

## Prognose der Emissionskenngrößen von Freiluft-Beschallungsanlagen

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

### Einleitung

Im Rahmen von Untersuchungen zu einer sächsischen Freizeitlärmstudie [1] wurde im Zeitraum von Oktober 2001 bis Oktober 2002 unter anderem die Schallemission von Freiluftbühnen untersucht. Das Ziel der Untersuchungen bestand darin, Prognoseverfahren für die Emissionskenngrößen zu entwickeln. Beschallungsanlagen stellen eine wichtige Quelle der Schallemission von Freizeitanlagen dar. Dies betrifft neben Freiluftbühnen auch Volksfeste, Rummelplätze, Zirkusse und Freizeitparks. Der möglichst genauen Vorhersage der Emissionsparameter von Beschallungsanlagen kommt daher eine hohe Bedeutung für den Schallimmissionschutz im Freizeitbereich zu.

### Probleme der Emissionsprognose von Beschallungsanlagen

Für die Berechnung der Pegelverteilung im Rezeptionsbereich von Beschallungsanlagen existieren verschiedene Simulationsprogramme, die mit von den Herstellern autorisierten Lautsprecherdaten arbeiten. Diese Programme besitzen aber keine Schnittstellen zur Software für die Berechnung der Schallimmissionskenngrößen, bei der die gültigen Vorschriften in diesem Bereich berücksichtigt werden. Dabei wird die Schallausbreitung zu weiter entfernten Immissionsorten unter Berücksichtigung von Abschirmung, meteorologischen Einflüssen und Bodendämpfung ermittelt, was bei den Simulationsprogrammen für Beschallungsanlagen nicht vollständig möglich ist.

Für Beschallungsanlagen sind verschiedenste Konfigurationen denkbar, die zum Zeitpunkt einer Prognose, z.B. durch Umweltämter, meistens nicht genau bekannt sind. Die Zielstellung bestand deshalb darin, Prognoseverfahren der Emissionskenngrößen zu entwickeln, die möglichst unabhängig von der konkreten Anlagenkonfiguration sind und sich auf vorher bekannte Angaben stützen, z.B. Zuschauerkapazität bzw. Größe des zu beschallenden Bereiches, maximale Beschallungsentfernung und Art der Darbietung.

### Anlagenmodellierung

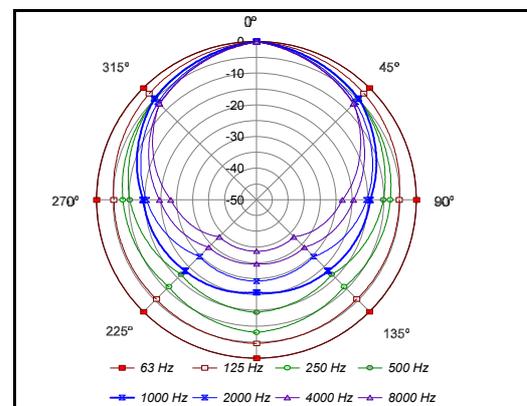
In der praktischen Anwendung bei Freiluftbühnen werden Lautsprecher meistens in Gruppen angeordnet, wobei mehrere Boxen mit unterschiedlicher Ausrichtung den Schall verschiedener, häufig auch gleicher Frequenzbereiche abstrahlen. Die Richtcharakteristik solcher Gruppen oder „Cluster“ weicht häufig von der des Einzelsystems ab und variiert für gleiche Boxentypen je nach Anordnung und Ausrichtung. Die Lautsprecherboxen oder -cluster werden fast ausschließlich in einer links/rechts-Anordnung zu beiden Seiten der Bühne aufgestellt oder an entsprechenden Konstruktionen abgehängt.

Für die Ableitung der Emissionsdaten wurde nach einem allgemeingültigen Ansatz zur Modellierung gesucht. Dazu wurden in dem Computersimulationsprogramm ULYSSES V2.41 insgesamt sechs verschiedene, typische Gruppierungen von Lautsprecherboxen nachgebildet, wie sie auch bei eigenen Messungen bzw. in der Literatur vorgefunden wurden. Die Palette reichte dabei von der Kombination einer 15"-Bassreflexbox mit einer 12"/Horn-Mittelhochtonbox (Nennbelastbarkeit  $P_{n,el}$  ca. 300 W) bis zu einem Hochleistungscluster für die Rolling-Stones-Tournee "Bridges to Babylon" mit insgesamt 42 Ein-

Hersteller	Typ	$P_{n,el}/W$	$\eta$ / %	C / dB	$L_{WA,max}$ /dB
Bose	802+SW	293	10	10	125
EVI	Mustercluster von oben: 1xFRX- 122, 1xTL15-1	357	18	9	128
Dynacord	Mustercluster von oben: 1xF 152 M, 1xTL15-1	857	22	6	130
d&b	Mustercluster von oben: 2xC4- sub, 2xC4-top	1714	64	10	141
Nexo	Mustercluster von oben: 2xPS15, 2xTL880	2743	42	9	141
EVI	X-Array-Cluster Rolling Stones	34971	10	11	149

**Tab. 1:** Daten der zur Modellierung verwendeten Lautsprechercluster (mit  $P_{n,el}$ : Nennbelastbarkeit,  $\eta$ : Wirkungsgrad, C: Bündelungsmaß des Lautsprecherclusters,  $L_{WA,max}$ : Schallleistungspegel-Spitzenwert)

zelboxen und einer Nennbelastbarkeit von  $P_{n,el} = 36$  kW (Zusammenstellung: siehe **Tab. 1**). Das Programm ULYSSES liefert für die jeweilige Kombination durch Überlagerung der Abstrahlung der Einzelsysteme sowohl das Richtwirkungsmaß in 10°-Schritten (horizontal und vertikal) als auch den Wirkungsgrad für die Oktaven von 125 Hz bis 8 kHz. Für die Modellierung wurde das Richtwirkungsmaß in 45°-Schritten pro Oktave für die sechs verschiedenen Cluster linear gemittelt. Dabei wurde von einer jeweils symmetrischen Abstrahlung in der horizontalen und vertikalen Ebene ausgegangen. Die Ausbreitung für die 63 Hz-Oktave wurde mit einem Richtwirkungsmaß von  $D_1 = 0$  dB, d.h. ungerichtet, angenommen. Aus der anschließenden Mittelung über die verschiedenen Cluster ergibt sich das mittlere Richtwirkungsmaß in Oktaven, dass in **Abb. 1** zu sehen ist.



**Abb. 1:** Mittleres Richtwirkungsmaß für Lautsprechercluster, oktavenweise

### Schallpegelmessungen

Als weiterer Ansatz für die Ermittlung der Emissionskenngrößen von Beschallungsanlagen besteht die Möglichkeit, vom zu erzielenden Schalldruckpegel im Versorgungsbereich auszugehen, der durch Mes-

sungen ermittelt werden kann. Mit der genannten Zielstellung wurden eigene Messungen an insgesamt 19 Beschallungsanlagen für Freiluftveranstaltungen durchgeführt. Dabei wurden in der Regel mittlere Terz-Pegelspektren sowie Pegel-Zeitverläufe über längere Zeiträume von Darbietungen aufgenommen (in der Regel 5...10 min, in Ausnahmefällen auch über die gesamte Konzertdauer). Die daraus gewonnenen Mittelungspegel und statistischen Parameter beziehen sich also auf den Gesamtzeitraum, in denen eine Bühne "in Betrieb" ist, einschließlich kurzer Pausen, z.B. zwischen Musiktiteln. Messpunkte lagen generell sowohl im Nahbereich (10...12 m vor der Bühne) als auch am Rande und Ende des Rezeptionsbereiches. Die dabei gewonnenen mittleren Terzspektren sind in **Abb. 2** dargestellt. Für Details der Vorgehensweise wird auf [1] verwiesen. Dabei wurde zunächst die für die jeweilige Bühne mit Beschallung wirksame, mittlere A-bewertete Schalleistung berechnet, die sich durch den Schalleistungspegel  $L_{WAeq}$  ausdrücken läßt. Aus den aufgenommenen Pegel-Zeitverläufen an den verschiedenen Messpunkten kann außerdem auf die Dynamik des Programms sowie auf die Impulshaltigkeit geschlossen werden.

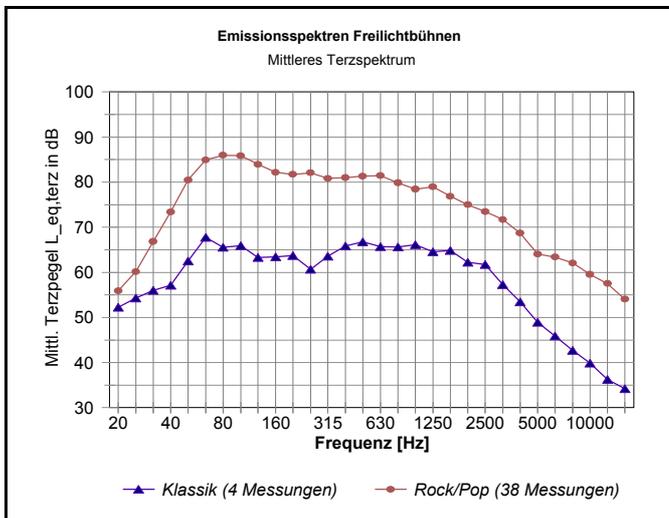


Abb. 2 : Aus eigenen Messungen hergeleitetes mittleres Terz-Spektrum von Rock-Pop-Bühnen und Klassikbühnen

Anschließend wurden die ermittelten Schalleistungspegel zu folgenden Ausgangsgrößen in Bezug gesetzt:

- zu beschallende Fläche  $A$  in  $m^2$  (daraus ableitbar: maximale Zuschauerzahl)
- maximale Beschallungsentfernung  $s_{max}$  in m
- elektrische Anschlussleistung  $P_{n,el}$  in W der Beschallungsanlage.

Die dafür gültigen Gleichungen wurden durch Variation der Parameter so ermittelt, dass die Streuung der Differenzen zwischen den so berechneten Prognosewerten mit den zugehörigen Messwerten minimal wurde.

### Prognose der Schalleistungspegel

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.

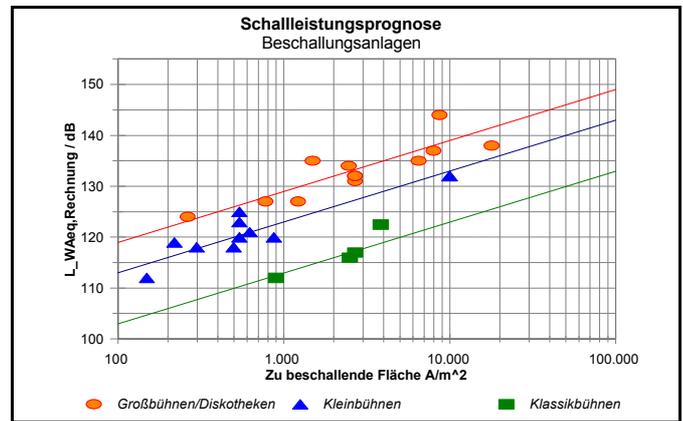


Abb. 3 : Berechnung des Schalleistungspegels aus der zu beschallenden Fläche

$$L_{WAeq} = 10 \log (A/m^2) \text{ dB} + 12 \text{ dB} + KG \text{ dB}$$

- mit:
- $A$ : zu beschallende Fläche in  $m^2$
  - $KG$ : Korrekturmaß Größe (entspricht  $L_{Aeq}$  am entferntesten Platz)
    - $KG = 87 \text{ dB}$  (Großbühnen, Diskotheken)
    - $KG = 81 \text{ dB}$  (Kleinbühnen unter ca. 1000 Besucher/ 500  $m^2$ )
    - $KG = 71 \text{ dB}$  (Klassikbühnen)

Aus dem Ansatz unterschiedlicher Größenkorrekturen  $KG$  für Kleinbühnen, Großbühnen und Diskotheken sowie Klasikbühnen 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  $m^2$  bzw. einer Zuschauerzahl von 1000. Die Korrekturwerte  $KG$  entsprechen dem Mindest-Versorgungspegel am entferntesten Hörerplatz. Für die an 25 Bühnen durch eigene Messung bzw. Literaturswertung ermittelten Schalleistungspegel ergibt sich zur Prognose über die zu beschallende Fläche eine Standardabweichung der Differenz Prognose-Messung von 2,5 dB.

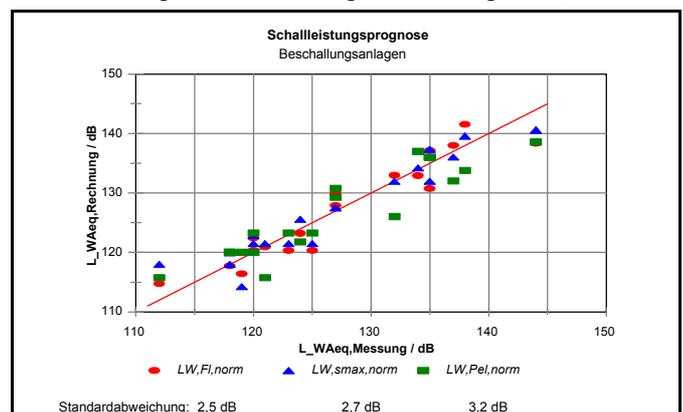


Abb. 4 : Vergleich der prognostizierten mit den aus Messungen ermittelten Schalleistungspegeln für alle untersuchten Bühnen

Die entsprechenden Werte der Standardabweichung für Prognosen aus der maximalen Beschallungsentfernung sowie der elektrischen Leistung liegen geringfügig höher (vgl. **Abb. 4**).

### Literatur

- [1] Ederer, H.-J.; Roy, A.; Schmitt, R.; Ermisch, V.: Sächsische Freizeitlärmstudie; Sächsisches Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft, Landesamt für Umwelt und Geologie, 2002