sprachverständlichkeit möglich ist und zwar etwa bis zum doppelten Wert des korrigierten Hallradius. Der so erhaltene Bündelungsgrad muss kritisch gewertet werden. Bündelungsgrade über 20 sind bei Frequenzen um 1 000 Hz technisch kaum zu reduzieren. Also muss, falls die erforderlichen Bündelungsgrade nicht erreichbar sind, die Beschallungsentfernung reduziert und dafür die Anzahl der Lautsprecher erhöht werden.

$$r^*_{LH} = 2r_H \cdot \sqrt{Q_{IST}} \cdot \sqrt{n_{IST}}$$

In diese Formel sind die tatsächlichen gewählten Werte einzusetzen und man erhält den zulässigen maximalen Beschallungsabstand.

Notwendige Leistung:

In Räumen kann man bei der Ermittlung der zu installierenden Leistung vom Schallpegel im diffusen Schallfeld ausgehen.

$$L_P = L_{diff} + 10 \lg \cdot \left(\frac{A}{4m^2}\right)$$

L_P: Schallleistungspegel in dB
L_{diff}: zu erzielender Schallpegel im diffusen Schallfeld in dB (84 dB bei Sprache, 104 dB bei Musik, sonst Störpegel + 20 dB)

Zum Diffusfeldpegel sollte man 10 dB als Übersteuerungsreserve hinzurechnen.

Aus dem notwendigen Schallleistungspegel kann man die elektrische Leistung bestimmen.

$$P_{el} = \frac{10^{\left(\frac{L_P}{10}\right)}}{\eta} \cdot 10^{-12} [W]$$

Der Wert η ist der elektroakustische Wirkungsgrad und kann in erster Näherung mit 0,01 (1 %) angenommen werden. Etwas genauer kann er nach der Formel

$$\eta \approx 3 \cdot \frac{E_{K^2}}{\gamma} \quad \eta \text{ in Prozent}$$

ermittelt werden.
E_K ist die Kennempfindlichkeit des Lautsprechers, die in Datenblättern angegeben wird.

Freiräume:

Im Freien sollte die notwendige elektrische Leistung nach dem so genannten 6-dB-Gesetz ermittelt werden.

$$L_{1m} = L_r + 20 \lg \left(\frac{r}{1m}\right) \text{ dB}$$

L_{1m}: Schallpegel in 1m Entfernung
L_r: Schallpegel in der größten Entfernung
r: größte Entfernung in m

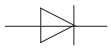
$$P_{el} = 1 \text{ W} \cdot 10 \cdot \frac{L_{1m} - L_K}{10\text{dB}}$$

L_K: Kennschallpegel, häufig angegeben als dB (1W / 1m)

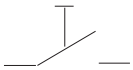
Bei einer korrekten Planung muss jetzt noch abgeschätzt werden, ob die so ermittelten Leistungen überhaupt unter dem Mitkopplungsaspekt erreicht werden können. An dieser Stelle muss jedoch auf Spezialliteratur verwiesen werden.

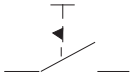
A) VII. Installationshinweise

A) VII. 1. Schaltungssymbole


Diode

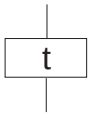
EIN-AUS-Schalter allgemein


Schalter federnd(Tastatur)

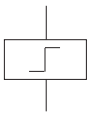

Schalter rastend

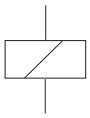
Steckverbindung

Leitung abgeschirmt



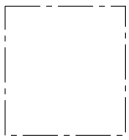
Zeitrelais

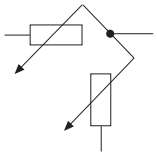

Stromstoßrelais

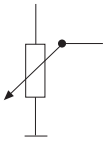

Relais allgemein

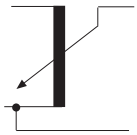
Klinkenbuchse

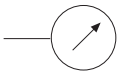
Abschirmung

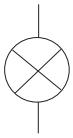

Umrahmung


Lautstärkesteller
(L- oder T-Glied)


Potentiometer
allgemein

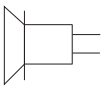

Lautstärkesteller
für größere Leistung
(Spartrafo)

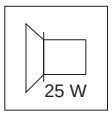

Aussteuerungsinstrument


Leuchtmelder
allgemein

Antenne allgemein

Mikrofon allgemein

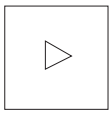

Lautsprecher allgemein

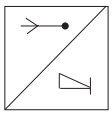


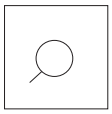
Strahlergruppe mit Angabe der Leistung

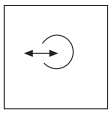
System für Wechselsprechverkehr

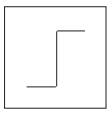
Hörer allgemein

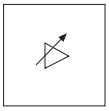

Verstärker allgemein

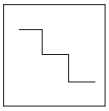

Überlagerungs-empfänger

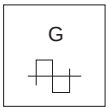

Tonabnahmegerät (phono)


Magnetbandgerät für Aufnahme und Wiedergabe

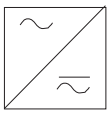

Entzerrer-Stufe

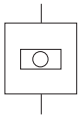

Verstärker mit Verstellbarkeit (Mischpult)


Elektrischer Gong

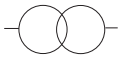


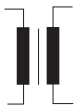
Rechteckgenerator (z.B. Alarmgenerator)


Stromversorgungsgerät (z.B. Netzteil)


Feuermelder (Druckknopf-Nebenmelder)

Signalhauptuhr z.B. für automatische Gongeinschaltung


Übertrager (einpolig gezeichnet)


Übertrager (zweipolig gezeichnet)

A) VII. 2. Leitungsadernanzahl

- 100-V-Lautsprecherleitung ohne Lautstärkesteller:
  2 Adern (z. B. IY-(St) Y 2 x 2 x 0,8)

- dto. mit Lautstärkesteller (L-Steller):
  3 Adern (z. B. IY-(St) Y 2 x 2 x 0,8)

- dto. mit niederohmigem Lautstärkesteller:
  4 Adern (2 x 100 V, 2 x Relaissteuerung)

- dto. mit L-Steller und Tonträgerbuchse:
  5 Adern (3 x 100 V, 2 x Relaissteuerung zwischen Zentrale und Lautstärkesteller - Buchsenkombination)
  5 Adern zwischen Lautsprecher und Lautstärkesteller – Buchsenkombination - Hotelkombinationen:
  je 2 verdrillte Adern pro Programm, zuzüglich
  2 Adern für Pflichtempfang, zuzüglich
  2 Adern für Uhr

- Tischsprechstellen:
  im PROMATRIX – System: CAT-5-Kabel, 8-adrig

Hinweis:

Es ist darauf zu achten, dass alle Lautsprecher gleich gepolt sind. Dasselbe gilt für die Installation der Mikrofonkabel. Andernfalls können Auslöschungen im unteren Frequenzbereich auftreten.

A) VII. 3. Leitungsdimensionierung

A) VII. 3. a) Kabeldimensionierungen

Alle Kabeldimensionierungen in mm²
für einen max. Spannungsverlust von 10%

Für **normale ELA Qualität** mit 1 multiplizieren
Für **normale Musik Qualität** mit 2 multiplizieren
Für **gute Musik Qualität** mit 4 multiplizieren

Z	50 V		70 V		100 V		DISTANCE in m								
Ohm	Watt	AMP	Watt	AMP	Watt	AMP	5	10	20	30	40	50	100	150	200
1600	2	0,03	3	0,04	6	0,06	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
840	3	0,06	6	0,08	12	0,12	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
420	6	0,12	12	0,17	24	0,24	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
335	8	0,15	15	0,21	30	0,30	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
250	10	0,20	20	0,28	40	0,40	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,5
200	13	0,25	25	0,35	50	0,50	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,5	0,75
125	20	0,40	40	0,56	80	0,80	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,5	0,75
100	25	0,50	50	0,70	100	1,00	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,5	0,5	0,75
80	31	0,63	63	0,88	125	1,25	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,5	0,75	0,75
65	38	0,77	75	1,08	150	1,54	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,5	0,75	1,0
50	50	1,00	100	1,40	200	2,00	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,5	0,75	1,0	1,5
40	63	1,25	125	1,75	250	2,50	0,3	0,3	0,3	0,3	0,5	0,75	1,0	1,5	2,0
32	75	1,56	150	2,19	300	3,13	0,3	0,3	0,3	0,5	0,5	0,75	1,5	2,5	2,5
25	100	2,00	200	2,80	400	4,00	0,3	0,3	0,3	0,5	0,75	1,0	1,5	2,0	2,5
12,5	200	4,00	400	5,60	800	8,00	0,3	0,3	0,5	0,75	1,0	1,5	2,0	4,0	6,0
8	313	6,25	625	8,75	1250	12,50	0,3	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	6,0		
4	625	12,50	1250	17,50	2500	25,00	0,5	1,0	2,0	4,0	4,0	6,0			

Z	50 V		70 V		100 V		DISTANCE in m								
Ohm	Watt	AMP	Watt	AMP	Watt	AMP	250	300	400	500	600	700	800	900	1000
1600	2	0,03	3	0,04	6	0,06	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
840	3	0,06	6	0,08	12	0,12	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,5	0,5	0,5	0,5
420	6	0,12	12	0,17	24	0,24	0,3	0,3	0,5	0,5	0,5	0,75	1,0	1,0	1,5
335	8	0,15	15	0,21	30	0,30	0,3	0,3	0,5	0,5	0,75	1,0	1,0	1,5	1,5
250	10	0,20	20	0,28	40	0,40	0,5	0,5	0,75	0,75	1,0	1,5	1,5	2,5	2,5
200	13	0,25	25	0,35	50	0,50	0,75	0,75	0,75	1,0	1,5	2,5	2,5	2,5	2,5
125	20	0,40	40	0,56	80	0,80	0,75	1,0	1,5	2,5	2,5	2,5	2,5	4,0	4,0
100	25	0,50	50	0,70	100	1,00	1,0	1,5	1,5	2,5	2,5	2,5	4,0	4,0	4,0
80	31	0,63	63	0,88	125	1,25	1,0	1,5	2,0	2,5	4,0	4,0	4,0	4,0	6,0
65	38	0,77	75	1,08	150	1,54	1,5	1,5	2,5	2,5	4,0	4,0	4,0	6,0	6,0
50	50	1,00	100	1,40	200	2,00	2,0	2,5	4,0	4,0	6,0	6,0	6,0		
40	63	1,25	125	1,75	250	2,50	2,5	4,0	4,0	6,0	6,0	6,0			
32	75	1,56	150	2,19	300	3,13	2,5	4,0	4,0	6,0					
25	100	2,00	200	2,80	400	4,00	4,0	6,0	6,0	6,0					
12,5	200	4,00	400	5,60	800	8,00	6,0								
8	313	6,25	625	8,75	1250	12,50									
4	625	12,50	1250	17,50	2500	25,00									

A) VII. 3. b) Nominalimpedanzen

Nominalimpedanzen im 100-(70-)V-Netz in Abhängigkeit von der Nennleistung

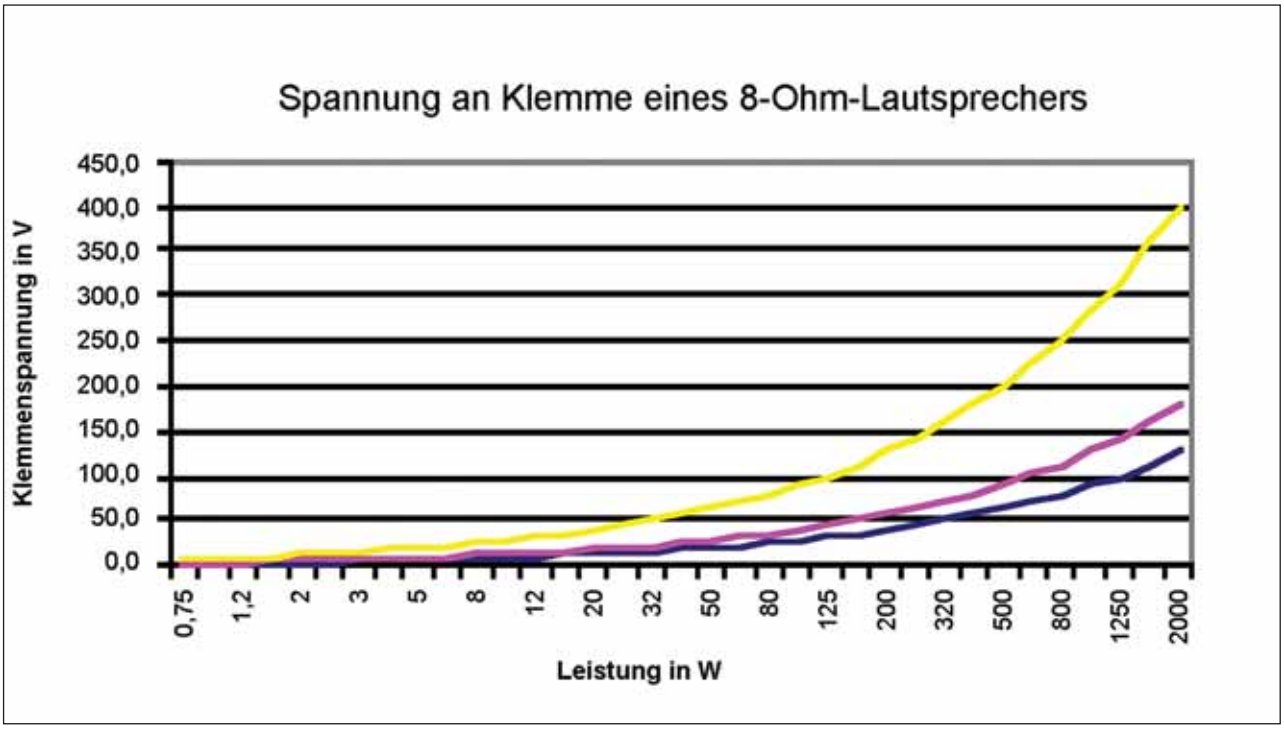
	100V	70V
Leistung/W	**Impedanz/Ohm**	**Impedanz/Ohm**
0,75	13333	6533
1	10000	4900
1,2	8333	4083
1,5	6667	3267
2	5000	2450
2,5	4000	1960
3	3333	1633
4	2500	1225
5	2000	980
6	1667	817
8	1250	613
10	1000	490
12	833	408
16	625	306
20	500	245
25	400	196
32	313	153
40	250	123
50	200	98
64	156	77
80	125	61
100	100	49
125	80	39
160	63	31
200	50	25
250	40	20
320	31	15
400	25	12
500	20	10
640	16	8
800	13	6
1000	10	5

Notwendige Spannungen am Verstärkerausgang zur Erzielung bestimmter Leistungen 8-Ohm

Lautsprecher-Nennimpedanz als Parameter

Leistung/W	Spannung- Effektivwert/V	Scheitelspannung/V bei sinusförmiger Aussteuerung	Spitzenspannung/V bei Aussteuerung mit Rauschen
0,75	2,4	3,5	7,7
1	2,8	4,0	8,9
1,2	3,1	4,4	9,8
1,5	3,5	4,9	11,0
2	4,0	5,7	12,6
2,5	4,5	6,3	14,1
3	4,9	6,9	15,5
4	5,7	8,0	17,9
5	6,3	8,9	20,0
6	6,9	9,8	21,9
8	8,0	11,3	25,3
10	8,9	12,6	28,3
12	9,8	13,9	31,0
16	11,3	16,0	35,8
20	12,6	17,9	40,0
25	14,1	20,0	44,7
32	16,0	22,6	50,6
40	17,9	25,3	56,6
50	20,0	28,3	63,2
64	22,6	32,0	71,6
80	25,3	35,8	80,0
100	28,3	40,0	89,4
125	31,6	44,7	100,0
160	35,8	50,6	113,1
200	40,0	56,6	126,5
250	44,7	63,2	141,4
320	50,6	71,6	160,0
400	56,6	80,0	178,9
500	63,2	89,4	200,0
640	71,6	101,2	226,3
800	80,0	113,1	253,0
1000	89,4	126,5	282,8
1250	100,0	141,4	316,2
1600	113,1	160,0	357,8
2000	126,5	178,9	400,0

Beispiel:
Wenn Sie mit einem hinreichend großen Verstärker (z.B. 650 W) einen 8-Ohm-Lautsprecher mit Musik oder Rauschen so ansteuern, dass als durchschnittliche Leistung 125 W oder als durchschnittliche Spannung 31,6 V gemessen werden, müssen Sie mit kurzzeitigen Spannungsspitzen von 100 V an den Lautsprecherklemmen rechnen.



Spannung-Effektivwert/V

Scheitelspannung/V bei sinusförmiger Aussteuerung

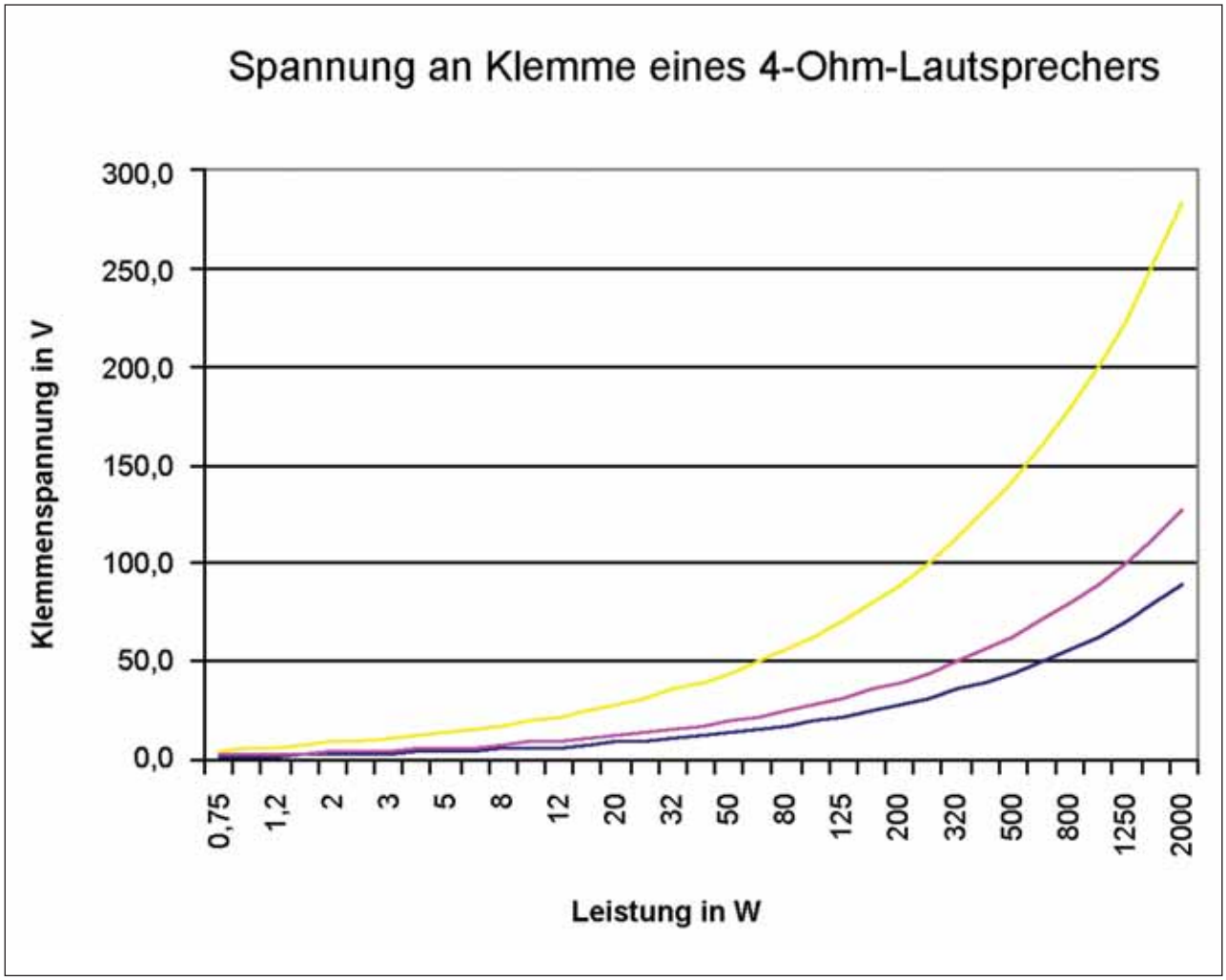
Spitzenspannung/V bei Aussteuerung mit Rauschen

Notwendige Spannungen am Verstärkerausgang zur Erzielung bestimmter Leistungen 4 Ohm

Lautsprecher-Nennimpedanz als Parameter

Leistung/W	Spannung- Effektivwert/V	Scheitelspannung/V bei sinusförmiger Aussteuerung	Spitzenspannung/V bei Aussteuerung mit Rauschen
0,75	1,7	2,4	5,5
1	2,0	2,8	6,3
1,2	2,2	3,1	6,9
1,5	2,4	3,5	7,7
2	2,8	4,0	8,9
2,5	3,2	4,5	10,0
3	3,5	4,9	11,0
4	4,0	5,7	12,6
5	4,5	6,3	14,1
6	4,9	6,9	15,5
8	5,7	8,0	17,9
10	6,3	8,9	20,0
12	6,9	9,8	21,9
16	8,0	11,3	25,3
20	8,9	12,6	28,3
25	10,0	14,1	31,6
32	11,3	16,0	35,8
40	12,6	17,9	40,0
50	14,1	20,0	44,7
64	16,0	22,6	50,6
80	17,9	25,3	56,6
100	20,0	28,3	63,2
125	22,4	31,6	70,7
160	25,3	35,8	80,0
200	28,3	40,0	89,4
250	31,6	44,7	100,0
320	35,8	50,6	113,1
400	40,0	56,6	126,5
500	44,7	63,2	141,4
640	50,6	71,6	160,0
800	56,6	80,0	178,9
1000	63,2	89,4	200,0
1250	70,7	100,0	223,6
1600	80,0	113,1	253,0
2000	89,4	126,5	282,8

Beispiel:
Wenn Sie mit einem hinreichend großen Verstärker (z. B. 650 W) einen 4-Ohm-Lautsprecher mit Musik oder Rauschen so ansteuern, dass als durchschnittliche Leistung 125 W oder als durchschnittliche Spannung 22,4 V gemessen werden, müssen Sie mit kurzzeitigen Spannungsspitzen von 70,7 V an den Lautsprecherklemmen rechnen.



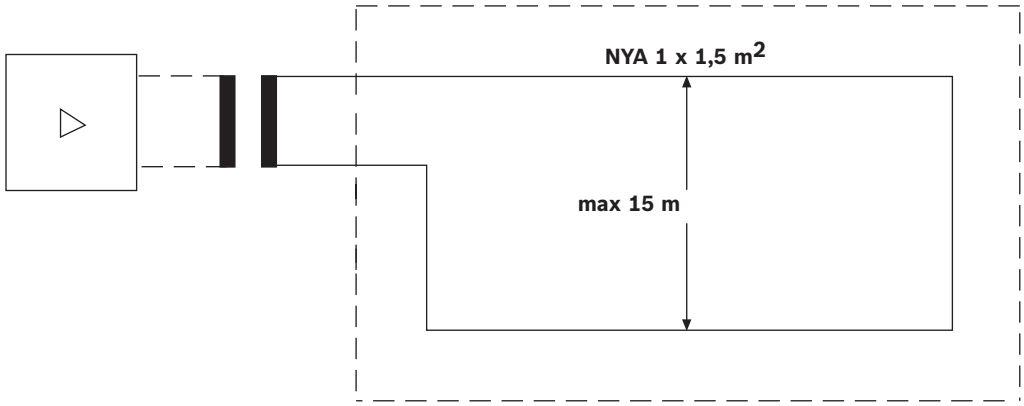
Spannung-Effektivwert/V

Scheitelspannung/V bei Sinusaussteuerung

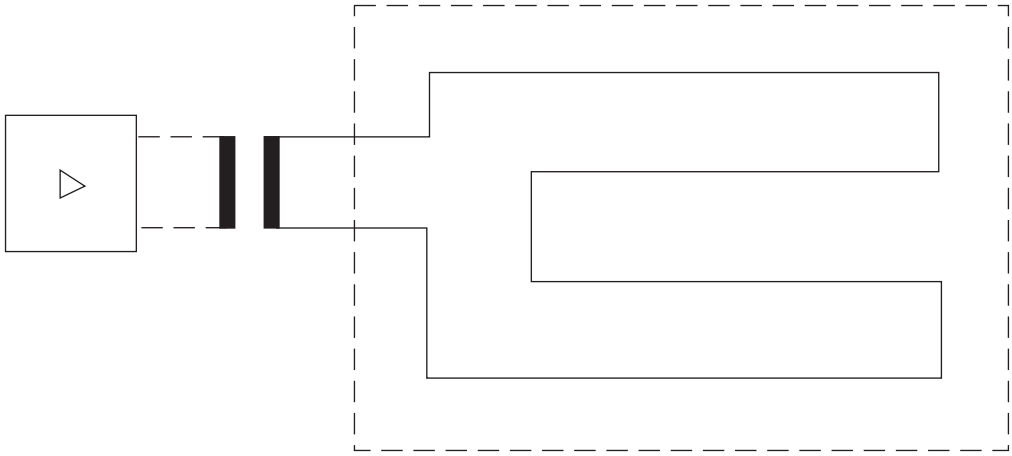
Spitzenspannung/V bei Aussteuerung mit Rauschen

A) VII. 4. Induktionsschleifen für Schwerhörigen-Anlage

Innerhalb einer Induktionsschleife ist die magnetische Feldstärke umso größer, je kleiner die von ihr umschlossene Fläche und je größer der Schleifenstrom ist. Die Feldstärke wird durch das Gebäude beeinflusst, besonders in Stahlbetongebäuden, wo durch die Eisenarmierung ein großer Teil der Sendeenergie absorbiert wird.



Einfache Schleife in einem Backsteinbau



Schleifenform für Stahlbetonbau

Hinweise für das Verlegen von Induktionsschleifen:

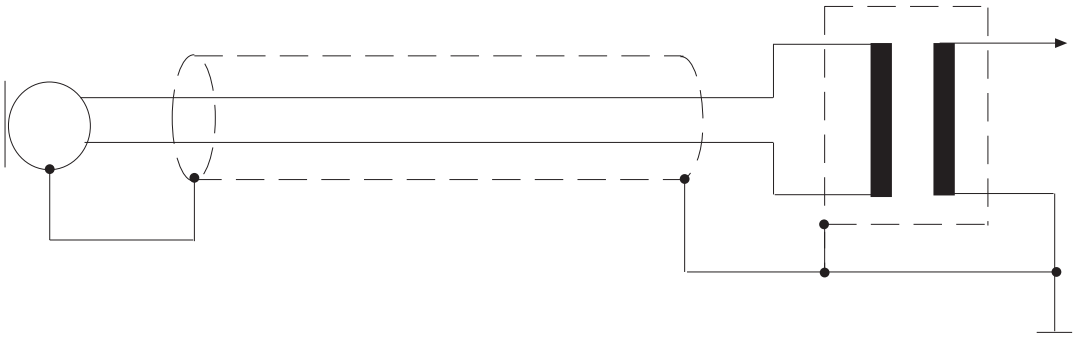
- Die Leitung ist in PVC-Rohren zu verlegen, nicht in Stahlrohren.
- Induktionsschleifenübertrager so nah wie möglich bei der Schleife installieren.
- Schleife nicht erden.
- Leistungsbedarf: 10 mW / m² in Backsteinbauten,
  100 mW / m² in Stahlbetonbauten
- In Zweifelsfällen sollte eine Versuchsschleife ausgelegt werden.

Anmerkung:

In Estrichen werden vielfach Baustahlgewebematten verlegt. Damit können die nötigen Abstände zwischen Schleife und Baustahlgewebe nicht mehr realisiert werden. Eine unter dem Gewebe verlegte Induktionsschleife strahlt aber kein Feld ab. In diesen Fällen ist auf Infrarot-Technik auszuweichen.

A) VII. 5. Mikrofonleitungen

Es ist nur zweiadriges, abgeschirmtes Kabel zu verwenden.
Mindestens 50 cm Abstand zu 100-V-Leitungen und Netzspannung-führenden Kabeln müssen eingehalten werden.
Bei Thyristor-Steuerungen ist die Mikrofonleitung in einem geerdeten Stahlpanzerrohr (verschraubt oder verschweißt) zu verlegen. Außerdem ist darauf zu achten, dass die Netzzuleitungen für Licht- und Tonanlage sternförmig von einem gemeinsamen Punkt der Hausverteilung ausgehen.



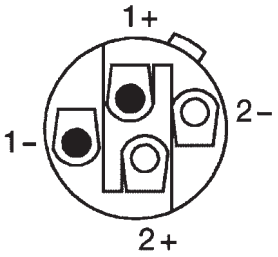
Anschlussarten:
2-polig abgeschirmtes Kabel an symmetrischem Eingang, sehr geringe Einstreuungsgefahr, max. 200 m Kabellänge

A) VII. 6. Tonträgerleitungen

Da die Ausgänge der meisten Tonträger hochohmig sind, können nur Kabel bis ca. 3 m Länge verwendet werden, da die Kapazität des Kabels zusammen mit dem Ausgangswiderstand des Tonträgergerätes und Eingangswiderstandes des Verstärkers einen Tiefpass bildet. Es ist deshalb bei längeren Leitungen ein Vorverstärker zu verwenden.

A) VII. 7. Typische Stecker und deren Belegung

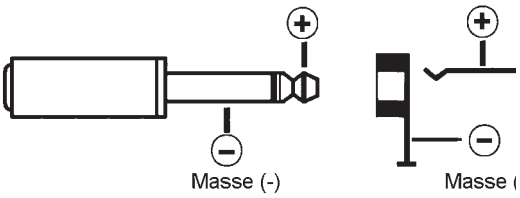
Speakon-Stecker



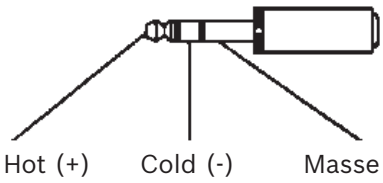
Output-Belegung:

Amp Outputs
A, B
1+, 1-
2+, 2-: nicht belegt

6,3 mm Klinkenstecker



Mono-Stecker

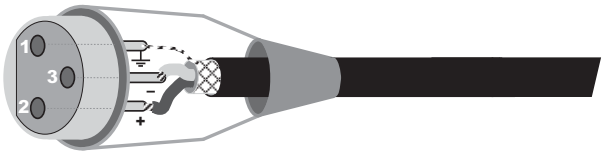


Stecker 2

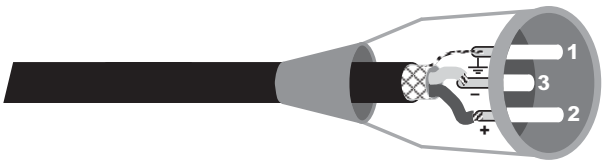
Stereo-Stecker

Line	Hot (+)	Cold (-)	Masse (Schirm)
Insert	Send	Return	Masse (Schirm)
Direct out	Hot (+)	Ground sense	Masse (Schirm)

XLR-Stecker

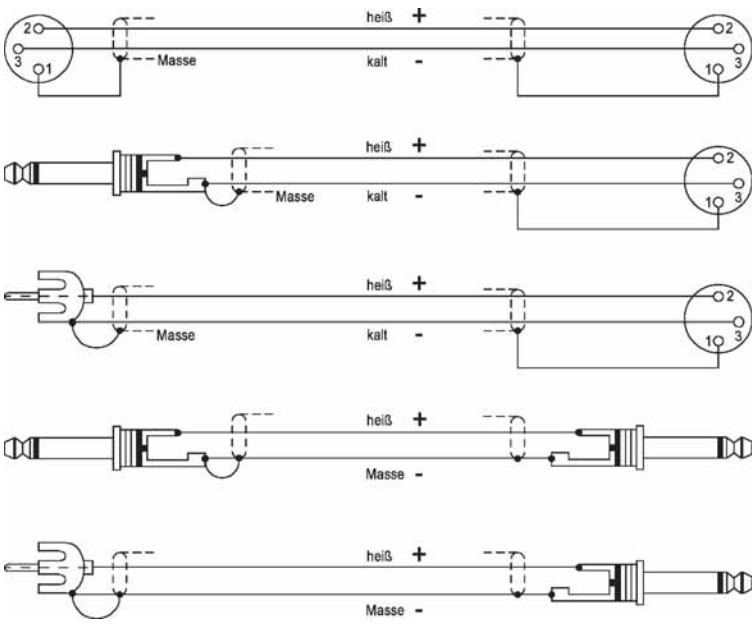


Stecker 2
PIN 1: Masse (Schirm)
PIN 2: a, +
PIN 3: b, -



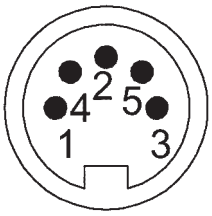
Buchsenbeschaltung
PIN 1: Masse (Schirm)
PIN 2: a, +
PIN 3: b, -

Kabel

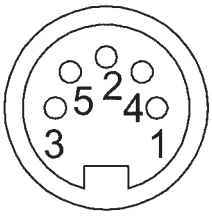


Steckerverbindungen

DIN 41 524, 3- oder 5-pol.



Stecker



Buchse

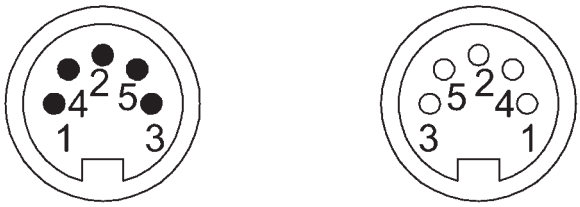
(Lötseite der Kontakte)

Belegung bei Verwendung in Mikrofonen:

Schaltschema nach DIN 45 594:

N (symmetrisch) 1 - Ton inphase 3 - Ton Gegenphase 2 - Schirm	M (unsymmetrisch, mittelohmig) 3 - Ton inphase 2 - Schirm, Ton Gegenphase	SN (Stereo-symmetrisch) 1 - Ton links, inphase 2 - Schirm 3 - Ton links Gegenphase 4 - Ton rechts, inphase 5 - Ton rechts Gegenphase
LM 1, 3 (gebrückt) - Ton inphase 2 - Schirm, Ton Gegenphase	HL (unsymmetrisch, Hoch-und niederohmig 1 - Ton inphase, niederohmig 2 - Ton Gegenphase 3 - Ton inphase, hochohmig	SH (Stereo-Hochohmig) 1 - Ton links, inphase 2 - Ton Gegenphase, Schirm 4 - Ton rechts, inphase

DIN 41 524, 3- oder 5-pol.



Stecker **Buchse**

(Lötseite der Kontakte)

Belegung bei Verwendung in

Bandgeräten 1 - Aufnahme links 2 - Schirm 3 - Wiedergabe links 4 - Aufnahme rechts 5 - Wiedergabe rechts	MIDI -.Geräten MIDI-IN 4 - Optokoppler Anode 5 - Optokoppler Kathode	MIDI-THRU, OUT 2 - Schirm 4 - +5 V via 220 Ohm 5 - Offener Kollektor des Senders

NEUMANN Gefell 6-pol.

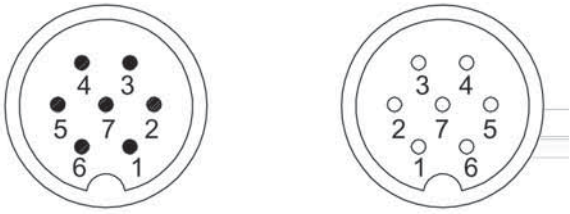
Stecker **Buchse**

(Lötseite der Kontakte)

Belegung bei Verwendung in symmetrischen Tonleitungen/Röhrenmikrofonen:

1 - Schirm / Bezug
2 - Ton inphase
3 - Anodenspannung
4 - Heizspannung
5 - Ton Gegenphase
6 - Spannung für Richtcharakteristik

NEUMANN Gefell 7-pol.



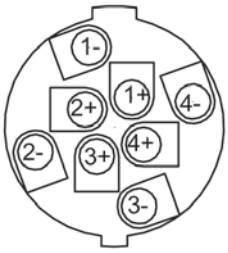
Stecker **Buchse**

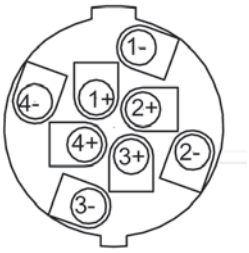
(Lötseite der Kontakte)

Belegung bei Verwendung in symmetrischen Tonleitungen/Mikrofonen:

1 - Ton inphase
2 - Ton Gegenphase
3 - Schirm
4 - Betriebsspannung
5 - Ton 2, Gegenphase
6 - Ton 2, inphase

SPEAKON 8-pol.





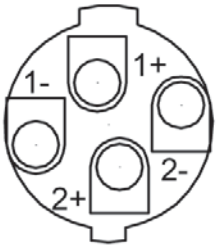
Stecker **Buchse**

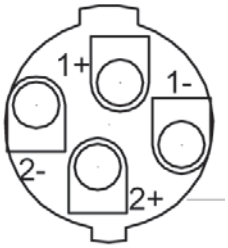
(Lötseite der Kontakte)

Belegung nicht standardisiert

z.B.
1+/1- Sub
2+/2- Low
3+/3- Mid
4+/4- High

SPEAKON 4-pol





Stecker **Buchse**

(Lötseite der Kontakte)

Belegung:

PA - Standard 1+/1- Ton 2+/2- frei	Mono-Bridged 1+/1- Kanal A 2+/2- Kanal B	Bi-Amping-Speaker 1+/1- Lo-Channel 2+/2- Hi-Channel

der “+”-Pin entspricht immer der positiven Phase

GROSS-TUCHEL 5-pol.

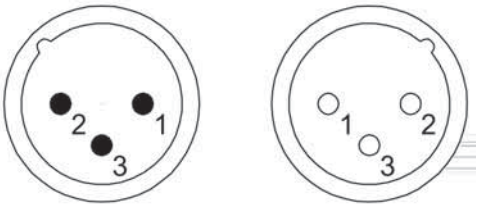
Stecker **Buchse**

(Lötseite der Kontakte)

Belegung bei Verwendung in

Stereo-Tonleitungen 1 - Ton links inphase 2 - Ton rechts inphase 3 - Schirm 4 - Ton rechts Gegenphase 5 - Ton links Gegenphase (abwärts kompatibel zu 3-pol) oder 1 - Ton links inphase 2 - Ton rechts Gegenphase 3 - Schirm 4 - Ton rechts Gegenphase 5 - Ton links inphase	Mikrofon mit Schalter (Sennheiser 16-T) 1 - Ton inphase 2 - Ton Gegenphase 3 - Schirm 4 - Schalter 5 - Schalter	Mikrofon mit Schalter (3-pol. abwärts-kompatibel) 1 - Ton inphase 2 - Schalter 3 - Schirm 4 - Schalter 5 - Ton Gegenphase
	Mikrofon mit Schalter (Sennheiser 18-T) 1 - Schalter 2 - Ton inphase 3 - Schirm 4 - Ton Gegenphase 5 - Schalter	100-V-Lautsprecher 1,5 (gebr.) - Ton inphase 2,3,4 (gebrückt) - Ton Gegenphase

XLR 3-pol.



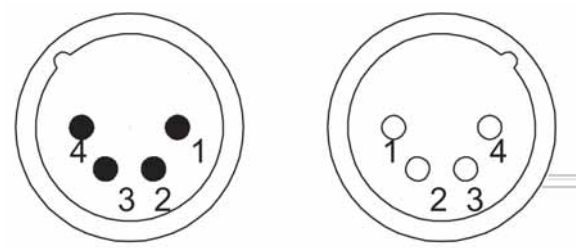
Stecker **Buchse**

(Lötseite der Kontakte)

Belegung bei Verwendung in

symmetrischen Tonleitungen/ Mikrofonen 1 - Schirm 2 - Ton inphase 3 - Ton Gegenphase (bei älteren europäischen und einigen englischen Geräten sind die Anschlüsse 2 und 3 umgekehrt belegt)	unsymmetrischen Tonleitungen 2 - Ton 3 - Schirm 1 - frei oder Brücke nach 3 (Achtung bei Anschluss an Geräte nach alter Norm)	Lautsprecherleitungen 1 - Ton Gegenphase 2 - Ton inphase (früher häufig 3 Inphase, daher auch Brücke zwischen 2 und 3 gebräuchlich)

XLR 4-pol.



Stecker **Buchse**
(Lötseite der Kontakte)

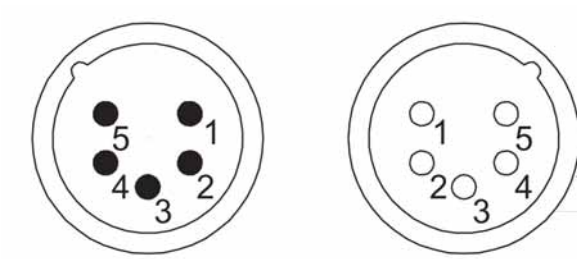
Belegung:

Hin und wieder in 100-V-Lautsprechern verwendet, Belegung uneinheitlich
1 - Inphase
4 - Gegenphase

oder in Bi-Amped-Speakern

1 - Lo Inphase
2 - Lo Gegenphase
3 - Hi Gegenphase
4 - Hi Inphase

XLR 5-pol.



Stecker **Buchse**
(Lötseite der Kontakte)

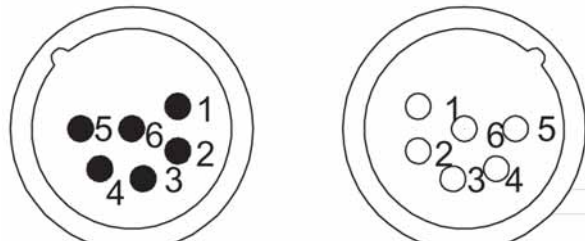
Belegung:

Bei Verwendung in Stereo-Mikrofonen
1 - Schirm
2 - links inphase
3 - Gegenphase
4 - rechts inphase
5 - Gegenpase

oder

1 - Schirm
2 - Mitte inphase
3 - Mitte Gegenphase
4 - Seite inphase (Lötseite der Kontakte)
5 - Seite Gegenphase (Diese Belegungen sind häufig anzutreffen aber kein Standard)

XLR 6-pol.



Stecker **Buchse**
(Lötseite der Kontakte)

Belegung:

Häufig verwendet für Versorgungsspannungen bei Mixern
1 - Ausgangsrelais
2 - +17 V
3 - -17 V
4 - Signalmasse
5 - +48 V
6 - Gehäuse, Schutzerde

A) VII. 8. Lautsprecherinstallation

In Arbeitsräumen werden Decken- oder Wandlautsprecher installiert, deren Montage meist in der Mitte der Decke erfolgt. Bei Deckenbeschallung mit mehreren Lautsprechern richtet sich der Abstand der einzelnen Systeme nach der Deckenhöhe und der erforderlichen Verständlichkeit. Bei größeren Veranstaltungsräumen sind die Nachhallzeit und der zu erwartende Störpegel zu beachten. Grundsätzlich gilt, je länger die Nachhallzeit, desto höher muss der Bündelungsgrad (Q-Faktor) der verwendeten Lautsprecher sein. Eine Hornbeschallung ist einer Beschallung mit Schallzeilen vorzuziehen, da der Q-Faktor und der Wirkungsgrad bei Hörnern viel höher liegen. Der höhere Anschaffungs-preis wird meist dadurch amortisiert, dass bedingt durch den höheren Wirkungsgrad nur etwa 1/3 der Leistung, die bei einer Beschallung mit Schallzeilen erforderlich wäre, zu installieren ist.

Bei der Platzierung ist Folgendes zu beachten:

- Nach Möglichkeit alle Lautsprecher an einem Punkt des Raumes, am besten in der Mitte über der Bühne, anordnen (Schallampel).
- Ausrichtung der Lautsprecher auf die hinteren Plätze, bzw. mehrere Lautsprecher für dieselbe horizontale Abstrahlrichtung verwenden (z. B. bei Empore).
- Anbringung der Lautsprecher auf 5 bis 10 m Höhe, um gleichmäßige Beschallung und höhere Rückkopplungsfreiheit zu erreichen.
- Beschallung nur von vorn, niemals von hinten.
- Die Laufzeitunterschiede mehrerer Lautsprecher am Zuhörer sollten 35 ms nicht überschreiten, um Doppelhören zu vermeiden.
- Mikrofone dürfen sich nicht im Beschallungsfeld der Lautsprecher befinden.
- Schallzeilen immer senkrecht montieren, nie waagrecht!
- Lautsprecher sollen nicht auf eine gegenüberliegende harte Wand strahlen, sondern auf den Fußboden, bzw. Bestuhlung oder Zuhörer (höhere Absorption).

(⇒ siehe C) I. 1.) Seite 85.

A) VII. 9. Schalldruckpegel / dB in Abhängigkeit von Leistung und Entfernung

86 dB	HiFi- System						
Entfernung in m	zugeführte Leistung in W						
	1	**3**	**10**	**30**	**100**	**300**	**1000**
1	**86**	91	96	101	106	111	116
2	80	85	90	95	100	105	110
5	72	77	82	87	92	97	102
10	66	71	76	81	86	91	96
20	60	65	70	75	80	85	90
50	52	57	62	67	72	77	82
100	46	51	56	61	66	71	76
200	40	45	50	55	60	65	70
500	32	37	42	47	52	57	62

Pegel bei 1 W und 1 m als Parameter
Beispiel:
Ein Lautsprecher mit einem Kennpegel von 86 dB und einer zugeführten Leistung von 30 W erzeugt in 20 m Entfernung einen Schallpegel von 75 dB.

94 dB	8"- Deckenlautsprecher						
Entfernung in m	zugeführte Leistung in W						
	1	**3**	**10**	**30**	**100**	**300**	**1000**
1	**94**	99	104	109	114	119	124
2	88	93	98	103	108	113	118
5	80	85	90	95	100	105	110
10	74	79	84	89	94	99	104
20	68	73	78	83	88	93	98
50	60	65	70	75	80	85	90
100	54	59	64	69	74	79	84
200	48	53	58	63	68	73	78
500	40	45	50	55	60	65	70

Beispiel:
Ein Lautsprecher mit einem Kennpegel von 94 dB und einer zugeführten Leistung von 30 W erzeugt in 20 m Entfernung einen Schallpegel von 83 dB.

100 dB	12" – direktabstrahlend						
Entfernung in m	zugeführte Leistung in W						
	1	**3**	**10**	**30**	**100**	**300**	**1000**
1	**100**	105	110	115	120	125	130
2	94	99	104	109	114	119	124
5	86	91	96	101	106	111	116
10	80	85	90	95	100	105	110
20	74	79	84	89	94	99	104
50	66	71	76	81	86	91	96
100	60	65	70	75	80	85	90
200	54	59	64	69	74	79	84
500	46	51	56	61	66	71	76

Beispiel:
Ein Lautsprecher mit einem Kennpegel von 100 dB und einer zugeführten Leistung von 30 W erzeugt in 20 m Entfernung einen Schallpegel von 89 dB.

103 dB	15"-direktabstrahlend						
Entfernung in m	zugeführte Leistung in W						
	1	**3**	**10**	**30**	**100**	**300**	**1000**
1	**103**	108	113	118	123	128	133
2	97	102	107	112	117	122	127
5	89	94	99	104	109	114	119
10	83	88	93	98	103	108	113
20	77	82	87	92	97	102	107
50	69	74	79	84	89	94	99
100	63	68	73	78	83	88	93
200	57	62	67	72	77	82	87
500	49	54	59	64	69	74	79

Beispiel:
Ein Lautsprecher mit einem Kennpegel von 103 dB und einer zugeführten Leistung von 30 W erzeugt in 20 m Entfernung einen Schallpegel von 92 dB.

106 dB	12" / 15"- Hornstrahler						
Entfernung in m	zugeführte Leistung in W						
	1	**3**	**10**	**30**	**100**	**300**	**1000**
1	**106**	111	116	121	126	131	136
2	100	105	110	115	120	125	130
5	92	97	102	107	112	117	122
10	86	91	96	101	106	111	116
20	80	85	90	95	100	105	110
50	72	77	82	87	92	97	102
100	66	71	76	81	86	91	96
200	60	65	70	75	80	85	90
500	52	57	62	67	72	77	82

Beispiel:
Ein Lautsprecher mit einem Kennpegel von 106 dB und einer zugeführten Leistung von 30 W erzeugt in 20 m Entfernung einen Schallpegel von 95 dB.

112 dB	Hochtonhorn mit Druckkammertreiber						
Entfernung in m	zugeführte Leistung in W						
	1	**3**	**10**	**30**	**100**	**300**	**1000**
	112	117	122	127	132	137	142
1	106	111	116	121	126	131	136
2	98	103	108	113	118	123	128
5	92	97	102	107	112	117	122
10	86	91	96	101	106	111	116
20	78	83	88	93	98	103	108
50	72	77	82	87	92	97	102
100	66	71	76	81	86	91	96
200	58	63	68	73	78	83	88

Beispiel:
Ein Lautsprecher mit einem Kennpegel von 112 dB und einer zugeführten Leistung von 30 W erzeugt in 20 m Entfernung einen Schallpegel von 101 dB.

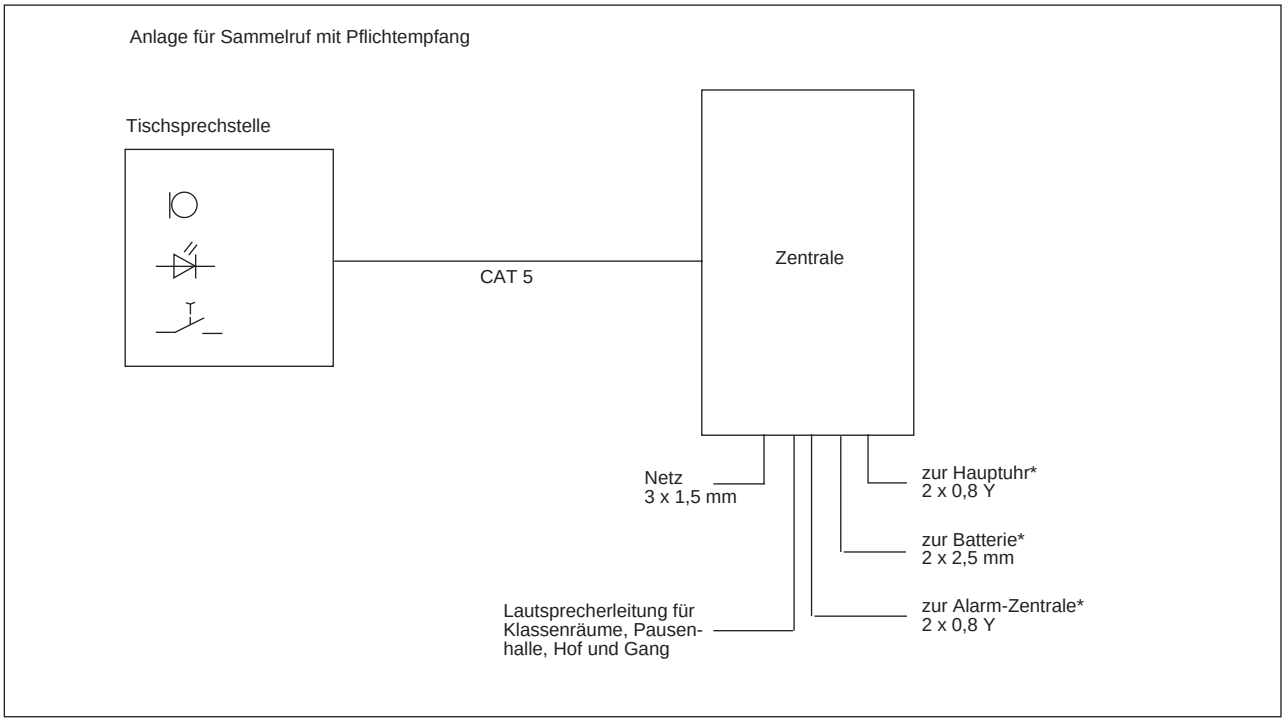
A) VII. 10. Einmessen der Anlage

Nach erfolgter Installation der gesamten Anlage muss ein evtl. eingebauter Equalizer eingemessen werden. Dies geschieht mit Hilfe eines Real-Time-Analysers. Eine Einstellung rein nach Gehör sollte nicht vorgenommen werden. Für Sprachübertragungen ist eine Absenkung der tiefen Frequenzen unter ca. 150 Hz vorzunehmen, um eine Übertragung mit hoher Satzverständlichkeit gewährleisten zu können. Es sind auch Mikrofone auf dem Markt, die eine Umschaltung Sprache / Musik erlauben.

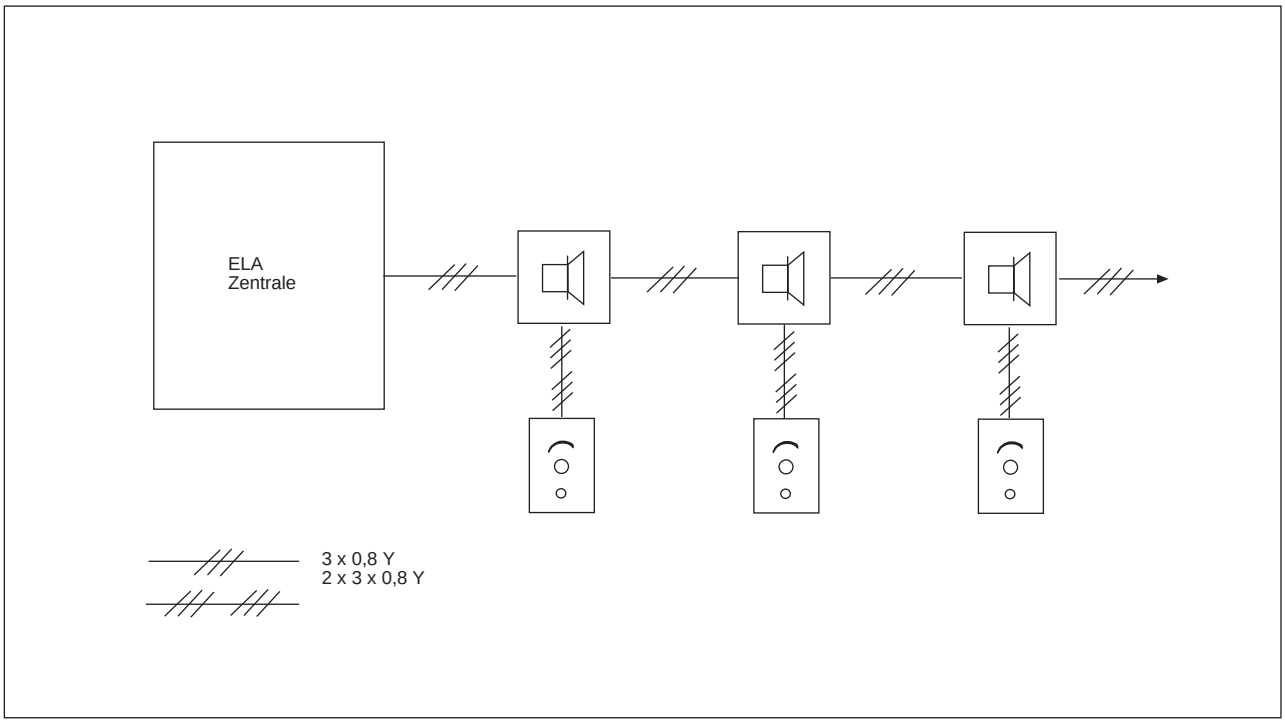
Nach erfolgter Einstellung des Equalizers ist dieser mit einer Abdeckung zu versehen, um unbefugte Bedienung zu vermeiden. Dasselbe gilt auch für andere Bedienungselemente, wie Lautstärkesteller, Klangsteller etc. Es ist deshalb darauf zu achten, dass die verwendeten Geräte abziehbare Bedienungsknöpfe besitzen. Bei neueren DSP-basierten Geräten kann eine entsprechende Verriegelung softwareseitig erfolgen.

A) VII. 11. Installationsbeispiele

Installationsplan für ELA-Rufanlage (Schulanlage)



* falls nicht in der ELA-Zentrale enthalten.
Die notwendigen Leiterquerschnitte sind je nach Leiterlänge und durchfließendem Strom zu wählen.



A) VIII. Formelsammlung zur Berechnung von Beschallungsanlagen

A) VIII. 1. Nachhallzeit

Die Nachhallzeit ist eine frequenzabhängige, raumakustische Größe, die angibt, in welcher Zeit der Schallpegel nach Verstummen der Schallquelle um 60 dB zurückgegangen ist.

$T = 0{,}16 \cdot (V/A)$ nach Sabine

[T] = s
[V] = m^3
[A] = m^2

A) VIII. 2. Effektiver Hallradius

Der effektive Hallradius ist der Abstand von der Schallquelle zu dem Ort, an dem der Pegel des Direktschalls und des diffusen Schalls gleich groß ist.

$r_H = 0{,}057 \sqrt{\frac{Q \cdot V}{T}} \approx \sqrt{\frac{QA}{50}}$ bei einem Lautsprecher

$r^*_H \approx \sqrt{\frac{QA}{n \cdot 50}}$ bei n Lautsprechern

[r_H] = m
[V] = m^3
[T] = s

A) VIII. 3. Konsonantenverlust

Der Wert des Konsonantenverlustes gibt an, wie viele Wörter (Logatome) einer Standardwortliste falsch verstanden werden, wenn diese von der betreffenden Anlage übertragen werden.

$$A_L = \frac{262 \cdot r^2 \cdot T^2}{QV}$$

[A_L] = %
[r] = m
[T] = s
[V] = m^3

A) VIII. 4. Schalldruckpegel als Funktion der Entfernung und der Leistung

Der Schalldruck nimmt umgekehrt proportional zur Entfernung ab (p ~ 1/r).
Eine Verdopplung des Abstands bewirkt eine Pegelabnahme um 6 dB.
Eine Verdopplung der zugeführten Leistung bewirkt eine Zunahme um 3 dB.

$L_{p\,(P/r)} = L_{p\,(1W\,/\,1m)} + (10 \lg P - 20 \lg r)$ dB

$[L_p]$ = dB
[P] = W
[r] = m

Rechenbeispiel:

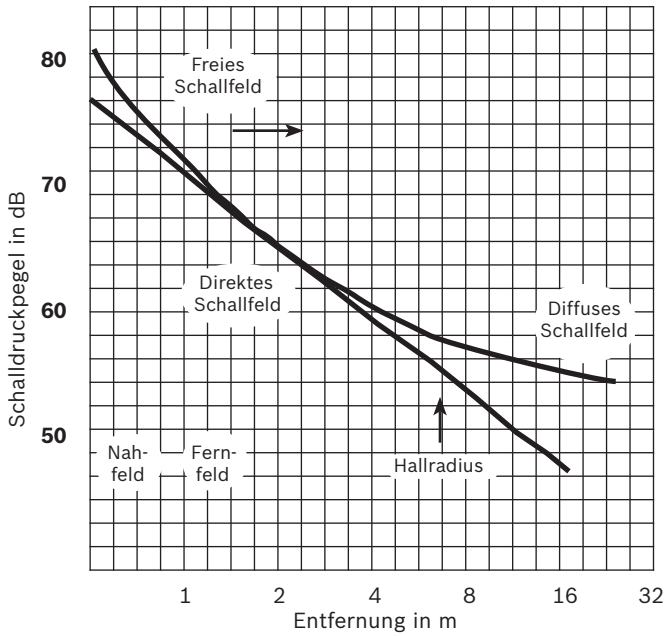
L_p (1W / 1m) = 109 dB (CobreflexIII + ID60CT)
L_p (40W / 10m) =
L_p (40W / 10m) = 109 dB + 10 lg 40 – 20 lg 10
= 109 dB + 16 dB – 20 dB
= 106 dB

Die obige Formel gilt für das direkte Schallfeld im Raum innerhalb des Hallradius und im Freien, wobei zusätzlich die frequenzabhängige Dissipation durch die Luft zu berücksichtigen ist.

Für das diffuse Schallfeld außerhalb des Hallradius gilt folgende Formel:

$L_{p\,(Diff)} = L_{p\,(1m)} + 10 \lg \left(\frac{308 \cdot T}{Q \cdot V}\right)$ dB bei einem Lautsprecher!

[T] = s
[V] = m^3



A) VIII. 5. Einfache Berechnung von Logarithmen

X	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
lg (x)	0	0,3	0,47	0,6	0,7	0,78	0,85	0,9	0,95	1

lg (ab) = lg (a · b) = lg a + lg b

z. B.:

Gesucht ist der Logarithmus aus 40.

lg 40 = lg (4 · 10) = lg 4 + lg 10
= 0,6 + 1
= 1,6
lg 40 = 1,6

Wie im Beispiel gezeigt, zerlegt man die Zahl, aus der der Logarithmus gesucht wird, in die in der Tabelle aufgeführten Faktoren. Die Summe der dann gegebenen Einzel-Logarithmen ergibt den gesuchten Logarithmus.

A) VIII. 6. Legende

[V] = Raumvolumen in m^3
[A] = äquivalente Absorptionsfläche in m^2 („Offene-Fenster-Fläche“)
[T] = Nachhallzeit in s
[r_H] = Hallradius in m
[Q] = A-Faktor (Bündelungsgrad des Lautsprechers)
[r] = Abstand von der Schallquelle in m
[L_p] = Schalldruckpegel in dB
[P] = dem Lautsprecher zugeführte Leistung in W
[p] = Schalldruck in Pa

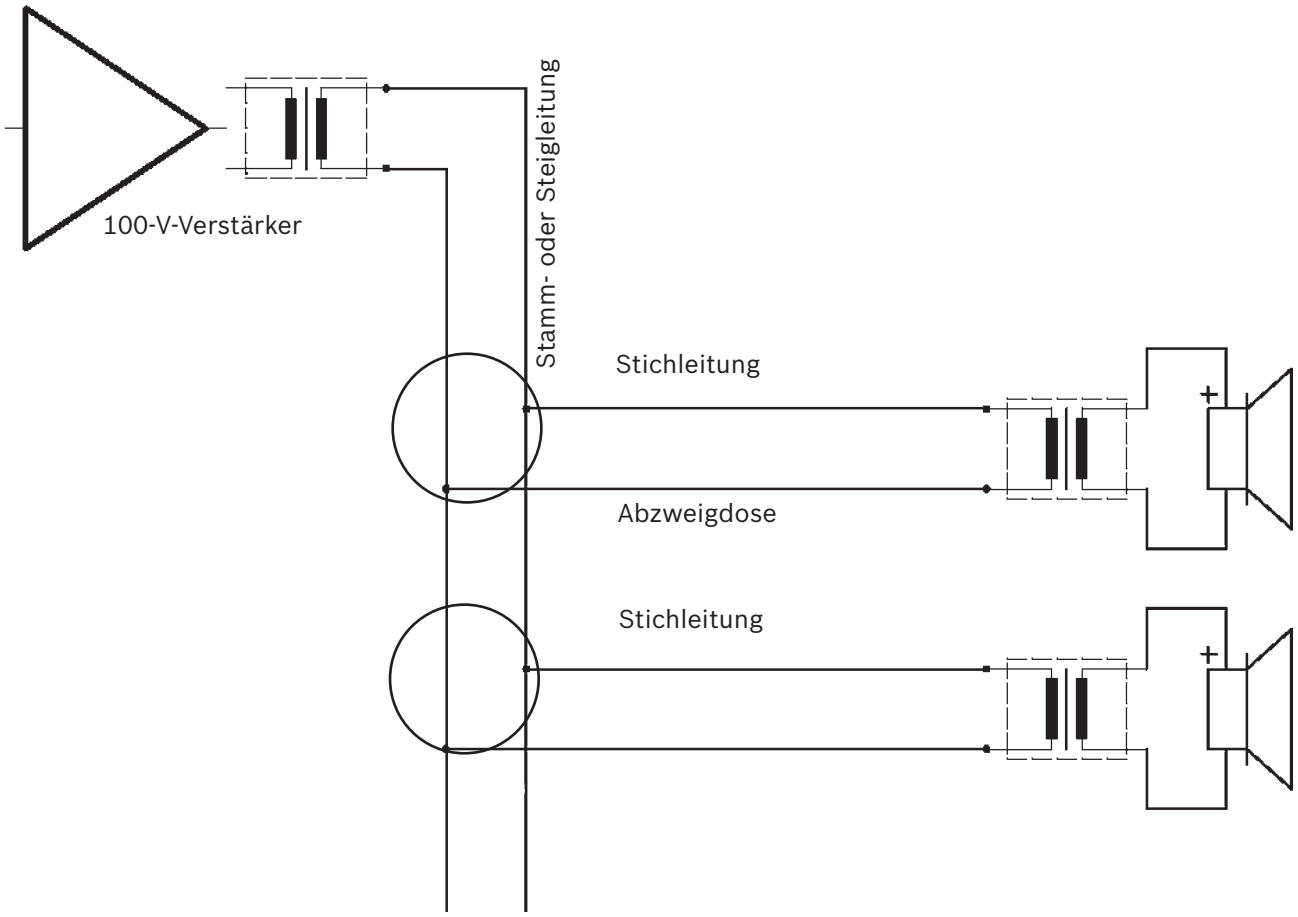
B) ELA

Die ELA-Technik ist eine hochohmige Übertragungstechnik (100-V-, 70-V-, 50-V-Technik) und gliedert sich in die Bereiche Alarmierungsbeschallung, Hintergrundmusik (BGM) und Paging.

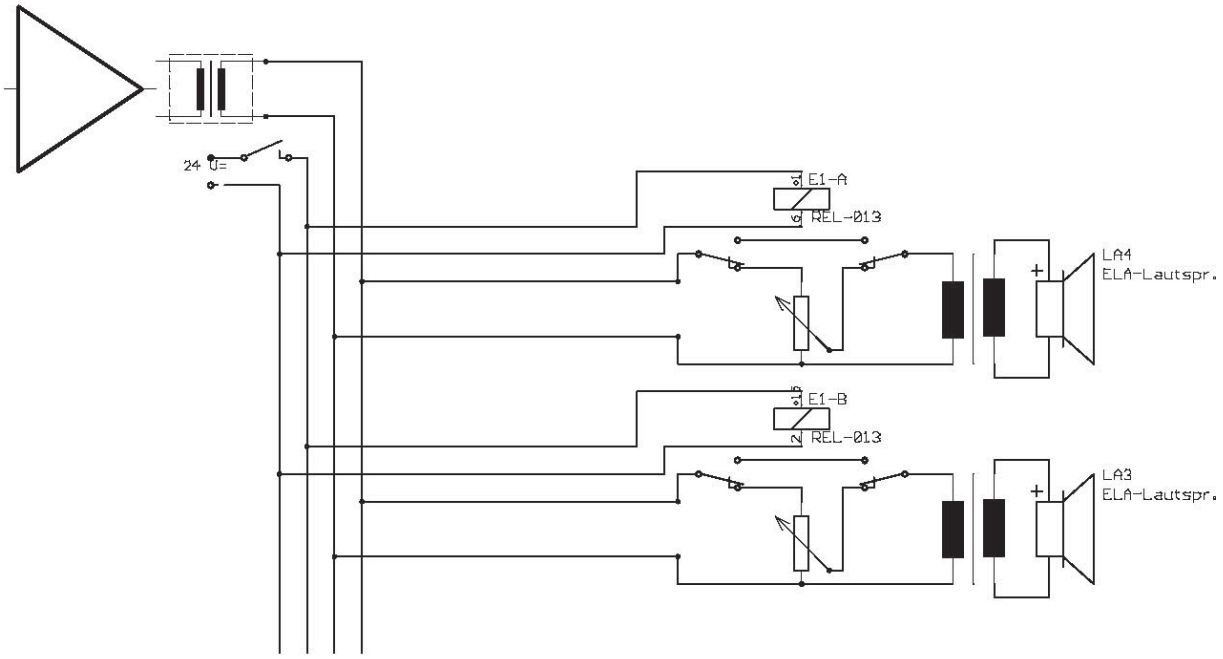
B) I. Schaltungsbeispiele

B) I. 1. Hochohmige Technik

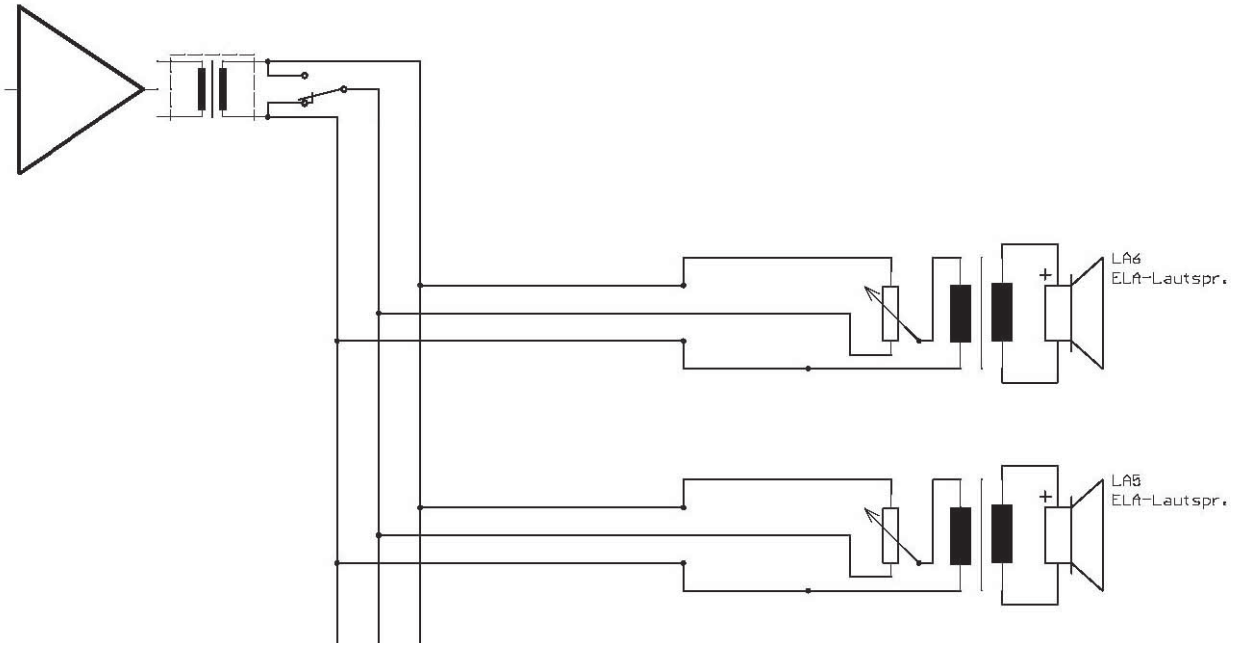
100-V-Technik



Schaltungstechnik in ELA-Anlagen, Grundschaltung



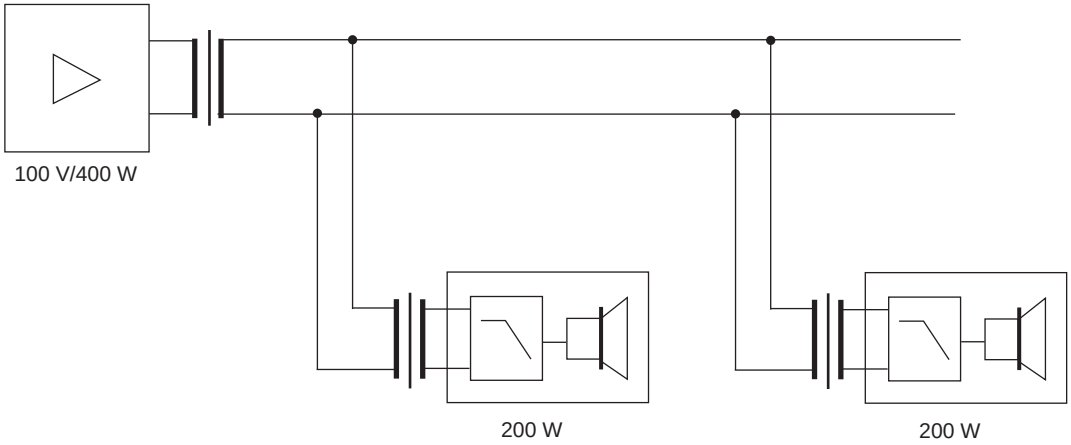
Überbrückung des Lautstärkestellers durch Pflichtempfangsrelais
(gleiche Schaltung auch auf Sekundärseite des Übertragers möglich).



Umschaltung zwischen Programm (Lautstärke einstellbar) und Pflichtempfang mit zentralem Relais und dezentralem L-Steller (3-Draht-Technik).

Nachteil: Der Widerstand des mittleren Leiters geht mit in den Spannungsteiler ein und der Lautsprecher kann nie total abgedreht werden.

Mehrwegesystem in 100-V-Technik



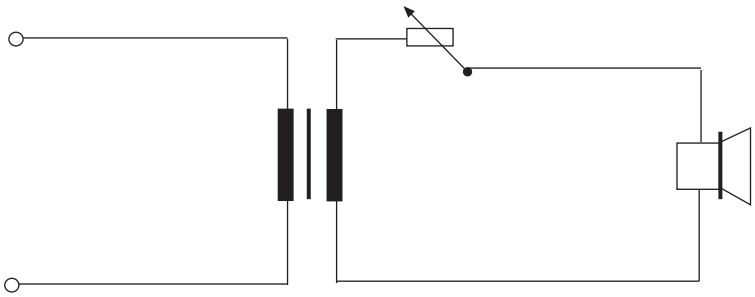
Diese Kombination ist richtig und erlaubt:
also immer nur Leistungen aus einem Frequenzgebiet addieren.

B) I. 2. Lautstärkesteller

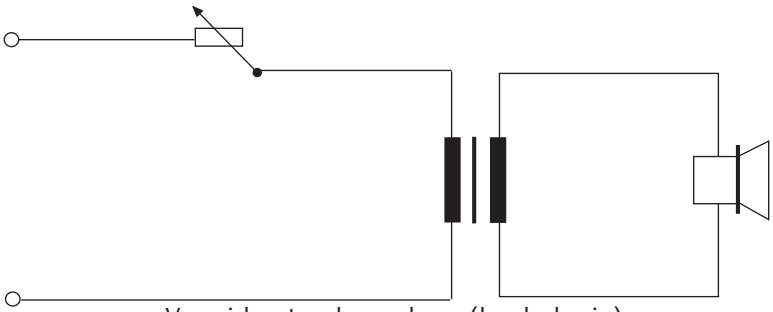
B) I. 2. a) Anwendungen

Die Lautstärkeregelung eines einzelnen Lautsprechers – unabhängig von anderen angeschlossenen Lautsprechern – muss durch Lautstärkesteller erfolgen.
Hierfür werden in der ELA-Technik (100-V-Technik) folgende Prinzipien angewendet:

- Veränderbare „Vorwiderstände“ entweder auf der niederohmigen oder auf der hochohmigen Seite des Lautsprechers:

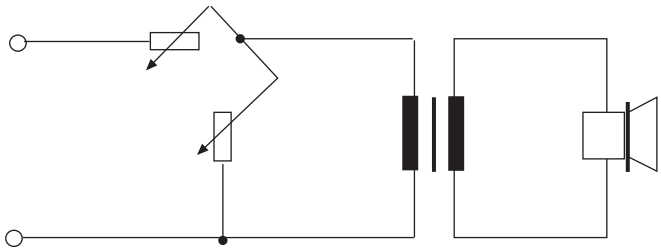


Vorwiderstandsregelung (niederohmig)

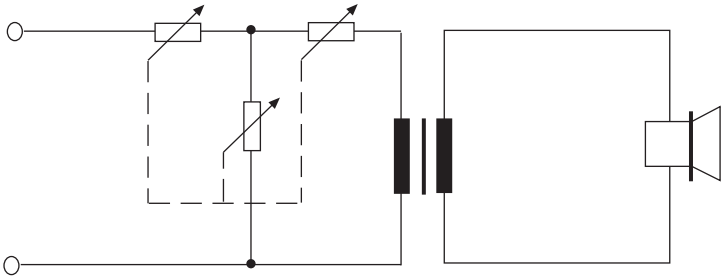


Vorwiderstandsregelung (hochohmig)

- **L- und T-Steller**
  Beim L-Steller ist der Belastungswiderstand für den Verstärker unabhängig von der Stellerstellung; beim T-Steller ist zusätzlich immer Anpassung an den 100-V-Lautsprecher gegeben.



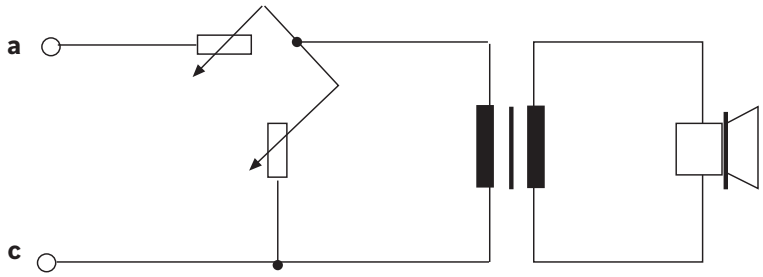
L-Steller



T-Steller

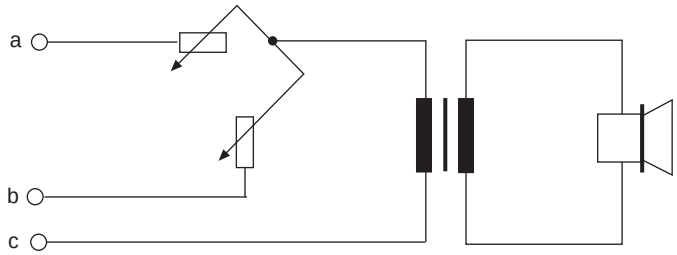
B) I. 2. b) Schaltungen

- **Normale Stellerschaltung**



Hochohmige Regelung. Ebenso kann auch niederohmig geregelt werden.

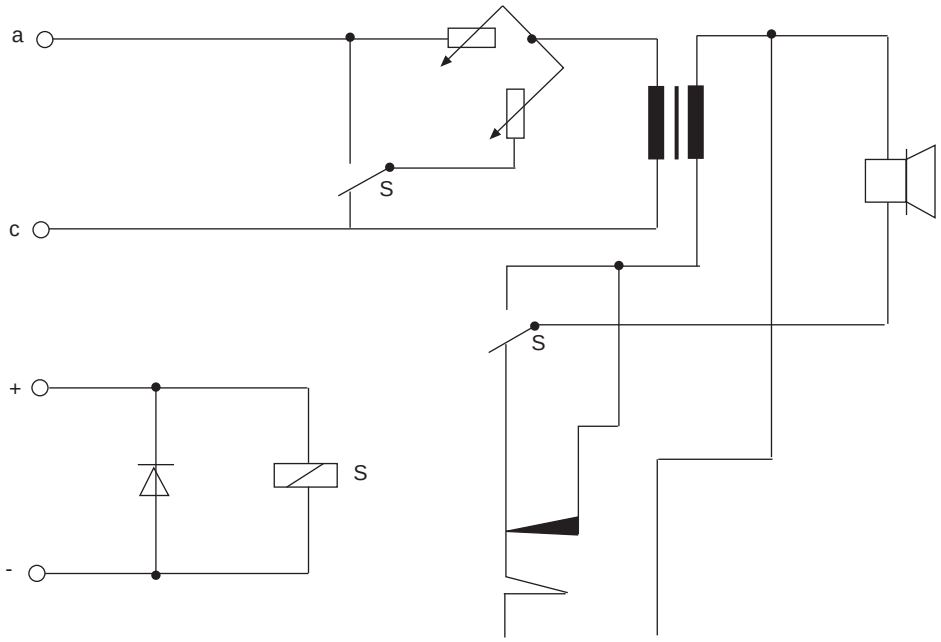
- **Pflichtempfangsschaltung**



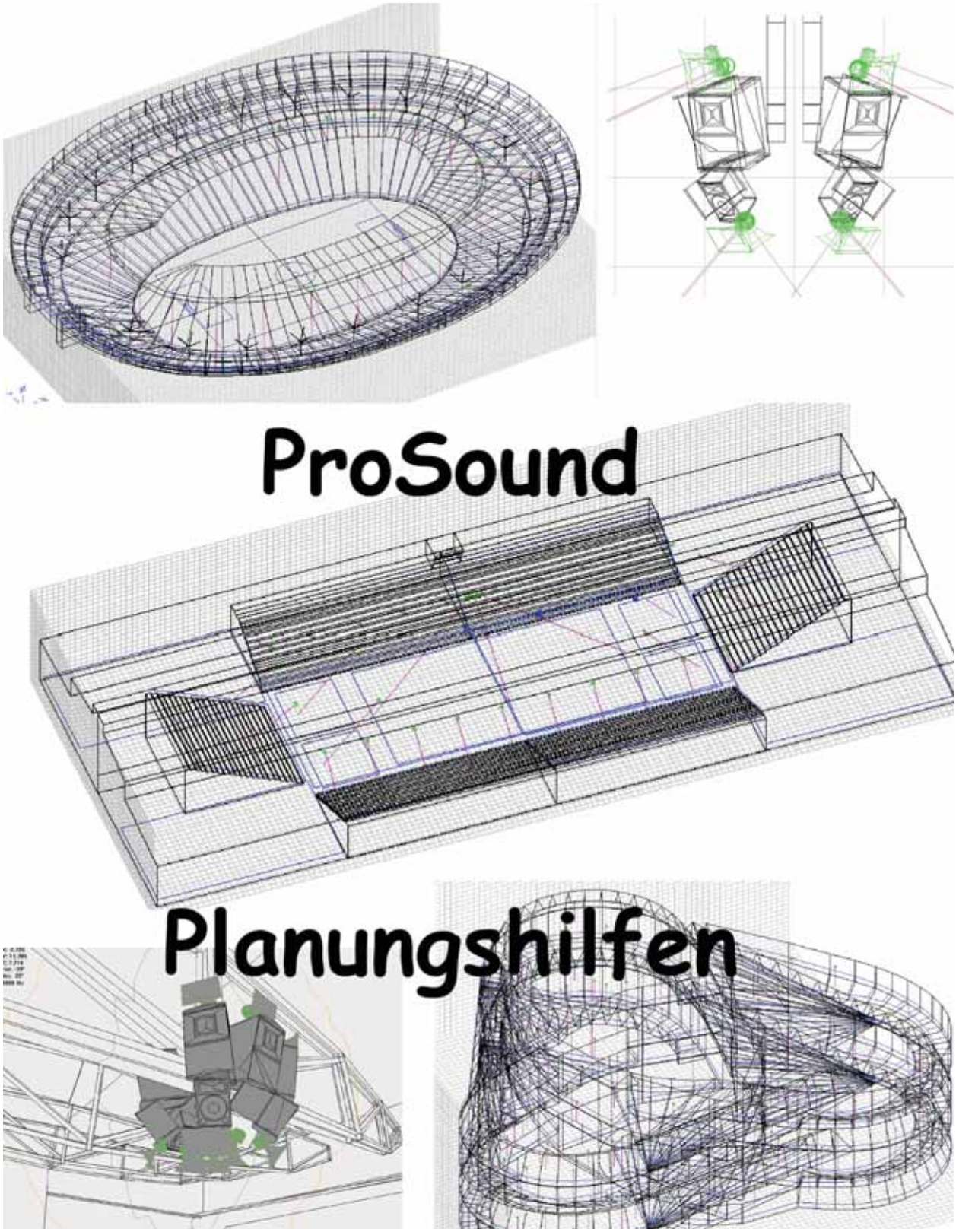
Normales Programm: zwischen a und c 100 V, wobei b und c kurzgeschlossen (L-Steller voll wirksam)
Ruf-Programm: zwischen a und c 100 V, wobei a und b kurzgeschlossen, d. h. L-Steller unwirksam (Pflichtempfang)

- **absolute Pflichtempfangsschaltung**
  Wird verwendet, wenn Tonträgergeräte an eingebaute Lautsprecher mit Steller und Tonträgerbuchse niederohmig angeschlossen werden.

  Tonträgerwiedergabe:



C) ProSound



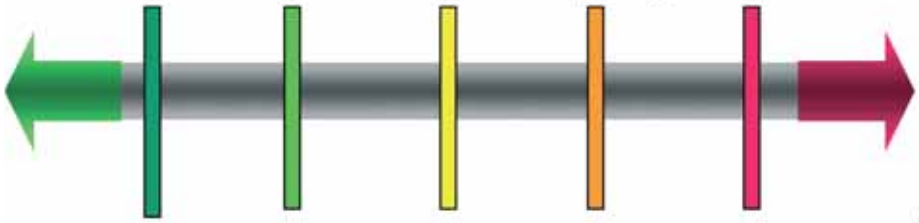
C) I. Grundlagen

C) I. 1. Begriffserklärungen

Sprachverständlichkeit wichtige Kenngrößen
nach: sti (speech transmission index)
nach: ALC (Articulation Loss of Consonants)
nach: rasti (rapid speech transmission index)
nach: cis (common intelligibility scale)

	Wertebereich (Anhaltspunkte)		
	gut	mäßig	schlecht
sti	0,65	0,41	0,29
ALC	5%	18%	35%
rasti	0,65	0,41	0,29
csi	0,8	0,62	0,46

In Deutschland am gebräuchlisten:
ALC der Verlust der Konsonanten (der Sprache)



Grundlagen

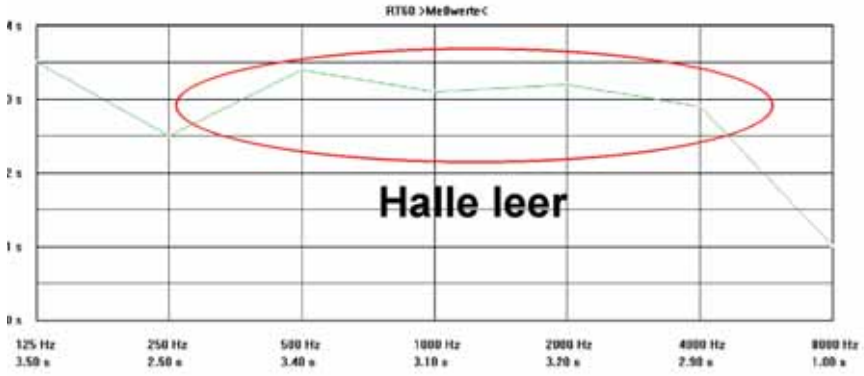
5%	10%	15%	18%	22%
sehr gut	gut	neutral	mäßig	schlecht

$$ALC = \frac{200 \cdot D^2_X \cdot Rt^2_{60} \cdot N}{V \cdot Q}$$

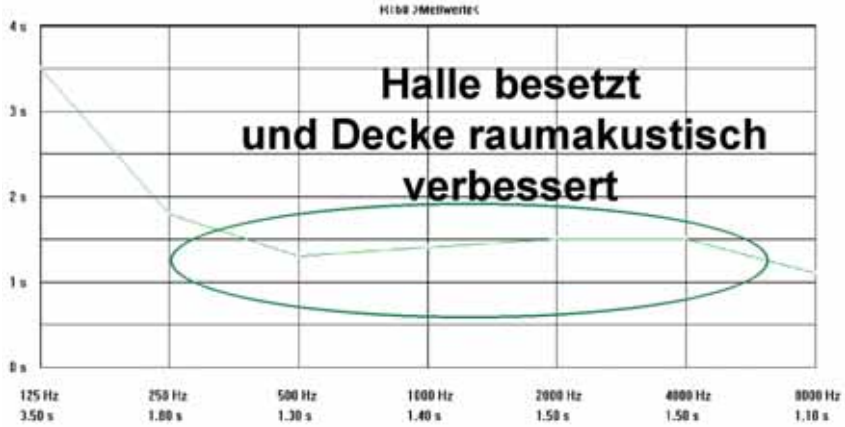
Rt_{60} = Nachhallzeit
D = Abstand der Hörer zur Quelle
N = Faktor (abhängig von Strahlertyp/Anzahl)
V = Volumen der Halle
Q = Bündelungsfaktor des Lautsprechers

Aus der Gleichung sieht man, wird die Nachhallzeit eines Raumes (Rt60) größer, verschlechtert sich die Sprachverständlichkeit quadratisch! Die Nachhallzeit eines Raumes ist über Raumgeometrie und Materialien vorgegeben. Für den Elektroakustiker ist eine kurze Nachhallzeit erstrebenswert. Wenn im Vorfeld die Möglichkeit zu Einflussnahme gegeben ist, sollte diese entsprechend genutzt werden. Ungünstige Raumeigenschaften sind oft auch mit aufwändiger Elektroakustik nicht beherrschbar! Die vom Elektroakustiker beeinflussbaren Kenngrößen sind 1. der Abstand der Lautsprecher zu den Zuhörern und 2. der Bündelungsfaktor der benutzten Lautsprecher. Da ein kleiner Abstand Lautsprecher / Zuhörer eine Vielzahl von Strahlern voraussetzt und damit der Faktor N (durch ein höheres Diffusfeld) die Sprachverständlichkeit wiederum negativ beeinflusst, sind die Möglichkeiten hier jedoch begrenzt. Außerdem ist aus architektonischen Gründen und aus Gründen der Richtungstreue eine Vielzahl von Einzellautsprechern oft weder möglich noch sinnvoll. Bleibt als einzige wirklich relevante Kenngröße der Bündelungsfaktor der Lautsprecher, diesem sollte besondere Beachtung geschenkt werden. Die Dimensionierung sollte so erfolgen, dass möglichst alle abgestrahlte Energie in die Zuhörer gerichtet wird und möglichst wenig Energie auf die Raumbegrenzungsflächen trifft. Ein hoher Q- Faktor eines Lautsprechers ist gleichbedeutend mit einer hohen Bündelung. Der Vergleich mit einem akustischen Scheinwerfer, welcher nach Möglichkeit nur die Zuhörer ausleuchtet, ist an dieser Stelle erlaubt. Eine Doppelbeschallung ist zu vermeiden, d.h. jeder Ortsbereich sollte von nur einem Lautsprecher beschallt werden, sonst sind Laufzeiteinflüsse (Echos; Doppelhören) kaum vermeidbar.

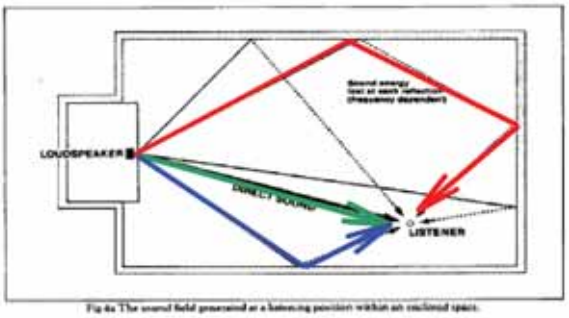
Typischer Nachhallzeitverlauf einer (raumakustisch schlechten) Groß- Sport und Mehrzweckhalle

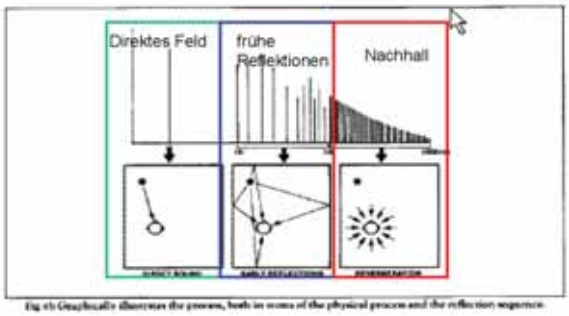


Sprachverständlichkeit (ALC) mit vorhandener Lautsprecheranlage = 22% (schlecht)



Sprachverständlichkeit (ALC) mit vorhandener gleicher Lautsprecheranlage = 5,8% (gut)

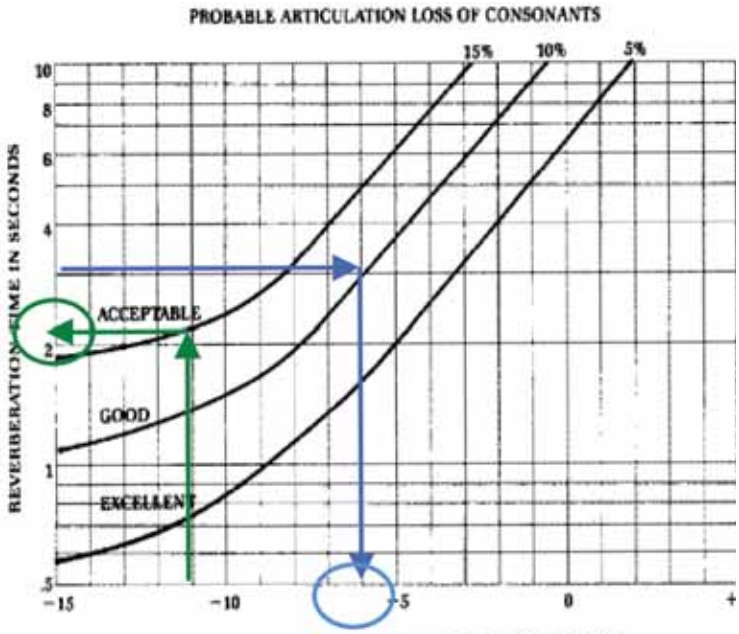




<u>Die Nachhallzeit, ein Erklärungsversuch</u>

Strahlt ein Lautsprecher Energie in einen Raum ein, wird ein Zuhörer (abhängig vom Bündelungsfaktor) nicht nur von der ersten Wellenfront (direktes Feld) getroffen, sondern danach von frühen Reflektionen 1-ter Ordnung (Fußboden, Wände, Decken) und später von Mehrfachreflektionen n-ter Ordnung, welche mit immer kleinerem Pegel, aber dafür zeitlich immer dichter bei ihm eintreffen.
Die Zeit, die vergeht, bis der Ursprungspegel um 60dB abgefallen ist, nennt man Nachhallzeit (t 60). Typische Nachhallzeiten für Mehrzweck-Hallen liegen im Bereich 1,6 - 4 Sekunden. Da ein kurzes, gesprochenes Wort nur ca. 600 msec lang ist (der Einzelkonsonant sogar nur ca. 80 msec), mischt sich diese Sprachinformation zeitlich. Aktuell gesprochene Konsonanten und Vokale überlagern sich mit den noch im Abklingvorgang befindlichen. Dieser Vorgang ist <u>unabhängig von der Höhe</u> des eingestrahlten Pegels.

Sprachverständlichkeit und Q-Faktor



Die Kurvenschar stellt den Zusammenhang zwischen Nachhallzeit, Verhältnis Direktfeld zu Gesamtfeld und Sprachverständlichkeit dar.

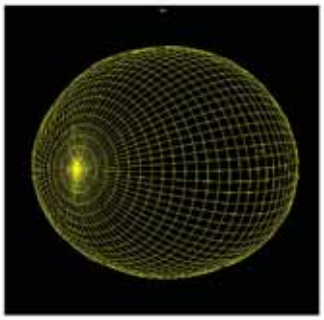
Beispiel 1:
Nachhallzeit sei 3 Sekunden gefordert gute (ca. 10% ALC) Sprachverständlichkeit – wie muss das Verhältnis Direkt zu Gesamtfeld mindestens sein?

>> mindestens -6dB<< d.h. das Direktfeld darf hier max. 6dB kleiner als das Gesamtfeld (inkl. Reflektionen) sein.

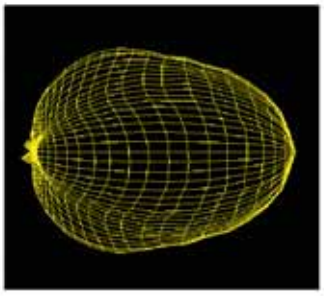
Beispiel 2:
Wie groß darf die Nachhallzeit maximal sein, damit bei einem Direkt-zu-Gesamtfeld von -11dB noch eine akzeptable (15% ALC) Sprachverständlichkeit erzielt wird?

>>max. 2,1 Sekunden<<

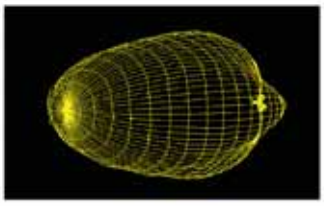
Der **Q-Faktor** als wichtigste Einflussgröße zur Verbesserung der Sprachverständlichkeit



Q~2 Hi-Fi Box



Q~15 z.B. Xi 2123

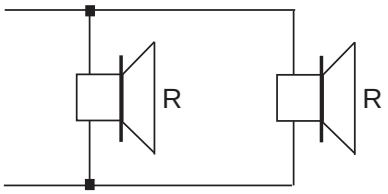


Q~30 z.B. Xi 1183

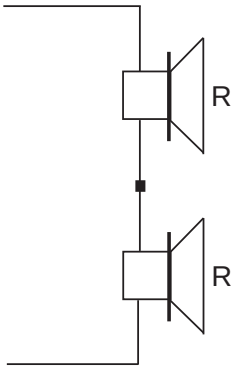
Je höher der Q-Faktor der verwendeten Lautsprecher (richtige Ausrichtung / Abdeckung vorausgesetzt), desto besser wird das Verhältnis Direktfeld zu Gesamtfeld, weil weniger Energie an Wände und Decken abgestrahlt wird. Die Schallenergie wird damit also viel besser in die Zuhörerbereiche konzentriert.

C) I. 2. Lautsprecher-Schaltungsbeispiele

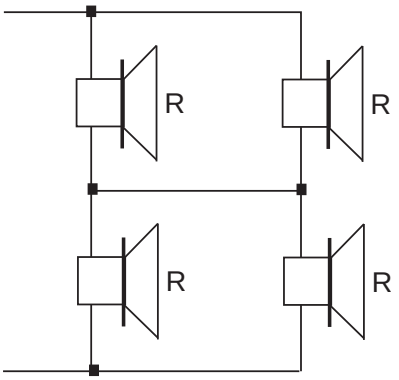
Niederohmige Technik



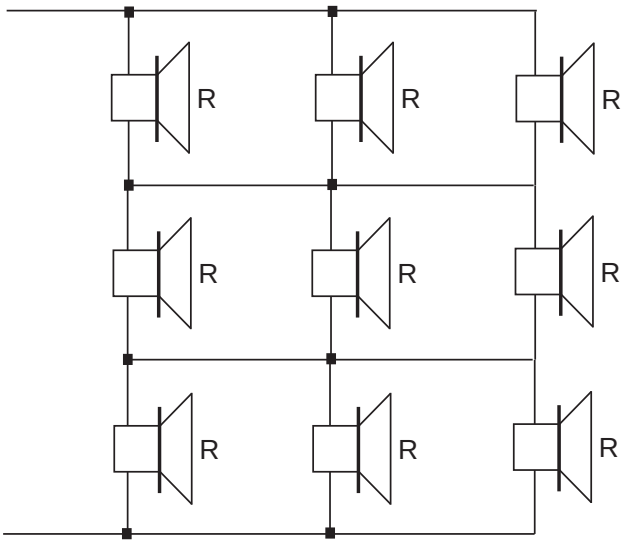
$R_{Ges.} = \frac{1}{2} R$



$R_{Ges.} = 2 R$



$R_{Ges.} = R$



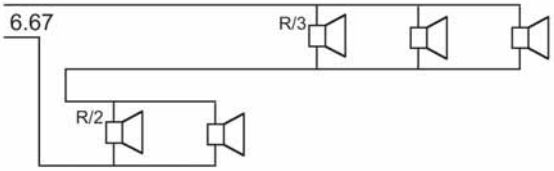
$R_{Ges.} = R$

Brücke verhindert den Ausfall eines zweiten Lautsprechers bei Defekt des ersten

Beispiele für Lautsprechergruppierungen (8-Ohm-Lautsprecher)

1/2 Anzahl

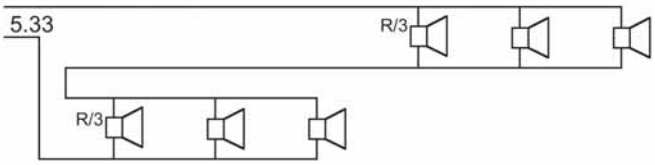
5



0 dB

- 1.67 dB

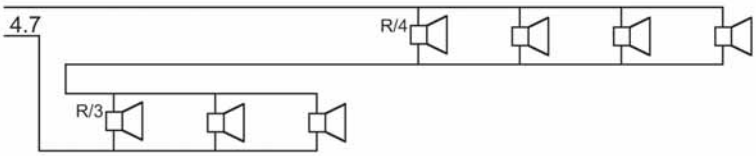
6



0 dB

0 dB

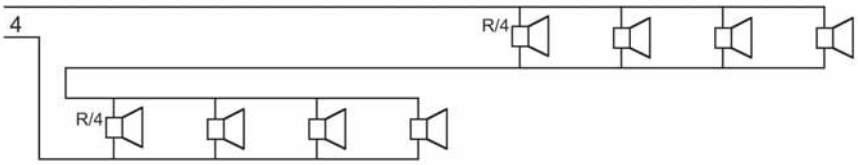
7



0 dB

- 1.25 dB

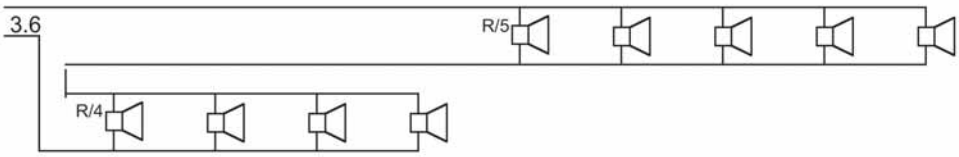
8



0 dB

0 dB

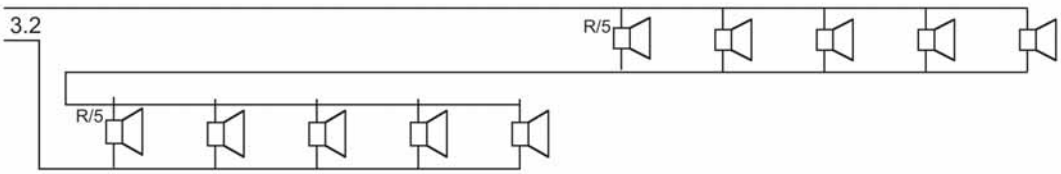
9



0 dB

- 0.97 dB

10

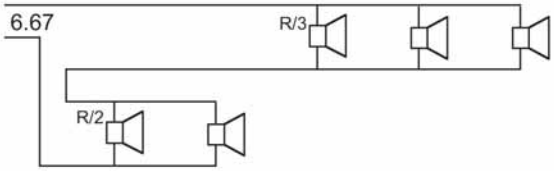


0 dB

0 dB

11

wie 5

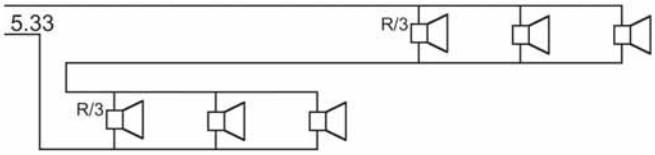


- 0.5 dB *)

- 2.17 dB *)

2 x $\frac{1}{2}$ Verst. pro Seite verwenden

und 6



0 dB *)

0 dB *)

*) bei ident. Ansteuerung

12

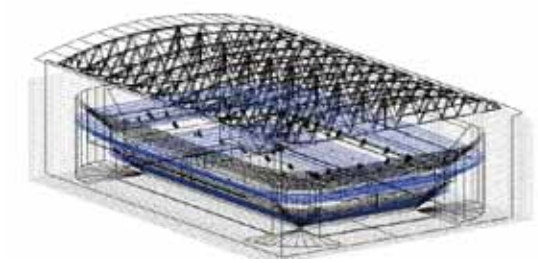
wie 2 x die 6er Kombination, bei Verwendung einer kompl. Endstufe pro Seite

C) II. Anwendungsbeispiel

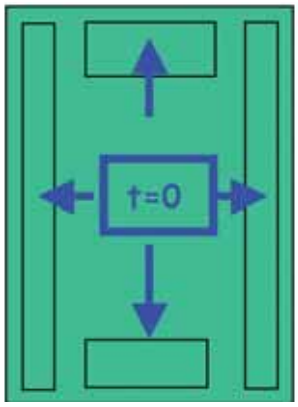
C) II. 1. Veranstaltungshalle

Die Veranstaltungshalle
ein typisches Anforderungsprofil:

Sport:
Handball; Volleyball; Hallenfußball; Boxen/Wrestling;
Go-Kart; Indoor Motocross; Tanzen; Reiten;
Hallenleichtathletik; Eislauf; Tischtennis; Tennis; Eishockey ....
Kultur:
Versammlung; Konzert; Fasching; Konzert klein
Kommerziell:
Präsentationen; Fernsehshows; Modenschauen

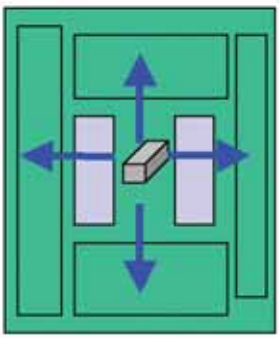


Wo liegt aus elektroakustischer Sicht das Problem?
Die Lautsprecheranlage sollte so konfigurierbar sein, dass Augen und Ohren der Zuhörer das Veranstaltungsgeschehen aus einer Ebene, besser aus einer Richtung wahrnehmen.
Dies bedingt die Klärung der veranstaltungstypischen Blickrichtungen.



Für den Beschallungsplaner heißt das: **Richtungstreue** ist eines der Hauptziele.
Aus der Ebene, aus der die Bildinformation kommt, sollte auch der Ton kommen. Oder ... die Anlage muss in der Lage sein das zeitliche Verhalten der Toninformationen flexibel anzupassen.
Dies sollte über entsprechend ausgewählte Komponenten, Montageorte und über Preset-Voreinstellungen im Processing erfolgen. Bei einer Veranstaltung mit Blickrichtung zur Hallenmitte (Bild 1, z.B. Handball, Volleyball, Tanzen..) sollten alle Lautsprecher in Bezug zu t=0 verzögert angesteuert werden.
Auf diese Weise wird dafür gesorgt, dass die erste Wellenfront nach Möglichkeit vom Ort des Geschehens her eintrifft, also optische und akustische Achse in einer Ebene sind.

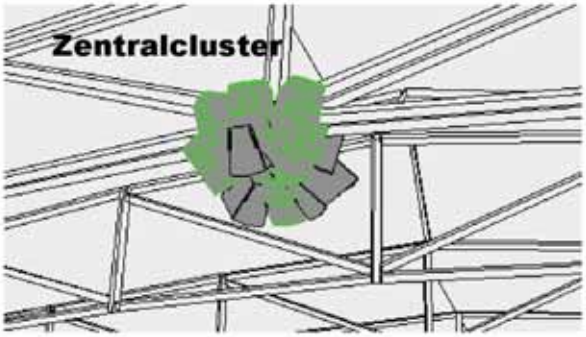
Weitere typische Bühnenvarianten

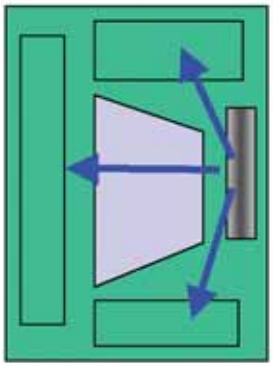


Mittenbühne

mit zusätzlicher Bestuhlung

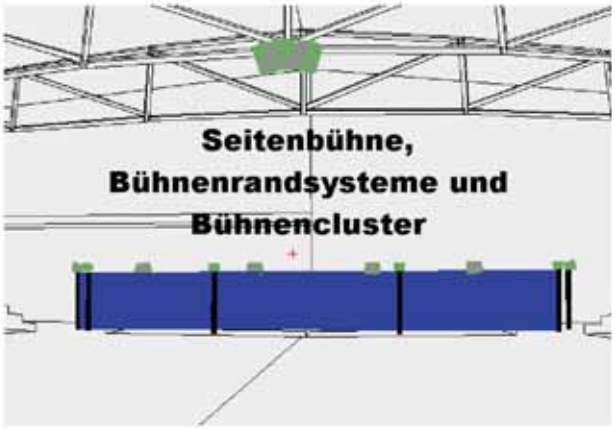
im Spielfeldbereich
(Boxen, Wrestling, Konzert
aus der Mitte...)

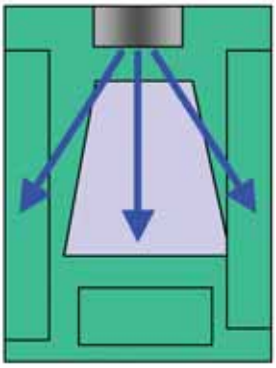




Seitenbühne

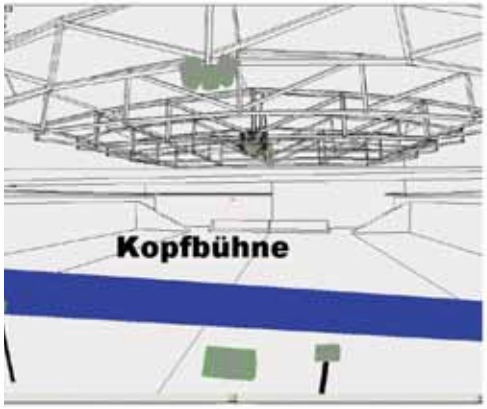
mit zusätzlicher
Bestuhlung
im Spielfeldbereich
(Fasching, Konzert,
Modenschau)

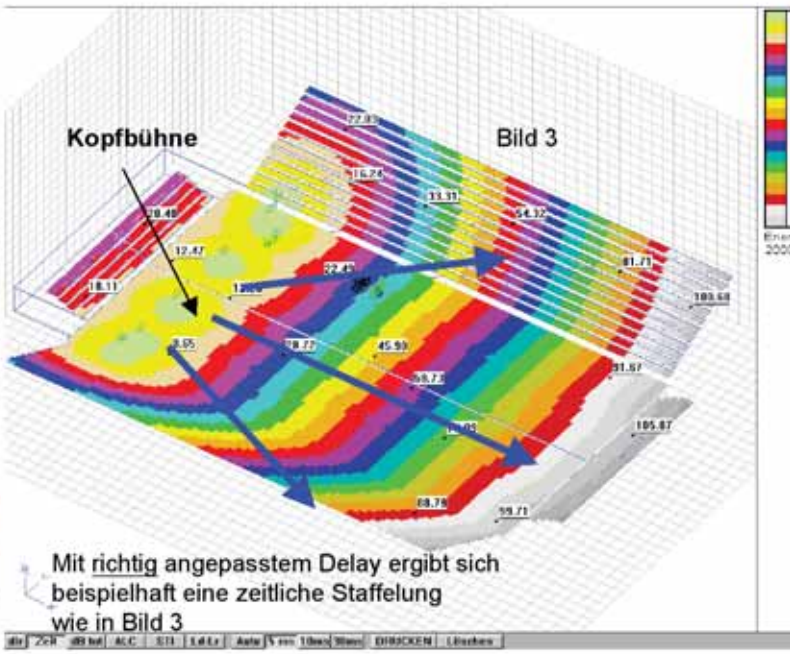




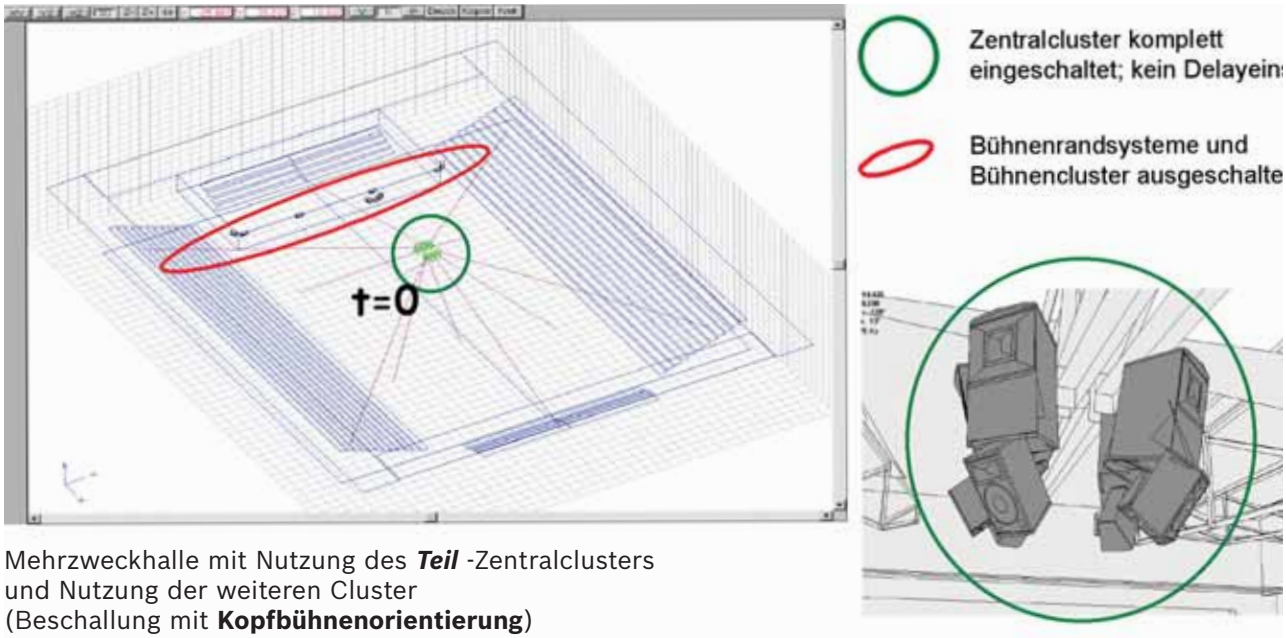
Kopfbühne

mit zusätzlicher Bestuhlung
im Spielfeldbereich
(Fernsehshow, Präsentation, Konzert)

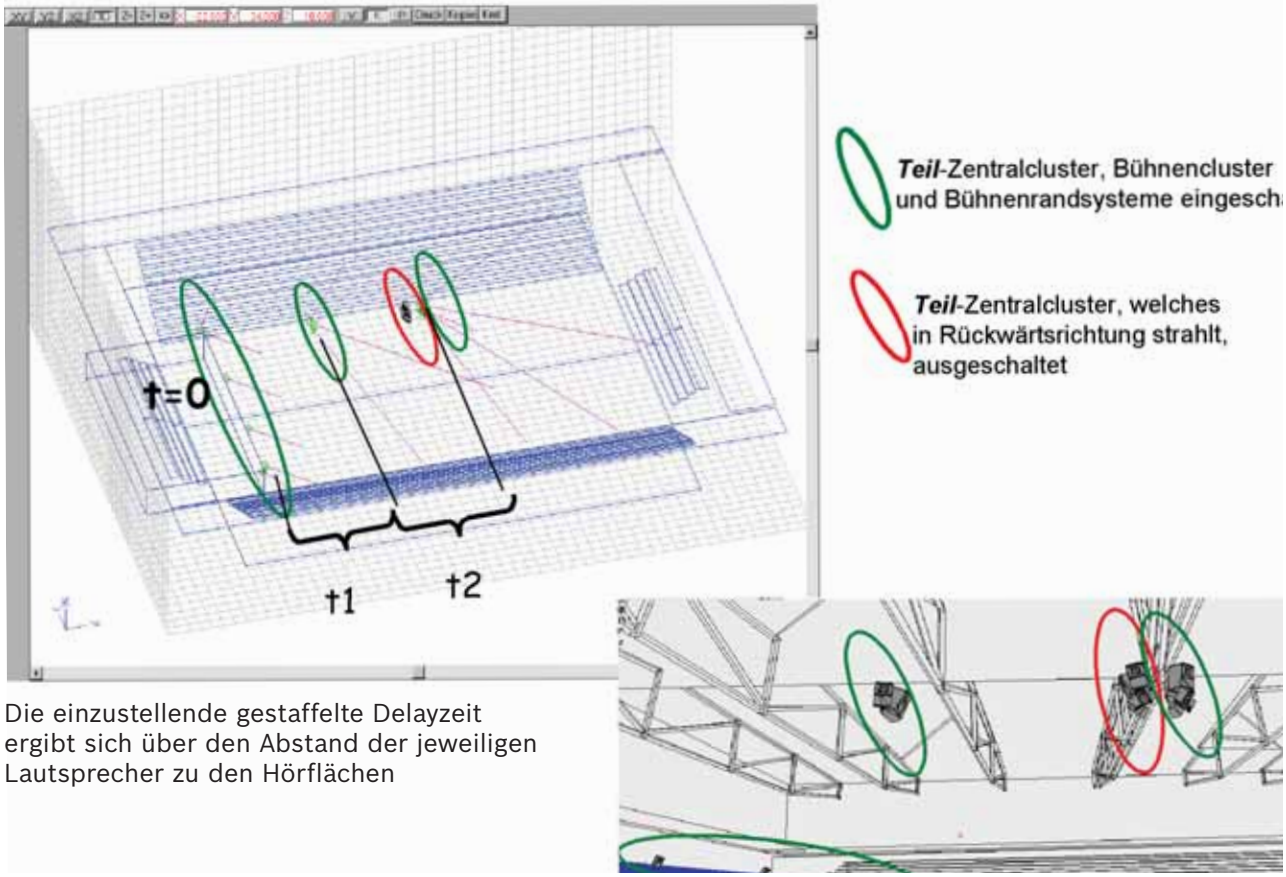




Zwei Beispiele:
Mehrzweckhalle mit reiner Nutzung des Zentralclusters (Beschallung mit **Mittenorientierung**)

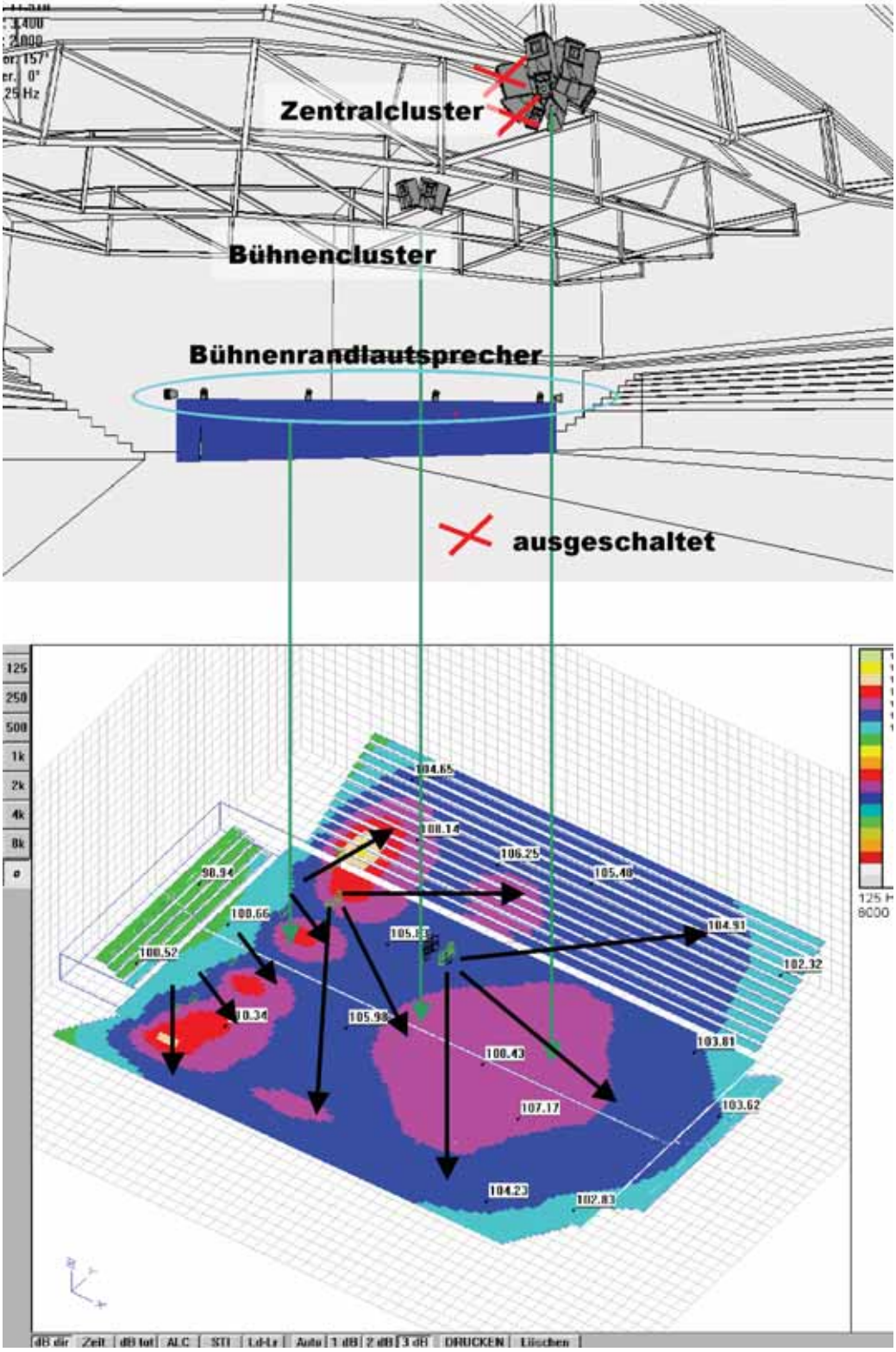


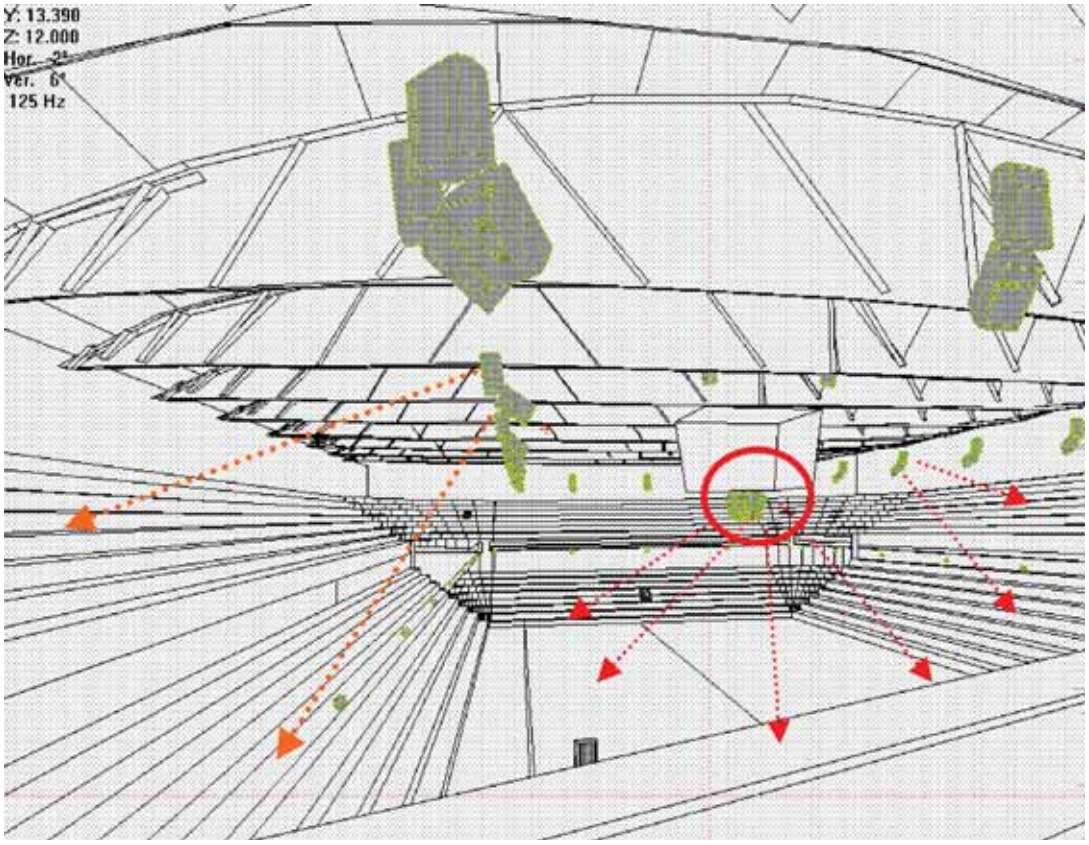
Mehrzweckhalle mit Nutzung des ***Teil*** -Zentralclusters
und Nutzung der weiteren Cluster
(Beschallung mit **Kopfbühnenorientierung**)



Die einzustellende gestaffelte Delayzeit
ergibt sich über den Abstand der jeweiligen
Lautsprecher zu den Hörflächen

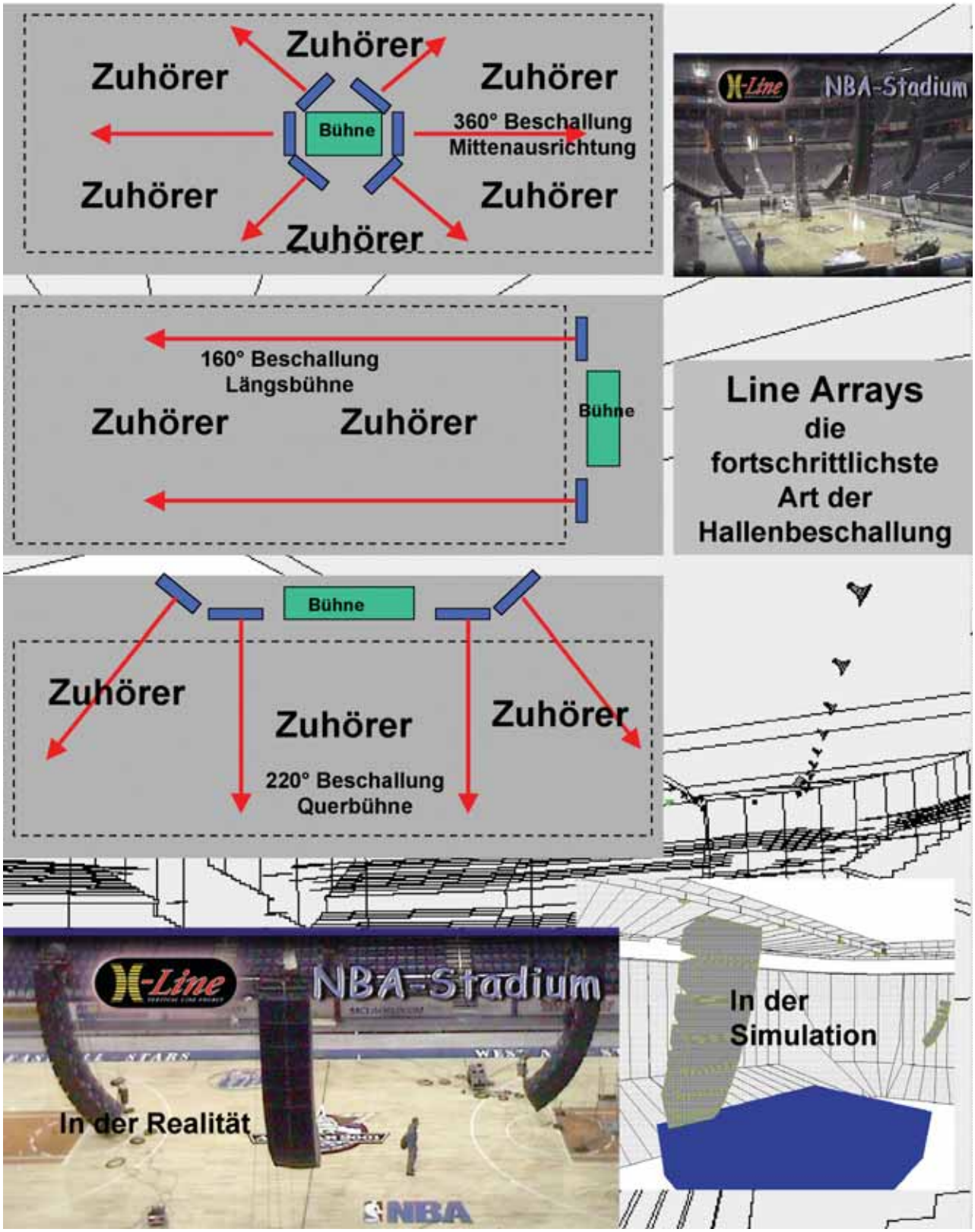
Die sich ergebende Direktschalldruckverteilung bei Bühnennutzung

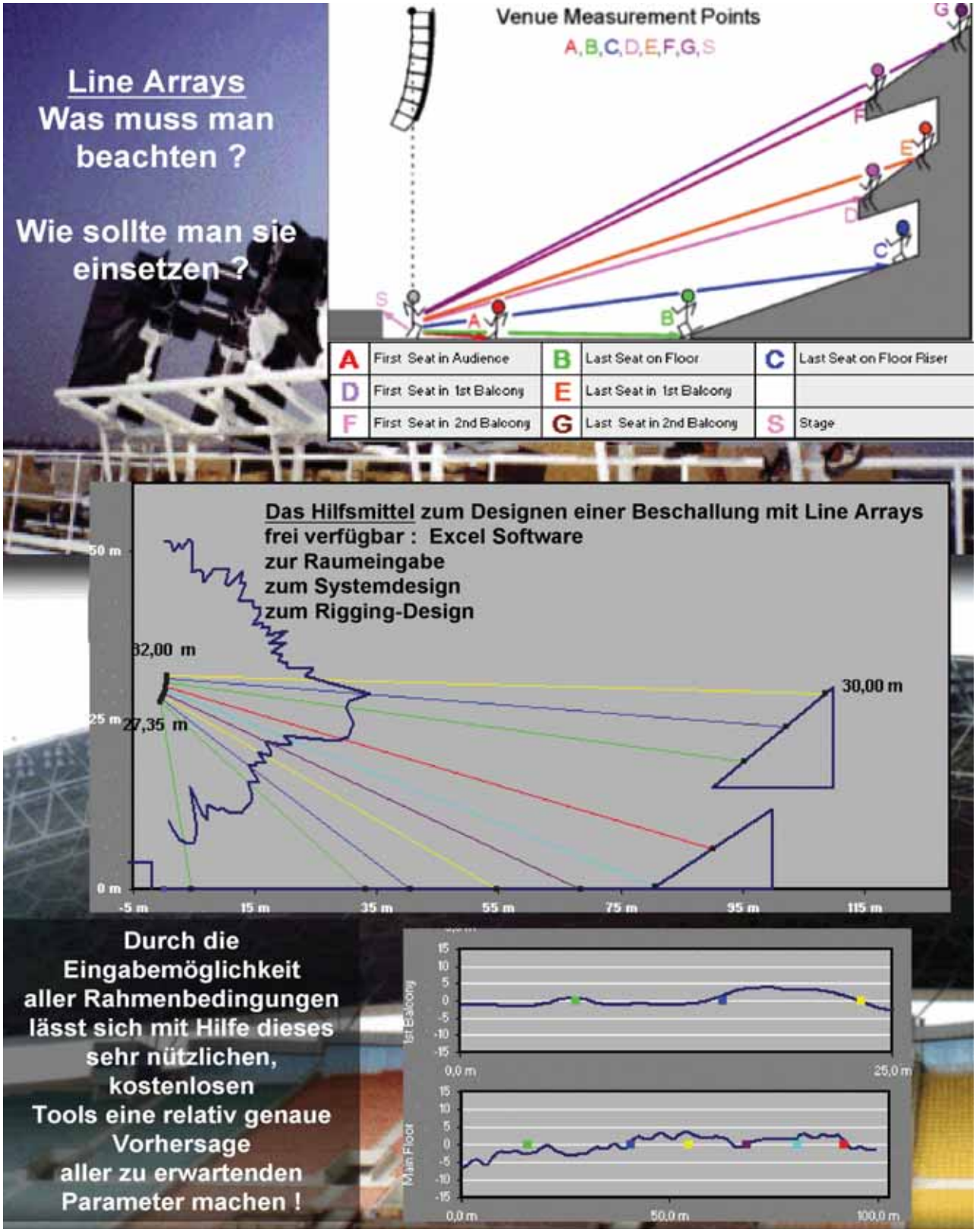




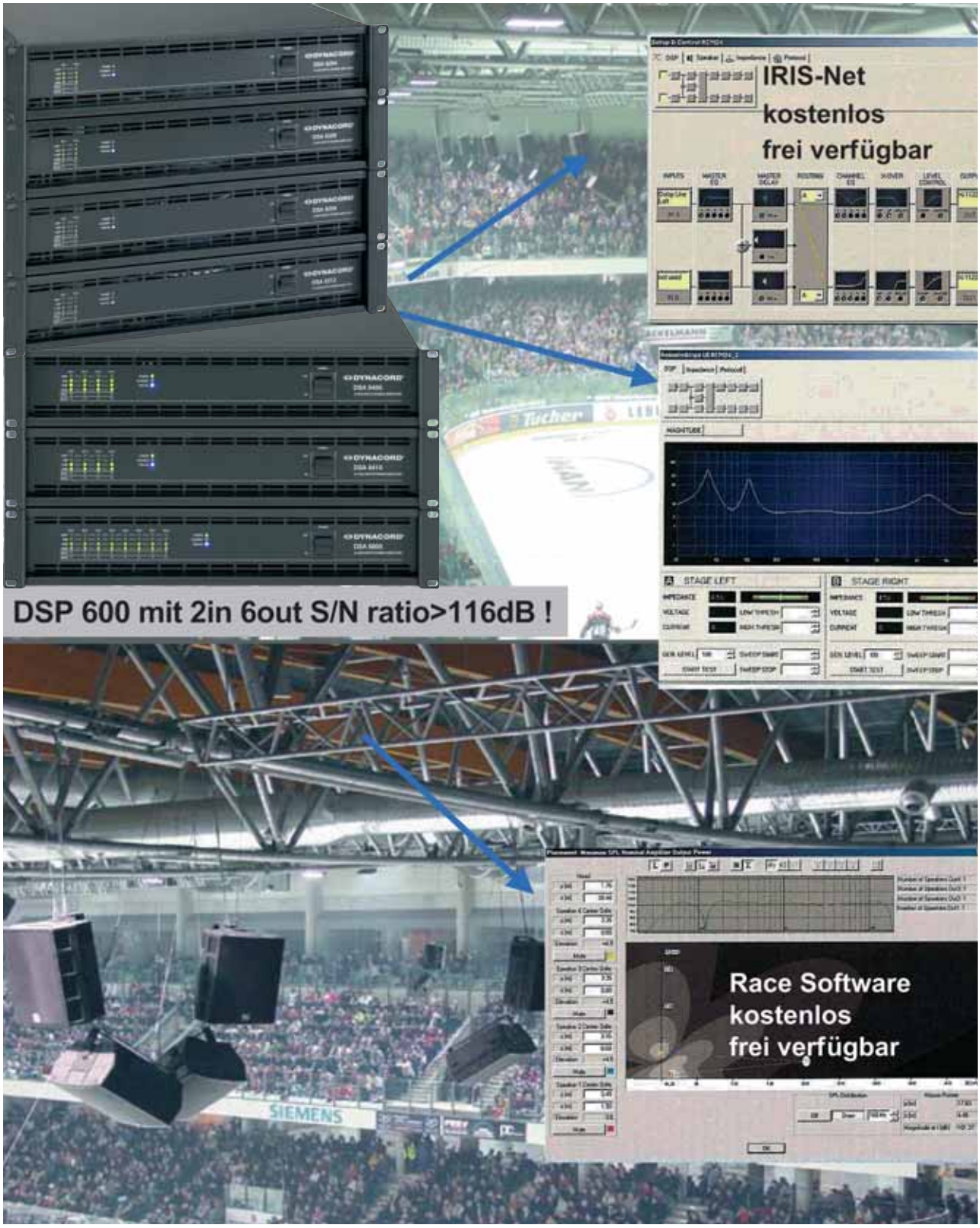
Anstelle einer Zentralbeschallung kann in vielen Fällen eine dezentrale Tribünenbeschallung kombiniert mit einer zentralen Spielflächenbeschallung sinnvoll sein:

C) II.2. Typische Lautsprecher- und Elektronik-Komponenten:


Zuhörer
Zuhörer
Zuhörer
Bühne
360° Beschallung
Mittenausrichtung
Zuhörer
Zuhörer
Zuhörer
X-Line
NBA-Stadium
160° Beschallung
Längsbühne
Zuhörer
Zuhörer
Bühne
Line Arrays
die
fortschrittlichste
Art der
Hallenbeschallung
Bühne
Zuhörer
Zuhörer
Zuhörer
220° Beschallung
Querbühne
X-Line
NBA-Stadium
In der Realität
NBA
In der
Simulation


Line Arrays
Was muss man beachten ?
Wie sollte man sie einsetzen ?
Venue Measurement Points
A,B,C,D,E,F,G,S
A First Seat in Audience
B Last Seat on Floor
C Last Seat on Floor Riser
D First Seat in 1st Balcony
E Last Seat in 1st Balcony
F First Seat in 2nd Balcony
G Last Seat in 2nd Balcony
S Stage
Das Hilfsmittel zum Designen einer Beschallung mit Line Arrays
frei verfügbar : Excel Software
zur Raumeingabe
zum Systemdesign
zum Rigging-Design
32,00 m
27,35 m
30,00 m
50 m
25 m
0 m
-5 m
15 m
35 m
55 m
75 m
95 m
115 m
Durch die Eingabemöglichkeit aller Rahmenbedingungen lässt sich mit Hilfe dieses sehr nützlichen, kostenlosen Tools eine relativ genaue Vorhersage aller zu erwartenden Parameter machen !
1st Balcony
Main Floor
0,0 m
25,0 m
50,0 m
100,0 m

typische Elektronik-Komponenten



D) Anhang

D) I. Begriffserklärungen

Vorbemerkung:

In Handbüchern vieler Hersteller von Beschallungstechnik sind Worterklärungen enthalten. Häufig ist zu beobachten, dass dabei auf den Sprachgebrauch der sechziger Jahre des 20. Jahrhunderts zurückgegriffen wird. Oder es wird nur ein Teilbereich des Gesamtgebietes betrachtet. Traditionell werden beispielsweise Wirkungsgrad eines Lautsprecher und Kennschallpegel mehr oder weniger gleichgesetzt. Es besteht aber ein Unterschied, der genau durch die Richtwirkung eines Lautsprechers erklärt wird.

Hier wird der Versuch gemacht, die Erklärungen dem aktuellen Stand der Technik anzupassen, herstellerspezifische Beschreibungen außen vorzulassen und physikalische Unrichtigkeiten zu vermeiden. Dadurch weichen einige Erklärungen etwas von der gewohnten Darstellung ab.

AES / EBU

Standardisierte Schnittstelle zur digitalen Übertragung von Audiosignalen. Zwei Audiosignale können über ein 2-adriges Mikrofonkabel über ca. 100 m übertragen werden.

Akustische Rückkopplung

Rückkopplung (feedback):
Ein Teil des Ausgangssignales eines verstärkenden Systems wird auf den Eingang des Systems zurückgeführt. Je nach Anteil und Phasenlage des Ausgangssignals in Bezug auf das Eingangssignal kann es zur Reduzierung der Gesamtverstärkung (Gegenkopplung), zur Erhöhung der Gesamtverstärkung (Mitkopplung) oder zur Instabilität des Systems kommen.

akustische Rückkopplung:
Dieser Begriff wird meist zur Bezeichnung des instabilen Falles der unwillkürlichen Rückkopplung in einem Beschallungssystem benutzt.
In einem Beschallungssystem ist der Eingang das Mikrofon, der Ausgang der Lautsprecher und die Rückführung erfolgt als Luft- oder Körperschall. Problematisch ist, dass die Phasenwinkel aller beteiligten Frequenzen durch den Luftweg unterschiedlich sind und im Gegensatz zu einer elektrischen Rückführung nicht gesteuert werden können. Man kann davon ausgehen, dass sich bei genügender Verstärkung immer eine Frequenz finden lässt, bei der die aktuelle Phasenlage das Instabilitätskriterium erfüllt. Die Instabilität äußert sich durch das Auftreten einzelner Töne (Heulen, Pfeifen, aber auch manchmal tieffrequentes Brummen), die nach kurzer Zeit die Beschallungsanlage zur Vollausteuerung bringen. Dass die Phasenlage der unwillkürlich zurückgeführten Töne eine wesentliche Rolle spielt, kann man daran erkennen, dass eine Änderung der Mikrofonposition bei einsetzender Rückkopplung meist zu einer Änderung der Tonhöhe des Rückkopplungstones führt.
Die (instabile) akustische Rückkopplung ist eine der wesentlichen Grenzen der Beschallungstechnik.

Wichtiges Kriterium zur Beschreibung einer Beschallungsanlage ist daher die erreichbare Verstärkung ohne (instabile) Rückkopplung (gain for feedback). Dieser Wert ist abhängig von

- den akustischen Raumeigenschaften
- den Übertragungseigenschaften der Mikrofone und Lautsprecher (je linearer, um so besser)
- der Anzahl der gleichzeitig verwendeten Mikrofone
- der Anzahl der gleichzeitig verwendeten Lautsprecher
- dem Abstand zwischen Schallquelle (Sprecher) und dem Mikrofon
- der Richtwirkung des Mikrofons auf die Schallquelle
- der Richtwirkung von Mikrofon und Lautsprecher zueinander
- des Abstandes von Mikrofon und Lautsprecher
- der Richtwirkung vom Lautsprecher zum Zuhörer
- des Abstandes vom Lautsprecher zum Zuhörer

Es gibt zusätzlich einige elektronische Möglichkeiten zur Erhöhung der Verstärkung vor Rückkopplung (automatische Filter, Equalizer, Shifter). Erfahrungsgemäß macht deren Gewinn maximal 6 dB aus und ist von häufig unerwünschten Nebeneffekten begleitet.

Anpassung

Verhältnis des Innenwiderstands einer Spannungsquelle zum Abschlusswiderstand des angeschlossenen Stromkreises. Ist das Verhältnis 1 : 1, wird ein Maximum an elektrischer Leistung übertragen, man spricht von Leistungsanpassung, der Wirkungsgrad beträgt 0,5. Ist der Abschlusswiderstand viel größer als der Innenwiderstand, wird der Wirkungsgrad nahezu 1, man spricht von Spannungsanpassung.
Wird der Abschlusswiderstand kleiner als der Innenwiderstand, kommt man in den Bereich des Kurzschlusses, elektronische Geräte werden stark belastet ohne dass ein nennenswerter Energietransport stattfindet.
Moderne Beschallungsanlagen arbeiten fast ausnahmslos im Bereich der Spannungsanpassung mit niedrigen Quell- und hohen Abschlusswiderständen. Das gilt sowohl für die Mikrofonseite (typ. 200 Ohm zu 2000 Ohm), für den Bereich der Signalverarbeitung (50 Ohm zu 1 kOhm) oder auch den Bereich Leistungsverstärker - Lautsprecher (0,2 Ohm zu 4 oder 8 Ohm). Ausnahme: Leistungsanpassung bei der Übertragung über sehr lange Leitungen zur Vermeidung von Störungen an den Leitungsabschlüssen.
Das Anpassungsproblem existiert im analogen Sinne auch bei der Weiterleitung von Schall aus einer Schallquelle (Lautsprecher) auf ein Ausbreitungsmedium (Luft). Man spricht dann von der Schallimpedanz der Luft, die wesentlich geringer ist als die Impedanz der schwingenden Membran. Daher arbeitet ein Lautsprecher fast immer in der Nähe eines Kurschlusses mit entsprechend schlechtem Wirkungsgrad.

Aufmerksamkeitssignal

häufig auch Vorgong.
Tonales oder klangartiges kurzes Signal vor einer Durchsage, hebt sich durch seine Klangzusammensetzung deutlich vom Umgebungslärm ab ohne dabei extreme Energien aufzuwenden und kündigt eine Sprachdurchsage an. Effekt: Zuhörer konzentrieren sich auf die Durchsage, stellen Gespräche und Lärm erzeugende Tätigkeiten ein.
Üblich sind gongähnliche Signale (Vorgong, historisch aus der Kino-Technik hervorgegangen), Harfenklänge (Schweizer Bahnen), aber auch trompeten- oder sirenenartige Signale.

Bus

Leitungssystem für Audio- und / oder Datensignale, gemeinsam für mehrere Quellen und Ziele.

CAN

Controller-**A**rea-**N**etwork
Serielles Datenbussystem für große Entfernungen und hohe Reaktionsgeschwindigkeiten.

Delta-Sigma-Verfahren

Ein Verfahren zur Umwandlung von digitalen Audiosignalen in analoge und umgekehrt.

DIN-Alarm

Nach DIN 33 404, Teil 3 ist als Gefahrensignal für Arbeitsstätten ein einheitliches Notsignal zu verwenden. Dieses Notsignal ist in der DIN exakt festgelegt (sog. DIN-Alarm). Das Notsignal soll als Signal mit höchstem Vorrang alle Personen im Signalempfangsbereich auf eine beginnende oder vorhandene, unmittelbare Gefahrensituation, wie Brand, Gas, Explosion, Strahlung usw. aufmerksam machen.

Einzelruf

Rufdurchsage an einzelne Lautsprecherkreise, die mit Ruftasten an einer Tischsprechstelle oder an der ELA-Zentrale angewählt werden.

Equalizer

Kurzbezeichnung EQ wörtl. "Ausgleicher" oder "Egalisator", deutsche Fachbezeichnung "Parallel-Filter-Bank". Gerät oder Baugruppe innerhalb von Geräten zur bereichsweisen Beeinflussung des Frequenzganges eines Systems. Typische Vertreter sind

- Klangsteller im Mischpulteingang
- graphische Equalizer als selbstständige Geräte oder als Baugruppen in Endstufen (Bedienknöpfe von Flachbahnstellern repräsentieren den eingestellten Frequenzgang)
- parametrische Equalizer als selbstständige Geräte, als Klangsteller in den Eingängen von Mischpulten oder als digitale Filter in modernen ELA-Systemen
- steckbare Baugruppen für System-Leistungsverstärker zum Optimieren von Lautsprecher-Frequenzgängen
- als "Unterprogramme" in komplexen digitalen Signalverarbeitungseinheiten

<u>Anwendung</u>:

- Ausgleich von physikalischen Effekten in Übertragungskomponenten z.B. des Naheffektes von Mikrofonen, Hochtonverlusten in langen Leitungen
- Absenkung der Verstärkung in Frequenzbereichen, die für die Übertragung nicht benötigt werden oder unerwünscht sind (Trittschallgeräusche bei Mikrofonen)
- ästhetische Klangbeeinflussung
- Loudnesskorrektur
- Rückkopplungsunterdrückung (eingeschränkt)
- grobe Korrektur von Raumbesonderheiten (das schöne deutsche Wort "Raumentzerrer" bleibt leider ein Wunschtraum, da sich die Wirkungsmechanismen eines Raumes nicht so einfach durch einfache elektrische Schaltungen kompensieren lassen.)

Wichtig für einen Equalizer ist ein "Bypass"-Schalter, damit sich der Bediener das Ergebnis seiner Arbeit im Vergleich zum "Naturzustand" auch mal anhören kann. Zur Einstellung komplexer Equalizer gehört auch eine entsprechende Mess- und Analysetechnik.

Fehlbediensicherheit

Eigenschaft einer Beschallungsanlage, die auch zur Alarmierung von Personen und zur Evakuierung von Räumen dient. Dazu zählt einerseits, dass eine Anlage im Notfall mit minimalem Aufwand zu bedienen ist und dass andererseits Fehlauslösungen zu vermeiden sind. Verschiedene Hersteller bedienen sich dabei unterschiedlicher Konzepte (verdeckt eingebaute, selten benutzte Bedienorgane, Schlüsselschalter, Passworteingaben, Drucktasten mit Abdeckkappen). Wichtig sind klare Verantwortlichkeiten beim Nutzer sowie eindeutige Handlungsanweisungen für die unterschiedlichen Notfälle (incl. der Texte, die evtl. vorzulesen sind)

Frequenzgang

Eigentlich graphische Darstellung des Übertragungsmaßes über der Frequenz eines Signalverarbeitungssystems (Frequenzgangkurve, Übertragungskurve). Häufig synonym verwendet für Übertragungsbereich, dem Frequenzbereich, in dem die Frequenzgangkurve einen vorgegebenen Toleranzbereich nicht verlässt. Dieser Toleranzbereich wird entweder durch Normen festgelegt oder sollte mit den Eckwerten angegeben werden, z.B. 50 Hz ... 15 kHz (+1; -1,5 dB).
Einige Hersteller haben sich darauf verständigt, dass sie Eckwerte, die außerhalb des Hörbereiches liegen, durch die Eckwerte des Hörbereiches (20 Hz bzw. 20 kHz) in ihren Gerätespezifikationen ersetzen, um einen unsinnigen Wettbewerb zu verhindern.

Gruppenruf

Rufdurchsagen an eine vorprogrammierte Gruppe von Lautsprecherkreisen. Hierfür müssen die Sprechstelle und die Anlage entsprechend vorbereitet sein. Moderne Systeme benutzen hierfür Definitionen per Software. Wichtig in Alarmierungssystemen ist eine weitestgehend lokale Übereinstimmung von Rufgruppen einerseits und Brandabschnitten und zugehörigen Fluchtwegen andererseits.

Hochleistungslautsprecher

Ursprünglich als Begriff für Lautsprecher mit hoher Nennbelastbarkeit geprägt. Heute meist als Synonym für breitbandige Lautsprecher mit hohem Kennpegel (> 95 dB) und hoher Nennbelastbarkeit (> 100 W) verwendet.

100 V-Technik

Form der Übertragungs- und Anpassungstechnik zwischen Leistungsverstärker und Lautsprecher.
In anderen Ländern auch 70V- Technik (USA) oder 50 V-Technik. Hauptkennzeichen: einheitliche hohe Spannung am Verstärkerausgang (bei Vollaussteuerung) unabhängig von der Verstärker- oder Lautsprechernennleistung.

Die Leistungsaufnahme eines angeschlossenen Lautsprechers wird durch seine Nennimpedanz (durch Übertrager) bestimmt. Dadurch werden ähnliche Verhältnisse wie in elektrischen Energie-Netzen geschaffen.

Vorteile:
- Einfacher Aufbau von verteilten Systemen (viele Lautsprecher an einem Verstärker)
- Umfangreiches Zubehör am Markt
- geringere Leitungsquerschnitte erforderlich

Nachteile:
- Übertrager erforderlich (Leistungs- und Qualitätsverluste)
- Leitungsnetze werden als berührungsgefährdet eingestuft

Impedanz

Komplexer elektrischer Widerstand eines Bauelements, Wert fast immer frequenzabhängig. Angabe typischerweise nach Wirk- und Blindanteil oder nach Betrag und Phasenwinkel.
Einzahlangaben durch Normen ermöglicht z.B. Nennimpedanz eines Lautsprechers Z= 8 Ohm.

Im übertragenen Sinn auch für mechanische oder akustische Bauelemente (elektromechanische oder elektroakustische Analogien).

Induktionsschleife

Teil einer Beschallungsanlage zur Versorgung von Hörgerätebenutzern mit akustischen Informationen unter weitestgehendem Ausschluss der akustischen Übertragung durch Räume. In einem Raum wird dazu die "Primärwindung" eines großen Transformators verlegt und durch einen Leistungsverstärker mit tonfrequentem Strom gespeist. Im Hörgerät ist die Sekundärspule ("Fangspule") enthalten, die den induzierten tonfrequenten Strom über einen kleinen Verstärker und elektroakustischen Wandler als Schall direkt an das Ohr des Betroffenen leitet. Dazu muss der Hörgerätenutzer seinen Hörgeräteeingang in die Stellung "T" umschalten.

Hinweise:
- spezielle Vorschriften der Fernmeldeverwaltungen in einigen Ländern.
- Dimensionierung der Schleife mit zugehörigem Übertrager und Leistungsverstärker erfordert einige Sachkenntnis.
- manchmal Rückkopplungsprobleme durch magnetische Rückwirkung auf dynamische Mikrofone oder Gitarrentonabnehmer.

Klirrfaktor

Maß für die harmonischen, nichtlinearen Verzerrungen, die in einem System (Gerät, Bauelement) entstehen. Aussteuerungs- und frequenzabhängig. Das Erreichen einer bestimmten Größe des Klirrfaktors (z.B. 1%) wird zur Bestimmung der Nennleistung eines Verstärkers benutzt.

Typische Werte an Aussteuergrenzen:
- Vorverstärker k < 0,1 %
- Leistungsverstärker k < 1 %
- Mikrofone: Definition der Aussteuergrenze bei k = 0,5% oder 1 %
- Lautsprecher: bis zu 10 % im tieffrequenten Bereich, sonst < 3 %

Kompander

Verfahren zur Signalbearbeitung mit einem Kompressor zur Einengung der Dynamik vor einer Übertragungsstrecke oder einem Speicherverfahren und einem Expander zum reziproken Erweitern der Dynamik im Anschluss an die Übertragungsstrecke. Typischer Einsatz: drahtlose Mikrofone oder analoge Tonaufzeichnungen. Dadurch kann bei Übertragungs- oder Speicherverfahren mit eingeschränkter Dynamik doch ein sehr weiter Dynamikbereich genutzt werden.

Kompressor

Signalbearbeitungsgerät (-baugruppe) zur Einengung der Dynamik eines Signals. Reduziert bei der Überschreitung einer gewissen Schwelle die Verstärkung des Systems in einem gewissen Verhältnis zu dieser Überschreitung (Kompressionsgrad) und stellt die ursprüngliche Verstärkung nach dem Abklingen der Überschreitung wieder her. Typische Kompressionsgrade: 1:2 bis 1:10.

Beim Kompressionsgrad 1 : ∞ spricht man von einem Limiter.

Anwendung:
- Übersteuerungsschutz
- Lautsprecherschutz
- Klangästhetik
- Bestandteil von Kompanderverfahren

Sonderformen:
- Limiter
- Deesser
- NoiseGates
- Bestandteil von Sprachsignalprozessoren

Laufzeittechnik

Ausgleich der Laufzeitdifferenzen bei der Übertragung von akustischen Informationen als Schall (langsam 330 m/s) und als elektrisches Signal (schnell 300.000 km/s) durch Zwischenspeicherung der elektrischen Signale in einem FIFO-Speicher (first in - first out). Ziel: Vermeidung von Doppelhören und Richtungsverfälschungen. Für richtige Anwendung in größeren Räumen komplexe Speicher und Signalverarbeitungen erforderlich.

Lautsprecherdaten

- Kennpegel LK: Schalldruckpegel des Lautsprechers in 1 m Entfernung auf der Hauptachse bei Zuführung einer elektrischen Leistung von 1W
- Kennempfindlichkeit EK: dergleichen, jedoch nicht logarithmiert
- Bündelungsgrad (γ): Faktor für das Richtverhalten, gibt an wie viel Leistung man einem Lautsprecher mit gleichem Wirkungsgrad und kugelförmiger Abstrahlung mehr zuführen muss, damit er auf der Achse den gleichen Schalldruck erzeugt wie ein gerichtet abstrahlender Lautsprecher
- Richtungsmaß D(q): logarithmiertes Verhältnis des Schalldrucks außerhalb der Achse zum Schalldruck auf der Achse (Polardiagramm)

- Nennleistung P_N [W]
- Nennimpedanz Z [Ohm]
- Pegel bei Nennleistung L_N [dB]
- Spitzenpegel L_S [dB] (kurzzeitig)
- Wirkungsgrad ε

Anmerkungen:
- Nennleistung: Angabe über Dauerbelastbarkeit des Lautsprechers
- Nennimpedanz: wichtig für Zuleitungsdimensionierung
- Pegel bei Nennleistung: gemessener Wert häufig kleiner als errechneter (Wärmeverluste)
- Spitzenpegel: sehr kurzzeitig erreichbarer Wert, typisch ≤ 10 ms bei eingeschränkter Signalbandbreite (nur mit ganz speziellem Equipment nachprüfbar, häufig in Datenblättern angegeben, um Mitbewerber zu schockieren).
- Wirkungsgrad: praktische Werte um 1 %, Werte über 10% nur mit Sonderkonstruktionen und sehr schmalbandig

Leitungsüberwachung

Technische Einrichtung, die Verbindungsleitungen zwischen Geräten auf Störungen hin überwacht. Wesentliche Überwachungskriterien sind:

- Kurzschluss
- Unterbrechung

Für Lautsprecherleitungen wird zusätzlich noch eine Erdschlussüberwachung eingesetzt. Moderne Überwachungssysteme liefern eine ganze Menge zusätzlicher Daten über die angeschlossenen Netze, teilweise durch Datenaustausch mit den angeschlossenen Geräten, teilweise durch aufwändige Test- und Prüfalgorithmen. Wichtig ist, dass kritische Betriebszustände möglichst schnell dem Betreiber mitgeteilt werden.

Limiter

Signalbearbeitungsgerät (-baugruppe) zur Dynamikbeeinflussung. Sonderform des Kompressors mit Kompressionsgrad 1 : ∞. Hauptanwendung: Übersteuerungsschutz, Lautsprecherschutz.

Logarithmus

Mathematische Funktion, die häufig in der Elektroakustik angewendet wird. Umkehrfunktion der Potenzfunktion, liefert bei bekannter Basis und bei bekannter Potenz den unbekannten Exponenten. Wesentliche Eigenschaften: Bei der Anwendung von Logarithmen werden aus Multiplikationen und Divisionen dann Additionen und Subtraktionen und bei Logarithmen zur Basis 10 ergibt eine Verzehnfachung des Wertes nur eine Zunahme des Logarithmus um 1.
In der Elektroakustik hat das folgende Bedeutung: Übliche Schallleistungen schwanken zwischen 0,000000000001 W und 10 W; als Zehnerlogarithmus ausgedrückt jedoch zwischen -12 und 2. Man erhält also wesentlich kleinere Zahlen. Wenn man andererseits zwei Verstärker hintereinander schaltet, jeweils mit der Verstärkung 31, dann erhält man die Gesamtverstärkung durch Multiplikation 31 • 31 = 961. Im Logarithmenbereich würde man addieren 20 • log 31 + 20 • log 31 = 30 dB + 30 dB = 60 dB, was einer 1000-fachen Verstärkung entsprechen würde (technisch hinreichend genau).
Aus diesen beiden Gründen sind die beiden logarithmischen Maßeinheiten Dezibel dB und Neper Np eingeführt worden, wobei das Neper weitestgehend seine Bedeutung verloren hat.

Maß

Logarithmierte Verhältnisse zwischen einer Ausgangs- und einer Eingangsgröße werden in der (Elektro-) Akustik häufig als "Maß" bezeichnet, z. B als Übertragungsmaß bei Verstärkern oder Mikrofonen, als Schalldämmmaß bei Wänden. Wird dagegen der Bezug zu einer genormten Größe genommen, spricht man von Pegeln, z.B. Schallpegel (logarithmiertes Verhältnis des Schalldrucks zum Schalldruck der Hörschwelle) oder Leitungspegel (Tonspannung einer Leitung zu 0,775 mV, logarithmiert in dB).

Matrix

Technische Einrichtung zum Zusammenführen, Umschalten und Verteilen von Signalen mit m gleichwertigen Eingängen und n gleichwertigen Ausgängen mit n • m Koppelpunkten. Eine Matrix mit 16 Eingängen und 32 Ausgängen besteht also aus 512 Koppelpunkten. Werden diese Koppelpunkte durch Schalter realisiert, sind 512 Schalter notwendig, obwohl meist nur 32 Schalter betätigt sein werden.

Vorteile:
Einfache klassische Realisierung (Kreuzschiene), Steuervorgänge lassen sich mathematisch relativ einfach beschreiben und damit bequem programmieren, übersichtliche Verdrahtung bei klassischen Realisierungen.

Nachteil:
hoher Bauteilaufwand

Signalbearbeitungen und -verteilungen auf digitaler Ebene werden häufig als Matrix beschrieben und mathematisch auch so behandelt, obwohl die Matrixstruktur als solche nicht unmittelbar erkennbar ist.

Sonderfall:
Matrix im Mischpult: Baugruppe in einem Mischpult, bestehend aus mehreren einfachen Mischbaugruppen mit jeweils einem Ausgang, bei denen jeweils die gleichen Eingänge parallel geschaltet sind (also Eingang 1 - Baugruppe 1 mit Eingang 1 - Baugruppe 2 und Eingang 1 - Baugruppe 3 usw.). Die Koppelpunkte werden durch Drehsteller repräsentiert, die dann matrixförmig angeordnet sind.

Message-Stacking

Verfahren zur Vermeidung von Informationsverlusten bei der nahezu gleichzeitigen Auslösung von unterschiedlichen Rufen gleicher Priorität in den gleichen Rufkreis. Der zuerst eingehende Ruf wird nicht unterbrochen, während der zweite Ruf elektronisch aufgezeichnet wird. Nach Beendigung des ersten Rufes wird der zweite, aufgezeichnete Ruf zu den entsprechenden Lautsprecherkreisen geleitet.

Mischpult

Zusammenfassung (fast) aller Bedienelemente einer Beschallungsanlage in einer pultförmigen Bedienoberfläche. Die eigentlichen Signalbearbeitungsbaugruppen müssen sich nicht unmittelbar in dem Pult befinden. Hauptarbeitsplatz des Bedieners, sollte daher auch ergonomischen Ansprüchen genügen.

MOST-Bus

Media-**O**riented **S**ystem **T**ransport. Der MOST-Bus ist ein serieller Point-to-Point Bus.

Nennbelastbarkeit

Leistungsangabe für Lautsprecher.
Die elektrische Leistung, die einem Lautsprecher in Form eines gefilterten Rauschsignales über längere Zeit zugeführt werden kann, ohne dass der Lautsprecher beschädigt wird. Die Form der Filterung und des Rauschsignales sowie die zu überstehende Zeit unterscheiden sich im Detail bei verschiedenen Normen, die resultierenden Angaben sind bei den gebräuchlichen Normen (IEC, ANSI, AES) halbwegs vergleichbar. Mehr oder weniger unbrauchbar sind Angaben ohne Bezug zum Messverfahren oder solche Angaben wie Spitzenleistung, Musikbelastbarkeit, continuous program, wenn sie nur allein angegeben werden.

Oktave

- musikalisches Intervall, der höhere Ton hat genau die doppelte Frequenz des niedrigeren
- elektroakustisch: Frequenzbereich, dessen oberste beteiligte Frequenz genau doppelt so hoch ist wie die unterste. Die Oktave wird gekennzeichnet durch ihre Mittenfrequenz (geometrisches Mittel aus unterer und oberer Grenzfrequenz). Eine Oktave besteht aus 3 Terzen. Es gibt eine standardisierte Reihe von Mittenfrequenzen für Oktaven (16; 32; 63; 125; 250; 500; 1000; 2000; 4000; 8000; 16000 Hz)

Pausenhofautomatik

Zeitgesteuerte Signalverteilung, gekennzeichnet dadurch, dass aus Umweltschutzgründen nur die jeweils für den Außenbereich auch relevanten Signale abgestrahlt werden. So wird der Pausenbeginn nur im Schulgebäude signalisiert, das Pausenende im Gebäude und auf dem Schulhof.

PCM

Puls-**C**ode-**M**odulation, ein Verfahren zur digitalen Darstellung von analogen Signalen.

Pegel

siehe Maß.

Pflichtempfang

Signale höchster Priorität (Alarme, Suchmeldungen...) müssen alle Zuhörer erreichen, auch wenn die Möglichkeit besteht, dass einzelne Lautsprecher abgestellt oder leise gestellt werden. Dazu sind technische Einrichtungen erforderlich, die durch Überbrückung der Stellglieder den Pflichtempfang dieser Signale mit voller Lautstärke gewährleisten (Pflichtempfangsrelais, 3-Draht-Technik)

Phase

- Kennzeichen von komplexen Größen wie Schwingungen und Wellen (Phasenwinkel, Phasenverschiebung)
- eigentlich falsche, aber fest eingebürgerte Bezeichnung für die Polarität von Lautsprechern (Phasentest, Phasenchecker), sollte eigentlich als Polaritätsprüfung bezeichnet werden.

Pilottonüberwachung

Funktionstest für Verstärkerbaugruppen durch ständig zugesetzten, unhörbaren Ton am Rand des Übertragungsbereiches, z.B. 19 kHz.
Wird dieser Ton am Ausgang eines Verstärkers nicht mehr detektiert, hat der Verstärker wahrscheinlich keine korrekte Funktion mehr. Mit relativ einfachen Einrichtungen kann dann sogar automatisch auf einen Havarieverstärker umgeschaltet werden.

Hinweis 1:
Zwischen Einspeisepunkt des Pilottones und Detektierung sollten keine ständig gebrauchten Stellglieder (Regler, Filter) liegen, da sonst keine sichere Detektierung möglich ist.

Hinweis 2:
Die automatische Havarieumschaltung von Verstärkern muss sorgfältig geplant werden. Sie ist nur dann zuverlässig zu realisieren, wenn alle beteiligten Verstärker nahezu identisch sind vom Typ und von den Einstellungen.

Priorität

Rangfolge. In der Beschallungstechnik werden Zugriffsrechte in Kollisionsfällen über Prioritäten geregelt. Übliche Rangfolgen von niedriger zu hoher Priorität: Hintergrundmusik, Werbeeinblendungen, Pausensignale, gespeicherte Warnhinweise, Rufe von Sprechstellen, automatisch ausgelöste Alarmsignale, von Hand ausgelöste Alarmsignale und -texte, Rufe von bevorrechtigten Sprechstellen (Feuerwehrsprechstellen). Traditionell wurde die Priorität hardwaremäßig dem entsprechenden Auslöser zugeordnet, in modernen Anlagen wird die Priorität softwareseitig festgelegt, und so kann eine Sprechstelle je nach Bedienung und Programmierung sogar unterschiedliche Prioritäten gewährleisten. Einige Systeme bieten auch Vorauswahlmöglichkeiten an, was passieren soll, wenn Anforderungen gleicher Priorität aufeinander treffen. Die Festlegung der Prioritätskette setzt eine sorgfältige Planung voraus.

Programm

In ELA- Technik häufig Bezeichnung für das Musik- oder Sprachsignal mit niedrigster Priorität, z. B. Hintergrundmusik oder das Mithörprogramm von einer Bühne.

RS 232

Serielle Datenschnittstelle zur Steuerung von Einzelgeräten über geringe Entfernungen.

RS 485

Serielle Datenschnittstelle zur Ansteuerung mehrerer Geräte über relativ große Distanzen.

Sammelruf

Gruppenruf, der alle Lautsprecherlinien erfasst. In modernen Anlagen meist als Gruppe vordefiniert. In klassischen Anlagen deswegen von Bedeutung, weil durch ein besonderes Relais (Sammelrufrelais) die Einzelkreisrelais bei Sammelruf in Ruhestellung bleiben konnten und dadurch der Steuerstrom reduziert wurde.

Schallgruppen

Anordnung mehrerer gleichartiger Lautsprecher zur Erzielung bestimmter akustischer Effekte auf der Basis der Überlagerung von Schallwellen. Am bekanntesten sind sicher die Tonsäulen. Schallzeilen, Gruppenstrahler und ähnliche Begriffe bezeichnen herstellerabhängig alle ähnliche Sachverhalte.
Ziel ist es, eine gebündelte Schallabstrahlung zu erreichen. Durch Nichtbeachtung von Nebeneffekten und durch mangelhafte Qualität einiger Fabrikate ist die "ELA-Zeile" stark in Verruf geraten. Das Prinzip erlebt aber in den letzten Jahren eine starke Renaissance als "Line- Array" in der professionellen Beschallungstechnik (Prinzip der kohärenten Strahler).

Signal Processing

Geräte und Baugruppen im Signalweg, die für eine optimale Anpassung des Tonsignals an den weiteren Übertragungsweg, an die eingesetzten Lautsprecher und an den Raum sorgen.

Typische Geräte bzw. Baugruppen:

- Equalizer
- Kompressoren
- Limiter
- Delay-Geräte
- Frequenzweichen

oder Kombinationen dieser Baugruppen. Bei digitaler Signalverarbeitung werden diese Baugruppen durch Programme (Rechenprozesse) in einem schnellen Rechner realisiert.

Signalverteilung

In umfangreichen Beschallungssystemen reicht die Grundform aller Beschallungseinrichtungen (1 Mikrofon, 1 Verstärker, 1 Lautsprecher) nicht aus; das Eingangssignal muss auf mehrere Lautsprecher aufgeteilt werden. Dazu wird das Tonsignal auf etwa 1 V vorverstärkt und dann auf mehrere Leistungsverstärker verteilt, nochmals verstärkt und wiederum auf mehrere Lautsprecher je Verstärker verteilt. Entsprechend spricht man von NF- oder 100-V - Verteilung. Soll die Verteilung flexibel geschehen, werden an diesen Stellen entsprechende Schaltelemente und Stellglieder eingesetzt. Sind mehrere Quellen auf unterschiedliche Ausgänge zu verteilen, bieten sich Matrixstrukturen an.
Auf digitaler Ebene erfolgt die Verteilung meist durch die Adressierung von Datenpaketen.

Sonderlautsprecher

Für Sonderanwendungen gibt es Lautsprecher in unterschiedlichsten Ausführungen. Man kann z.B. nach folgenden Kriterien unterscheiden:

- Optik: Kugellautsprecher, Soundprojektoren, Zylinderlautsprecher
- Mechanik: Außenlautsprecher, Unterwasserlautsprecher, explosionsgeschützte Lautsprecher
- bes. Anwendung.: Hotellautsprecher mit Wahlschalter, Monitorlautsprecher

SPDIF

standardisierte(s) Schnittstelle (Verfahren) zur digitalen Übertragung von Audiosignalen, vorwiegend für den Heimbereich, geringe Leitungslänge (ca. 5 m), als elektrische Schnittstelle oder optische Schnittstelle bekannt.

Stagebox

Anschlusskasten auf der Bühne (fest eingebaut oder flexibel), die in einem gemeinsamen Kabel geführten Verbindungsleitungen zwischen Aktionsbereich und Bedienplatz werden auf einzelnen Steckern zur Verfügung gestellt. Deutsche Entsprechung: Versatzkasten.

Stammleitung

Auch Steigeleitung: eine oder mehrere Lautsprecherleitungen, die von der Verstärkerzentrale bis zum Anfang des jeweiligen Beschallungsbereiches führen. Für Stammleitungen in sicherheitsrelevanten Anlagen gelten besondere Verlegevorschriften.

Stichleitung

Leitung innerhalb eines Lautsprecherkreises, die den ersten (oder einen nächsten) Lautsprecher eines Kreises mit weiteren Lautsprechern verbindet.

Terz

- musikalisches Intervall, der höhere Ton befindet sich zwei Tonschritte oberhalb des niedrigeren.
- elektroakustisch: Frequenzbereich, dessen relative Bandbreite genau 3 Mal in einer Oktave aufgeht. Die Terz wird gekennzeichnet durch ihre Mittenfrequenz (geometrisches Mittel aus unterer und oberer Grenzfrequenz). 3 Terzen bilden eine Oktave. Es gibt eine standardisierte Reihe von Mittenfrequenzen für Terzen (16; 20; 25; 32; 40; 50; 63; 80; 100; 125; 160; 200; 250; 320; 400; 500; 630; 800; 1.000; 1.250; 1.600; 2.000; 2.500; 3.200; 4.000; 5.000, 6.300; 8.000; 10.000; 12.500; 16.000; 20.000 Hz).

Trichterlautsprecher

Bezeichnung für eine Bauform von Lautsprechern mit sich trichterförmig erweiternder Schallführung vor der Membran. Korrekte Bezeichnung: Hornlautsprecher (engl.: hornloaded speaker). Einfache Möglichkeit der Wirkungsgraderhöhung. Der Begriff “Trichterlautsprecher” wird im deutschen Sprachbereich meist einschränkend verwendet für Lautsprecher mit hohen Wirkungsgraden und eingeschränkten akustischen Eigenschaften für raue Betriebsbedingungen.

Umweltschutz

Schallereignisse jeglicher Art stellen für Unbeteiligte fast immer Lärm und damit eine Umweltbelastung dar. Das gilt prinzipiell auch für die Nutzung von Beschallungssystemen. Zu einer guten Planung einer Beschallungsanlage gehört demzufolge auch eine Betrachtung zur Umweltverträglichkeit.

Übersprechen

Informationen von einem System gelangen unerwünschterweise auch in ein zweites System. Das kann passieren durch gemeinsame Kabelwege, gemeinsam benutzte Ausbreitungsmedien oder durch die natürliche Schallausbreitung durch Wände und Decken eines Gebäudes. Dabei müssen die sich beeinflussenden Systeme auch nicht unbedingt von gleicher Art sein, z.B. kommt das Übersprechen von Datenleitungen in Audioleitungen doch recht häufig vor (man hört dann "Modemgeräusche" im Audiokanal). Je nach Anforderungen setzt die Beherrschung dieser Problematik eine sorgfältige Planung und Ausführung von Kabelanlagen und der akustischen Komponenten voraus.

Verstärkerleistung

Zahlenwert, Maßeinheit W(att), der die mögliche Ausgangsleistung eines Verstärkers unter standardisierten oder vom Hersteller festgelegten Bedingungen angibt. Wesentliche Bedingungen: maximaler Klirrfaktor (z.B. 0,1 oder 1 %), Frequenzbereich und die Mindestzeit, für die diese Ausgangsleistung sich nicht ändern darf.
Mit dieser Leistung ist die Last, an der gemessen wurde, anzugeben (typischerweise 8 Ohm oder 4 Ohm). Zu der Leistungsangabe gehören entweder der Standard, nach dem spezifiziert bzw. gemessen wurde oder die Messbedingungen selbst. Die Verwendung von einigen Begriffen in Zusammenhang mit der Verstärkerausgangsleistung ist durch Standards beschrieben z.B. Nennausgangsleistung, Maximalleistung. Die Verwendung dieser Begriffe setzt die Ermittlung dieser Größen nach diesen Standards voraus.
Die Verstärkerausgangsleistung sollte keinesfalls mit der Leistungsaufnahme des Verstärkers verwechselt werden. Diese wird meist (normengerecht) für die Teilaussteuerung eines Verstärkers angegeben. Daher kann es durchaus vorkommen, dass ein Verstärker mit einer höheren (maximalen) Ausgangsleistung als der aufgenommen Leistung (im Teilleistungsbereich) spezifiziert wird.

Vorgong

siehe Aufmerksamkeitssignal.

Vorrang

siehe Priorität.

Wand- und Deckenlautsprecher

Bezeichnung für Lautsprecher nach dem Einbauort, für den sie vorgesehen sind. Diese Lautsprecher sind mit entsprechend konstruierten Gehäusen versehen.

Wirkungsgrad

Physikalische Größe zur Bezeichnung des Verhältnisses von abgegebener Nutzenergie zur zugeführten Energie. Beim Lautsprecher also das Verhältnis der gesamten abgestrahlten Schallenergie zur zugeführten elektrischen Energie. Der Wirkungsgrad ist bei Lautsprechern sehr gering und erreicht häufig nicht den Wert 0,1.

Der Begriff Wirkungsgrad wird häufig fälschlicherweise für andere Größen wie Kennpegel oder Übertragungsfaktor (Empfindlichkeit) verwendet. Der Unterschied liegt im Wesentlichen darin, dass der Wirkungsgrad die Schallenergie in alle Richtungen erfasst, die anderen Größen jedoch nur in der Hauptachse.

DYNACORD | Electro-Voice

HEADQUARTERS EUROPE, MIDDLE -EAST & AFRICA
Bosch Sicherheitssysteme GmbH
Robert-Bosch-Ring 5
85630 Grasbrunn, Germany

CONTACT & VISITOR ADDRESS
EVI Audio GmbH
Sachsenring 60
94315 Straubing, Germany
Tel: +49 9421 706 0
Fax: +49 9421 706 265

© Bosch Security Systems, Inc.
Subject to change without prior notice!
www.dynacord.com
www.electrovoice.com

VISIT US ON:

www.facebook.com/dynacord
www.facebook.com/electrovoice
www.twitter.com/dynacord_com
www.twitter.com/electro_voice
www.youtube.com/dynacordtv
www.youtube.com/electrovoicedotcom