

# 1 Akustische und elektroakustische Grundlagen

Wie im Vorwort bereits erwähnt, gehören Sprachalarmanlagen der Kategorie elektroakustische Anlage an. Der Begriff beinhaltet bereits die Information, dass hier zwei Gewerke aufeinandertreffen. Somit sind Begriffe der Elektrotechnik sowie der Akustik zu verinnerlichen, um sich mit der Planung und Errichtung von Sprachalarmanlagen auseinandersetzen zu können. Dies kann durchaus zielgerichtet erfolgen, sodass nicht die komplette Wissensbandbreite der Elektrotechnik sowie der Akustik erforderlich ist, um die verhältnismäßig einfachen Zusammenhänge der Sprachalarmierung beherrschen zu können. In den ersten Kapiteln werden die Grundlagen in Kurzform vermittelt. Dies kann es, abhängig vom eigenen Ausbildungsstand, natürlich erforderlich machen, zu bestimmten Begriffen und Zusammenhängen aus den beiden Gewerken weitere Informationen erlangen zu müssen. Hierzu steht in der Regel umfangreiche Literatur zur Verfügung.

In diesem Kapitel werden daher die Grundbegriffe zum Verständnis einer Beschallungsanlage nur stichpunktartig beleuchtet.

## 1.1 Grundbegriffe der Akustik

Im Rahmen dieses Fachbuchs für Planer und Errichter von Sprachalarmanlagen (SAA) ist nicht zuletzt durch den deutlichen normativen Verweis, z. B. in der DIN VDE 0833-4:2024-06 „Festlegungen für Anlagen zur Sprachalarmierung im Brandfall“, der Raumakustik besondere Aufmerksamkeit zu widmen. Auch in anderen Normenwerken zu den Themen der Beschallung ist die maßgebliche Bedeutung der Akustik hervorgehoben worden. In diesem Abschnitt wird die eindeutige und voneinander untrennbare Abhängigkeit des Beschallungsergebnisses von der vorherrschenden Raumakustik näher beleuchtet.

Die physikalisch gegebene Verknüpfung dieser beiden Gewerke macht es unabdingbar, bei Planung und Errichtung von SAA beides gemeinsam zu betrachten. Planer und/oder Errichter übernehmen die Verantwortung zur Erreichung der geforderten Ziele. Dies ist jedoch in der Regel nicht möglich, wenn die raumakustischen Aspekte unbeachtet bleiben. Somit sind Planer und Errichter plötzlich mit in der Verantwortung, Einfluss auf die raumakustischen Gegebenheiten der zu beschallenden Räume zu nehmen. Den

meisten Planern und Errichtern wird die Erfahrung nicht fremd sein, bei Streitigkeiten über die Qualität eines Beschallungsergebnisses die Verantwortung zwischen den Gewerken für Raumakustik und Beschallung hin und her zu schieben. Diese Verlagerung der Verantwortlichkeiten wird es nach aktuellen normativen Forderungen nicht mehr geben können, weil Fachplaner und Errichter von SAA gehalten sind, die raumakustischen Parameter zu berücksichtigen. Im Besonderen für SAA sind nun normativ die einzelnen Aufgaben in Phasen aufgeteilt, in denen die Verantwortlichkeiten klar geregelt sind.

Da die Phasen aufeinander aufbauend sind, ist die jeweils zuvor abzuleistende Phase die Grundlage für die nachfolgende Phase. In der Praxis bedeutet dies, dass der Fachplaner einer SAA die Grundlagen aus der Konzeptphase erhält. Auch in der Konzeptphase sind die Fachplaner mittlerweile durch normative Festlegung verantwortlich gemacht worden. Dies bedeutet, dass ein Mitwirken in der Konzeptphase durch die Fachplaner erforderlich geworden ist und Festlegungen, wie die Sicherheitsstufe, der Beschallungsumfang oder gar die Alarmierungsbereiche, mitsamt der möglichen Ausnahmen zusammen mit den Verfassern des Brandschutzkonzepts zu erarbeiten sind. Diese Zusammenhänge wurden bereits 2020 in DIN 14675 [3] beschrieben und sind nun in DIN VDE 0833-4:2024-06 ebenfalls berücksichtigt worden.

Aus der Konzeptphase erhält der Fachplaner der SAA dann die Grundlagen für seine Planung. Sollte dieser Idealzustand tatsächlich in einem Bauvorhaben vorhanden sein, so hat der Fachplaner darauf aufbauend die komplette Verantwortung für die Planungsphase. In der Planungsphase ist die Beschallung derart detailliert zu planen, dass nach dieser Planung eine Anlage zu bauen ist und damit alle Anforderungen, auch die der Sprachverständlichkeit, erfüllt werden. Der Planer muss also die Dimensionierung der Beschallung mit allen maßgeblichen Randbedingungen vornehmen. Dazu gehört vollumfänglich die Festlegung der akustischen, also baulichen Gegebenheiten, die dazu führen, die von ihm geplante, gerechnete oder simulierte Sprachverständlichkeit zu erreichen. Es ist also für den Planer unumgänglich, sich mit den physikalischen Zusammenhängen der Akustik auseinanderzusetzen.

Vereinfacht soll an dieser Stelle davon ausgegangen werden, dass sich die Erklärungen auf einfache akustische Zusammenhänge beziehen. Das Grundverständnis dieser Zusammenhänge soll mit kurzen Erläuterungen in Erinnerung gerufen werden.

Im Kontext der Beschallung kann davon ausgegangen werden, dass akustische Quellen und Senken vom Medium Luft umgeben sind. Daher wird in diesem Zusammenhang ausschließlich die Schallausbreitung in Luft betrachtet. Schallausbreitung ist selbstverständlich auch in anderen Medien, zum Beispiel Wasser, aber auch in Festkörpern durchaus gegeben. Das Medium Luft umgibt uns mit mehr oder weniger statischem Druck, der von den atmosphärischen Bedingungen abhängt und zum Beispiel die meteorologischen Schwankungen erfährt. Dieser mehr oder weniger statische Druck wird durch die über uns befindliche Luftsäule verursacht. Der statische Druck beträgt im Schnitt auf Meereshöhe 100.000 Pa, wobei dieser durch den Faktor 100 praktikabler zum Ausdruck gebracht wird. Somit ergibt sich die Größe von 1.000 hPa. Somit kann die Analogie zu 1.000 mbar mit einfachem Verständnis hergestellt werden.

Sind nun Schallereignisse in der Lage, Schalldruckwellen zu erzeugen, kommt es in Abhängigkeit dieser Wellen zu Druckunterschieden, die zum Beispiel auf Membrane von Mikrofonen oder den menschlichen Hörorganismus einwirken. Um zu einem Hörereignis zu führen, müssen diese Schalldruckwellen im Hörfrequenzbereich liegen. Im Gegensatz zum mehr oder weniger statischen Atmosphärendruck sind die Schalldruckunterschiede, die zu einem Hörereignis führen, enorm klein. Mit typischerweise 20  $\mu\text{Pa}$  bis 20 Pa stellen sie nur einen Bruchteil des statischen Atmosphärendrucks dar. Schalldruckänderungen im Bereich von 20  $\mu\text{Pa}$  sind als Hörschwelle bei 1.000 Hz zu bezeichnen, wobei 20 Pa im Bereich der Schmerzschwelle liegen. Da es nun unpraktisch erscheint, Schalldrücke mit Pascal als SI-Einheit zu diskutieren, bietet sich eine maßgebliche Vereinfachung an. Diese besteht darin, den aktuellen / zu bewertenden Schalldruck ins Verhältnis zum Schalldruck an der Hörschwelle zu setzen und daraus den Logarithmus zu betrachten. Die Multiplikation dieses Ergebnisses mit dem Faktor 20 führt zum Ergebnis eines Schalldruckpegels  $L$  mit der Einheit dB.

$$L_{\Delta p} = 20 \cdot \log \frac{P_0}{P_n}$$

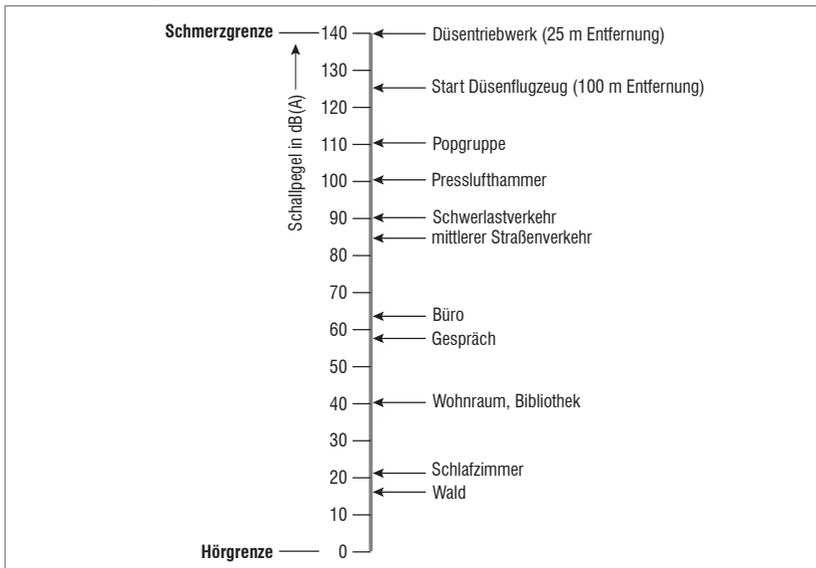
$P_0$  Relativdruck

$P_n$  Bezugsdruck (20  $\mu\text{Pa}$ )

Zur Verdeutlichung der akustischen Größe des Schalldruckpegels werden in **Bild 1.1** alltägliche Schallereignisse mit einem typischen Schalldruckpegel gegenübergestellt.

Neben dem absoluten Schalldruckpegel, passend zu bestimmten Ereignissen, ist es auch interessant zu betrachten, wie subjektiv bestimmte Änderungen des Schalldruckpegels wahrgenommen werden. **Tabelle 1.1** zeigt die Gegenüberstellung von Änderungen des Schalldruckpegels mit einer subjektiven Empfindung und einer Leistungsänderung, die zum Beispiel erforderlich wäre, um mit einer Beschallungsanlage eine derartige Veränderung des Schalldruckpegels realisieren zu können.

Besonders markant ist dabei die Feststellung, dass von den meisten normalen Hörern eine Pegeldifferenz von ca. 3 dB gerade wahrgenommen werden kann, diese Differenz jedoch entweder die halbe oder doppelte Verstärkerleistung bedeutet. Sollte also bei der Auslegung einer Beschallungsanlage der Schalldruckpegel eine maßgebliche Rolle spielen, was zum Beispiel bei der Schaffung eines Abstands zum Störgeräuschpegel erforderlich ist, so kann eine Fehlauslegung von nur 3 dB bereits über die halbe oder doppelte Verstärkerleistung entscheiden.



**Bild 1.1** Bekannte Schallereignisse

Änderung des Schalldruckpegels in dB	subjektive Empfindung	Leistungsveränderungen
3	gerade bemerkbar	doppelt
6	gut bemerkbar	vierfach
10	doppelt so laut	zehnfach
20	viermal so laut	hundertfach

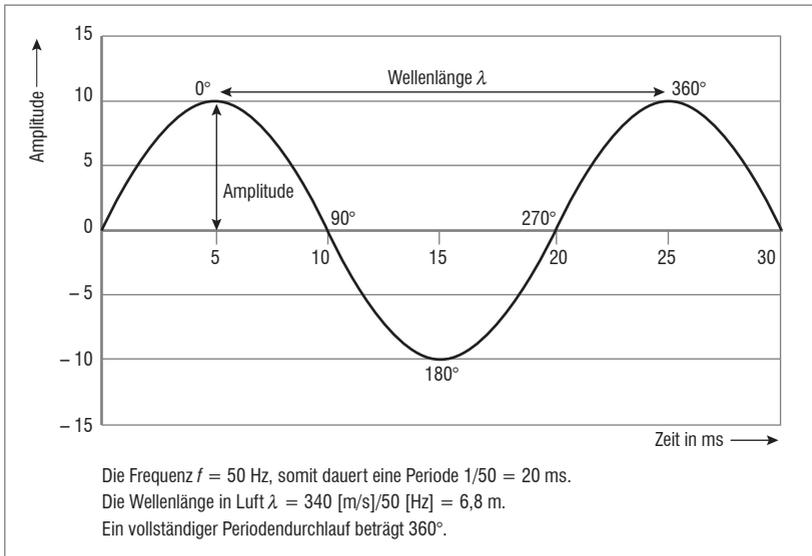
**Tabelle 1.1** Pegelunterschiede

Da für die Auslegung von Beschallungsanlagen lediglich akustische Ereignisse im Hörfrequenzbereich von Interesse sind, spielt die Frequenz des Schallereignisses eine maßgebliche Rolle. Durch die endliche Ausbreitungsgeschwindigkeit  $C$  von Schallwellen im Medium Luft besteht ein direkter Zusammenhang zwischen der Wellenlänge  $\lambda$  und der Frequenz  $f$ .

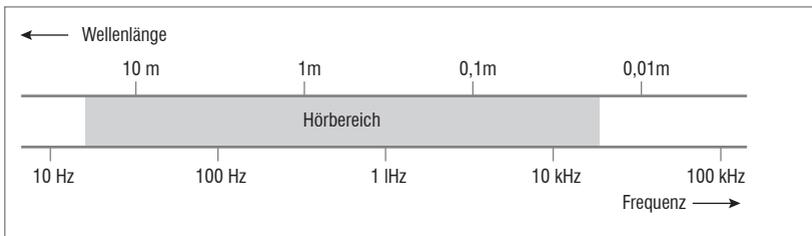
$$\lambda = C/f$$

Die grafische Darstellung einer Sinusschwingung in **Bild 1.2** verdeutlicht die Abhängigkeit zwischen Frequenz und Wellenlänge.

In **Bild 1.3** kann der Zusammenhang in Bezug auf den Hörbereich nachvollzogen werden, indem die relevanten Frequenzen den dazugehörigen Wellenlängen gegenübergestellt werden.



**Bild 1.2** Frequenz und Wellenlänge



**Bild 1.3** Hörbereich

Nun bestehen die typischen akustischen Signale, die von Beschallungsanlagen wiedergegeben werden, nicht ausschließlich aus einzelnen nacheinander auftretenden Sinusschwingungen. Vielmehr bestehen komplexe Audiosignale aus einer Vielzahl gleichzeitig auftretender unterschiedlicher Schwingungen, die eine sogenannte Hüllkurve ergeben.

Doch zunächst soll betrachtet werden, welche Ergebnisse sich einstellen, wenn zwei gleichartige Sinus-Schwingungen exakt zeitgleich übereinander liegen. Dies liegt zum Beispiel vor, wenn der gleiche Sinuston von zwei Lautsprechern übertragen wird und der Hörer / das Mikrofon exakt gleiche Abstände zu beiden Lautsprechern hat. In diesem Fall wird lediglich die Amplitude vergrößert, wodurch der Schalldruckpegel überschlägig um 3 dB steigt. Sollte nun im Gegensatz zu diesem Versuchsaufbau einer der beiden Sinustöne eine Phasenverschiebung von 180 erfahren, was zum Beispiel mit einer Umpolung erfolgen kann, so löschen sich die Amplituden theoretisch aus. Dieser Effekt wird beispielsweise bei einer aktiven Geräuschunterdrückung bei Kopfhörern verwendet, indem das Außengeräusch über Mikrofone aufgenommen wird, ein Signalprozessor die Außengeräusche mit der entsprechenden Phasenverschiebung versieht und anschließend das Signal mit angepasstem Schalldruckpegel über den Kopfhörer wiedergegeben wird. Idealerweise überlagern sich dann die originalen Außengeräusche mit den Geräuschen, die vom Kopfhörer wiedergegeben werden, sodass es zu einer erheblichen Verminderung des Schalldrucks der Außengeräusche kommt. Bei Kopfhörern in der Luftfahrt wird dieser Effekt schon seit Jahrzehnten verwendet.

In der Praxis ist beim Anschluss von sogenannten A/B-Lautsprechern auch regelmäßig festzustellen, welche Auswirkungen eine Verpolung auf das Beschallungsergebnis haben kann. Der Umstand, dass sich Schallwellen überlagern, spielt bei der Auslegung von Beschallungsanlagen also ebenfalls eine maßgebliche Rolle. Wirken zwei oder mehr Lautsprecher auf einen zu beschallenden Bereich und geben die Signale zeitgleich ab, so ist stets damit zu rechnen, dass in Abhängigkeit zur Entfernung zwischen Hörer und den Lautsprechern mal eine Addition der Amplituden und mal eine Subtraktion der Amplituden stattfindet. Dieser Effekt wird als *Interferenz* bezeichnet. Interferierende Audiosignale sind nach Möglichkeit zu vermeiden, da das eigentlich zu übertragende Audiosignal dadurch eine erhebliche Veränderung erfährt. Im Kontext der Sprachverständlichkeit stellen derartige Veränderungen in der Regel eine Verschlechterung dar. Eine gänzliche Vermeidung des gleichzeitigen Einwirkens mehrerer im Einsatz befindlicher Lautsprecher

ist in der Praxis jedoch kaum möglich, sodass die Zusammenhänge bei dezentralen Beschallungskonzepten bereits in der Planung zu ergründen sind und dabei der Schwerpunkt auf der zu erreichenden Sprachverständlichkeit liegt.

Nach den theoretischen Betrachtungen, wie sich Schallwellen ausbreiten und zu einem Hörereignis werden, ist von weiterem Interesse, wie sich derartige Prozesse in Räumen auswirken.

Um Raumakustik grundlegend zu erklären, sind mindestens eine akustische Quelle und eine akustische Senke erforderlich. Vereinfachend möge man sich als akustische Quelle ein Händeklatschen und als akustische Senke das Ohr eines Hörers vorstellen. Alternativ dazu können als akustische Quelle sämtliche schallemittierenden Körper oder Gerätschaften und als akustische Senken z.B. auch Mikrofone dienen. Bei der Schallerzeugung durch „in die Hände klatschen“ breitet sich dieses Schallereignis mit Schallgeschwindigkeit (ca. 343 m/s) aus. Durch die endliche Ausbreitungsgeschwindigkeit des Schalls im Medium Luft vergeht eine gewisse Zeit, bis nach Entstehung des Schallereignisses dieses bei der Senke (Ohr) ankommt. Im vorgenannten Beispiel kann die gerade Linie von den Händen, die das Schallereignis erzeugen, bis zum Ohr des Hörers als der Direktschallweg bezeichnet werden. Die Bezeichnung *Direktschall* lässt schon erahnen, dass es auch noch andere Schallanteile gibt.

In diesem einfachen System einer Quelle und einer Senke ist es immer der Direktschall, der zuerst bei der Senke eintrifft. Da wir uns jedoch im Raum befinden und dieser dadurch definiert ist, raumbegrenzende Flächen zu besitzen, trifft das von der Quelle erzeugte Schallereignis auch auf diese Raumbegrenzungsflächen. Unter Zugrundelegung weiterer Vereinfachungen wird der auf diese Raumbegrenzungsflächen eintreffende Schall nach geometrischen Gesetzen (Einfallswinkel = Ausfallswinkel) reflektiert. **Bild 1.4** verdeutlicht die geometrischen Gesetze, die bei der vereinfachten Betrachtung der Schallreflexionen berücksichtigt werden.

Nach einfachen oder mehrfachen Reflexionen gelangt die Schallwelle letztendlich auch zur Senke (Ohr). Vereinfachend wird die Schallwelle auch als Schallstrahl ausgelegt. Dadurch, dass die Wege, die der Schall in diesem Beispiel zurücklegt, stets länger sind als der Weg des Direktschalls, treffen sämtliche Reflexionen von den Raumbegrenzungsflächen später als der Direktschall beim Hörer ein. Das wahrgenommene Schallereignis in einem Raum setzt sich also in diesem vereinfachten Beispiel aus einem Direktschall und einem Reflexionsschall zusammen.