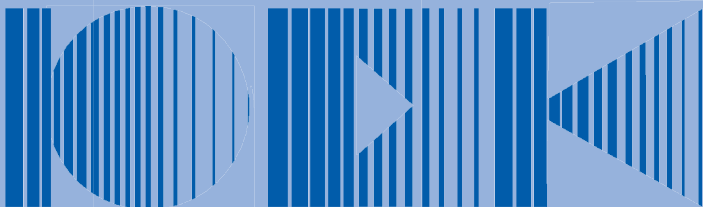
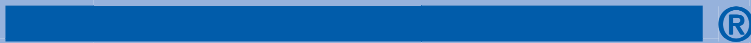


ELA-Info



Leistungsgemeinschaft Beschallungstechnik im ZVEI

In der Leistungsgemeinschaft Beschallungstechnik haben sich Hersteller von Systemen und Komponenten für Beschallungsanlagen im Fachverband Sicherheit des ZVEI zusammengeschlossen. Diese Firmen entwickeln und produzieren Geräte, die Anforderungen an Beschallungsanlagen lösen und sie begleiten Projekte technisch von der Projektierung bis zur Übergabe an den Bauherrn/Betreiber. Die Firmen der Leistungsgemeinschaft Beschallungstechnik haben sich zur Einhaltung eines hohen Qualitätsstandards verpflichtet. Die Mitgliedsfirmen erkennen Sie an diesem Logo:



***An der Entwicklung
dieser Broschüre wirkten mit:***

Richard Merget/Claus-Peter Sterling
Bosch Communications Systems
EVI Audio GmbH
94315 Straubing

Uwe Spatzier
Bosch Sicherheitssysteme GmbH
85630 Grasbrunn

Jeanette Sachs/Heinz Broeker
d&b audiotechnik GmbH
71522 Backnang

Peter Bock/Michael Vössing
Honeywell Life Safety Austria GmbH
1230 Wien

Eugen Ludewig
Siemens AG, Industry Sector
Building Technologies Division
76187 Karlsruhe

Wolfgang Pein
TOA ELECTRONICS EUROPE GmbH
20537 Hamburg

Olinto Canonica
UNITON GmbH Professional Sound Systems
78234 Engen

IMPRESSUM:

Trotz größtmöglicher Sorgfalt keine Haftung für den Inhalt. Veränderungen im Zuge des technischen Fortschritts sowie Irrtümer bleiben ausdrücklich vorbehalten. Alle Rechte, insbesondere das Recht der Vervielfältigung und Verbreitung sowie der Übersetzung, sind der Leistungsgemeinschaft Beschallungstechnik vorbehalten. Kein Teil der ELA-Info darf in irgendeiner Form (Druck, Fotokopie, Mikrofilm oder ein anderes Verfahren) ohne schriftliche Genehmigung der Leistungsgemeinschaft Beschallungstechnik reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme gespeichert, verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden.

Inhalt

1. Grundlagen, Planung und Projektierung von Beschallungsanlagen	6
1.1 Ermittlung der erforderlichen Lautsprecher am Beispiel einer Deckenbeschallung	6
1.2 Bestimmung von Kennschallpegel und notwendiger Leistung bezogen auf den Störpegel	6
1.2.1 Schallpegel verschiedener Störschallquellen	7
1.2.2 Umrechnung von Leistung und Entfernung auf Schalldruck (dB)	7
1.2.3 Empfindlichkeit unterschiedlicher Schallstrahler	8
1.2.4 Ermittlung des Lautsprecherbedarfs bei Deckenbeschallung	8
1.2.5 Versorgungsfläche eines Deckenlautsprechers bei optimaler Sprachverständlichkeit	9
1.2.6 Versorgungsfläche eines Deckenlautsprechers bei normaler Sprachverständlichkeit	9
1.3 Berechnung der erforderlichen Endstufenleistung	9
1.3.1 Merkmale für Endstufen	9
1.3.2 Sicherheitsbedürfnisse	10
1.4 Grundlagen	11
1.4.1 Gehör des Menschen	11
1.4.2 Hörbereich	11
1.4.3 Sprachverständlichkeit	12
1.4.4 Berechnung der Sprachverständlichkeit	13
1.4.5 Schallausbreitung in der Luft	13
1.4.6 Frequenzbereiche für die Übertragung	14
1.4.7 Beschallungssysteme	15
1.4.7.1 Frontal-Beschallungssystem	16
1.4.7.2 Deckenbeschallungssystem	16
1.4.7.3 Dezentrale Beschallung ohne Frontalbezug	18
2. Verstärker in Beschallungsanlagen	19
2.1 Spannungsverstärker	19
2.2 Leistungsverstärker	19
2.3 Mechanische Konzeption	20
2.4 Verstärkerklassen	20
2.5 Zusätzliche Anmerkungen	20
2.6 Kenndaten von Leistungsverstärkern	21
2.7 Eingangsempfindlichkeit	21
2.8 Nenn-Ausgangsleistung	22
2.9 Maximale Ausgangsleistung	22
2.10 Temperaturbegrenzte Ausgangsleistung	22
2.11 Übertragungsbereich	22
2.12 Leistungsbandbreite	22
2.13 Ausgangsimpedanz, Nennabschlussimpedanz	22
2.14 Klirrfaktor	22
2.15 Intermodulation	23
2.16 Störspannungen	23
2.17 Wärmeentwicklung	23
2.18 Leitungsnetz	23
2.19 Hinweise zur Verstärkerbemessung in Anlagen	23

3. Akustische Gefahrensignale	25
3.1 Öffentliche Schallzeichen	25
3.2 Gefahrensignal für Arbeitsstätten	26
3.3 Gefahrensignale für Kernkraftwerke	26
3.3.1 Fluchalarm	27
3.3.2 Feualarm	27
3.3.3 Räumungsalarm	28
3.3.4 Entwarnung	28
3.4 Gefahrensignale für Schiffe	28
3.4.1 Generalalarm	29
3.4.2 Feualarm	29
3.5 Sonstige Gefahrensignale	30
3.5.1 Slow-Whoop-Alarm	30
3.5.2 2-Ton-Alarm	30
4. Akustische Ein-/Nachweismessungen an Beschallungsanlagen	31
4.1 Anforderungen an die Beschallungsanlage	31
4.2 Kernforderungen nach DIN/EN	31
4.3 Vorbedingungen zu Beginn der elektroakustischen Messung	31
4.4 Wichtige Einflussgrößen	31
4.4.1 Umgebungsgeräuschpegel	31
4.4.2 Nachhallzeit (RT 60)	32
4.5 Kurzbeschreibung grundsätzlicher Sprachverständlichkeits-Messverfahren	32
4.6 Kurzbeschreibung Sprachverständlichkeits-Messgeräte	32
4.7 Messgrößen	33
4.7.1 Maximaler Schalldruckpegel	33
4.7.2 Sprachverständlichkeit	33
4.7.2.1 Subjektive Verfahren	33
4.7.2.2 Objektive Verfahren	33
4.7.3 Einflussgrößen für den STI und deren Korrelation mit dem Hörempfinden	33
4.7.4 STIPA –Sprachübertragungsindex für PA-Systeme	34
4.8 Korrelation zwischen den Ergebnissen der verschiedenen Verfahren	34
4.9 Sprachverständlichkeit, wichtige Kenngrößen	34
4.10 Zusammenhang mit subjektiven Testmethoden	35
4.11 Messanforderungen	35
4.12 Messbericht	35
4.13 Checkliste	36
5. Erdung und Schirmung	37
5.1 Störarten und deren Erzeuger	37
5.2 Abschirmung von Störfeldern	37
5.3 Auswirkungen von Störungen auf Beschallungsanlagen	39
5.4 Aufbau von Beschallungsanlagen	39
6. Energieversorgung von elektroakustischen Alarmierungseinrichtungen	40
6.1 Sprachalarmanlagen (SAA)	40
6.1.1 Berechnung des Energiebedarfs	41
6.1.2 Batterien	41
6.1.3 Ladegerät	41



6.1.4	Störungen	42
6.2	Elektroakustische Notfallwarnsysteme (ENS)	42
6.2.1	Hauptstromversorgung	42
6.2.2	Ersatzstromversorgung	42
7.	Literaturverzeichnis	44
8.	Gebräuchliche Begriffe, Definitionen	46
8.1	Raumakustik	46
8.2	Schall	46
8.3	Sprachverständlichkeit	46
8.4	Wandler	46
8.5	Definitionen	47
8.5.1	Äquivalente Schallabsorptionsfläche A (m^2)	47
8.5.2	Bündelungsgrad γ (-)	47
8.5.3	Q-Faktor Q (-)	47
8.5.4	Bündelungsmaß d (dB)	47
8.5.5	Hallradius r_H (m)	48
8.5.6	Klirrfaktor K (-)	48
8.5.7	Lautheit N (-)	48
8.5.8	Nachhallzeit T_N (s)	48
8.5.9	Schalldämmmaß R (dB)	49
8.5.10	Schallenergiegrößen	49
8.5.11	Schalldruck p (Pa)	49
8.5.12	Schallabsorptionsgrad a (-)	50
8.5.13	Deutlichkeitsmaß C_{50} (dB)	50
8.5.14	Klarheitsmaß C_{80} (dB)	50
8.5.15	Artikulationsverlust $ALcons$ (%)	51
8.5.16	Direktschall	51
8.5.17	Diffusschall	51
8.5.18	Lautstärke	52
8.5.19	Reflektogramm	52
8.5.20	Richtcharakteristik	52
8.5.21	Raumschall	52
8.5.22	Rückkopplung	52
8.5.23	Logatom (selten angewandt)	53
8.5.24	Sprachverständlichkeit	53
8.5.25	Gesetz der 1. Wellenfront	53
8.5.26	Haas-Effekt	54

1. Grundlagen, Planung und Projektierung von Beschallungsanlagen

- 1.1 Ermittlung der erforderlichen Lautsprecher am Beispiel einer Deckenbeschallung
- 1.2 Bestimmung von Kennschallpegel und notwendiger Leistung bezogen auf den Störpegel
- 1.3 Berechnung der erforderlichen Endstufenleistung
- 1.4 Grundlagen

1.1 Ermittlung der erforderlichen Lautsprecher am Beispiel einer Deckenbeschallung

Einleitung

Wird eine elektroakustische Anlage als Teil einer Gefahrenmeldeanlage verwendet, so unterliegen die Komponenten Normen und Vorschriften.

Eine häufige Forderung ist die Beschallung von geschosshohen Räumen (2,5 bis 6,0 m). Derartige Räume sind typisch für Foyers in Flughäfen, Bahnhöfen, Kongress- und Kulturzentren, Hotels und Theatern. Für z.B. Gaststätten, Einkaufszentren, Verkaufsetagen, Großraumbüros, Museen, Galerien, Messehallen, Werkstätten und Lagerräume trifft dies ebenfalls zu.

Bei aller Vielfalt heutiger Beschallungssysteme haben folgende Forderungen allgemeine Gültigkeit:

- Schallpegel
- Schallpegelverteilung
- Deutlichkeit
- Natürlichkeit
- Mitkopplungssicherheit (Rückkopplungssicherheit)

Für die Planung und Berechnung einer solchen Anlage sind folgende Parameter zu ermitteln:

- wirksamer Störschallpegel beim Hörer
- Erwartungswert des Schallpegels
- erforderlicher Signalstörabstand
- notwendige Leistung zur Erzielung des am Hörerplatz erforderlichen Schallpegels

1.2 Bestimmung von Kennschallpegel und notwendiger Leistung bezogen auf den Störpegel

Es ist bekannt, dass für eine gute Sprachverständlichkeit der Nutzschallpegel mindestens 10 dB über dem Störschallpegel liegen muss. Der am Hörerplatz zu erwartende Störschallpegel kann durch Messung ermittelt oder aus entsprechenden Tabellen entnommen werden. In Tabelle 1.2.1 finden Sie die Lautstärken einiger Störschallquellen als Beispielangabe.



1.2.1 Schallpegel verschiedener Störschallquellen

Schallquelle	dB
leises Unterhalten	30 ...50
Zerreißen von Papier	40 ...60
Unterhaltungssprache	50 ...65
Bürogeräusche	40 ...70
Kraftwagen	40 ...75
Studiosprecher	60 ...75
Staubsauger	45 ...75
kleines Orchester	20 ...80
Rundfunkmusik im Restaurant	40 ...80
Straßenlärm	40 ...85
großes Orchester	20 ...95 (...105)
Fabriklärm	50 ...95
U-Bahn	85 ...110
Druckerei	85 ...105
Flugzeug in 3 m Abstand	110 ...130

Um den erforderlichen Kennschalldruck des Lautsprechers bestimmen zu können, muss der Abstand des Lautsprechers zum Hörer und der vorhandene Störschallpegel ermittelt werden.

Beispiel: Störschallpegel = 76 dB, Schalldruckabnahme bei einem Abstand Lautsprecher zum Hörer von 4 m = 12 dB

$$76 \text{ dB} + 12 \text{ dB} + 10 \text{ dB} = 98 \text{ dB}$$

Es kann somit ein Lautsprecher mit einem Kennschalldruckpegel von 90 dB (1 W/l m), der mit einer Leistung von 6 W betrieben wird, eingesetzt werden.

1.2.2 Umrechnung von Leistung und Entfernung auf Schalldruck (dB)

Schalldruckpegelzunahme bezogen auf 1 W, gerundet:

W	1	2	4	6	8	10	16	25
dB	0	3	6	8	9	10	12	14

Schalldruckpegelabnahme, bezogen auf 1 m, gerundet:

W	2	3	4	6	8	10	16	
dB	0	6	10	12	16	18	20	24

Setzt man einen Lautsprecher mit einem höheren Kennschalldruckpegel von z.B. 95 dB ein, so ist, um den benötigten Schalldruckpegel von 98 dB zu erreichen, nur eine Leistung von 2 W erforderlich.

1.2.3 Empfindlichkeit unterschiedlicher Schallstrahler

Tabelle 1.2.3

Lautsprechertyp	Nennschallpegel 1W / 1 m in dB
Kleinst-Kompaktbox	84
Kompaktgehäuselautsprecher mit Volumen >61	86
Schallwandlautsprecher	90
Lautsprecher im Bassreflexgehäuse	
– in Kompaktausführung	86
– mit Großlautsprecherbestückung ab 10"	94...103
Sprachschallzeile Musikschallzeile	88...101
Hornstrahler	
– im Baßbereich	94...105
– im Mittelhochtonbereich	100...115

Erkenntnis:

Lautsprecher mit hohem Wirkungsgrad führen zu einer erheblichen Verminderung der erforderlichen Verstärkerleistung.

Ist ein höherer Störpegel als 76 dB zu erwarten oder sind die Distanzen des Lautsprechers zum Hörer größer, so sind andere Lautsprechertypen zu verwenden. Siehe hierzu auch Tabelle 1.2.3, Empfindlichkeit unterschiedlicher Schallstrahler.

Sind an Fluren angrenzende Räume mit zu beschallen, so ist unbedingt der Dämmwert der Tür von mindestens 29-40 dB einzukalkulieren.

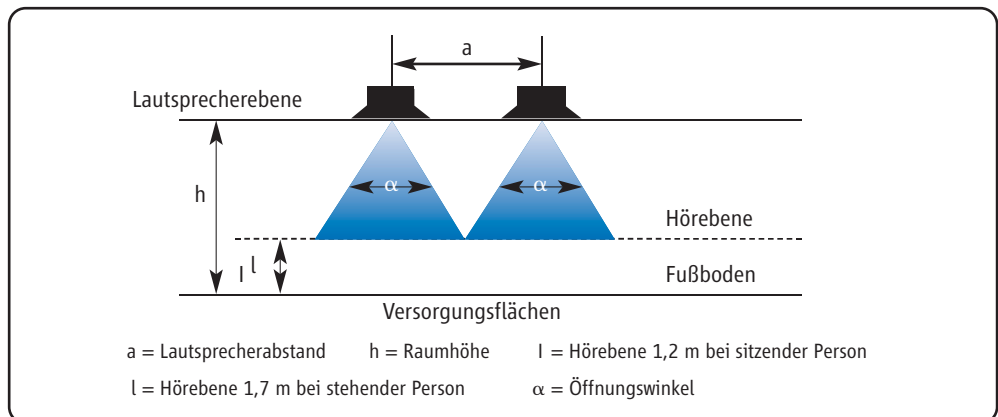
Anmerkung: Bei Störpegeln über 100 dB ist dieses Berechnungsverfahren nicht mehr anwendbar.

1.2.4 Ermittlung des Lautsprecherbedarfs bei Deckenbeschallung

Will man eine gleichmäßige Schallverteilung in einem größeren Raum bekommen, so sind mehrere Lautsprecher in entsprechenden Abständen anzuordnen.

Bedingt durch den zunehmenden Bündelungseffekt bei hohen Frequenzen wird die Versorgungsfläche umso kleiner, je höher die Frequenz ist. Je höher die Anforderungen an die Übertragungsqualität und Sprachverständlichkeit gestellt werden, umso kleiner muss der Abstand der Lautsprecher gewählt werden.

Tabelle 1.2.4



Mit nachfolgenden Tabellen 1.2.5 und 1.2.6 lässt sich der erforderliche Lautsprecherbedarf ermitteln.

Der für optimale Sprachverständlichkeit erforderliche Frequenzbereich wird mit einem Öffnungswinkel von etwa 60° erreicht, z. B. für Vortragsräume Tabelle 1.2.5.



1.2.5 Versorgungsfläche eines Deckenlautsprechers bei optimaler Sprachverständlichkeit Öffnungswinkel = 60°

Tabelle 1.2.5

Deckenhöhe h	in m	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6
Lautsprecherabstand	in m	1,8	2,2	3	3,6	4,2	4,8	5,4
Versorgungsfläche	in m ²	3	5	9	13	18	23	29

Der für normale Sprachverständlichkeit benötigte Frequenzbereich wird mit einem Öffnungswinkel von 90° erreicht, z.B. für Kaufhäuser; Supermärkte etc., s. Tabelle 1.2.6

1.2.6 Versorgungsfläche eines Deckenlautsprechers bei normaler Sprachverständlichkeit Öffnungswinkel = 90°

Tabelle 1.2.6

Deckenhöhe h	in m	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6
Lautsprecherabstand	in m	3	4	5	6	7	8	9
Versorgungsfläche	in m ²	9	16	25	36	49	64	81

Da alle Lautsprecher bei einer Deckenbeschallung nach unten strahlen, sind Reflexionen zwischen der Raumdecke und dem Fußboden zu vermeiden. Dazu muss entweder die Decke oder der Fußboden schallabsorbierend oder schallzerstreuend sein.

Die Anbringungshöhe der Lautsprecher darf bei solchen Informationsanlagen 6 m nicht überschreiten, wobei die größeren Höhen nur in besonders stark gedämpften Räumen zweckmäßig sind. Hat man so die erforderliche Lautsprecheranzahl ermittelt, kann man die elektrische Leistung der erforderlichen Endstufen berechnen (s. Punkt 1.3).

Alle Angaben in dieser "Ela-Info" beziehen sich auf rein physikalische Grundlagen. In der Praxis können durch die Beeinflussung von raumakustischen Gegebenheiten die Werte nach oben oder unten abweichen.

1.3 Berechnung der erforderlichen Endstufenleistung

Einleitung

In der vorliegenden ELA-Info möchten wir den Leser unter anderem darüber informieren, welche Vorschriften bei der Berechnung der erforderlichen Endstufenleistung bzw. Konfiguration der Endstufen eingehalten werden müssen.

In einer sicherheitstechnischen Anlage werden bezüglich der Betriebssicherheit an die Endstufen ganz besondere Anforderungen gestellt. Man sollte bedenken, dass bei einem Endstufenausfall größere Personengruppen über einen eventuell vorhandenen Notfall nicht informiert werden können und dann nicht mehr in der Lage sind, das Gebäude rechtzeitig und unbeschadet zu verlassen.

1.3.1 Merkmale für Endstufen

Entsprechend gesetzlichen Vorschriften, sollten die Endstufen folgende Merkmale besitzen:

100 V Ausgangsüberträger symmetrisch erdfrei, Notstrombetrieb, Pilottonüberwachung, Leistungsangabe der Hersteller nach IEC 268.3, insbesondere Absatz 19.4.

Bei einem Verstärker wird nach IEC 268.3/19.4 eine Ausgangsleistung von 130,3 Watt bei einer Dauerbelastung von 4 Stunden und 230 V Netzspannung gemessen. Misst man den gleichen Verstärker nach IEC 268.3/19.3, so kann der Verstärker eine Ausgangsleistung von 180,1 W und nach 19.2 sogar eine Ausgangsleistung von 246,9 W abgeben.

Lässt man nach DIN 45566 einen Klirrfaktor von 2 % zu, so kann der gleiche Verstärker mit 153,6 W bzw. nach DIN 45500, Blatt 8, mit 180,0 W angegeben werden.

Es wird daher empfohlen, darauf zu achten, dass die Leistungsangaben der Endstufen der IEC 268.3, Absatz 19.4 entsprechen.

1.3.2 Sicherheitsbedürfnisse

Ein weiteres Kriterium stellt die Verteilung des Gesamtleistungsbedarfs auf viele kleine Verstärker oder eine große Endstufe in Abhängigkeit der Sicherheitsbedürfnisse dar. Zur Erläuterung soll hier ein Beispiel dienen:

In einem Gebäude werden 150 Lautsprecher mit je 3 Watt benötigt. Dies würde eine erforderliche Endstufenleistung von 450 Watt ergeben. Kalkuliert man noch 10 % Sicherheit für spätere Erweiterungen ein, so wird eine 500 Watt Endstufe hier durchaus ihre Dienste tun. Geht man jetzt von einem Fehlerfall aus, d.h. ein Schluss auf einer Leitung wird angenommen, so wäre die Anlage in dem gesamten Gebäude gestört bzw. überlastet. Verteilt man nun den erforderlichen Leistungsbedarf auf mehrere, kleinere Endstufen, so erkennt man, dass bei einem Störfall nur ein kleinerer Bereich nicht mehr korrekt versorgt werden kann.

In größeren Gebäuden, wie z.B. Kaufhäusern, empfiehlt sich ein Ruf- und Alarmierungssystem mit Selbstüberwachung. In einer solchen Anlage werden die Sprechstellen, Feuerwehrrnotsprechstellen, Steuereingänge und ihre Zuleitungen, die Funktionsmodule, die Leistungsverstärker inklusive der Havarieumschaltung, die Lautsprecherlinien, bis hin zu einzelnen Lautsprechern überwacht. Sämtliche Meldungen und Fehler werden gespeichert, auf einem Drucker mit Uhrzeit und Datum ausgedruckt und auf einem Display in der Sprechstelle angezeigt.

Wird eine automatische Havarieumschaltung für Endstufen eingesetzt, so ist grundsätzlich auch eine Leitungsüberwachung vorzusehen. Bei einem Leitungsschluss kann somit über eine entsprechende Verriegelung ein unnötiges Umschalten auf die Havarieendstufe vermieden werden.

Außer den akustischen Gefahrensignalen, die bereits in der Ela-Info 2/92 behandelt wurden, setzen sich in den sicherheitstechnischen Anlagen immer mehr digitale Sprachspeicher durch, die im Klartext die sich im Gebäude befindlichen Personen über momentane Gefahrensituationen informieren. Diese Texte sollten so abgefasst sein, dass eine Panik vermieden wird. Als Beispiel und Anregung sei hier nachfolgender Text aufgeführt. Auch ist die gezielte Alarmierung des sicherheitstechnischen Personals über ein Codewort denkbar.

Textbeispiel:

„Achtung, Achtung!

Aufgrund eines technischen Defektes schließen wir das Geschäft in wenigen Minuten.

Wir bitten unsere Kundschaft, das Geschäft unverzüglich zu verlassen.

Benutzen Sie die Notausgänge.

Halten Sie sich an die Anweisungen des zuständigen Personals.

Benutzen Sie nicht die Lifte.“

Bei der Planung einer Beschallungsanlage für Ruf und Alarmierung haben die einzelnen Funktionsbausteine eine große Bedeutung. Hier bestimmt das schwächste Glied den Qualitätsstandard der gesamten Kette. Deshalb ist es wichtig, dass alle relevanten Normen eingehalten werden, damit am Ende die Anlagen ihre Anforderungen, Leben zu schützen, erfüllen.

Alle Angaben in dieser „Ela-Info“ beziehen sich auf rein physikalische Grundlagen. In der Praxis können durch die Beeinflussung von raumakustischen Gegebenheiten die Werte abweichen.



1.4 Grundlagen

1.4.1 Gehör des Menschen

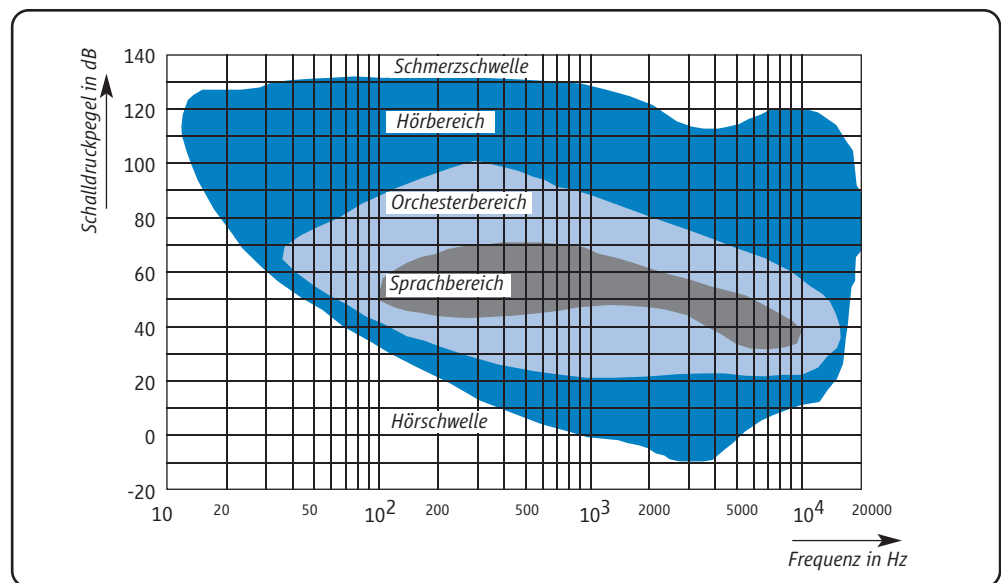
Schallwellen, die auf das menschliche Ohr treffen, werden gewandelt und als Hörinformation an das Gehirn weitergeleitet. Frequenz und Lautstärke des Schallereignisses sind hierfür die wichtigsten Kriterien.

1.4.2 Hörbereich

Es wird unterschieden zwischen dem Hörbereich für Frequenzen und für Lautstärken.

Das menschliche Gehör umfasst ein Frequenzspektrum von etwa 16 Hz bis etwa 20 kHz (bei kleinen Kindern). Das Hörempfinden ändert sich im Alter einerseits durch die Einflüsse der Hörgewohnheiten und andererseits durch den Alterungsprozess, so dass Erwachsene mittleren Alters durchschnittlich bis etwa 15 kHz, ältere Menschen oft nur bis 10 kHz hören können.

Bild 1.4.2
Frequenz- und Dynamikbereich des menschlichen Ohres sowie die Anteile für Sprache und Musik



Die Maßeinheit für die Lautstärke ist das Phon; für den Schalldruckpegel das Dezibel (dB – nach dem Physiker Graham Bell). Bells Untersuchungen haben ergeben, dass der Mensch zwischen Hörschwelle und Schmerzgrenze einen Schall-Intensitätsunterschied von $1 : 10^{12}$ (1 : 1 Billion) wahrnehmen kann. Da die Gehörempfindung aber logarithmisch verläuft, verwendet man in der Praxis überschaubare Werte, nämlich 0 bis 120 dB.

Tabelle 1.4.2
Verhältnis zwischen Schall-Intensität, Schalldruck und Schalldruckpegel

Kriterien	Schall-Intensität I in W/m^2	Schalldruck L in Pa	Schalldruckpegel L_p in dB
Hörschwelle (bei 1 kHz)	10^{-12}	2×10^{-5}	0
Normale Sprachlautstärke	$2,5 \times 10^{-5}$	0,1	74
Schmerzgrenze (bei 1 kHz)	1	20	120

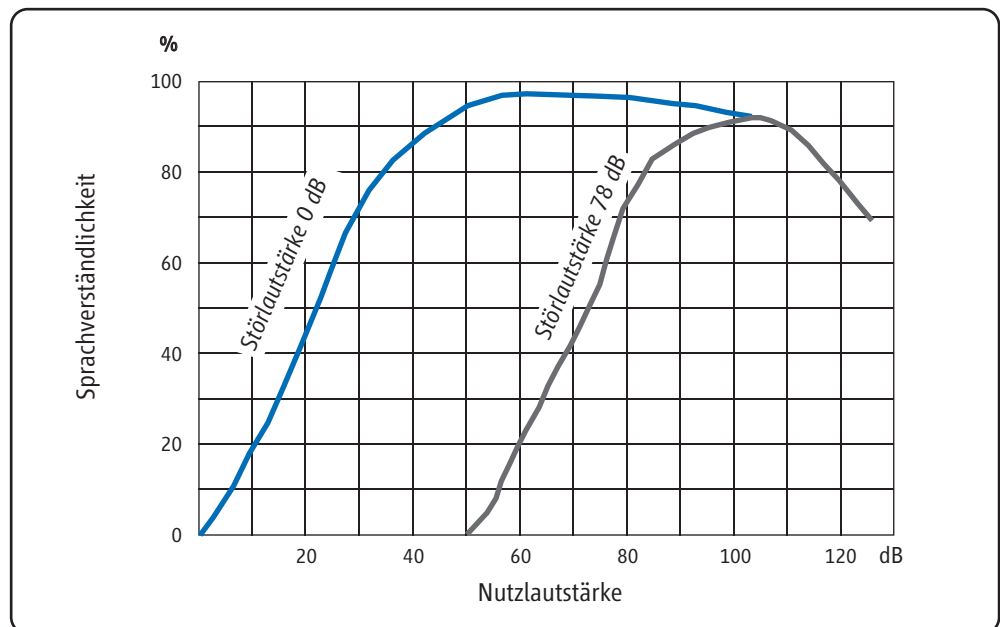
Durch die annähernd logarithmische Lautstärkeempfindung des menschlichen Gehörs (bzw. dessen hörphysiologischen und hörpsychologischen Eigenschaften) ergeben sich für die Beschallungstechnik folgende wichtigen Verhältnisse:

- Eine Verdoppelung der Schallleistung wird bei Sprache und Musik als ein gerade noch wahrnehmbarer Lautstärkeunterschied empfunden.
- Eine Verzehnfachung der Schallleistung wird jedoch nur als eine Verdoppelung des Lautstärkeindrucks empfunden.

1.4.3 Sprachverständlichkeit

Um die Verständlichkeit von Sprache zu bewerten, bedient man sich überwiegend subjektiver Bewertungskriterien. Die Sprachverständlichkeit ist sowohl von der Lautstärke als von der Intensität von Störgeräuschen abhängig.

Bild 1.4.3
Sprachverständlichkeit in Abhängigkeit von der Nutz- und Störlautstärke (nach Fletcher)



Erläuterung:

Linke Kurve:

Um etwa 80 % Sprachverständlichkeit zu erreichen, ist bei absoluter Stille = kein Störgeräusch, ein Nutzpegel von 35 dB erforderlich. 80 % Sprachverständlichkeit ist bereits ein relativ guter Wert für sinnvolle Wort- und Satzgebilde.

Rechte Kurve:

Beträgt der Störpegel z.B. 78 dB, so ist für die gleiche Sprachverständlichkeit von 80 % bereits ein Nutzpegel von mindestens 85 dB erforderlich, also um mindestens 7 dB höher als der Störpegel. In den Normen (und in der Praxis) geht man allgemein von einem Abstand zwischen Nutz- und Störpegel von mindestens 10 dB aus.

Grundregel: Für eine ausreichende Sprachverständlichkeit sollte der Nutzpegel mindestens 10 dB über dem Störpegel liegen. Während der Projektierung ist zu empfehlen, bei einem erwarteten Störgeräuschabstand von weniger als 15 dB Berechnungen der Sprachverständlichkeit im Vorfeld bei der Planung vorzunehmen.



Tabelle 1.4.3:
Geräuschquellen und ihre
typischen Störpegelwerte

Störquelle	Geräuschpegel dB
Leises Rauschen von Baumwipfeln	20
Flüstern in 1 m Abstand	30
Leise Rundfunkmusik	40
Publikumsgeräusch in der Pause	50
Normale Stimmen in 1 m Abstand	60
Lautes Restaurant	70
Straßenlärm, Fabrikhalle	80
Großes Orchester, fortissimo	90
Über Brücke fahrender Eisenbahnzug	100
Propellerflugzeug in 10 m Abstand	110
Kesselschmiede	120
Düsenjäger in 15 m Abstand	130

Störschall entsteht jedoch nicht nur durch direkt abstrahlende Schallquellen sondern auch durch Reflexionen an schallharten Raumbegrenzungsflächen (Decke, Boden, Wände). Durch diesen Effekt wird Störschall nicht nur vom (Fremd)-Störsignal sondern auch vom (zeitverzögerten) Nutzsignal selbst hervorgerufen. Wichtig sind in diesem Zusammenhang auch die Eigenschaften eines Raumes, Schallwellen an seinen Oberflächen mehr oder weniger gut zu reflektieren. Diese Eigenschaften bestimmen maßgeblich die Nachhallzeit. Die Nachhallzeit ist abhängig von der Raumgröße und den Eigenschaften der im Raum angeordneten Oberflächen. Der Nachhall besteht in der Regel aus einer Vielzahl von Reflexionen. In Räumen mit langen Nachhallzeiten (Halligkeit) ist die Realisierung der erforderlichen Sprachverständlichkeit oft sehr schwierig oder gar unmöglich. Bei kritischen raumakustischen Verhältnissen ist es ratsam, einen Akustiker zu involvieren.

1.4.4 Berechnung der Sprachverständlichkeit

Maßgebend für die Sprachverständlichkeit ist die Deutlichkeit der Konsonanten, diese haben auf das Verstehen von Worten und Sätzen einen wesentlichen Einfluss.

Von V.M.A. Peutz wurde 1971 ein Rechenverfahren entwickelt, das es erlaubte, aufgrund der raumakustischen Bedingungen den Verlust an Konsonanten und somit den Grad der Verständlichkeit im Voraus zu ermitteln. Das Verfahren wurde als ALC = Articulation Lost of Consonants bezeichnet. Es wird heute nur noch sehr selten angewandt.

Von den Akustikern Houtgast und Steenekens wurde 1985 ein Messverfahren entwickelt, das den Sprachübertragungsindex aus der Raumimpulsantwort bestimmt. Das Verfahren liefert den STI = Speech Transmission Index.

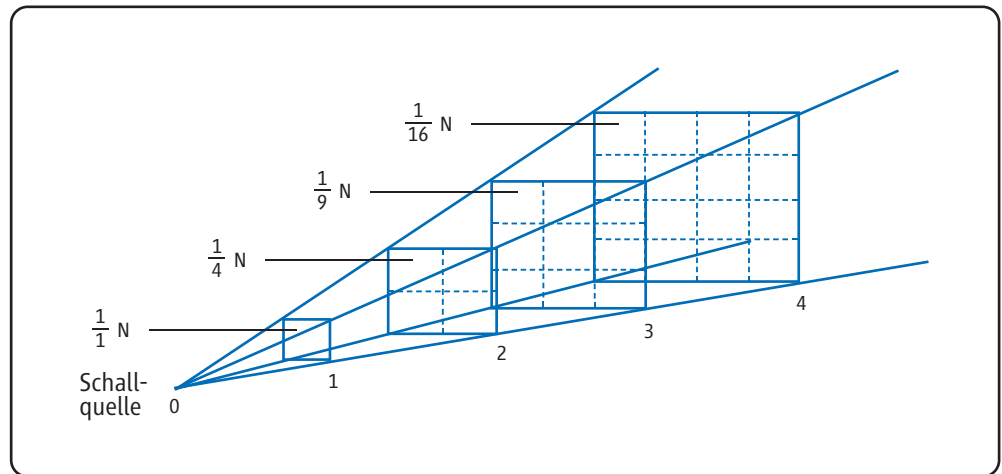
Beim heute allgemein angewandten "STIPA" wird das Verfahren zur Ermittlung des STI in verkürzter Form für Beschallungsanlagen verwendet. Es ist in der aktuellen Norm EN 60268-16 genau beschrieben. Inzwischen sind auch kleine kompakte Messgeräte auf dem Markt, die neben dem STI auch den in den Normen geforderten CIS-Wert anzeigen. In den aktuellen Normen für Sprachalarmanlagen und für elektroakustische Notfallwarnsysteme sind die Messverfahren im normativen Anhang weiter erläutert.

1.4.5 Schallausbreitung in der Luft

Die Lautstärke einer Schallquelle nimmt mit der Entfernung ab und zwar in gleicher Weise wie das Licht, man spricht deshalb auch vom sogenannten quasi-optischen Verhalten.

Die Schallleistung je Flächeneinheit nimmt dabei mit dem Quadrat der Entfernung ab.

Bild 1.4.5
Schallpegelabnahme
mit der Entfernung



Grundregel: Bei jeder Verdoppelung der Entfernung verringert sich die Schallenergie auf $\frac{1}{4}$, entsprechend -6 dB.

Die obige Regel ist genau genommen nur für eine Einzelschallquelle im freien Schallfeld zutreffend, sie gilt auch nur für Distanzen bis ca. 100 m. In der Praxis ist sie aber als Faustregel allgemein gebräuchlich und wird – mit Einschränkungen – so angewendet. Bei größeren Entfernungen treten weitere, witterungsbedingte Einflüsse (Schallwetterbedingungen) auf, die zusätzliche Dämpfungen verursachen und die z.B. durch Wind, Luftfeuchtigkeit usw. sehr unterschiedlich ausfallen können.

1.4.6 Frequenzbereiche für die Übertragung

Wie im Hörspektrum Abb. 1.4.2 dargestellt, weisen Sprache und Musik unterschiedliche Hörspektren auf. Daran sollte auch der Übertragungsbereich der Lautsprecher angepasst sein. Der Sprachbereich reicht von min. 100 Hz bis max. 10 kHz, davon ist aber nur ein Teilbereich für eine gute Sprachübertragung erforderlich. In welchem Maße die einzelnen Frequenzbänder zur Verständlichkeit beitragen, zeigt die nachfolgende Tabelle.

Tabelle 1.4.6:
Gewichtung der Oktav-
Frequenzbänder für die
Sprachverständlichkeit

Oktavband- Mittenfrequenz	Hz	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k
Anteil zur Sprach- verständlichkeit	%	0	0	4	13	20	31	26	6

Ein Verständlichkeitsgrad von 90 % wird bereits in den 4 Oktavbändern zwischen 500 Hz bis 4 kHz erreicht und das ist bereits ein recht guter Wert. Reine Sprachübertragungsanlagen für Durchsagen, Sprachalarmierung, Informationsübermittlung usw. können auf einen Frequenzbereich von 350 Hz bis 6 kHz linear (ohne Begrenzung) sowie darunter und darüber mit 6 dB pro Oktave abfallend eingestellt werden. Das wird sowohl durch die Wahl von geeigneten Lautsprechern als auch durch elektronische Maßnahmen in der Verstärkereinheit erreicht. Werden nämlich tiefere Frequenzanteile mit übertragen, so klingt die Sprache leicht basslastig und überdeckt (maskiert) dabei auch noch die höheren Frequenzbereiche. Bei Überbetonung der Frequenzen oberhalb von 6 kHz klingt die Sprache dann oft spitz bzw. bissig.

Der Frequenzumfang eines (früheren) Telefons von 320 Hz bis 3,2 kHz – mit einer nahen Kopplung von Telefonhörer und Ohr – erzielt bekanntermaßen bereits eine gute Sprachverständlichkeit.

In der Beschallungstechnik ist jedoch ein erweiterter Frequenzumfang unbedingt erforderlich, um das Medium Luft zwischen Lautsprecher und Zuhörer zu überbrücken und die Stimmerkennung zu gewährleisten. Diese liegt im Wesentlichen auf den Oberwellen – den Harmonischen der Sprach-Grundfrequenzen – und damit oberhalb von 2 bis 3 kHz.



Grundregel: Sprachübertragungen sollten auf einen Frequenzbereich von 350 Hz bis 6 kHz linear eingestellt sein, darunter und darüber mit etwa 6 dB pro Oktave abfallend.

Grundsätzlich andere Bedingungen herrschen jedoch z.B. in Theatern, Mehrzweck- oder Stadthallen. Hier ist eine gute Stimmerkennung (Timbre) unbedingt erforderlich, diese wird durch die Intensität der Oberwellen in der menschlichen Stimme bestimmt. Je nach Anwendungsfall kann es für Anlagen mit reiner Vortragsnutzung nicht ausreichend sein, nur das „Sprachverständlichkeits-Spektrum“ zu übertragen, da je nach Auftraggeber-Vorstellung auch höhere klangliche Anforderungen gestellt werden. Bei klanglich anspruchsvollen Beschallungen werden professionelle Lautsprecher eingesetzt, die einen Übertragungsbereich von unter 100 Hz bis über 15 kHz haben. Das kann mit sogenannten Breitbandlautsprechern erreicht werden, besser aber sind Lautsprecherboxen mit verschiedenen, unterschiedlichen Lautsprecher-systemen, die jeweils für einen bestimmten Frequenzbereich optimiert sind. Diese Mehrwegesysteme werden dann über entsprechende passive oder aktive Weichen (mit einer Endstufe pro Frequenzband) betrieben. In der Tonregie muss das wiedergegebene Klangbild entsprechend kritisch beurteilt und eventuell mit elektronischen Filtern weiter optimiert werden.

Stark abweichende Bedingungen gegenüber der Sprache bestehen jedoch bei der Musikübertragung. Hierbei soll der von Musikinstrumenten erzeugte Klangumfang über Lautsprecher möglichst originalgetreu wiedergegeben werden. Dabei unterscheidet man vier große Musikbereiche: 1. Hintergrundmusik, 2. Tanz- und Unterhaltungsmusik (U-Musik) und 3. Klassische Musik (E-Musik) und neuerdings auch 4. anspruchsvolle Jazz/Rock Musik.

Hintergrundmusik übt im Wesentlichen über Melodie und Rhythmus seine Funktion aus und soll dabei die Zuhörer nicht ablenken. Deshalb wird sie in der Praxis auf einen Bereich von 100 bis 200 Hz in den Tiefen und auf einen Bereich von 8 bis 10 kHz in den Höhen, jeweils mit abnehmender Charakteristik, begrenzt.

Bei Tanz- und Unterhaltungsmusik und noch bedeutsamer bei klassischer und bei Jazz/Rock Musik muss das volle natürliche Spektrum wiedergegeben werden, d.h. von 40 – 50 Hz bis über 15 kHz.

1.4.7 Beschallungssysteme

Das menschliche Gehör ist durch die Form der Ohrmuscheln so ausgebildet, dass es von vorn auftreffende Schallereignisse wesentlich besser wahrnimmt, als von oben oder gar von hinten. Dies muss bei der Planung des Beschallungssystems berücksichtigt werden. Die Auswahl eines Beschallungssystems sollte nach Raumdimension, Raumakustik und Nutzung erfolgen. Nur bei gemeinsamer Betrachtung aller Erfordernisse wird das geplante und ausgeführte Beschallungssystem die Anforderungen erfüllen können. Es ist jedoch durchaus möglich, dass derart ungünstige raumakustische Verhältnisse und/oder hohe Störgeräuschpegel vorliegen, dass eine dem Nutzungsprofil bzw. den normativen Anforderungen entsprechende Beschallung nicht möglich ist. Planer und ausführende Firmen müssen sich dessen bewusst sein und dann ggf. auf Architekten und Bauherren einwirken. Bei der Auslegung der Beschallungsanlage sollten Störgeräusche und Nachhallzeit realistisch einbezogen werden, um einerseits wirtschaftlich planen und ausführen zu können aber andererseits auch keine technisch physikalisch unerfüllbare Ausgangslage zulassen.

Neben den oben genannten relativ feststehenden Erfordernissen sind jedoch auch dynamische und individuelle Einflüsse auf das Beschallungsergebnis vorhanden. Ein noch so gut und gewissenhaft geplantes und ausgeführtes Beschallungssystem wird z.B. mangelnde Sprecherqualitäten nur in begrenztem Umfang kompensieren können.

Im Betrieb einer Beschallungsanlage entscheidet auch die Qualität des zu übertragenden Signals über das erreichbare Ergebnis. Neben der korrekten Wahl der Beschallungskomponenten und deren Positionierung und Ausrichtung ist auch die Wahl der passenden Mikrofone von entscheidender Bedeutung. Neben Lautsprechern befinden sich auch Mikrofone in der physikalischen Umgebung des Raumes, deren Richtcharakteristik, Empfindlichkeit und Anwendung müssen zur Aufgabenstellung passen.

In jedem akustischen Gesamtsystem, in dem Beschallung und Mikrofone gemeinsam einwirken, kann von den Lautsprechern abgegebener Schall von Mikrofonen aufgenommen und somit wiederum der Beschallung zugeführt werden. Bei zu hohen Kreisverstärkungen kommt es zum "Aufschaukeln" des Systems und damit zur sog. Rückkopplung. Lautsprecher-Übertragungen an der Rückkopplungsgrenze oder gar in der Rückkopplung führen zu erheblichen klanglichen Einschränkungen. Das als "Pfeifen" bekannte Geräusch der Rückkopplung muss als Störsignal gewertet werden und wirkt sich erheblich negativ auf die Sprachverständlichkeit aus.

Zur Vermeidung von Rückkopplungen sollten Auswahl, Positionierung und Ausrichtung von Lautsprechern und Mikrofonen in Abhängigkeit der raumakustischen Verhältnisse und Nutzungsanforderungen aufeinander abgestimmt sein.

Bei nicht szenisch genutzten Beschallungen, z.B. bei Durchsagen oder Sprachalarmen, ist es daher ratsam, erforderliche Mikrofone derart zu positionieren, dass die Beschallung auf diese nicht einwirken kann oder die Lautsprecher in der Umgebung des Mikrofons sind für die Zeit des Einsprechens abzuschalten. Darüber hinaus existieren auch elektronische Verfahren zur Verminderung des Rückkopplungsverhaltens, welche jedoch Einschränkungen hinsichtlich der Wirksamkeit und der Klangneutralität unterworfen sind.

1.4.7.1 Frontalbeschallungssystem

Bei einem Frontalsystem wird die technische Schallquelle (Lautsprecher) aus der gleichen Richtung vom Hörer geortet wie die natürliche Schallquelle (Redner).

Grundregel: Optische und akustische Ortung sollten für den Hörer möglichst in einer Ebene liegen.

Bei Mehrzweckhallen, Veranstaltungsräumen mit Bühnenpodien u. a. wird dies meist dadurch erreicht, dass die Lautsprecher oberhalb des Bühnenportals angeordnet werden. Eine hierbei entstehende vertikale Richtungsabweichung von ca. 30° wird vom Gehör kaum wahrgenommen. Trifft der Schall aus dem Lautsprecher geringfügig später bei den Zuhörern ein als die Originalstimme, so wird die akustische Fehlortung komplett überdeckt.

Weit verbreitet ist auch eine Lautsprecheranordnung rechts und links der Bühnenöffnung. Hierbei wird der Bereich um die Saal-Mittelachse, (also zwischen den Lautsprechern) als sogenannte Phantomschallquelle geortet, d.h. wieder am Ort der natürlichen Schallquelle. Je nach Raumverhältnissen und Raumgröße können Lautsprecher in der Bühnenkante montiert oder auf der Bühne aufgestellt werden, um die für die Ortung wichtige, erste Wellenfront des Vortragenden zu verstärken.

1.4.7.2 Deckenbeschallungssystem

In Supermärkten und anderen ausgedehnten Räumlichkeiten ist es vorteilhaft, ein dezentrales, senkrecht von der Decke abstrahlendes Lautsprechernetz zu realisieren. Hier ist eine Frontbeschallung weder erforderlich noch sinnvoll, da keine sichtbare natürliche Schallquelle vorhanden ist oder die Zuhörer in unterschiedlicher Richtung sitzen. Außerdem wäre die gewünschte hohe Gleichmäßigkeit der Beschallung mit einem Frontsystem alleine nicht realisierbar.

Mit Deckenlautsprechern ist es möglich, beliebig große Flächen mit sehr gleichmäßiger Schallverteilung zu versorgen. Jedoch muss eine sehr sorgfältige Lautsprecherplanung erfolgen, da einerseits der Verständlichkeitsgrad durch den vertikalen Schalleinfall geringer ist und andererseits durch die oft sehr große Anzahl von Lautsprechern ein erheblicher Beitrag zum Diffusschallfeld geleistet wird. Bei einer hohen Anzahl von Quellen ist eine hohe Sprachverständlichkeit schwerer erreichbar. Eine Verringerung des Übertragungspegels kann dem entgegenwirken, wodurch jedoch oft der erforderliche Störgeräuschabstand nicht mehr gewährleistet werden kann. Bei einer hohen Anzahl von Quellen sind lange Nachhallzeiten sehr kritisch. Einzig raumakustische Maßnahmen (zusätzliche Bedämpfung / Absorber) sind hier in der Lage, wirklich Besserung zu bringen.



Ausschlaggebend für die Qualität eines Deckenbeschallungssystems ist:

1. Dichte des Lautsprecherrasters
2. Deckenhöhe
3. Abstrahlcharakteristik des Lautsprechers
4. Art der Nutzung
5. Höhe des Übertragungspegels
6. Versorgungsfläche jedes einzelnen Lautsprechers
7. akustische Situation im Raum

Je höher die Decke, desto größer wird auch die Fläche, die ein einzelner Lautsprecher versorgen muss. Mit zunehmender Anzahl der Quellen nimmt jedoch andererseits die vom einzelnen Lautsprecher zu versorgende Fläche auch wieder ab. Bei Planung und Ausführung derartiger Beschallungssysteme ist die Anzahl der Lautsprecher und deren Anordnung immer als Kompromiss zwischen homogener Schallpegelverteilung einerseits und noch ausreichender Sprachverständlichkeit andererseits zu sehen.

Lautsprechercharakteristik und Nutzung sind gemeinsam zu betrachten. Von Bedeutung ist der zu erzielende Verständlichkeitsgrad bei Sprache bzw. die Gleichmäßigkeit bei Musik.

Sprache sollte an allen Hörorten bis mindestens 6 kHz noch zu hören sein. Der Lautsprecherabstand muss daher so gewählt sein, dass die 6 kHz-Achsen aus dem Polardiagramm des Lautsprechers aneinander anschließen. Bei den meisten Deckenlautsprechern kann in etwa von einem radialen Öffnungswinkel von 60 - 90° ausgegangen werden.

Bild 1.4.7.2 a
Faustformel für **minimal** zu Grunde zu legende Versorgungsfläche $a \times a$ eines Lautsprechers für bestmögliche Sprachverständlichkeit ohne Berücksichtigung der Diffusschallfeldeinflüsse

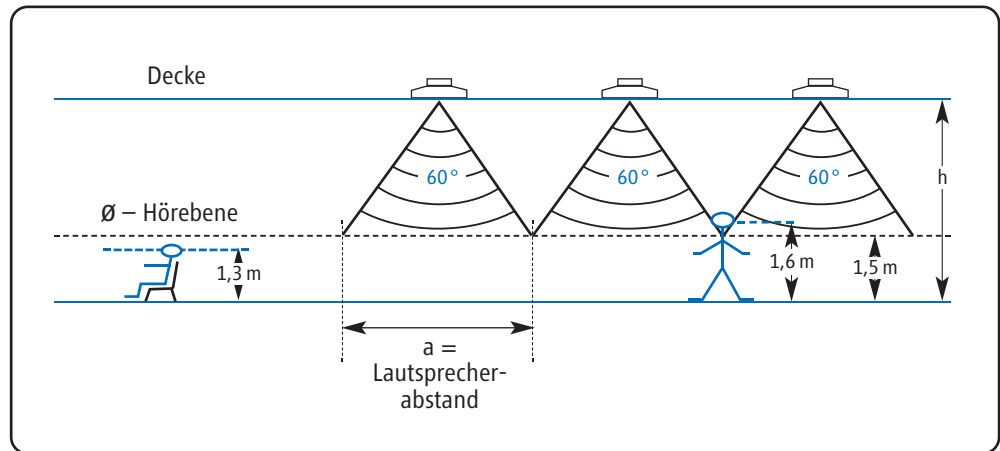


Tabelle 1.4.7.2 a
Deckenlautsprecherraster bei 60° nutzbarem Öffnungswinkel

Deckenhöhe	h	(m)	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6
Lspr.-Abstand		(m)	1,8	2,2	3	3,6	4,2	4,8	5,4
Versorgte Fläche		(m ²)	3	5	9	13	18	23	29

Bild 1.4.7.2 b

Faustformel für **normale** Versorgungsfläche $a \times a$ eines Lautsprechers für Musik und Sprachübertragung ohne Berücksichtigung der Diffusschallfeldinflüsse

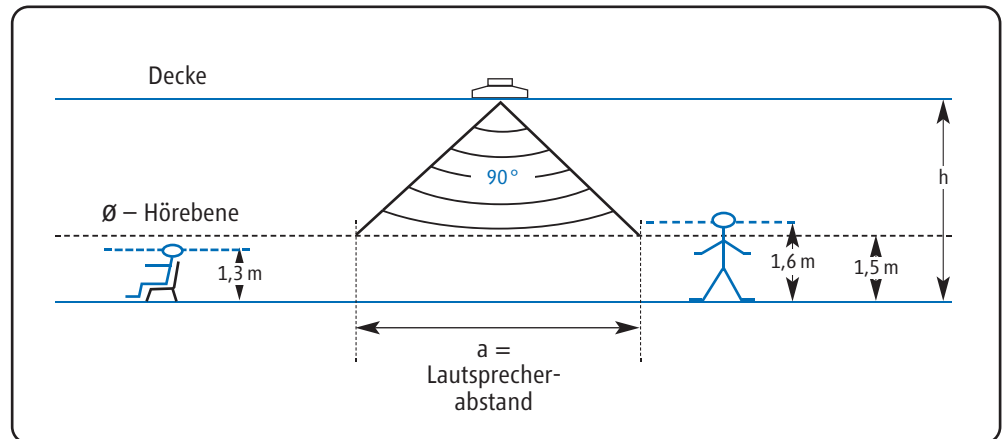


Tabelle 1.4.7.2 b

Deckenlautsprecherraster bei 90° nutzbarem Öffnungswinkel

Deckenhöhe	h	(m)	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6
Lspr.-Abstand		(m)	3	4	5	6	7	8	9
Versorgte Fläche		(m ²)	9	16	25	36	49	64	81

Bei Deckenhöhen über 6 m ist ein Standard-Deckenbeschattungssystem in der Regel für Sprache nicht mehr einsetzbar, da in der Hörebene dann das Verhältnis von Direktschall zu dem durch die Raumakustik verursachten indirektem Hallanteil (Diffusschall) zu ungünstig und die Sprache undeutlich und unverständlich wird.

Eine Möglichkeit dies zu umgehen ist die Verwendung von stark bündelnden Systemen, beispielsweise spezielle Deckenlautsprecher mit geeigneten Schallführungen, welche z.B. in lärmefüllten, ausgedehnten Hallen (Messe/Industrie/Sporthallen) bis in Höhen von ca. 12 Meter eingesetzt werden können.

1.4.7.3 Dezentrale Beschallung ohne Frontalbezug

In räumlichen Umgebungen ohne Frontalbezug, z.B. in Flughäfen, Messehallen oder Bahnhöfen mit oft schwierigen raumakustischen Verhältnissen, sollte versucht werden die Anzahl der Quellen zu minimieren. Dadurch entsteht die Notwendigkeit große Flächen mit nur wenigen Lautsprechern zu versorgen. Moderne Lautsprechersysteme, speziell für derartige Anwendungen, verfügen über eine dementsprechend angepasste Wirkungscharakteristik und Bauform und sind oft sogar elektronisch im Abstrahlverhalten auf die jeweilige Anwendung anpassbar. Ein nicht unerheblicher Planungsaufwand, unter Verwendung geeigneter Simulationsprogramme, muss zur Lösung dieser Beschaltungsaufgaben vorausgesetzt werden.

2. Verstärker in Beschallungs- anlagen

Allgemeines

Verstärker gehören in den verschiedensten Ausführungen neben Mikrofonen, Sprechstellen und Lautsprechern zu den wesentlichen Elementen der elektroakustischen Übertragungstechnik.

Aus Anwendersicht lassen sich Verstärker in unterschiedliche Arten unterscheiden, wie z.B.

- Spannungsverstärker
- Leistungsverstärker.

2.1 Spannungsverstärker

zum Beispiel als

- **Mikrofonvorverstärker**
verstärkt die geringe Ausgangsspannung eines Mikrofons auf Werte von etwa einem Volt
- **Impedanzwandler**
passt hochohmige Quellen an niederohmige Verbraucher an
- **Trennverstärker**
verhindern Rückwirkungen von Verbrauchern auf die Quelle
- **Aufholverstärker**
gleichen Dämpfungen durch vorgeschaltete passive Bauelemente, z.B. Leitungen, aus
- **Entzerrerverstärker**
ermöglichen Klangkorrekturen durch den Anwender (z.B. als Equalizer) oder passen das frequenzabhängige Übertragungsmaß an bestimmte Speicherverfahren an
- **Verteilerverstärker**
verteilen rückwirkungsfrei das Signal auf mehrere Verbraucher
- **Regelverstärker**
bei denen die Verstärkung von außen her änderbar ist, z.B. durch das anliegende Signal selbst, typisch auch für automatische Lautstärkeregelungen
- **Mischverstärker**
führt Signale aus mehreren Quellen rückwirkungsfrei zu einem Signal zusammen
- **Symmetrierverstärker**
wandelt ein unsymmetrisches, erdbezogenes Signal in ein symmetrisches und meist auch erdfreies Signal um
- **Leitungsverstärker**
auch Leitungstreiber, Spannungsverstärker im Übergangsbereich zum Leistungsverstärker, meist mit Symmetriereinrichtung zum Abschluss von langen Übertragungsleitungen.

Diese Verstärkerformen gibt es sowohl als eigenständige Geräte, als Modulbaugruppen oder als integraler Bestandteil von komplexen Geräten (z.B. Mischpult).

2.2 Leistungsverstärker

Im Unterschied zu Spannungsverstärkern muss der Leistungsverstärker neben hohen Ausgangsspannungen auch noch große Ausgangsströme liefern können. Daher besteht der klassische Leistungsverstärker aus einem Spannungsverstärker mit nachfolgender Leistungsstufe.

Die wesentliche Aufgabe von Leistungsverstärkern besteht darin, die von Lautsprechern benötigte elektrische Energie als niederfrequenten Strom verzerrungsarm und mit hohem Wirkungsgrad zur Verfügung zu stellen.

Dies muss zuverlässig unter allen Umweltbedingungen (Hitze, Staub, Feuchtigkeit) erfüllt werden, und der Verstärker darf nur sehr geringe nichtlineare Verzerrungen (Klirrfaktor) erzeugen.

2.3 Mechanische Konzeption

Häufig werden mehrere elektrisch eigenständige Verstärkereinheiten in einem Gehäuse zusammengefasst. Hierbei handelt es sich meist um mehrere Verstärker mit den gleichen Leistungsmerkmalen, es sind aber auch Zusammenfassungen von unterschiedlichen Baugruppen möglich. Der bekannteste Vertreter der mehrkanaligen Verstärker ist der Stereoverstärker, möglich sind auch 4-, 6- oder 8-Kanal-Ausführungen, bei denen umfangreiche Zuordnungsmöglichkeiten für Ein- und Ausgänge (z.B. Leistungsaddition, Brückenbetrieb etc.) möglich sind.

2.4 Verstärkerklassen

Verstärker werden in unterschiedlichen Anwendungen eingesetzt, daher ist ihr Schaltungskonzept den entsprechenden Erfordernissen angepasst. Man spricht in diesem Zusammenhang von Verstärkerklassen, die mit Buchstaben gekennzeichnet werden. Neben den allgemein vergleichbaren Klassen A, B, AB, C, D, E, F, H und S gibt es noch herstellerspezifische Klassen, wie beispielsweise die T-Klasse.

Folgende Verstärkerklassen werden heute bevorzugt in der Beschallungstechnik verwendet:

AB-Klasse: Verstärker mit AB-Betrieb werden gegentaktmäßig angesteuert, wie der A-Verstärker (Eintakt-Endstufe mit relativ hoher Linearität und geringem Wirkungsgrad), arbeiten aber mit symmetrischer Spannungsversorgung. Die in Komplementärschaltung angeordneten Transistoren steuern in den Emitterkreisen direkt den Lautsprecher an. Die Nichtlinearität der B-Klasse (Gegentakt-Endstufen mit zwei aktiven Bauelementen im Push-Pull-Betrieb und höheren Wirkungsgrad) wird durch Dioden im Basiskreis eliminiert, ohne dass die AB-Klasse die Ineffizienz der A-Klasse hat. Die AB-Schaltung zeichnet sich durch eine exzellente Linearität und einen Wirkungsgrad von über 50 % aus und ist das am häufigsten eingesetzte Endverstärkerkonzept.

D-Klasse: Die Klasse-D-Verstärker wurden für den getakteten Betrieb entwickelt. Sie arbeiten im Push-Pull-Betrieb mit zwei aktiven Bauelementen und fungieren als Schaltverstärker mit äußerst hohem Wirkungsgrad von bis zu 90 % und geringen Verlusten. Klasse-D-Verstärker werden als getaktete Verstärker mit Pulsweitenmodulation auch im Audibereich eingesetzt. Dabei werden die analogen Audiosignale in einem A/D-Wandler in digitale Signale gewandelt; diese werden pulsbreitenmoduliert, verstärkt und in einem nachgeschalteten D/A-Wandler wieder in Analogsignale gewandelt.

H-Klasse: Die Klasse-H-Verstärker verwenden unterschiedlich hohe Spannungsversorgungen; d.h. je größer das Signal bzw. die Verstärkung wird, eine umso höhere Versorgungsspannung wird eingesetzt. Dies erfolgt aufgrund der Schnelligkeit vorzugsweise mit einem getaktetem Netzteil. Da für den jeweiligen Verstärkungsbereich die passende Versorgungsspannung verwendet wird, fällt die entstehende Verlustleistung geringer aus. Daraus resultiert ein Wirkungsgrad von ca. 70-75 %.

Die Klasse H besticht durch hohe Klangtreue, Linearität, geringe Verzerrungen und sehr geringe Ruhestrome. Mit kapazitiven Lasten (100 V Trafos) arbeitet ein Klasse-H-Verstärker sehr stabil.

2.5 Zusätzliche Anmerkungen

Speziell für den Einsatz in Gefahrenmeldeanlagen wurden Leistungsverstärker zur Sprachalarmierung konzipiert. Diese Verstärker zeichnen sich durch weitere zusätzliche Eigenschaften aus:

- Möglichkeit der unterbrechungsfreien Umschaltung auf Ersatzstromversorgung bei Ausfall der Hauptstromquelle
- Eigenüberwachung mit der Möglichkeit der Havarieumschaltung bei Störungen
- Möglichkeit der Überwachung von angeschlossenen Leitungsnetzen auf Kurzschluss, Erdschluss, Unterbrechung mittels Impedanzüberwachung oder End-of-Line Modulen, etc.
- Option zur Fernsteuerung und Fernüberwachung.

Eine weitere Untergruppe stellen die Verstärker mit Übertrager im Ausgang dar. Durch diesen Ausgangsübertrager wird die Ausgangsspannung auf einen national üblichen Wert transformiert: In Europa üblicherweise 100 V, in Amerika überwiegend 70 V.



Für den Einsatz von 100 V-Verstärkern sprechen folgende Argumente:

- Aufgrund der eingepprägten Spannung kann, ähnlich wie in der Starkstromtechnik, durch die Impedanz des Verbrauchers entschieden werden, welche Leistung der angeschlossene Verbraucher dem Netz entzieht
- Durch die hohen Impedanzwerte der 100 V-Lautsprecher werden die Leitungsverluste geringer
- Durch den Übertrager im Ausgang wird das Leitungsnetz galvanisch von der Verstärker-Erde getrennt. Das Leitungsnetz muss nicht schutzisoliert ausgeführt werden, wenn nach DIN VDE 0800-1 eine Erdschlussüberwachung eingebaut ist.

Bei der Sprachalarmierung ist es üblich, Leistungsverstärker mit Ausgangsübertragern einzusetzen.

Leistungsverstärker sollten mit folgenden Schutzfunktionen ausgestattet sein:

- Spannungsbegrenzung bei Leerlauf
- Strombegrenzung bei Kurzschluss
- Leistungsbegrenzung bei Übertemperatur
- verzögerte Zuschaltung des Lautsprecherausgangs (dadurch "knackfrei")
- Begrenzung des Einschaltstromes.

Aus Anwendersicht sind Schutzkonzepte vorzuziehen, die nicht gleich eine Totalabschaltung bewirken, sondern zunächst die Leistungsparameter reduzieren.

Häufig sind in Leistungsverstärkern weitere Baugruppen integriert, die nicht für die unmittelbare Funktion erforderlich sind. Diese bieten aber entweder weitere Schutzfunktionen, oder erweitern den Anwendungsbereich des Gerätes durch zusätzliche Funktionen:

- integrierte Limiter als zusätzlichen Überlastungsschutz
- integrierte Mikrofon- oder Mischverstärker
- Umfangreiche DSP-Funktion (DSP = digitaler Signalprozessor)
- Klangregel- und Equalizerfunktionen
- Umschaltrelais im Ein- und Ausgang zur Realisierung von Prioritätsschaltungen.

Viele Leistungsverstärker haben (herstellerspezifisch) genormte Schnittstellen, über die weiteres Zubehör angeschlossen werden kann, wie z.B. Symmetrierübertrager, Mikrofonverstärker, Fernsteuermodule, Frequenzweichen, Entzerrerverstärker, Regelverstärker oder DSP-Bausteine.

2.6 Kenndaten von Leistungsverstärkern

Die Kriterien und Messmethoden für die Bestimmung der Kenndaten von Verstärkern sind in der DIN EN 60268-3 festgelegt.

2.7 Eingangsempfindlichkeit

Effektivwert der Spannung, die am Eingang anliegen muss, damit Vollaussteuerung erreicht wird.

Übliche Werte hierfür sind:

100 mV	(-18 dBu)
0,775 V	(0 dBu)
1 V	(0 dBV)
1,55 V	(6 dBu)

Der erforderliche Wert kann bei vielen Geräten vom Anwender durch interne Konfiguration ausgewählt werden. Wichtig ist, dass die gewählte Eingangsempfindlichkeit zum Pegel der angeschlossenen Quelle passt. Ein angeschlossener Signalpegel von 6 dBu übersteuert einen 100 mV-Eingang, umgekehrt reicht ein Signalpegel von 100 mV nicht aus, um einen 6 dBu-Eingang auszusteuern.

2.8 Nenn-Ausgangsleistung

Die Nenn-Ausgangsleistung eines Verstärkers ist eine Herstellerangabe und wird unter Berücksichtigung verschiedener Faktoren festgelegt. Die wichtigsten Faktoren sind der Klirrfaktor und die Betriebszeit während der der Verstärker diese Leistung abgeben kann.

Es können nur solche Verstärker verglichen werden, bei denen diese Faktoren übereinstimmen. Die nach diesen Kriterien angegebene Ausgangsleistung wird als verzerrungsbegrenzte Nenn-Ausgangsleistung bezeichnet, die bei dem vom Hersteller angegebenen Nenn-Klirrfaktor erreicht wird. Verstärker, die für den Einsatz in Anlagen zur Sprachalarmierung vorgesehen sind, müssen dauerhaft verfügbar sein.

2.9 Maximale Ausgangsleistung

Es wird zwischen der maximalen Kurzzeit-Ausgangsleistung (< 1 s) und der maximalen Langzeit-Ausgangsleistung (Dauerleistung) unterschieden. Diese Leistungsangaben sind für die richtige Auswahl der Lautsprecher von Bedeutung.

2.10 Temperaturbegrenzte Ausgangsleistung

Dies ist die Ausgangsleistung die der Verstärker bei einer angegebenen Umgebungstemperatur dauerhaft abgeben kann, ohne den Verstärker thermisch zu beschädigen.

2.11 Übertragungsbereich

Der Übertragungsbereich beschreibt den Frequenzbereich eines Verstärkers, welcher typischerweise zwischen 20 Hz - 20 kHz liegt. Für Sprachalarm und Musikübertragung wird nur ein Teil dieses Übertragungsbereiches genutzt. Sollte der Verstärker mittels Pilotton überwacht werden, kann es bei sehr billigen Modellen und dem damit meist stark eingeschränkten Übertragungsbereich von z.B. 150 Hz - 15 kHz zu Beeinträchtigungen der Verstärkerüberwachung kommen. Die Frequenz des Pilottons liegt im nicht hörbaren Bereich wie z.B. 22 kHz.

2.12 Leistungsbandbreite

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

2.13 Ausgangsimpedanz, Nennabschlussimpedanz

Alle in Zusammenhang mit der verfügbaren Leistung eines Verstärkers angegebenen Werte beziehen sich immer auf eine normierte Last des Verstärkers, der Nennabschlussimpedanz. Es sind auch verschiedene Angaben üblich, z.B. 200 W an 8 Ohm und 300 W an 4 Ohm. Der niedrigste dieser Impedanzwerte sollte durch die Zusammenschaltung von Lautsprechern nicht unterschritten werden. Die eigentliche (messbare) Ausgangsimpedanz liegt bei modernen Verstärkern um Größenordnungen niedriger als die Nennabschlussimpedanz. Dadurch wird eine gute Bedämpfung von Eigenschwingungen der Lautsprecher erreicht.

2.14 Klirrfaktor

Der Klirrfaktor (nichtlineare Verzerrungen) beruht auf dem Auftreten von Harmonischen oder Obertönen im Ausgangssignal, die im Eingangssignal nicht vorhanden waren, also erst beim Verstärkungsprozess entstanden sind. Handelsübliche, professionelle Leistungsverstärker zeichnen sich durch Klirrfaktorwerte aus, die weit unterhalb der zulässigen Werte liegen und nicht mehr wahrnehmbar sind. Erst nach Erreichen der Höchstleistung steigt der Klirrfaktor steil an, die dann einsetzenden Verzerrungen können hörbar werden.



2.15 Intermodulation

Werden viele Frequenzen gleichzeitig verstärkt, können z.B. durch Überlagerungseffekte neue Frequenzen entstehen, die mit dem Signal übertragen werden. Sie stehen aber in keinem harmonischen Verhältnis zu den Originalfrequenzen. Intermodulationsverzerrungen sind unangenehme, lästige Störungen und sollten unterhalb der Hörschwelle liegen.

2.16 Störspannungen

Jede elektronische Schaltung erzeugt Signale, die ihr nicht zugeführt wurden (Rauschen), oder sie verstärkt Signale, auch ohne Zuführung eines Nutzsignales (Brummen, hochfrequente Störungen). Während sich das Rauschen nur bis zu einer physikalisch bedingten Grenze verringern lässt, sind die übrigen Störungen im Gerät konstruktiv vermeidbar. Die Summe dieser auch ohne Nutzsignal messbaren Spannungen am Ausgang eines Verstärkers wird als Fremdspannung bezeichnet.

Aussagefähiger als der Absolutwert der Fremdspannung ist ihr Verhältnis zur maximalen Signalspannung. Man spricht vom Signal-Fremdspannungs-Verhältnis. Der logarithmierte Wert heißt Fremdspannungsabstand.

Fremdspannungsverhältnis

$$S/N = \frac{U_n}{U_f}$$

U_n : Ausgangsspannung bei Nennleistung [V]

U_f : Ausgangsspannung ohne Nutzsignal [V]

Fremdspannungsabstand

$$D_f = 20 \cdot \log \frac{U_n}{U_f}$$

D_f : Fremdspannungsabstand [dB]

Entsprechende Vereinbarungen gelten für Geräuschspannungen, nur dass hier die Störspannungen mit standardisierten Filtern gemessen werden. Üblich sind aus der Lärmmesstechnik bekannte A-Filter und Filter nach CCIR-468-3. Die Messung mit A-Filter liefert im Allgemeinen einen günstigeren Wert im Vergleich zur Fremdspannung, während das Verfahren nach CCIR meist einen ungünstigeren Wert liefert.

Wichtig ist, dass nur nach gleichem Verfahren gewonnene Messwerte verglichen werden.

2.17 Wärmeentwicklung

Alle Leistungsverstärker erzeugen Wärme. Durch die technische Weiterentwicklung sind immer höhere Leistungen in relativ kompakten Gehäusen konzentriert. Werden mehrere dieser Leistungsverstärker in Gestellschränke eingebaut, so ergibt sich zuerst eine Wärmebelastung des Gestellschranks und danach eine des Raumes. Daher sind entsprechende Lüftungsmaßnahmen (Be- und Entlüftung, Klimatisierung) der Schränke und/oder Räume vorzusehen, damit die Anlagen betriebssicher arbeiten können.

Dabei sind zwei Werte für die Wärmeberechnung von Bedeutung: Leistung im Leerlauf bzw. Vollaussteuerung des Verstärkers.

2.18 Leitungsnetz

Das für die Verteilung der Ausgangsleistung erforderliche Lautsprecher-Leitungsnetz unterliegt den Sicherheitsanforderungen nach DIN VDE 0800-1. Bei einem Effektivwert der Ausgangsspannung von 100 V (Bemessungsklasse 3) darf ein Berührungsstromkreis nicht bestehen bleiben. Das erdfreie Leitungsnetz ist deshalb entweder schutzisoliert (erhebliche Kosten) oder besser mit Isolationsüberwachung, d.h. Erdschlussignalisierung, auszuführen.

2.19 Hinweise zur Verstärkerbemessung in Anlagen

Innerhalb einer Baureihe ist ein 200 W Verstärker teurer als ein 100 W Verstärker. Die damit erzielbare Schalldruckerhöhung beträgt (innerhalb eines Raumes bei identischen Lautsprechern) 3 dB, ein Unterschied, der subjektiv gerade wahrnehmbar ist. Es ist daher günstiger, Lautsprecher mit besseren Wirkungsgraden einzusetzen.

Die Nennausgangsleistung eines Verstärkers muss ausreichend sein, um die angeschlossenen Lautsprecher so weit auszusteuern, dass die geforderten Schalldruckpegel erreicht werden können.

Verstärker mit Leistungsreserven erzielen bessere Klangergebnisse als knapp dimensionierte Verstärker.

Lautsprecher können kurzzeitig ohne Defekt bis zum 4-fachen ihrer Nennleistung aufnehmen, daher kann eine Überdimensionierung des Verstärkers unbeschadet toleriert werden.

Auch eine Unterdimensionierung von Verstärkern sollte vermieden werden, weil dies im Extremfall (entstehende Verzerrungsprodukte, nichtlineare Verzerrung) zur Zerstörung der angeschlossenen Lautsprecher führen können.

Verstärkerbemessung

$$P_{NV} \geq \sum P_{NL} \cdot k_A$$

P_{NV} : Nennleistung Verstärker

P_{NL} : Nennleistung Lautsprecher

k_A : Anpassungsfaktor (üblich 1/8)



3. Akustische Gefahrensignale

Diese Ela-Info informiert über akustische Gefahrensignale sowie deren Anwendung, darüber hinaus über Signalformen und die entsprechenden Normen und Vorschriften. Über die Leistungsgemeinschaft Beschallungstechnik kann ein Memory-Stick bezogen werden, der die meisten Gefahrensignale, zusätzlich Gong-Signale sowie Vorschläge für Sprachdurchsagen (deutsch, englisch, französisch) als WAV-Datei enthält.

Beschrieben werden Signale, die im Freien über spezielle Signalgeber, z.B. Sirenen, in Gebäuden aber über Lautsprecher abgestrahlt werden können, dies betrifft u.a.:

- 3.1 Öffentliche Schallzeichen
- 3.2 Gefahrensignal für Arbeitsstätten
- 3.3 Gefahrensignale für Kernkraftwerke
- 3.4 Gefahrensignale für Schiffe
- 3.5 Sonstige Gefahrensignale

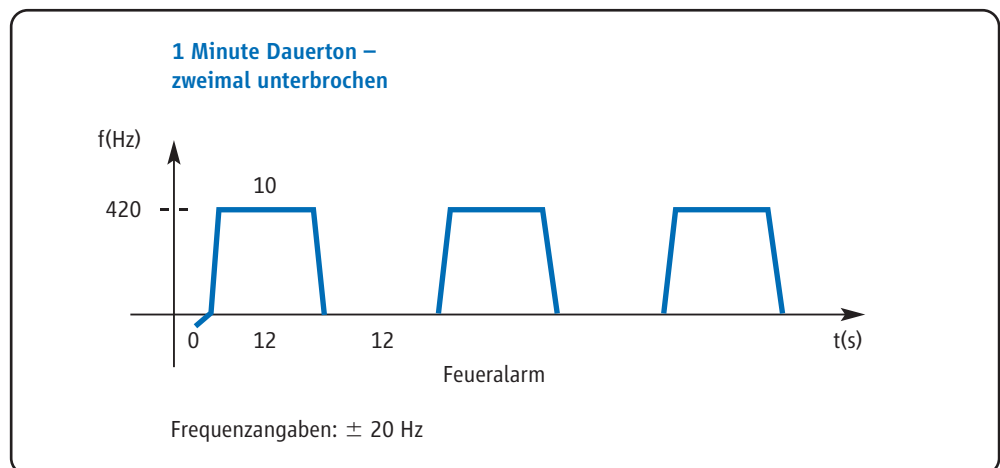
Werden Signale über Lautsprecher in Gebäuden abgestrahlt, so gelten klare Forderungen zur Erkennbarkeit, Hörbarkeit, Unterscheidbarkeit und Eindeutigkeit sowie zum Störschall und Schalldruckpegel als auch evtl. zur Frequenzzusammensetzung (z.B. im Schwermaschinenbau, bei Walzwerken, in Kraftwerken usw.). Dabei sind die raumakustischen Gegebenheiten in jedem Einzelfall zu berücksichtigen.

Bei einer Übertragung außerhalb von Gebäuden, sind die Freifeldbedingungen, aber auch Reflexionen, Abschattungen usw. zu beachten.

3.1 Öffentliche Schallzeichen

In den 50er Jahren wurde von den Innenministerien des Bundes und der Länder eine Verordnung über öffentliche Schallzeichen herausgegeben und in einem Merkblatt auch an alle Haushalte verteilt. Von den dort aufgeführten fünf unterschiedlichen Signalen ist heute nur noch der Feueralarm als einheitliches Signal in ganz Deutschland vorgeschrieben.

Bild 3.1
Feueralarm



Diese Signale konnten über Sirenen abgestrahlt werden. Ab 1990 hat sich die politische Situation in Deutschland und Europa entspannt. In Deutschland wurden die Warnämter aufgelöst sowie das öffentliche Warnnetz abgeschaltet. Es sind jedoch nicht alle Sirenen stillgelegt worden, daher kommt es auf kommunaler Ebene immer noch zur Alarmierung oder zu Probealarmen.

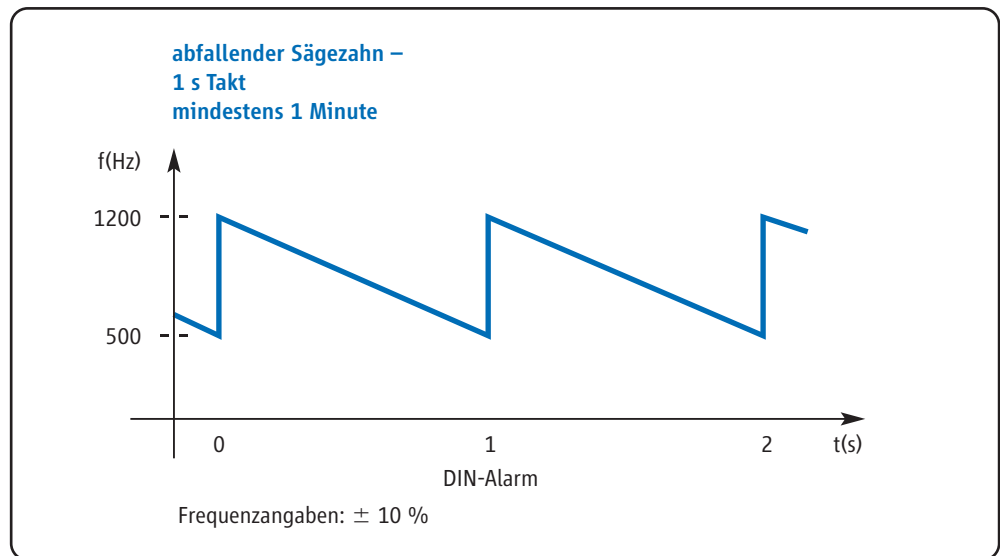
3.2 Gefahrensignal für Arbeitsstätten

1982 erschien die Norm DIN 33404. Im Teil 3 wird das Gefahrensignal für Arbeitsstätten als das einheitliche Notsignal beschrieben. Grundgedanke und Ziel dieser Norm war die Schaffung eines überall gültigen Signals, welches eine sofortige und eindeutige Erkennbarkeit sicherstellt.

Für größere Bürogebäude (Verwaltung, Banken, Behörden), Hochhäuser, Schulen, Sporthallen, Versammlungs- und Verkaufsstätten sowie Industrie u.a. besteht in den Sonderbauverordnungen der Bundesländer die gesetzliche Verpflichtung, Alarmierungseinrichtungen einzubauen, hier können z.B. Sprachalarmanlagen (SAA) oder elektroakustische Notfallwarnsysteme (ENS) eingesetzt werden. Durch den Einsatz von Sprachdurchsagen in Beschallungsanlagen können die betroffenen Personen verzugsfrei aus dem Gefahrenbereich evakuiert werden. Sie dienen damit dem Schutz von Menschenleben.

Anmerkung: SAA/ENS: siehe entsprechende Merkblätter der Leistungsgemeinschaft Beschallungstechnik, in denen diese Anlagen technisch beschrieben werden.

Bild 3.2
Gefahrensignal
für Arbeitsstätten
(einheitliches Notsignal)

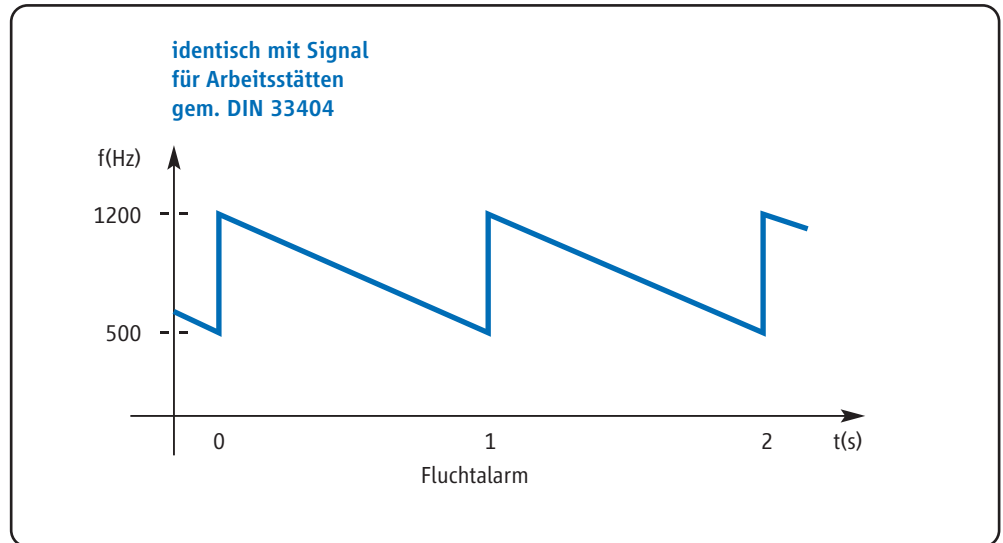


3.3 Gefahrensignale für Kernkraftwerke

Im November 2004 wurde das Regelwerk KTA 3901 vom kerntechnischen Ausschuss überarbeitet. Im Kapitel 3 – *Kommunikationseinrichtungen innerhalb von Kernkraftwerken* – werden im Punkt 3.2 Alarmanlagen beschrieben. An der Form der akustischen Signale wurden keine Änderungen vorgenommen, die Hörbarkeit (Schallpegel) muss jedoch mindestens 15 dB(A) über dem Geräuschpegel während des bestimmungsgemäßen Betriebs des KKW liegen. Dabei muss ein deutliches Überschreiten der Mithörschwelle nachgewiesen werden. Der absolute Höchstwert des Alarmsignals von 110 dB(A) darf nicht überschritten werden.

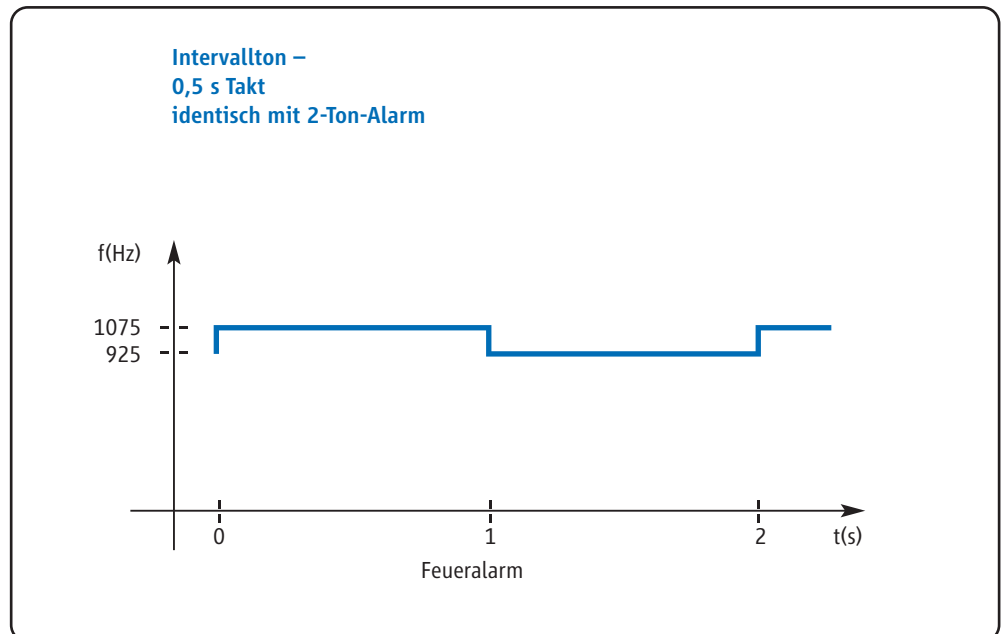
3.3.1 Fluchalarm

Bild 3.3.1
Fluchalarm



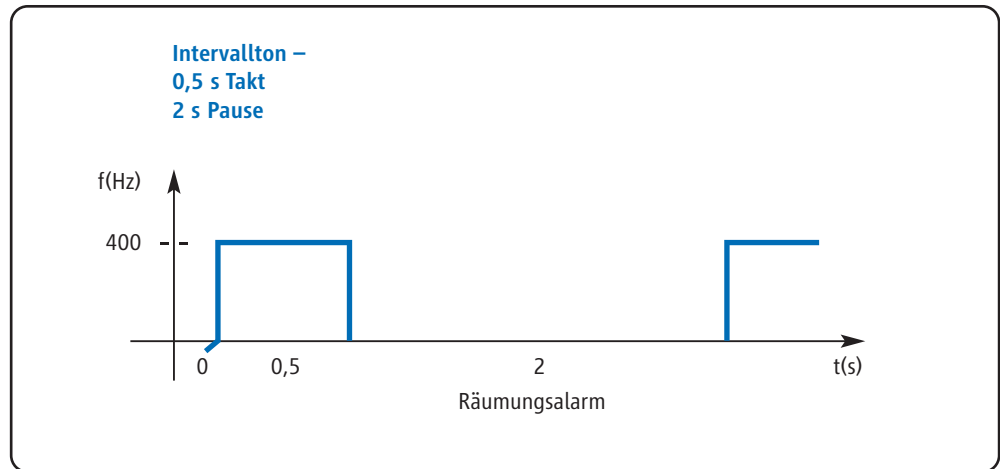
3.3.2 Feuealarm

Bild 3.3.2
Feuealarm



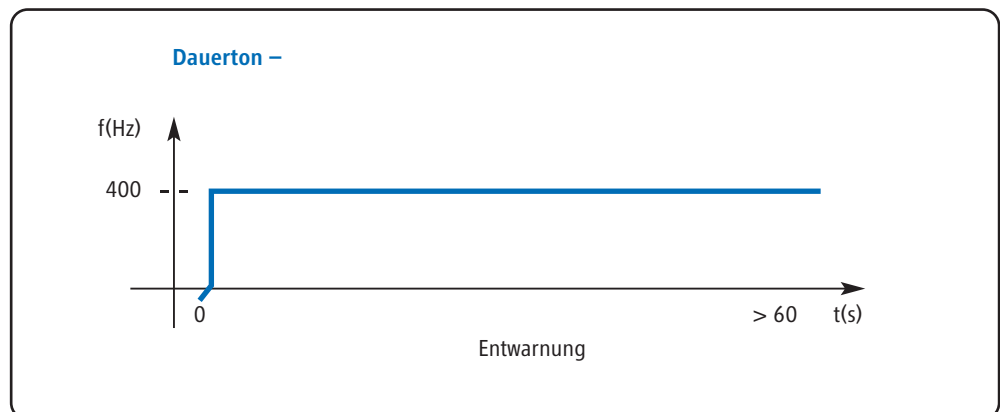
3.3.3 Räumungsalarm

Bild 3.3.3
Räumungsalarm



3.3.4 Entwarnung

Bild 3.3.4
Entwarnung



Alle Signale sind zeitlich nicht begrenzt und werden so lange übertragen, wie die Gefährdung andauert. Die Signale können für Sprachdurchsagen unterbrochen werden.

3.4 Gefahrensignale für Schiffe

Alarmer für Schiffsneubauten und -umrüstungen unterliegen, national und international, der von der INTERNATIONAL MARITIME ORGANIZATION (IMO) herausgegebenen SOLAS (Safety of Life at Sea) - Empfehlung.

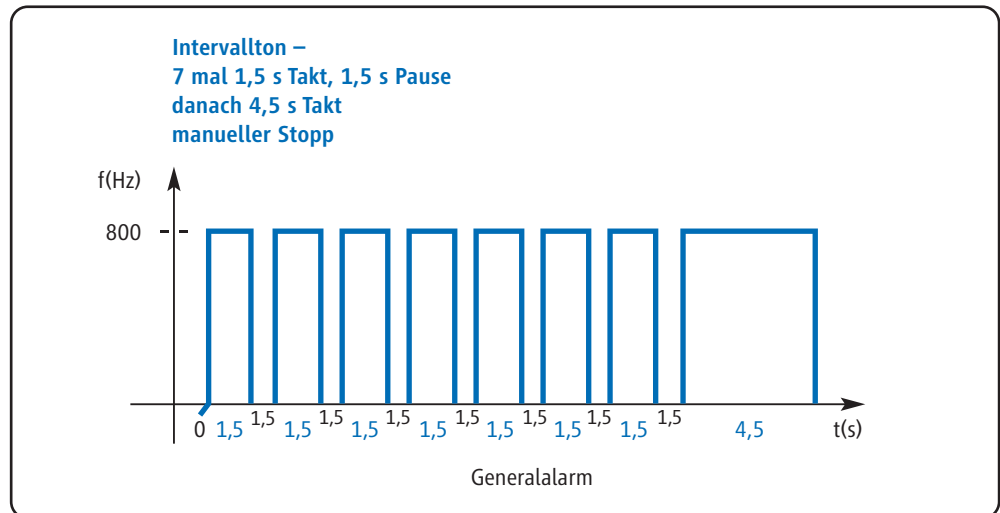
Der "Code on Alarms and Indicators", der verbindlich ist, legt die akustischen und optischen Signale im Brückenbereich, im Maschinenraum und im Unterkunftsbereich auf Schiffen fest, wobei die akustischen Signale als Primärsignale gelten.

Für Schiffe, die unter deutscher Flagge fahren, gelten die Vorschriften der jeweiligen Klassifikationsgesellschaft, z.B. des Germanischen Lloyd und darüber hinaus die Unfallverhütungs-Vorschriften der Berufsgenossenschaft Verkehr (BG Verkehr – vor dem 01.01.2010: See-Berufsgenossenschaft), und die von der BG herausgegebenen Sicherheitsrollen.

Primärsignale sind: 3.4.1 Generalalarm

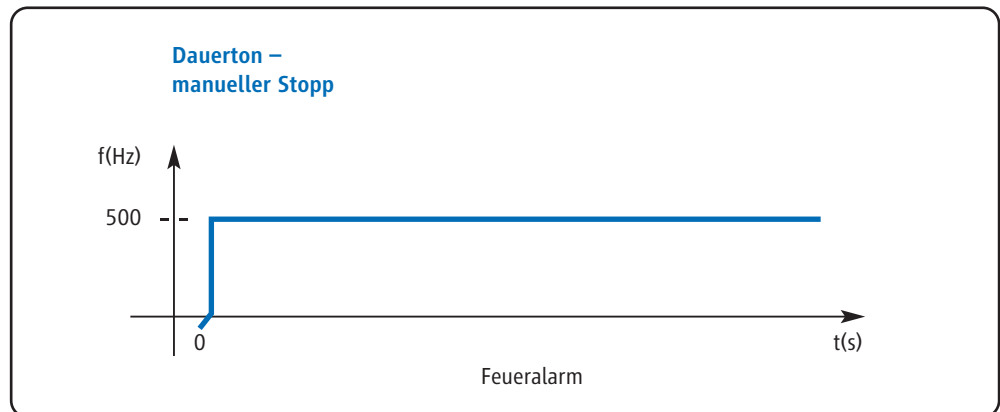
Der Generalalarm wird von der Brücke durch eine Taste ausgelöst und alarmiert gleichzeitig oder getrennt Schiffsbesatzung und eventuelle Passagiere.

Bild 3.4.1
Generalalarm

**3.4.2 Feualarm**

Alarm der automatischen Feuerwarnanlage im Maschinenraum und/oder Feuer außerhalb des Maschinenraums.

Bild 3.4.1
Feualarm

**Anmerkungen zu den Frequenzangaben:**

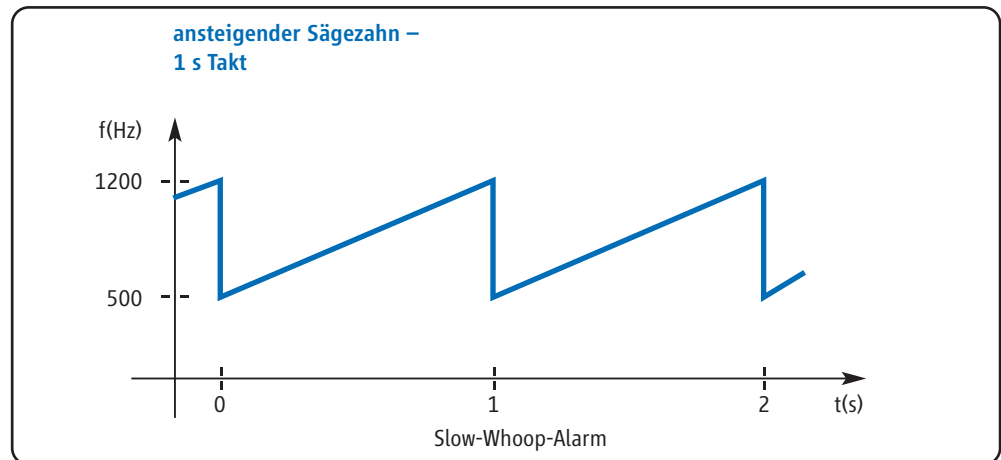
SOLAS schreibt vor, dass sich die Frequenz der Gefahrensignale zwischen 200 Hz und 2500 Hz bewegen darf. Die endgültige Entscheidung liegt bei der Klassifikationsgesellschaft (in Deutschland: Germanischer Lloyd) und ist abhängig von Schiffstyp und -art. In jedem Fall muss die Forderung erfüllt sein, dass sich das Gefahrensignal deutlich genug von anderen Signalen (auch Störsignalen) unterscheidet.

3.5 Sonstige Gefahrensignale

In der Industrie, u.a. der chemischen/petrochemischen oder bei Gasversorgungsunternehmen werden spezifische Sonderalarme eingesetzt. Nachstehend werden zwei beschrieben.

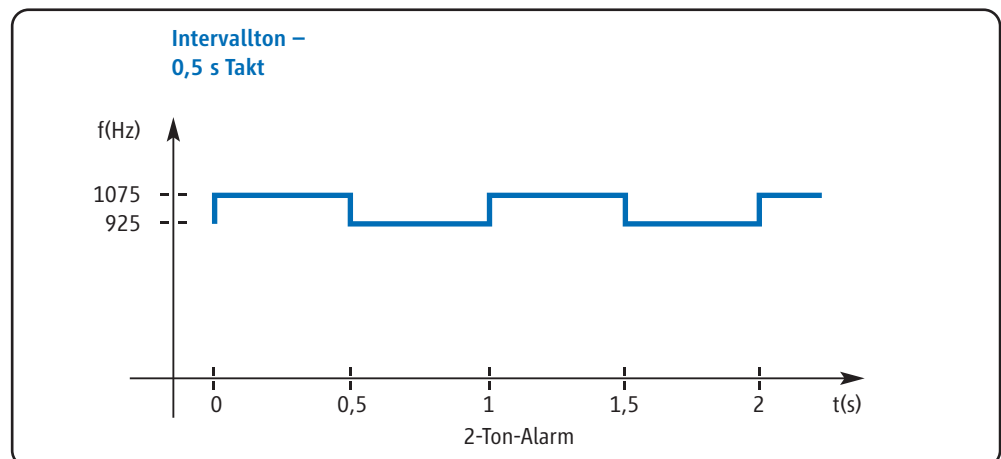
3.5.1 Slow-Whoop-Alarm

Bild 3.5.1
Slow-Whoop-Alarm



3.5.2 2-Ton-Alarm

Bild 3.5.2
2-Ton-Alarm



In dieser Information wurden die Anforderungen, insbesondere die akustischen Parameter für verschiedene Gefahrensignale beschrieben. Die Signale sollen in höchster Priorität alle Personen im Gefährdungsbereich auf eine beginnende oder schon vorhandene unmittelbare Gefahrensituation wie Feuer, Gas, Explosion, Strahlung usw. aufmerksam machen. Bei Ertönen des Signals verlassen alle Personen den Gefahrenbereich auf vorher festgelegte Weise um auf den Sammelplätzen auf weitere Anweisungen zu warten und diese dann auszuführen. Sprachdurchsagen zeigen dabei mögliche Fluchtwege auf; dieses gilt besonders für ortsunkundige Personen.

Ausgabedatum der zitierten Normen

1. Verordnung über öffentliche Schallzeichen vom 12.06.78, geändert durch VO vom 12.02.81. Verordnung wurde zurückgezogen.
2. Gefahrensignale für Arbeitsstätten
DIN 33404-3 – Gefahrensignale für Arbeitsstätten – Mai 1982
DIN EN 842 (Ersatz für DIN 33404 – Teil 2) – Optische Gefahrensignale – August 1996
3. International Maritime Organization – SOLAS – Code on Alarms and Indicators – April 1994
4. Kerntechnische Anlagen KTA 3901 – November 2004
5. Germanischer Lloyd, Berufsgenossenschaft Verkehr – Januar 2010

Der ZVEI-Fachkreis Beschallungstechnik hat einen Stick erstellt. Der USB-Stick enthält 11 Alarmsignale, 15 Gong- und Aufmerksamkeitssignale, 6 Test- und Messsignale, 17 Sprachdurchsagen in D/Engl./Frz.

4. Akustische Ein-/Nachweismessungen an Beschallungsanlagen

Einleitung

Diese ELA-Info befasst sich mit der Ein- und Nachweismessung von Beschallungsanlagen.

Zunächst werden die Einflussgrößen erklärt, danach erfolgt eine Beschreibung der grundsätzlichen Messmethodik und der elektroakustischen Leistungsdaten. Die Messung selbst soll in erster Linie dazu dienen, die Einstellparameter der Anlage zu optimieren und auf den zu beschallenden Raum anzupassen (Einmessung). In zweiter Linie kann mit einer Nachweismessung dann dokumentiert werden, dass die elektroakustische Anlage die geforderten Leistungsdaten tatsächlich erbringt.

4.1 Anforderungen an die Beschallungsanlage

Die Beschallungsanlage soll Schallquellen in Räumen so verstärken, dass diese im kompletten Zuhörerbereich nach Möglichkeit mit hoher Gleichmäßigkeit, Breitbandigkeit, Klirrarmerkeit, Störgeräuschabstand und ausreichender Sprachverständlichkeit wahrgenommen werden. Bei Veranstaltungen mit Bühnencharakter sollte auch eine entsprechende Lokalisation möglich sein.

4.2 Kernforderungen nach DIN/EN

Störgeräuschabstand > 10 dB (A), Sprachverständlichkeit $STI > 0,5$ bzw. $CIS > 0,7$.

Die Zielwerte für Breitbandigkeit (Frequenzgang), maximalen Klirrfaktor über die gesamte Signalkette, elektrischen Störgeräuschabstand über die gesamte Signalkette, Gleichmäßigkeit der Schalldruckverteilung sind in den Normen nicht eindeutig definiert! Die genannten Werte sollten, in Abhängigkeit von der Nutzungsvariante (Sprache, Musik), dem aktuellen Stand der Technik entsprechen.

4.3 Vorbedingungen zu Beginn der elektroakustischen Messung

Das vorhandene Leitungsnetz muss auf Unterbrechung und Phasenrichtigkeit geprüft sein.

Die vorhandenen Lautsprecher müssen auf Phasengleichheit, Anpassung und Impedanz geprüft sein.

Die gesamte Signalkette muss auf Brumm- und Störgeräuschfreiheit geprüft sein, alle Tests hinsichtlich Notstrom- und Havarieanforderungen müssen durchgeführt sein. Die grundsätzliche Pegelung und zeitliche Entzerrung der Komponenten (falls vorhanden) muss abgeschlossen sein.

4.4 Wichtige Einflussgrößen

4.4.1 Umgebungsgeräuschpegel

In der Regel ist eine Einmessung ohne fremd verursachte Störgeräusche nicht möglich.

Falls die Beschallungsanlage nicht unter allen Betriebsbedingungen und in allen Sprachfrequenzbereichen einen Signal-Störabstand von mindestens 15 dB gewährleistet, ist der Einfluss des Umgebungsgeräuschpegels auf die Sprachverständlichkeit zu berücksichtigen.

Mögliche Vorgehensweisen:

1. Unmittelbare Berücksichtigung des Störgeräusches während der Messung:
In der Regel muss mit Maximalpegel gemessen werden. Dies führt zwar zur Belästigung von Personen durch die Messsignale, ist jedoch die einfachste Vorgehensweise bei unkomplizierten Messbedingungen.
2. Rechnerische Berücksichtigung des Störpegels:
Messung z.B. des STI unter nicht alarmierungsrelevanten Geräuschbedingungen oder Messung eines geräuschfreien STI unter Verwendung der indirekten Methode.

Es ist eine Korrekturrechnung erforderlich, welche den gemessenen oder realistisch abgeschätzten Störgeräuschpegel einbezieht. Zum Zweck der hier beschriebenen Korrekturrechnung ist es nicht ausreichend, Einzahlenwerte für Maximalpegel und/oder Störgeräusch zu verwenden, stattdessen muss der frequenzabhängige Signal-Störabstand in allen Frequenzbändern berücksichtigt werden.

4.4.2 Nachhallzeit (RT60)

„Die Nachhallzeit hat als zentrale raumakustische Kenngröße einen wesentlichen Einfluss auf die erreichbare Qualität einer Sprachalarmanlage. Insbesondere in großen Räumen ohne ausreichende schallabsorbierende Maßnahmen wird die Nachhallzeit stark durch die Anwesenheit von Publikum beeinflusst.

Die zusätzlich durch das Publikum eingebrachte Schallabsorptionsfläche bewirkt in diesem Fall eine Verminderung der Nachhallzeit und damit eine Verbesserung der Sprachverständlichkeit. Da eine Bestimmung der Sprachverständlichkeit bei Anwesenheit von Publikum in der Regel nicht möglich ist, muss im beschriebenen Fall eine geeignete Korrektur an den Messergebnissen angebracht werden, die im unbesetzten Raum ermittelt worden sind.“ Quelle: DIN VDE 0833-4

Die in diesem Falle erforderliche rechnerische Korrektur ist in jedem Fall im Detail zu belegen. Die angewandte Methode und die durchgeführten Berechnungsschritte sind zu erläutern. Wenn die Mindestwerte für die Sprachverständlichkeit bereits im leeren Raum erreicht werden, ist eine Korrekturrechnung im Hinblick auf die Nachhallzeit in der Regel nicht erforderlich.

4.5 Kurzbeschreibung grundsätzlicher Sprachverständlichkeits-Messverfahren

Nachfolgend werden Methoden zur Bestimmung des Sprachübertragungsindex STI und seiner Derivate beschrieben.

Der STI basiert auf der Ermittlung der so genannten Modulationsübertragungsfunktion (MTF) und dessen Weiterverarbeitung in einen Einzahlenwert. Grundsätzlich gibt es zwei mögliche Ansätze: Die direkte Methode ermittelt die MTF durch direkte Bestimmung des Modulationsgrades eines speziellen Testsignals. Hierbei werden 98 verschiedene Testsignale analysiert. Bei der STIPA-Methode wird eine reduzierte Anzahl an modulierten Signalen gleichzeitig ausgesandt, welches die Messdauer erheblich verkürzt. Die übliche Messdauer bei der direkten Methode (STIPA-Verfahren) beträgt etwa 15 s je Messung. In aller Regel lässt sich sowohl der STI als auch CIS direkt als Einzahlenwert ablesen bzw. abspeichern.

Mit der indirekten Methode wird zuerst die Impulsantwort des Übertragungssystems bestimmt. Daraus lässt sich die komplexe Modulationsübertragungsfunktion berechnen. Um die Impulsantwort zu ermitteln, wird ein breitbandiges Anregungssignal (typischerweise Sweeps oder Rauschen) ausgesandt. Aus der Systemantwort kann die Impulsantwort errechnet werden.

Hierfür bietet der Markt eine Vielzahl von computerbasierten Messsystemen an, mit denen auch raumakustische Parameter bestimmt werden können.

4.6 Kurzbeschreibung Sprachverständlichkeits-Messgeräte

Handgehaltene Messgeräte erlauben eine einfache Handhabung und arbeiten in aller Regel mit der direkten Methode. Hierzu sind zwar Kenntnisse der allgemeinen akustischen Messtechnik notwendig, tiefer gehende Kenntnisse in der digitalen akustischen Messtechnik sind jedoch nicht erforderlich. Diese Methode bietet sich somit für relativ schnelle, unkomplizierte Messungen ohne Ballast an. Verfügbare Messgeräte brauchen typischerweise keine Kabelverbindung zum Signalerzeuger, sondern kommen mit batteriebetriebenen externen Signalerzeugern bzw. mit CDs oder sonstigen Speicherelementen aus.

Bei der indirekten Methode ist zur sicheren Beherrschung ein ausreichendes Hintergrundwissen der digitalen akustischen Messtechnik notwendig. Die hierzu verfügbaren Messsysteme erfordern die Justierung einer Vielzahl von Messparameter und bei Fehlbedienung können leicht fehlerhafte Werte berechnet werden. Messsysteme zur Bestimmung der Impulsantwort benötigen häufig eine Kabelverbindung zur Einspeisung des Testsignals.



4.7 Messgrößen

4.7.1 Maximaler Schalldruckpegel

Zur Messung des erreichbaren Maximalpegels ist wie folgt vorzugehen:

In die Beschallungsanlage ist ein Testsignal (Rauschen) einzuspeisen, dessen Frequenzspektrum und Crest-Faktor (ca. 12db) einem typischen Sprachsignal entspricht. Es ist die DIN EN 60268-16 hinsichtlich des Frequenzbereiches zu berücksichtigen. Für diesen Zweck stehen sprachmodulierte Rauschsignale männlich/weiblich zur Verfügung. (Enthalten auch auf dem ZVEI-USB-Stick).

Die einzelne Messung muss jeweils über einen Zeitraum von mindestens 16 s an repräsentativen Punkten des Wirkungsbereiches erfolgen, um zu gewährleisten, dass der Dauerschalldruckpegel gemessen wird und nicht ein Spitzenwert.

4.7.2 Sprachverständlichkeit

Die Sprachverständlichkeit lässt sich nicht mit einfachen Messmethoden bestimmen. Die Sprachverständlichkeit beschreibt das subjektive menschliche Empfinden, die originale Information eines gesendeten Sprachsignals am Empfangsort erkennen zu können. Zur Bestimmung der Sprachverständlichkeit existieren verschiedene subjektive und objektive Testmethoden.

4.7.2.1 Subjektive Verfahren

Diese basieren auf Hörversuchen, bei denen Wortbestandteile, Wörter oder ganze Sätze von Versuchspersonen erfasst und notiert werden müssen und anschließend hinsichtlich des Inhaltes mit dem Original verglichen werden. Diese Tests gestalten sich sehr aufwendig, können grundsätzlich aber trotzdem zum Nachweis eingesetzt werden.

4.7.2.2 Objektive Verfahren

„Diese verwenden bestimmte Modelle, um aus verhältnismäßig einfach zu messenden physikalischen Parametern eines elektroakustischen Übertragungskanal die zu erwartende subjektive Verständlichkeit vorherzusagen. Die hierzu entwickelten Modelle besitzen unterschiedliche Einschränkungen, die bei ihrer Anwendung jeweils berücksichtigt werden müssen. Objektive Messverfahren benutzen außerdem einkanalige Systemantworten zur Ermittlung der jeweiligen Kenngrößen.“ Quelle: DIN VDE 0833-4

Grundsätzlich ist deshalb ein Auftreten von Differenzen zwischen der subjektiv wahrgenommenen Sprachverständlichkeit und dem messtechnisch ermittelten Ergebnis möglich.

Der STI (Speech Transmission Index) wird aus der Modulationsübertragungsfunktion berechnet. Es ist ein Messverfahren für den Verständlichkeitsgrad. Der STI berücksichtigt als einziges Messverfahren in seiner Berechnungsmethode den Nachhall, die Störgeräusche, die Raumreflexionen und die Richtcharakteristik der Schallquelle. Aus insgesamt 98 Einzelmessungen, bei denen mit unterschiedlichen Modulationsfrequenzen die jeweilige Abnahme des Amplitudenmodulationsgrades (= Modulationsreduktion) ermittelt wird, ergibt sich durch entsprechende Gewichtung/Mittelung das Ergebnis.

Die Sprachverständlichkeitswerte sind definiert zwischen 0 (völlig unverständlich) und 1 (bestens verständlich).

4.7.3 Einflussgrößen für den STI und deren Korrelation mit dem Hörempfinden

- **Nachhall** – Wird entsprechend des Höreindruckes gut berücksichtigt
- **Störabstand** – Entspricht dem realen Empfinden
- **Echos** – Können in der Realität deutlich störender sein, als es der STI-Wert vermuten lässt
- **Frequenzgang** – Schlägt sich kaum im STI-Wert nieder, ist aber in der Praxis sehr wichtig!

4.7.4 STIPA – Sprachübertragungsindex für PA-Systeme

STIPA ist eine Unterform des STI und ergibt sich aus einem vereinfachten Verfahren zur Bestimmung der MTF, das jeweils zwei Modulationsfrequenzen in allen sieben Oktavbändern verwendet. Das Verfahren wurde speziell zur einfachen und schnellen Untersuchung von Beschallungsanlagen entworfen und ist ebenfalls in DIN EN 60268-16 beschrieben. Das STIPA-Verfahren berücksichtigt 12 oder 14 Einzelwerte zur Bestimmung der MTF. Da alle an einer Sprachübertragung beteiligten Frequenzbänder zur Analyse verwendet werden, ergibt sich für die meisten Testsituationen nur eine geringe Abweichung zum vollständigen STI. Aufgrund der reduzierten Datenmenge ist die Berücksichtigung von Verzerrungen im Zeitbereich (Echos, Verzerrungen) gegenüber dem vollständigen STI eingeschränkt. Eine Reihe von Herstellern bietet handgehaltene Messgeräte zur Bestimmung des STIPA nach der direkten Methode an.

ALcons ist das englischsprachige Akronym von Articulation Loss of Consonants, das den Konsonantenverlust bezeichnet. Der ALcons gibt als Maß des Verständlichkeitsgrades den Anteil in Prozent wieder, wie viele Worte beziehungsweise Konsonanten nicht richtig verstanden wurden. In die Berechnung des ALcons fließen unterschiedliche Faktoren wie die Nachhallzeit, der Abstand zwischen Schallquelle und Schallempfänger, das Raumvolumen, der Bündelungsgrad der Schallquelle und der Hallradius ein. Das heißt, der Nachhall und die Richtcharakteristik der Schallquellen werden zwar berücksichtigt, nicht aber die Reflexionen und die Störgeräusche.

4.8 Korrelation zwischen den Ergebnissen der verschiedenen Verfahren

Um eine einzige Maßzahl für die Anforderungen an die Verständlichkeit eines Systems anzugeben, und um die Ergebnisse verschiedener Verfahren zu vergleichen, wurde viel Arbeit zur Ermittlung der Beziehungen zwischen den Ergebnissen der verschiedenen Messverfahren aufgewendet. In den meisten Fällen sind diese Beziehungen fest etabliert und anerkannt, trotzdem enthalten sie einen Grad von Unsicherheit oder statistischer Schwankung. Daher hat es sich als notwendig erwiesen, die Ergebnisse der obigen Verfahren auf eine neue Skala zu beziehen, die als „Allgemeine Verständlichkeitsskala“(CIS: common intelligibility scale) bezeichnet wird.

4.9 Sprachverständlichkeit, wichtige Kenngrößen

Tabelle 4.9

Sprachverständlichkeit, wichtige Kenngrößen

nach: STI (speech transmission index)

nach: CIS (common intelligibility scale)

nach: ALcons (articulation loss of consonants)

nach: RASTI (rapid speech transmission Index, Wertebereich wie STI)

	Einstufung nach EN 60268-16		Wertebereich		
	schlecht	schwach	angemessen	gut	ausgezeichnet
STI	0...0,3	0,3...0,45	0,45...0,6	0,6...0,75	0,75...1
CIS	0...0,48	0,48...0,65	0,65...0,78	0,78...0,87	0,87...1
ALcons	100 %...36 %	36 %...17 %	17 %...8 %	8 %...3,6 %	< 3,6 %



4.10 Zusammenhang mit subjektiven Testmethoden

Tabelle 4.10

STI-Wert	Einstufung nach EN 60268-16	Silbenverständlichkeit in %	Wortverständlichkeit in %	Satzverständlichkeit in %
0...0,3	schlecht	0...31	0...36	0...74
0,3...0,45	schwach	32...61	37...67	75...92
0,45...0,6	angemessen	62...85	68...87	93...97
0,6...0,75	gut	86...97	88...98	98...100
0,75...1	ausgezeichnet	98...100	99...100	100

4.11 Messanforderungen

Anzahl der Messungen und Berechnung des Ergebnisses

„Die Messungen müssen an einer ausreichenden Anzahl von repräsentativen, räumlich unterschiedlichen Punkten durchgeführt werden, die für jeden Verbreitungsbereich in der Systemspezifikation ausführlich zu beschreiben sind“. Quelle: DIN VDE 0833-4

Entsprechen oder übersteigen alle räumlichen Einzelmesswerte die geforderten Grenzwerte, sind die Anforderungen als erfüllt anzusehen. Ist dies nicht der Fall, muss bezogen auf die verschiedenen räumlichen Verhältnisse, über Mittelwert und Standardabweichung eine Grenzwertbetrachtung durchgeführt werden. Bei einer Normalverteilung sollten gemäß den Regeln der Statistik 84 % der Messwerte oberhalb des Grenzwertes liegen. Falls diese Anforderung knapp verfehlt wird, sollte die Messung mit einer größeren Anzahl von Messwerten verifiziert werden. Grundsätzlich sind für jeden Raum separate Messungen durchzuführen. Räume können auch exemplarisch vermessen werden, falls sie in Bezug auf Raumakustik (auch Inventar), Abmessungen, Beschallungslösung und Geräuscheszenario identisch sind. Messpositionen sind repräsentativ auszuwählen. Positionen in unmittelbarer Nähe von Lautsprechern sind zu vermeiden. In kleinen bis mittelgroßen Räumen beträgt ein typisches Raster zur Ermittlung der Messwerte etwa sechs mal sechs Meter. In Bezug auf Raumgeometrie, Oberflächenmaterialien und Beschallungsentwurf dürfen Symmetrien zur Reduzierung der notwendigen Messpositionen ausgenutzt werden. Die Mikrofonpositionen sollten sich bei den Messungen auf der anzunehmenden Ohrhöhe befinden.

4.12 Messbericht

„Zur Dokumentation der Messergebnisse sind mindestens die nachfolgend genannten Informationen anzugeben.“

- Datum der Messungen;
- Messort (Projekt);
- angewandte Messmethode;
- eingesetzte Messgeräte;
- allgemeine Angaben zur Anzahl der Messpunkte und das dafür verwendete Raster;
- allgemeine Angaben zur raumakustischen Situation während der Messung (Besetzungsgrad);
- Angaben über besondere Umstände während der Messung;
- Angaben über gegebenenfalls durchgeführte Korrekturrechnungen;
- für die Messwerte an Einzelpositionen:

– Für die Messwerte an Einzelpositionen:

Beschreibung der Messpositionen. Testsignalpegel, Störgeräuschpegel und maximaler Sprachpegel in den Oktavbändern von 125 Hz bis 8 kHz sowie als A-bewerteter Summenpegel. Einzelmesswerte und gegebenenfalls arithmetischer Mittelwert für die Sprachverständlichkeit (CIS). Anmerkungen zu besonderen Umständen;

– für die Berechnung des Gesamtergebnisses als räumlicher Mittelwert:

Arithmetische Mittelwerte der Wiederholungsmessungen an den einzelnen Messpositionen. Räumlicher Mittelwert als arithmetischer Mittelwert \bar{L}_{AV} über alle Messpositionen, die Standardabweichung σ sowie Mittelwert minus Standardabweichung $\bar{L}_{AV}-\sigma$ “

Quelle: DIN VDE 0833-4

4.13 Checkliste

Zum Abschluss soll in Form einer kurzen Checkliste noch einmal die schrittweise Vorgehensweise bei der Einmessung einer Beschallungsanlage dargestellt werden. Die beschriebene Reihenfolge sollte im Hinblick auf die Vermeidung von Folgefehlern eingehalten werden.

1. Funktionskontrolle der Komponenten
2. Polaritätsprüfung durch die gesamte elektroakustische Kette (Eingang Regiepult bis Lautsprecher)
3. Prüfung der Impedanz der Lautsprecher/Lautsprecherlinien, möglichst über den ganzen Frequenzbereich
4. Prüfen und Optimieren der Anlagenparameter bezüglich Pegel und Laufzeiten
5. Prüfung und gegebenenfalls Korrektur der Schallpegelverteilung und des Frequenzganges im Zuhörerbereich
6. Gehörmäßige Überprüfung der fertig parametrierten Anlage auf Gleichmäßigkeit, Brumm- und Rauschfreiheit, Klirrfaktor, Übersprechen, vom Mikrofon bis zum Lautsprecher mit Tonkonserven und im Mikrofon Live Betrieb
7. Prüfung und Dokumentation des Übertragungsbereiches
8. Prüfung und Dokumentation des erreichbaren Maximalpegels
9. Prüfung und Dokumentation der Sprachverständlichkeit



5. Erdung und Schirmung

Einleitung

Wie in jedem elektronischen System können sich auch in elektroakustischen Anlagen Störeinflüsse auswirken. Diese verursachen in den seltensten Fällen den Ausfall einer Anlage, sondern führen meist zu Fehlerbeschreibungen wie:

- Die Anlage brummt, rauscht oder knackt
- Die Verstärker werden zu warm, obwohl sie nicht ausgereizt werden
- Funkdienste sind im Hintergrund hörbar
- Übersprechen von Sprache oder Musik hörbar
- Elektrische Störungen von Lichtsteuerungen oder Phasenanschnittsteuerungen sind im Lautsprecher hörbar

Die häufigsten Ursachen, die zu derartigen Fehlern führen, sind Störeinwirkungen auf Kabel oder Teile der Beschallungsanlage.

Die Störsignale können nicht immer beim Verursacher verhindert werden, ihre Einwirkungen auf die Anlage lassen sich jedoch bei sachgemäßer Erdung und Schirmung meist wesentlich reduzieren oder ganz vermeiden.

Nachstehende Ausführungen sollen Kenntnis über Entstehung und Vermeidung möglicher Störungen vermitteln.

5.1 Störarten und deren Erzeuger

Störungen können auf unterschiedliche Art auf Beschallungsanlagen einwirken. Da für die Tonübertragung Wechselspannungen bzw. -ströme im Bereich von 50 bis 20.000 Hz genutzt werden, entstehen keine hörbaren Störungen durch Gleichspannungs-/Gleichstromsignale. Aus diesem Grund wirken sich nur wechselnde bzw. impulsartige Störsignale aus, die durch Wechselspannungen/Wechselströme oder geschaltete Gleichspannungssignale erzeugt werden.

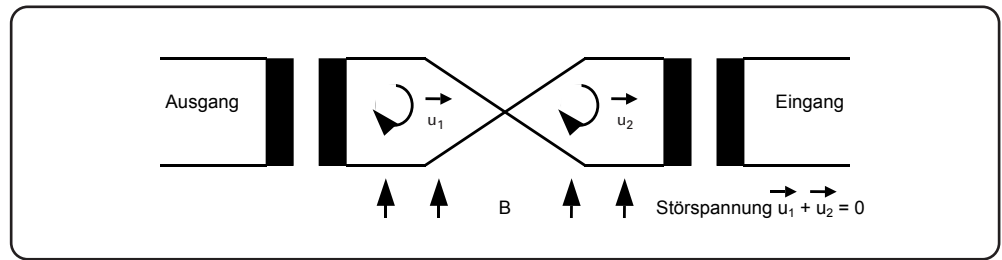
Die Einwirkung auf die Beschallungsanlage kann dabei durch magnetisch-induktive (Strom) oder kapazitiv-elektrische Felder (Spannung) und somit auch durch elektromagnetische Felder, wie hochfrequente Radiowellen, erfolgen. Derartige Felder werden z.B. von allen Wechselstromverbrauchern, Netzkabeln, insbesondere von Transformatoren, Thyristorsteuerungen, aber auch von Gleichstrommotoren und Hochfrequenz verursacht und können von den Anschluss- und Verbindungskabeln der Beschallungsanlage aufgenommen werden.

Störungen können auch in Form von Oberwellen im Starkstromnetz über elektrische oder magnetische Felder des Netzkabels der Beschallungsanlage selbst und über deren Netzteil in die Anlage gelangen.

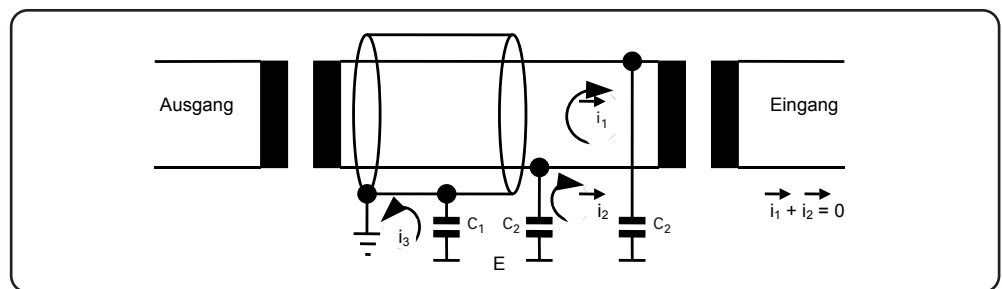
5.2 Abschirmung von Störfeldern

Verbindungsleitungen in Beschallungsanlagen werden, soweit es sich nicht um hochpegelige Lautsprecherleitungen handelt, grundsätzlich geschirmt und in symmetrischer Technik ausgeführt. Bei der symmetrischen Technik wird ein hohes Maß an Störunterdrückung erreicht, da für die Übertragung des Tonsignals zwei Tonadern ohne Massebezug verwendet werden. Durch die räumliche Nähe und gemeinsame Abschirmung wirken sich Störfelder auf beide miteinander verdrehte Adern gleich aus und haben daher nur eine geringe Auswirkung.

Die magnetische Induktion erfolgt gleichmäßig, jedoch gegenphasig auf beide dicht beieinander liegenden, verdrehten Tonadern. Dadurch heben sich die in der Verbindung induzierten Störspannungen gegenseitig auf.



Die kapazitiv-elektrische Einstreuung erfolgt ebenfalls gleichmäßig gegenphasig auf beide Tonadern, wodurch sich Störspannungen aufheben. Darüber hinaus reduziert eine zusätzliche, wechsellspannungsmäßig mit Erdpotential verbundene Abschirmung den Einfluss von kapazitiven Feldern auf die Tonadern.



Besonders stöempfindlich und damit ungeeignet sind unsymmetrische Verbindungen. Bei diesen dient die verstärkerinterne Masse als Bezugspotential der Tonleitung. Sie wird als zweite Tonader allgemein als Abschirmung der Tonleitung mitgeführt und verbindet die Bezugspotentiale zweier Geräte. Durch die Verbindung der Massen dieser Geräte über eine weitere Leitung, wie z.B. über die Stromversorgung oder Schutzleiter, ergibt sich eine Masseschleife. Wird die umschlossene Fläche dieser Schleife von magnetischen Wechselfeldern geschnitten, kommt durch die magnetische Induktion ein Stromfluß in der Schleife zustande. Dieser bewirkt über den Leitungswiderstand der Masse eine Wechsellspannungsänderung zwischen den beiden Verstärkermassen und verursacht eine Störung, die allgemein als 50 Hz-Brummen bekannt ist.



Magnetische Wechselfelder werden z.B. von Transformatoren, aber auch von allen stromführenden Kabeln erzeugt. Die Störeinstreuung kann auch kapazitiv auf nicht abgeschirmte Leitungen, Leitungsenden oder Anschlüsse erfolgen. Wechsellspannungsführende Netzkabel – aber auch Tonfrequenzleitungen – erzeugen kapazitiv-elektrische Felder, die auf ungeschirmte Teile von Verbindungsleitungen übersprechen können. Dies wirkt sich umso stärker aus, je höher Spannung und Frequenz auf der störenden Leitung sind. Die Störfelder werden zwar durch die Ein- bzw. Ausgangsimpedanz von Tonfrequenzverstärkern bedämpft, können aber nur durch konsequente Abschirmung bzw. symmetrische Leitungstechnik wirksam verringert werden.



Ähnlich den magnetischen und kapazitiven Einstreuungen können sich elektromagnetische Wellen (Radiowellen) auswirken. Sie können einerseits einen induktiv bedingten Stromfluss in Masseschleifen bewirken und andererseits kapazitiv auf ungeschirmte Leitungsteile, die als Antenne wirken, einstrahlen. Durch die hohe Frequenz dieser Wellen kann es jedoch nur zu hörbaren Störungen kommen, wenn derartige hochfrequente, modulierte Spannungen an einer nichtlinearen Kennlinie, wie z.B. von einem Transistor im Verstärker, demoduliert werden.

5.3 Auswirkungen von Störungen auf Beschallungsanlagen

Die zuvor beschriebenen Störungen werden meist durch Masseschleifen in Verbindungsleitungen und ungenügende Abschirmungen ausgelöst. Hierdurch kann es zu Einstreuungen, wie z.B. Brummen und Schalterknacken in der Beschallungsanlage kommen, und daher das Nutzsignal hörbar beeinträchtigt werden.

Schalter in der Beschallungsanlage können von sekundären Strömen durchflossen werden, welche beim Schalten deutliche "Knackgeräusche" verursachen. Es kann zum Übersprechen benachbarter Verstärkerzüge in der Anlage kommen, wodurch die Modulation eines Kanals in einem Weiteren hörbar wird. Besonders kritisch können Brummen, hochfrequente Störungen und auch Schwingen von Leistungsverstärkern sein, wenn diese dadurch ständig zusätzlich Leistung an das Lautsprecheretz abgeben und sich ungewollt erhitzen.

5.4 Aufbau von Beschallungsanlagen

Grundsätzlich sollte in Beschallungsanlagen konsequent der Aufbau von Masse- und Schutzleiterschleifen vermieden werden. Hierzu gehört auch, dass Tonfrequenzverstärker nur an einem Punkt mit der Anlagen-Masse verbunden werden und die Schirme von Verbindungsleitungen zweier Geräte nur einseitig – vorzugsweise an der Empfängerseite – aufgelegt werden.

Netzverteilungen mit Kabeln zu mehreren miteinander verbundenen Anlagen sollten niederohmig sternpunkt förmig aufgebaut werden und vom Sternpunkt aus niederohmig an die Hauserde angeschlossen sein.

Bei der Verkabelung der Anlage sollten selbst geschirmte Leitungen unterschiedlicher Pegel, z.B. Mikrofonpegel und Hochpegel, stets voneinander getrennt verlegt werden. Tonleitungen sollten weitab von Netzleitungen verlegt werden.

Es ist das Prinzip zu beachten, dass möglichst die Quelle einer Störung magnetisch bzw. elektrisch (statisch) abgeschirmt wird. Bei dennoch bestehender Gefahr von Störeinstreuungen sind evtl. weitere Störschutzmaßnahmen wie z.B. Verlegung von Kabeln in Stahl oder Kupferrohren oder Verwendung von PIMF Kabeln für Tonleitungen in Betracht zu ziehen.

Immer mehr Hersteller haben ihre Systeme auf digitale Signalverarbeitung umgestellt und auch die Einzelkomponenten auf digitale Kommunikation umgerüstet. Die Verkabelung erfolgt in der Regel mit geschirmten Leitungen, die meist längenbegrenzt sind. Größere Entfernungen erfordern Übertragungsmedien, wie z.B. Glasfaserleitungen oder Datennetzwerke. Durch diese Art der Verkabelung wird der Installationsaufwand reduziert.

6. Energieversorgung von elektroakustischen Alarmiereinrichtungen

Die Leistungsgemeinschaft Beschallungstechnik hatte 1989 die ELA-Info Ersatzstromversorgung herausgegeben. Sie beschrieb Stromversorgungen für allgemeine Beschallungsanlagen und für Anlagen, die zur Alarmierung als Teil von Gefahrenmeldeanlagen eingesetzt wurden. Inzwischen sind weitergehende Normen auf nationaler und internationaler Ebene erschienen. Dadurch sind auch die Anforderungen an die Energieversorgung gestiegen. Darauf wird im nachfolgenden Text eingegangen.

Werden Beschallungsanlagen zur Alarmierung als Sprachalarmanlagen (SAA) oder als Elektroakustische Notfallwarnsysteme (ENS) eingesetzt, so müssen sie ständig betriebsbereit sein. Nur dann können sie ihre Aufgaben erfüllen: Schutz und Sicherheit von Menschenleben im Gefahrenfall.

Ständige Betriebsbereitschaft heißt, SAA/ENS arbeiten auch bei Netzausfall oder Netzunterbrechung bestimmungsgemäß.

Anmerkung: Zu SAA und ENS siehe entsprechende Publikationen der Leistungsgemeinschaft Beschallungstechnik, in denen Technik und normative Forderungen dieser Anlagen beschrieben werden.

Allgemeine Hinweise

Energieversorgungen (EV) für SAA/ENS verfügen über mindestens zwei Quellen, einen Netzanschluss (Wechsel- oder Drehstrom) im Dauerbetrieb als Hauptenergiequelle die an einem eigenen Stromkreis betrieben wird und zusätzlich einer Ersatzstromquelle als Notversorgung, wenn das Netz ausfällt. Diese Ersatzstromversorgung kann entweder nur aus Batterien oder aus einer Netzersatzanlage (NEA), d.h. einer Kombination aus Batterien, Diesel und Generator bestehen. Zur Ersatzstromquelle gehören auch immer Ladegeräte, die die Batterien wieder aufladen.

Seltener werden USV's (Unterbrechungsfreie Stromversorgungen) bei normalen Beschallungsanlagen eingesetzt. Bei SAA müssen als Ersatzstromversorgung immer Batterien eingesetzt werden. Bei größeren Anlagen können Batterien in Kombination mit Netzersatzanlagen eingesetzt werden. Nicht zulässig ist bei Gefahrenmeldeanlagen der so genannte Pufferbetrieb, d.h. die Mischversorgung aus Batterie und Ladegerät trotz voll intaktem Netz.

Bei einer Ersatzstromversorgung, die aus wiederaufladbaren Batterien besteht, muss die Batteriekapazität so bemessen sein, dass die gesamte Anlage über die geforderte Alarmierungszeit (mindestens 0,5 h) und Überbrückungszeit (bis 60 h) versorgt werden kann. Besteht die Ersatzstromversorgung aus einer NEA, so ist die Batteriekapazität gemäß der Norm DIN VDE 0833-4 auf einen Betrieb von 4 Stunden auszulegen.

6.1 Sprachalarmanlagen (SAA)

Für Aufbau und Betrieb von SAA gilt die nationale Anwendungs-Richtlinie DIN VDE 0833-4, die seit September 2007 gültig und in Kraft ist.

Seit dem 1. August 2009 dürfen nur noch Energieversorgungen für Sprachalarmzentralen (SAZ) in den Markt gebracht werden, die der Norm EN 54-4 entsprechen, d.h. die dafür verwendeten Geräte müssen von zugelassenen Prüfinstituten geprüft und mit einer entsprechenden CE-Kennzeichnung einschließlich Prüfnummer versehen sein.

Sie müssen so dimensioniert sein, dass die geforderte Funktion der SAA gesichert ist. Der Ausfall jeder einzelnen Energiequelle muss als Störung erkannt und angezeigt werden.

Bestimmungsgemäß gilt die EN 54-4 für EV von Brandmeldeanlagen (BMA). Da der Energiebedarf von großen SAA im Verhältnis zu BMA sehr viel höher sein kann, sind Anpassungen in diesen Fällen erforderlich.



6.1.1 Berechnung des Energiebedarfs

Die SAA muss mindestens 30 h in der geforderten Funktion durch die EV versorgt werden können. Die Überbrückungszeit durch Batterien bei der Versorgung durch eine Netzersatzanlage (NEA) ist für 4 h auszuliegen. Für die Berechnung der EV sind in den Normen entsprechende Rechenmethoden angegeben. Zu berücksichtigen ist dabei eine Alarmierungszeit von mindestens 0,5 h, in der der höchste Leistungsbedarf besteht, zusätzlich zur Überbrückungszeit, in der die SAA im Standby-Betrieb läuft. Für die Bemessung ist zusätzlich die DIN VDE 0833-1 zu berücksichtigen.

Ist eine stufenweise Räumung eines Gebäudes gefordert, so kann bzw. muss die EV entsprechend angepasst werden.

Berechnung der erforderlichen Kapazität K in Ah der regenerierbaren Energiequelle:

$$K = 1,25 (I_1 \times t_1 + I_2 \times t_2) \text{ in Ah}$$

t_1 Überbrückungszeit (h)

t_2 Alarmierungszeit (h)

I_1 Gesamtstrom, der ausfallgefährdeten Energiequelle (A)

I_2 Gesamtstrom während der Alarmierung (A)

Der Faktor 1,25 hat nur Gültigkeit bei Überbrückungszeiten kleiner 24 h.

Für die Berechnung der Stromaufnahme während der Übertragung des einheitlichen Notsignals können ca. 50 % angenommen werden. Die Alarmierungszeit muss der doppelten Räumungszeit eines Gebäudes entsprechen, mindestens jedoch 0,5 h.

6.1.2 Batterien

Grundsätzlich sind verschlossene Batterien mit festgelegten Elektrolyten zu verwenden, die eine Lebensdauer von mindestens vier Jahren haben. Diese müssen ungebraucht und dürfen nicht länger als ein Jahr gelagert worden sein, vom gleichen Hersteller, außerdem typengleich, gleiche Kapazität und gleiche Spannung sowie gleiches Herstellungsdatum. Nur unter diesen Voraussetzungen ist eine Reihen- oder Parallelschaltung zulässig.

Maximal drei Batterien dürfen parallel an eine Ladeeinrichtung angeschaltet werden. Dabei muss jede Batterie eine Kapazität von mindestens 36 Ah haben oder sie müssen separat überwacht und gegenseitig entkoppelt sein.

Eine Reihenschaltung von Batterien ist bis zu einer maximalen Zellenzahl von zwölf Zellen erlaubt. Eine Reihenschaltung von mehr als zwölf Zellen ist zulässig, wenn durch geeignete Maßnahmen eine gleichmäßige Spannungsverteilung erfolgt. Maximal zwei dieser Reihenschaltungen dürfen parallel geschaltet werden.

Starterbatterien dürfen nicht eingesetzt werden. Außerdem dürfen vorhandene Batterieanlagen, die auch andere Anlagen versorgen, nicht verwendet werden.

6.1.3 Ladegerät

Das Ladegerät muss so ausgeführt und ausgelegt sein, dass:

- die Batterie automatisch aufgeladen werden kann,
- eine bis auf ihre Entladeschlussspannung entladene Batterie innerhalb von 24 Stunden bis auf mindestens 80 % und innerhalb weiterer 48 Stunden bis auf 100 % der Nennkapazität aufgeladen werden kann,
- die Ladecharakteristik innerhalb der vom Batteriehersteller angegebenen Festlegungen für den Umgebungstemperaturbereich liegt.

Die Batterie darf sich nicht durch das Ladegerät entladen, wenn die Ladespannung unter der Batteriespannung liegt, abgesehen von Strömen, die zur Überwachung der Batterie gehören.

6.1.4 Störungen

Die EV muss folgende Störungen erkennen und melden können:

- Ausfall der Hauptenergiequelle,
- Ausfall der Ersatzenergiequelle,
- Verringerung der Batteriespannung auf weniger als 90 % der Entladeschlussspannung,
- Ausfall des Ladegerätes.

Ist die EV in einem von der Sprachalarmzentrale (SAZ) getrennten Gehäuse angeordnet, muss mindestens ein Ausgang zur Weiterleitung der oben genannten Störungsmeldungen vorgesehen sein. Ist die EV im gleichen Gehäuse wie die SAZ angeordnet, müssen die oben genannten Störungen in Übereinstimmung mit der EN 54-2 entweder an der Brandmelderzentrale (BMZ) oder der EV selbst angezeigt werden.

6.2 Elektroakustische Notfallwarnsysteme (ENS)

Für ENS gilt die Norm VDE 0828 vom Mai 1999. Diese Norm beschreibt das komplette System, also Geräte einschließlich der Installation zur funktionsfähigen Anlage. Deshalb können einzelne Produkte allein die Forderungen der Norm nicht erfüllen.

Nachdem die Norm DIN VDE 0833-4 gültig wurde, werden ENS nur noch für solche Alarmierungsanlagen geplant und projektiert, die nicht von einer BMA ausgelöst werden und damit auch keine Verbindung zur BMA haben. Das sind alle Projekte, in denen die Evakuierung von einer Sicherheitsleitstelle oder einer ständig besetzten Stelle ausgelöst werden und nicht von einer Brandmeldeanlage.

Zur Hilfestellung bei Planung und Projektierung von ENS kann – bis es eine neue europäische Norm gibt, die die VDE 0828 und die DIN EN 60849 ersetzen – auf die Beschreibungen und technischen Forderungen in der Norm DIN VDE 0833-4 angepasst zurückgegriffen werden.

6.2.1 Hauptstromversorgung

Netzbetriebene Geräte und Anlagenteile sollen zum Betrieb am Einphasen-Wechselstromnetz (230 V / AC – 50/60 Hz) oder am Dreiphasen-Wechselstromnetz eingerichtet sein. Bei Betrieb an einem Dreiphasen-netz ist auf gleichmäßige Belastung der Phasen zu achten.

6.2.2 Ersatzstromversorgung

Muss ein Gebäude aufgrund des Ausfalls der Hauptstromversorgung geräumt werden, so ist die Reserve-stromversorgung für eine Zeitspanne auszulegen, die gleich der doppelten Räumungszeit ist, die von einer zuständigen Behörde festgelegt wurde.

Muss ein Gebäude nach einem Fehler in der Hauptstromversorgung nicht geräumt werden, so ist die Reservestromversorgung für 24 h auszulegen, steht ein Notstromaggregat zur Verfügung, dann für 6 h.

Für ENS ist zusätzlich zur Hauptstromversorgung der Betrieb mit einer Ersatzstromversorgung erforderlich. Ersatzstromversorgungen können Batterien, Netzersatzanlagen NEA (Diesel), oder eine Kombination sein. Aus der Norm VDE 0828 geht hervor, welche Zeiträume bei Netzausfall für Stand-by und Vollastbe-trieb überbrückt werden müssen. Die Geräte müssen in der Lage sein, einen bestimmungsgemäßen Betrieb zu gewährleisten.



Anforderungen an Batterien und Ladegeräte:

- Wartungsfreie Batterien
- Aufladevorgang muss innerhalb 24 h zu 80 % abgeschlossen sein
- Ladegeräte mit Tiefentladeschutz und Überladungsschutz
- Ladegerät mit Ausgleich der Temperaturschwankungen der Batterie
- Störmeldungen intern und extern
- Steuerung intern und extern

Wird das ENS im Mehrfachnutzen betrieben, so dürfen nur Notfallfunktionen an die Reservestromversorgung angeschlossen werden.

Batterien der Reservestromversorgung müssen Sekundärbatterien mit einer automatischen Ladeeinrichtung sein. Das Ladegerät muss eine temperaturabhängige Ladestromkompensation enthalten.

Anmerkung: In der Norm DIN VDE 0833-4 für Sprachalarmanlagen muss die Energieversorgung der EN 54-4 entsprechen. Nach diesen Anforderungen können prinzipiell auch ENS geplant und projiziert werden.

7. Literaturverzeichnis

Verfasser	Titel	Verlag
1. Deutsche Titel		
Ahnert, W.	Beschallungstechnik	S. Hirzel Verlag, Stuttgart 1993
Steffen, F.		ISBN 3-7776-0496-8
Blauert, J.	Räumliches Hören	S. Hirzel Verlag, Stuttgart 1974
		ISBN 3-7776-0250-7
Cremer, L. Müller, H.	Die wissenschaftlichen Grundlagen der Raumakustik	S. Hirzel Verlag, Stuttgart 1978/76
	Bd. 1 Geometrische/Statistische/ Psychologische Raumakustik	ISBN 3-7776-0315-5
	Bd. 2 Wellentheoretische Raumakustik	ISBN 3-7776-0317-1
Fasold, W. Veres, E	Schallschutz und Raumakustik in der Praxis	Verlag Bauwesen, Berlin 2. Auflage 2003 ISBN 3-345-00801-6
Feldtkeller, R. Zwicker, E.	Das Ohr als Nachrichtempfeänger	S. Hirzel Verlag, Stuttgart 1967 ISBN 3-7776-0104-7
Heckl, M. Müller, G.	Taschenbuch der technischen Akustik	Springer Verlag, Berlin 1994 3. erw. u. überarb. Auflage 2004 ISBN 3-540-41242-7
Helmholtz, H.	Die Lehre von den Tonempfindungen als physiologische Grundlage für die Theorie der Musik	Friedr. Vieweg und Sohn, Braunschweig 1865, Nachdruck: Vdm Verlag Dr. Müller Saarbrücken, 1. Auflage 2007 ISBN 3-8364-0606-2
Meyer, J.	Akustik und musikalische Aufführungspraxis	Verlag Erwin Bochinsky Frankfurt 1995, 5. Auflage 2004 ISBN 3-932275-95-1
Veit, I.	Technische Akustik	Vogel Verlag, Würzburg 1996 6. Auflage 2005 ISBN 3-8343-3013-0
Weinzierl, S.	Handbuch der Audiotechnik	Springer Verlag, Berlin 2008 ISBN 3-540-34300-4
Zwicker, E. Zollner, M.	Elektroakustik	Springer Verlag, Berlin 1993 3. Auflage 2003 ISBN 3-540-64665-5



Verfasser	Titel	Verlag
2. Vergriffene Titel (evtl. noch antiquarisch zu erwerben)		
Ahnert, W. Reichardt, W.	Grundlagen der Beschallungstechnik	S. Hirzel Verlag, Stuttgart 1981
Albrecht, F.-W. Mayer-Fasold, C. Veit, I.	Beschallungstechnik	Expert Verlag, Ehningen 1995
Boye, G. Hermann, U. F.	Handbuch der Elektroakustik	Hüthig Buchverlag, Heidelberg 1989
Fasold, W. Sonntag, E. Winkler, H.	Bau- und Raumakustik	Rudolf Müller Verlag, Köln
Fasold, W. Kraak, W. Schirmer, W.	Taschenbuch der Akustik	VEB Verlag Technik, Berlin 1984
Kammerer, E.	Technische Elektroakustik	Siemens AG, Berlin 1975
Kraak, W. Schommartz, G.	Angewandte Akustik Band 1 und 2	VEB Verlag Technik, Berlin 1988
Kraak, W. Weißling, H.	Schallpegelmeßtechnik	VEB Verlag Technik, Berlin 1970
Meyer, E. Neumann, E.-G.	Physikalische und technische Akustik	Friedr. Vieweg und Sohn, Braunschweig 1967
Petzold, H.	Grundlagen der Beschallungstechnik Bd. 1 – Allg. Anl. Techn. Bd. 2 – Allg. Anl. Techn. Bd. 4 – Elektroakustik	VEB Fachbuchverlag, Leipzig 1957
Reichardt, W.	Grundlagen der technischen Akustik	Akademische Verlagsgesellschaft Geest und Portig, Leipzig 1968
Reichardt, W.	Gute Akustik – aber wie?	VEB Verlag Technik, Berlin 1979
Rieländer, M. R.	Reallexikon der Akustik	Verlag Erwin Bochinsky, Frankfurt 1982
Stauder, W.	Einführung in die Akustik	Verlag Heinrichshofen, Wilhelmshaven 1980
Verfasser	Titel	Verlag
3. Englische Titel		
Davis, D. Davis, C.	Sound System Engineering	Focal Press, 2. Auflage 1997 ISBN 0-240-80305-1
Houtgast, T. Steeneken, H.	Past, present and future of the Speech Transmission Index	TNO Human Factors, ISBN 90-76702-02-0
Skudrzyk, E.	The Foundation of Acoustics	Springer Verlag, Wien 1971 ISBN 3-211-80988-0

8. Gebräuchliche Begriffe, Definitionen

Gebräuchliche Begriffe in der Beschallungstechnik (gemäß DIN)

Begriff	Zeichen	Einheit
8.1 Raumakustik		
Nachhallzeit*	T_n	s
Hallradius*	r_H	m
Raumvolumen	V	m^3
Raumgrenzflächen-Anteil	S	m^2
Äquivalente Schall-Absorptionsfläche (= offenes Fenster e S-d)*	A	m^2
Resonanzfrequenz	f_r	0...
Schallabsorptionsgrad*	α	Hz
8.2 Schall		
Schallgeschwindigkeit	c	m/s
Schalldruck in Pascal*	p	Pa
Schalldruckpegel, unbewertet	L	dB
Schalldruckpegel bewertet (A...D)	L	$L_A = 99,9$ dB
Lautstärkepegel	L_N	phon
Schallintensität*		W/m^2
Schalleistung*	W	W
Direktschallpegel	L_{dir}	dB
Diffusionsschall	L_{diff}	dB
Nutzschallpegel	L_{nutz}	dB
Störschallpegel	$L_{stör}$	dB
Stör-/Nutz-Verhältnis	S/N	dB
Schall-Laufzeit	t	ms
Schall-Laufzeitdifferenz	Δt	ms
8.3 Sprachverständlichkeit		
Artikulationsverlust für Konsonanten*	AL_{cons}	%
Sprach-Übertragungsindex	RASTI	0...1
Deutlichkeitsmaß*	C_{50}	dB
Klarheitsmaß*	C_{80}	dB
8.4 Wandler		
Mikrofon-Empfindlichkeit	E	mV/Pa
Lautsprecher-Kenn(schalldruck)pegel	L_K	dB
Horizontaler und vertikaler Öffnungswinkel	φ	Grad
Wirkungsgrad	η	%
Bündelungsgrad*		

* Diese Begriffe sind in Abschnitt 2 näher definiert (fett gedruckt)



8.5 Definitionen

8.5.1 Äquivalente Schallabsorptionsfläche A (m^2)

Schallabsorptionsfläche mit dem (gedachten) Schallabsorptionsgrad $\alpha = 1$, die den gleichen Anteil der Schallenergie schlucken würde wie die gesamte Oberfläche des Raumes und der in ihm befindlichen Gegenstände und Personen (DIN 4109 Bl. 1).

Die äquivalente Schallabsorptionsfläche wird aus den Produkten der Teilflächen S und ihrer Schallschluckgrade α_i , sowie den Produkten der einzelnen gleichartigen Gegenstände N_k und den Anteilen ΔA_k je Gegenstand zusammengesetzt.

$$A = \sum_1^i \alpha_i S_i + \sum_1^k N_k \Delta A_k$$

Näherungsweise lässt sich die äquivalente Schallabsorptionsfläche errechnen nach der Beziehung:

V = Volumen (m^3)

T_N = Nachhallzeit (s)

A = äquiv. Schallabsorptionsfläche (m^2)

$$A \approx 0,163 \frac{V}{T_N} \text{ m}^2$$

8.5.2 Bündelungsgrad γ (-)

Dimensionslose Kenngröße für Lautsprecher, die Aufschluss über die Stärke der Richtwirkung gibt.

Der Bündelungsgrad eines Lautsprechers bei einer Frequenz oder in einem Frequenzband ist das Verhältnis derjenigen akustischen Leistung, die ein ungerichteter Schallsender abgeben würde, zu derjenigen akustischen Leistung, die der gerichtete Sender in den Raum strahlt, wobei der Übertragungsfaktor des gerichteten Strahlers auf seiner Bezugsachse gleich dem des ungerichteten Strahlers ist.

Je größer der Bündelungsgrad eines (auf den Zuhörer gerichteten) Lautsprechers ist, desto geringer ist der diffuse Schallanteil am Ort des Zuhörers bei konstantem Lautsprecherabstand in einem vorgegebenen Raum, um so größer ist auch die Präsenz der Wiedergabe.

Für Lautsprecher mit rotationssymmetrischer Richtcharakteristik kann der Bündelungsgrad aus den im direkten Schallfeld ermittelten Richtungsfaktoren errechnet werden.

$$\gamma = \frac{2}{\int_0^\pi \Gamma^2(\varphi) \sin\varphi d\varphi}$$

Γ = Richtungsfaktor

φ = Winkel zwischen Schalleinfallrichtung und Bezugsachse

8.5.3 Q-Faktor Q (-)

In der angelsächsischen Literatur wird der Bündelungsgrad normalerweise mit Q bezeichnet.

8.5.4 Bündelungsmaß d (dB)

Dimensionslose logarithmische Kenngröße für Lautsprecher (und Mikrofone), entsprechend dem 10fachen dekadischen Logarithmus des Bündelungsgrades.

$$d = 10 \log \gamma \text{ dB}$$

8.5.5 Hallradius r_H (m)

Hallradius ist diejenige Entfernung von einem Punkt in einem geschlossenen Raum zum Schallsender, bei der der Schallpegel des Direktschalles gleich dem Schallpegel des Diffusschalles ist.

Für die Ermittlung des Hallradius gilt bei völlig ungerichteter Abstrahlung (z.B. kugelförmige Abstrahlung):

$$r_H \approx 0,057 \sqrt{\frac{V}{T_N}} \text{ m}$$

V = Volumen (m^3)

T_N = Nachhallzeit (s)

8.5.6 Klirrfaktor K (-)

Dimensionslos, das am häufigsten verwendete Maß für nichtlineare Verzögerungen. Der Klirrfaktor gibt an, wie stark die Summe aller Oberwellen (harmonische), die bei der Verzerrung eines sinusförmigen Signals entstehen, im Verhältnis zum Gesamtsignal steht.

8.5.7 Lautheit N (-)

Lautheit ist eine Größe der subjektiven Lautstärkebeurteilung, die angibt, wie laut ein Hörereignis empfunden wird. Als Bezugsgröße ist einem Sinuston mit der Frequenz von 1000 Hz und einem Schalldruckpegel von 40 dB willkürlich die Lautheit 1 sone zugeordnet worden.

Es gibt verschiedene Verfahren zur rechnerischen Ermittlung der Lautheit. Dabei wird zunächst die Lautheit des Schalls als diejenige Maßzahl bestimmt, welche der Empfindungsstärke proportional ist. Der zugehörige Lautstärkepegel wird über den in DIN 45631 und ISO 532 B festgelegten Zusammenhang zwischen Lautheit und Lautstärkepegel gewonnen.

Für Lautheiten über 1 sone gilt näherungsweise, dass eine Pegeldifferenz von 10 dB notwendig ist, um die Lautheit eines 1000 Hz-Tones zu verdoppeln oder zu halbieren. Für Lautheiten kleiner 1 sone sind kleinere Pegeländerungen zur Verdopplung oder Halbierung der Lautheit erforderlich.

Die Lautheit ist mit der Schallintensität über ein Potenzgesetz mit dem Exponenten $k = 0,3$ verbunden.

8.5.8 Nachhallzeit T_N (s)

Die Nachhallzeit ist eine grundlegende raumakustische Kenngröße.

Nach W. C. Sabine (1868-1919) versteht man unter der Nachhallzeit das Zeitintervall, innerhalb dessen die Schallenergie in einem geschlossenen Raum auf ihres Ausgangswertes (nach Abschalten des Schallsenders) abfällt.

Da man in der Praxis den Schalldruckpegel misst, wird die Nachhallzeit als das Zeitintervall definiert, innerhalb dessen der Schalldruckpegel um 60 dB abnimmt.

Für die rechnerische Ermittlung der Nachhallzeit gilt:

$$T_N = 0,163 \frac{V}{A} \text{ s}$$

T_N = Nachhallzeit (s)

V = Volumen (m^3)

A = äquivalente Schallabsorptionsfläche (m^2)

Neben der rechnerischen Ermittlung der Nachhallzeit kommt die Nachhallmessung in Frage.



8.5.9 Schalldämmmaß R (dB)

Grundlegend wichtige Kenngröße zur Beschreibung der Luftschalldämmung von Bauteilen (z.B. Decke, Wand, Tür, Fenster usw.). Das Schalldämmmaß ist der 10fache dekadische Logarithmus des Verhältnisses der auf den Trennelementen auftretenden Schallleistung P_a zu der von der Rückseite des Trennelements in den Nachbarraum abgestrahlten Schallleistung P_d .

$$R = 10 \log \frac{P_a}{P_d} \text{ dB}$$

P_a = auf das Trennelement auftreffende Schallleistung

P_d = von der Rückseite abgestrahlte Schallleistung

Der Wert des Schalldämmmaßes hängt in starkem Maße von der Frequenz des auffallenden Schalles ab. Im Regelfalle erhöht sich die Schalldämmung eines Trennelements mit dem zunehmenden Flächengewicht des Bauteils.

In der Praxis werden die Werte über den gesamten bauakustischen Messbereich $100 \text{ Hz} < f < 3200 \text{ Hz}$ nach standardisierten Verfahren gewichtet.

8.5.10 Schallenergiegrößen

Man versteht darunter physikalische Größen zur Kennzeichnung der in einem Schallfeld vorhandenen Schallenergie, wobei man folgende Schallenergiegrößen unterscheidet:

Schallleistung P (W)

Sie gibt Auskunft über die gesamte, innerhalb einer Zeiteinheit (1s) von einer Schallquelle nach allen Richtungen in den Raum hinein abgestrahlte Schallenergie.

Schallintensität I (W/m²)

Sie gibt Auskunft über den Anteil der Schallenergie, der durch eine bestimmte, senkrecht zur Ausbreitungsrichtung des Schalles stehende Fläche pro Zeiteinheit hindurchgeht.

Schallenergiedichte w (J/m³)

Energie des Schallfeldes pro Volumeneinheit; sie ist ein Maß zur Beschreibung der an einem bestimmten Ort des Schallfeldes vorhandenen Schallenergie.

8.5.11 Schalldruck p (Pa)

Schalldruck (genauer Schallwechseldruck) ist eine grundlegende Schallfeldgröße zur quantitativen Beschreibung von Schallfeldern in Gasen (z.B. Luft) und Flüssigkeiten. Unter dem Schalldruck versteht man den, das Schallfeld in Gasen und Flüssigkeiten bestimmenden, sich örtliche und zeitlich ändernden Wechseldruck, der dem sogenannten Ruhedruck (atmosphärischer oder hydrostatischer Druck) überlagert ist. Der vom menschlichen Ohr auswertbare Schalldruckbereich ist relativ groß. Um diesen großen Druckbereich in einer zahlenmäßig möglichst überschaubaren Form wiedergeben zu können und um andererseits gewissen Eigenschaften des Gehörs besser Rechnung zu tragen, legt man einen logarithmischen Maßstab zugrunde und verwendet in der Regel zur Kennzeichnung des in einem Übertragungsmedium vorhandenen Schalldrucks den Schalldruckpegel mit der Definition:

$$20 \cdot \log \frac{p}{p_0} \text{ dB SPL}$$

p = Effektivwert des Schalldrucks

p_0 = Bezugsschalldruck mit einem Normwert: $p_0 = 2 \cdot 10^{-5} \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$

Ebenso wie der Schalldruck ist der Schalldruckpegel nur dann eindeutig definiert, wenn die Angabe gegeben ist, wie groß das gemessene Frequenzband ist und über welchen Zeitraum die Effektivwertbildung vorgenommen würde.

8.5.12 Schallabsorptionsgrad α (-)

Schallabsorptionsgrad (oder Schallschluckgrad) ist ein quantitatives Maß für die Schallabsorption. Man versteht darunter das Verhältnis der nichtreflektierten Schallintensität zur einfallenden Schallintensität. Der Schallabsorptionsgrad ist demzufolge eine Zahl zwischen 0 (keine Absorption, sondern völlige Reflexion) und 1 (vollständige Absorption).

Es gibt zwei grundlegende Verfahren zur Ermittlung des Schallabsorptionsgrads:

1. Messung im Hallraum
Bei der Messung wird der allseitige Schalleinfall berücksichtigt.
2. Messung im Impedanzrohr
Diese Messung berücksichtigt nur den senkrechten Schalleinfall.

Der Schallabsorptionsgrad ist in starkem Maße von der Frequenz abhängig. Hinzu tritt eine Abhängigkeit vom Einfallswinkel der auftretenden Schallwelle

8.5.13 Deutlichkeitsmaß C_{50} (dB)

Ein Maß zur Beurteilung der Sprachverständlichkeit.

Dabei wird die innerhalb von 50 ms am Hörort eintreffende Schallenergie mit der später eintreffenden Schallenergie verglichen.

$$C_{50} = 10 \log \frac{\int_0^{50 \text{ ms}} p^2(t) dt}{\int_{50 \text{ ms}}^{\infty} p^2(t) dt} \text{ dB}$$

Werte $C_{50} > 0$ dB lassen hervorragende Sprachverständlichkeit erwarten.

8.5.14 Klarheitsmaß C_{80} (dB)

Ein Maß zur Beurteilung der "Klarheit" einer Musikdarbietung.

Dabei wird die innerhalb von 80 ms am Hörort eintreffende Schallenergie mit der später eintreffenden Schallenergie verglichen.

$$C_{80} = 10 \log \frac{\int_0^{80 \text{ ms}} p^2(t) dt}{\int_{80 \text{ ms}}^{\infty} p^2(t) dt} \text{ dB}$$

Werte außerhalb des Bereiches $-2 \text{ dB} < C_{80} < 12 \text{ dB}$ werden in Bühnennähe und außerhalb $-5 \text{ dB} < C_{80} < 9 \text{ dB}$ werden auf bühnenfernen Plätzen als unbrauchbar angesehen.



8.5.15 Artikulationsverlust ALcons (%)

Ein Kriterium zur Beurteilung der Sprachverständlichkeit in Räumen.

Folgende qualitative Bemessungskriterien sind gebräuchlich:

- < 5 % ausgezeichnet
- 5 - 10 % gut
- 10 - 15 % ausreichend
- > 15 % nicht ausreichend

Der ALcons in Prozent kann näherungsweise nach folgender Formel berechnet werden:

$$\text{ALcons} \approx 0,652 T_N \frac{r_{LH}^2 \cdot T_N^2}{Q \cdot V}$$

T_N = Nachhallzeit

r_{LH} = Entfernung der Schallquelle zum Zuhörer

r_R = Richtentfernung

Auch über die Beziehung:

$$\text{ALcons} \approx 262 \frac{r_{LH}^2 \cdot T_N^2}{Q \cdot V}$$

kann der ALcons näherungsweise berechnet werden.

r_{LH} = Entfernung der Schallquelle zum Zuhörer

T_N = Nachhallzeit

Q = Q-Faktor des verwendeten Lautsprechersystems

V = Volumen

8.5.16 Direktschall

Schall, der bei seinem Eintreffen an einem Hörort oder Messort als "erste Wellenfront" vom Sender (Lautsprecher) eintrifft, ohne zwischenzeitlich eine Schallreflexion an Begrenzungsflächen erfahren zu haben.

Das Einfallen der ersten Wellenfront (Direktschall) ist für die Richtungsbestimmung eines Schallsenders durch das Gehör maßgebend (Gesetz der ersten Wellenfront), während der Raumschall (Diffusschall) entscheidend zur Hörsamkeit des gesamten Raumes beiträgt.

8.5.17 Diffusschall

Schall in einem geschlossenen Raum, der bei seinem Eintreffen an einem Hörort oder Messort bereits eine oder mehrere Schallreflexionen erfahren hat.

Dabei ist insbesondere das Verhältnis des Schallenergie des direkten Schalles zu der insgesamt reflektierten Schallenergie für die Hörsamkeit eines Raumes wichtig,

8.5.18 Lautstärke

Lautstärke ist dasjenige Merkmal einer Hörwahrnehmung des Hörereignisses, welches anhand einer Skala "leise – laut" beschrieben werden kann. Die Skalierung kann auf unterschiedliche Arten erfolgen, beispielsweise durch subjektive Schätzung oder mit Hilfe des Schallpegels eines Normschalles.

8.5.19 Reflektogramm

Aufzeichnung des Schalldrucks in Abhängigkeit von der Zeit nach Schallanregung eines Raumes durch einen Impulsvorgang.

Bedingt durch die Raumbegrenzungsflächen und die Einrichtungsgegenstände in einem Raum kommt es je nach Größe des Schallabsorptionsgrades dieser Grenzflächen zu mehr oder weniger starken Schallreflexionen. In einem geschlossenen Raum erhält der Zuhörer somit neben dem direkt vom Schallsender herkommenden Anteil weitere Schallanteile, die von Reflexionen an den Grenzflächen herrühren, wobei diese Rückwürfe einmal oder mehrmals stattfinden können. Dabei treffen die reflektierenden Schallanteile, da sie einen längeren Weg zurücklegen müssen, gegenüber dem Direktschall zeitverzögert am Messpunkt ein. Anhand von Reflektogrammen lässt sich abschätzen, welche Reflexionen zur Verbesserung der Hörsamkeit (< 50 ms) beitragen und welche als schädlich anzusehen sind.

8.5.20 Richtcharakteristik

Darstellungsform für die Richtungsabhängigkeit der Schallabstrahlung als Polardiagramm, die dem Richtungsfaktor oder das Richtungsmaß als Funktion des Winkels aufgetragen ist. Die Richtcharakteristik ist meist frequenzabhängig, viele Schallquellen arbeiten nur in ihrem unteren Frequenzbereich als Kugelstrahler.

Auch bei Schallaufnehmern (Mikrofone) ist die Richtcharakteristik die Darstellung des Richtfaktors oder des Richtungsmaßes in Abhängigkeit vom Winkel gegen eine Bezugsachse (in der Regel die Symmetrieachse), wobei man hier drei grundlegende Richtcharakteristika unterscheidet:

Acht Kugel Niere (Kardioid)

8.5.21 Raumschall

Siehe auch Diffusschall. Der subjektive Eindruck der Raumgröße ist entscheidend durch das Zeitintervall zwischen Direktschall und Eintreffen der ersten Reflexionen bestimmt.

bei $\Delta t < 25$ ms entsteht ein großräumiger Eindruck

bei $\Delta t < 15$ ms entsteht ein kleinräumiger Eindruck

bei $\Delta t < 30$ ms und Einsatz des Nachhalles etwa 50 bis 60 ms verzögert, entsteht ein großräumiger und durchsichtiger Eindruck.

8.5.22 Rückkopplung

In elektroakustischen Übertragungsanlagen stellt die akustische Rückkopplung einen sehr störenden Effekt dar. Er entsteht bei Sprach- und Musikverstärkeranlagen, bei denen Lautsprecher und Mikrofon so angeordnet sind, dass eine direkte akustische Verbindung entsteht; es handelt sich hierbei um eine Mitkopplung.

Bei diesem Effekt wirkt das Signal des Lautsprechers auf das Mikrofon zurück. Bei Erhöhung der Verstärkung einer derartigen Übertragungsanlage tritt dann bei der Frequenz Selbsterregung ein, bei der der vom Lautsprecher auf das Mikrofon beschallende Pegel gleich oder größer als der ursprüngliche auf das Mikrofon beschallende Pegel ist.



Dieser Zustand macht sich durch unangenehmes Pfeifen der Anlage bemerkbar. Ist die Rückkopplungsbedingung noch nicht voll erfüllt, so werden bestimmte Frequenzbereiche des verstärkenden Schallsignals durch Nachklingen unnatürlich verändert. Dieses Nachklingen weist eine starke Klangfärbung auf, die auf die Frequenz hinweist, für die die Selbsterregungsbedingungen als erste erreicht sind.

8.5.23 Logatom (selten angewandt)

Ein mit einer einzigen sprachlichen Anstrengung hervorgebrachtes Element der Sprache in Form einer Einzelsilbe mit der Lautfolge Konsonant-Vokal-Konsonant (z.B. gul, raf, peg). Bei der Bildung der Logatome werden Buchstaben statistisch dem Alphabet entnommen, wobei aber durch Zufall entstehende, sinnvolle Silben (wie etwa "kam") aussortiert werden, d.h. es werden nur solche Silben verwendet, die keinerlei semantische Bedeutung haben. Logatome dienen der Prüfung der Silbenverständlichkeit in einem Raum. Dabei liest ein Sprecher mit guter Artikulation die Logatome fortlaufend ab und normalhörende Versuchspersonen müssen die vorgelegten Silben notieren. Als Silbenverständlichkeit bezeichnet man dann die Anzahl der richtig gehörten und richtig notierten Logatome im Verhältnis zur Gesamtzahl der dargebotenen Logatome.

8.5.24 Sprachverständlichkeit

Grundlegendes Maß für die Hörsamkeit von Sprachräumen (Konferenz-, Vortragsäle, Auditorien usw.), wobei man im Wesentlichen zwischen Silben- und Satzverständlichkeit unterscheidet.

Die für die verbale Kommunikation entscheidende Satzverständlichkeit ist normalerweise höher als die Silbenverständlichkeit, da einzelne nicht verstandene Silben aus dem Kontext häufig kombiniert werden können.

Tabelle 8.5.24
Zusammenhang
zwischen Silben- und
Satzverständlichkeit und
Hörsamkeit der Sprache

Silbenverständlichkeit	50 %	70 %	80 %
Satzverständlichkeit	90 %	95 %	100 %
Hörsamkeit	ungenügend	befriedigend	gut

Die Silbenverständlichkeit hängt grundsätzlich von verschiedenen Faktoren ab, etwa von der Nachhallzeit des Raumes, von dessen Störpegel, der Qualität des Sprechers und der Zuhörer sowie bei elektroakustischer Schallwiedergabe von der Breite des zu übertragenden Frequenzbandes. Dabei lässt die Silbenverständlichkeit mit steigender Nachhallzeit und steigendem Störpegel nach, sie nimmt hingegen zu in Abhängigkeit von der Verbreiterung des übertragenen Frequenzbandes.

8.5.25 Gesetz der 1. Wellenfront

Für das Hören in geschlossenen Räumen und für die elektroakustische Beschallungstechnik wichtige Gesetzmäßigkeit, der zufolge beim Vorliegen mehreren, vom gleichen Signal abgeleiteter Wellenfronten der Schallsender in derjenigen Richtung geortet wird, aus welcher die erste Wellenfront einfällt, und zwar unabhängig davon, aus welchen Richtungen die Wellenfront später eintreffender bzw. zeitverzögerter Signale eintreffen.

8.5.26 Haas-Effekt

Auf die grundlegenden Untersuchungen von H. Haas aus dem Jahre 1951 über den Einfluss eines Einfachechos auf die Hörsamkeit von Sprache zurückgehende Bezeichnung für bestimmte Gesetzmäßigkeiten bei der Lokalisation von Hörereignissen bei Einwirkung eines Primärsignals und eines zeitverzögerten Sekundärsignals.

Für Verzögerungszeiten zwischen 1 und 30 ms gilt, dass eindeutig der zuerst einfallende Schall für die Lokalisation des Schallsenders maßgeblich ist, und zwar völlig unabhängig davon, aus welcher Richtung der verzögerte Schall eintrifft. Erst bei Laufzeitdifferenzen bei $\Delta t > 40$ ms bemerkt man langsam das Vorhandensein von Schallreflexionen, doch ortet man nach wie vor den zuerst einfallenden Schall. Überschreitet dann die Laufzeitdifferenz eine kritische Zeitgrenze von bei $\Delta t > 50$ ms, so empfindet man Primärsignale und reflektiertes bzw verzögert abgestrahltes Signal als zeitlich und u.U. auch räumlich getrennte Signale (man spricht von einem Echo).

Der beschriebene Ortungsvorgang bleibt auch dann erhalten, wenn der Schallpegel des Sekundärsignals derjenigen des Primärsignals in gewissen Grenzen überschreitet. Im Bereich von Verzögerungszeiten $\Delta t > 10$ ms bis 30 ms kann beispielsweise der Pegel des Sekundärsignals um bis zu 10 dB über dem Pegel des Primärsignals liegen, ohne dass das Sekundärsignal lauter als das Direktsignal empfunden wird.

Bitte beachten Sie: Verschiedene Begriffe und Definitionen wurden aus Fachbüchern des vorstehenden Literaturverzeichnisses entnommen.



Von der Leistungsgemeinschaft Beschallungstechnik sind die nachstehenden Broschüren erhältlich:

- Protokoll zur Prüfung und Abnahme von Sprachalarmsystemen (SAA) und elektroakustischen Notfallwarnsystemen (ENS)
Sollten Sie eine kopierfähige Vorlage des Prüfprotokolls wünschen, wenden Sie sich bitte an uns.
- ZVEI-Merkblatt 33004:2010-12
Elektroakustische Alarmierungseinrichtungen – Erläuterungen und Ergänzungen zu Normen, rechtlichen Grundlagen und technischen Regeln
- Betriebshandbuch für elektroakustische Anlagen
- Hinweise zur Planung, Erstellung und Wartung von professionellen Beschallungsanlagen
- ZVEI-Merkblatt 33001:2010-12
Verkabelung von Sprachalarmanlagen (SAA) auf Basis der DIN VDE 0833-4 unter Berücksichtigung der Muster-Leitungsanlagenrichtlinie (MLAR)

- USB-Stick mit Alarmierungstexten in deutsch/englisch/französisch sowie verschiedene Alarmsignale

Der Fachverband Sicherheit hält eine Auswahl von Broschüren und Faltblättern der Fachkreise Brandmeldesysteme, Einbruchmeldesysteme, RWA und natürliche Lüftung, Videosysteme, Intercomsysteme und Zutrittskontrolle bereit.

Auf unserer Internetseite www.sicherheit.org können Sie unter *Publikationen* die einzelnen Broschüren teilweise kostenlos herunterladen oder die kostenpflichtigen Broschüren bei uns bestellen. Preise finden Sie im Internet.



Sicherheit

ZVEI - Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie e.V.
Fachverband Sicherheit
Lyoner Straße 9
60528 Frankfurt am Main
Fon: 069 6302-250
Fax: 069 6302-288
Mail: sicherheit@zvei.org
www.sicherheit.org