

Beschallungskonzepte für Freiluftveranstaltungen unter Beachtung des Immissionsschutzes

Dr.-Ing. Axel Roy
Akustik Bureau Dresden
Gußmannstr. 31, 01217 Dresden

Einleitung

Die Entwicklung der Beschallungstechnik führt dazu, dass mit relativ kompakten Lautsprecherboxen immer höhere Schalleistungen erzielbar werden. Die bei Ausnutzung dieses Leistungspotenzials erzeugten Schalldruckpegel in der Nachbarschaft von Veranstaltungsstätten bewirken immer häufiger eine Verletzung der gültigen Bestimmungen des Immissionsschutzes. Besonders kritisch sind dabei Freiluftveranstaltungen, weil hier keine Pegelminderung durch schalldämmende Gebäudehüllen wirksam ist.

Schalldruck- und Schalleistungspegel bei Freiluftkonzerten

Im Rahmen von Untersuchungen zu einer sächsischen Freizeitlärmstudie [1] wurden Pegelmessungen bei einer Vielzahl von Freiluftveranstaltungen mit Beschallung durchgeführt. Eine Zusammenfassung der dabei im Publikums (Rezeptions-)Bereich aufgenommenen äquivalenten Dauerschallpegel liefert **Abb. 1**.

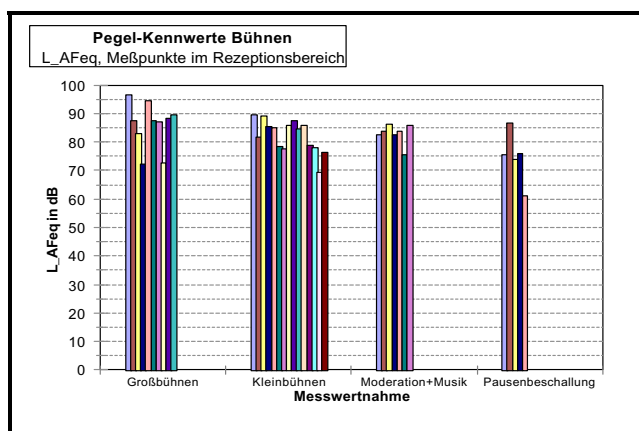


Abb. 1 : Gemessene Schalldruckpegel im Publikumsbereich

Bei den Messungen wurde jeweils über die Länge mehrerer Titel einer Darbietung gemittelt, in der Regel etwa 15 - 20 min. Die Trennung zwischen Groß- und Kleinbühnen liegt bei einer Zuschauerzahl von 1000 resp. einer Zuschauerfläche von 500 m² (Sitzplätze). An 11 Bühnen wurden dabei Pegelmessungen an insgesamt 38 Messorten vorgenommen. Neben den Pegel-Zeitverläufen wurden auch mittlere Spektren erfasst, aus denen die für detaillierte Immissionsprognosen notwendigen Oktavwerte bestimmt wurden.

Bei allen untersuchten Bühnen kam Zentralbeschallung mit Lautsprecherboxen bzw. -clustern in Links-/Rechts-Anordnung zum Einsatz. Bis auf eine Ausnahme mit geflogenen Systemen waren die Boxen auf der Bühne bzw. dem Boden angeordnet.

Aus den gemessenen Mittelungspegeln im Zuschauerbereich wurde der Schalleistungspegel der Lautsprechercluster rückwirkend aus folgender Gleichung berechnet:

$$L_{Aeq} = L_{WAeq} + DI + K_0 - 20 \cdot \log\left(\frac{s_m}{1m}\right) - 11 \text{ dB}$$

mit:

- L_{Aeq} : Mittelungspegel am Messort
- L_{WAeq} : Schalleistungspegel (Mittelwert) der Quelle
- s_m : Entfernung Schallquelle - Messort in m
- DI : Richtwirkungsmaß in dB
- K_0 : Raumwinkelmaß (+ 3dB)

Das Raumwinkelmaß wurde unabhängig von der Art der Anordnung mit $K_0 = 3 \text{ dB}$ angenommen, d.h. Halbraumabstrahlung. Für das Richtwirkungsmaß konnten aus Simulationsrechnungen mit 6 typischen Laut-

sprecheranordnungen Mittelwerte in 45°-Schritten bestimmt werden. Für Details der Vorgehensweise wird auf [1] verwiesen. Mit diesem rechnerischen Ansatz wurde der Schalleistungspegel der Lautsprecher in 1 dB-Schritten so lange variiert, bis sich für die der Bühne nächstgelegenen Messorte die beste Übereinstimmung zwischen rechnerisch und messtechnisch bestimmtem Mittelungspegel L_{Aeq} ergab. Je nach den zur Verfügung stehenden Ausgangsdaten lassen sich Prognosen für den Schalleistungspegel aus unterschiedlichen Zusammenhängen ableiten. Den genauesten Ansatz liefert die Berechnung über die zu beschallende Fläche.

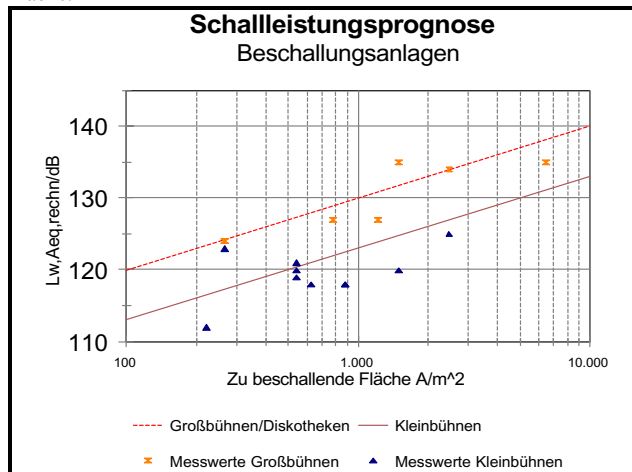


Abb. 2 : Berechnung des Schalleistungspegels aus der zu beschallenden Fläche

$$L_{WAeq} = 10 \cdot \log\left(\frac{A}{m^2}\right) \text{ dB} + 13 \text{ dB} + KG \text{ dB}$$

mit:

- A : zu beschallende Fläche in m²
- KG : Korrekturmaß Größe (entspricht L_{Aeq} am entferntesten Platz)
- $KG = 87 \text{ dB}$ (Großbühnen, Diskotheken)
- $KG = 80 \text{ dB}$ (Kleinbühnen unter ca. 1000 Besucher/ 500 m²)

Aus dem Ansatz unterschiedlicher Größenkorrekturen KG für Kleinbühnen (80 dB) sowie Großbühnen und Diskotheken (87 dB) ergibt sich eine bessere Übereinstimmung zwischen Mess- und Rechenwerten. Die Grenze für den Übergang von Klein- zu Großbühnen liegt bei einer zu beschallenden Fläche A von ca. 500 m² bzw. einer Zuschauerzahl von 1000. Die Korrekturwerte KG entsprechen dem Mindest-Versorgungspegel am entferntesten Hörerplatz. Der Wert von 80 dB(A) für Kleinbühnen stimmt gut mit früheren Literaturangaben überein. Neu ist die Steigerung um 7 dB(A) bei größeren Bühnen, wobei darunter in den untersuchten Fällen auch solche für sog. Volksmusik waren. Für die an 15 Bühnen durch eigene Messung bzw. Literaturoswertung ermittelten Schalleistungspegel ergibt sich zur Prognose über die zu beschallende Fläche eine Standardabweichung der Differenz Prognose-Messung von $\sigma = 2,6 \text{ dB}$.

Vergleich mit Richtwerten zum Immissionsschutz

Aus dem vorigen Abschnitt wird deutlich, dass schon bei kleineren Freilichtbühnen die Beschallungsanlagen Schalleistungspegel von $L_{WAeq} = 125 \text{ dB}$ und darüber erreichen können. In Hauptabstrahlrichtung ergibt sich damit an einem Immissionsort in 1 km Entfernung (z.B. Wohngebiet) bei überschlägiger Berechnung ein Mittelungspegel von $L_{Aeq} = 57 \text{ dB}$. In der folgenden Tabelle sind die geltenden Immissionsrichtwerte nach TA Lärm [2] zusammengefasst.

	Zeitraum (Uhrzeit)	Immissions-Richtwert (dB(A)) GE / MI / WA / WR	Zuschlag für kurze Spitzen (dB(A))
tags	6:00 - 22:00	65 / 60 / 55 / 50	+30
nachts	22:00 - 6:00 *	50 / 45 / 40 / 35	+20

GE: Gewerbegebiet (vorwiegend gewerbliche Anlagen)
MI: Mischgebiet (gewerbliche Anlagen und Wohnungen)
WA: Allgemeines Wohngebiet (vorwiegend Wohnungen)
WR: Reines Wohngebiet (ausschließlich Wohnungen)

* nachts ist die Stunde mit dem höchsten Pegel maßgebend

Es wird deutlich, dass durch Freiluftkonzerte erzeugte Schallimmissionen die zulässigen Richtwerte besonders nachts erheblich überschreiten können, wenn man z.B. den berechneten Mittelungspegel von $L_{w,eq} = 57$ dB mit dem Richtwert für allgemeine Wohngebiete (WA) von 40 dB vergleicht. Dabei sind noch keine Zuschläge für Impuls- und Informationshaltigkeit berücksichtigt!

Beschallungskonzepte und Immissionsschutz

Wie schon erwähnt, waren alle im Rahmen der eigenen Messungen untersuchten Bühnen mit Zentralbeschallungsanlagen in Links-Rechts-Anordnung bestückt. Wie die Situation mit kürzeren Beschallungsentfernungen durch Einsatz zusätzlicher Lautsprechergruppen verbessert werden kann, sollen die folgenden Beispiele zeigen. In **Abb. 3** ist schematisch eine Freilichtbühne mit Zentralbeschallung dargestellt. Am entferntesten Hörerplatz in 25 m Abstand soll ein maximaler Schall-druckpegel von 90 dB erzielt werden. Das Beschallungssystem über der Bühne muss dazu in 1 m Abstand einen Pegel von 118 dB erzeugen, wie sich durch Ausbreitungsrechnung für eine Punktquelle leicht ermitteln lässt. Am vordersten Hörerplatz ergibt sich unter Berücksichtigung eines Richtwirkungsmaßes von $DI = -3$ dB ein Pegel von 101 dB, was einer Pegeldifferenz über der Publikumsfläche von 11 dB entspricht. Der Lautsprecher strahlt einen Schallleistungspegel von $L_{w,ges} = 129$ dB ab.

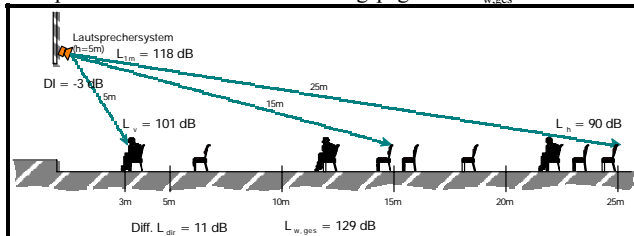


Abb. 3 : Beispiel Zentralbeschallung

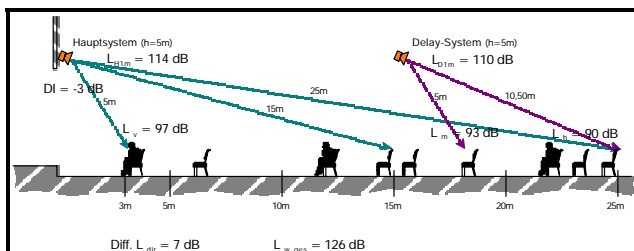


Abb. 4 : Beispiel Haupt- und Delay-System für gleiche Versorgungsfläche

Ergänzt man das Hauptsystem durch ein weiteres, verzögert angesteuertes (Delay-)Lautsprechersystem wie in **Abb. 4** dargestellt, so ergeben sich wesentlich günstigere Bedingungen. Da das Hauptsystem den Versorgungspegel von 90 dB nur noch in ca. 15 m Abstand erzeugen

muss, reduziert sich dessen 1 m - Pegel auf 114 dB. Der Gesamt-Schallleistungspegel beider Systeme, der für die Immissionspegel in größeren Entfernungen maßgeblich ist, reduziert sich um 3 dB auf 126 dB. Darüber hinaus vermindert sich auch die Pegeldifferenz zwischen erster und letzter Besucherreihe von 11 dB auf 7 dB. Noch klarer werden die Vorteile einer verteilten Beschallungslösung im folgenden Beispiel.

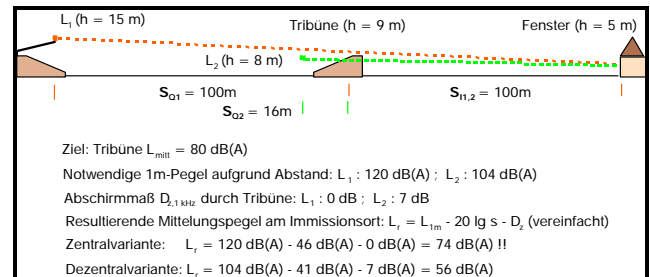


Abb. 5 : Beispiel Zentral- und Dezentralbeschallung für ein Stadion

Dabei wird ein Stadion einmal zentral vom Tribünen-dach, zum anderen durch dezentral angeordnete Lautsprecher in kurzem Abstand beschallt, wobei sich ca. 100 m hinter der Gegentribüne ein Wohnhaus als maßgeblicher Immissionsort befindet. Die (vereinfachte) Rechnung zeigt, dass durch die kurze Beschallungsentfernung des dezentral angeordneten Systems in Verbindung mit der Abschirmwirkung der Tribüne der Mittelungspegel am Immissionsort um mehr als 15 dB(A) reduziert wird, wobei in beiden Fällen ein Versorgungspegel von 80 dB(A) auf der Tribüne erreicht wird.

Interessant für Beschallungskonzepte unter Immissionsschutz-Aspekten ist neben der Verwendung dezentraler Systeme auch der Einsatz von so genannten Line-Arrays, die in letzter Zeit stark an Bedeutung gewonnen haben. Durch die besondere Konstruktion wird eine nahezu kohärente Abstrahlung des Gesamtsystems in weiten Frequenzbereichen gewährleistet [3]. Ein solches Line Array erzeugt im Nahfeld Zylinderwellen, die einen Abfall des Schalldruckpegels von nur 3 dB pro Entfernungsverdopplung bewirken. Im Fernfeld beträgt der Pegelabfall dann wie bei Punktquellen 6 dB pro Entfernungsverdopplung. Der Grenzabstand für den Übergang vom Nah- zum Fernfeld ist frequenzabhängig und lässt sich näherungsweise aus der Länge des Line Arrays errechnen. Für eine Frequenz von 1 kHz liegt der Grenzabstand bei einem Array von 5,2 m Länge bei 40 m. Es lässt sich also mit einer Zentralanordnung ein großer Entfernungsbereich mit relativ geringem Pegelunterschied beschallen, wobei der Pegelabfall im Fernfeld dem eines herkömmlichen Beschallungssystems entspricht. Ein weiterer Vorteil des Line Arrays ist der geringe vertikale Öffnungswinkel, der z.B. bei dem beschriebenen System von 5,2 m Länge für 1 kHz nur $4,6^\circ$ beträgt (Rechnung für -6 dB-Pegel). Damit lässt sich bei guter Dimensionierung der Versorgungs-bereich sehr gezielt beschallen, wobei z.B. die Abschirmwirkung von Wällen u.a. zur Reduzierung der Immissionspegel effektiv genutzt werden kann. Im allgemeinen dürften also Line Arrays aus der Sicht des Immissionsschutzes herkömmlichen Zentralbeschallungssystemen überlegen sein, jedoch nicht die Vorteile dezentraler Systeme erreichen.

Literatur

- [1] Ederer, H.-J.; Roy, A.; Schmitt, R.: Sächsische Freizeitlärmstudie, Teilprojekt 1: Rummelpfätze, Volksfeste, Freiluftkonzerte und Freilichtbühnen; Sächsisches Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft, 2001
- [2] Sechste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundesimmissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm - TA Lärm), 1998
- [3] Urban, M.; Heil, Ch.; Baumann, P.: Wavefront Sculpture Technology; Paper der 111. AES Convention, New York, 2001