

# Schall-Immissionsschutz bei Open-Air-Veranstaltungen

## Aktuelle Messergebnisse

Andreas Nicht, Axel Roy

Akustik Bureau Dresden Ingenieurgesellschaft mbH, 01219 Dresden, E-Mail: mail@abd-online.com

### Kurzreferat

Grundlage der durchgeführten Untersuchungen bilden die Ergebnisse der 2006 veröffentlichten Sächsischen Freizeitlärmstudie. Mehr als 10 Jahre nach Veröffentlichung der Erstfassung ergab sich die Notwendigkeit, die Emissionskenngrößen und Prognoseverfahren vor allem auf dem Gebiet „Freiluftkonzerte“ zu überprüfen und ggf. zu aktualisieren. Im genannten Zeitraum war eine intensive technische Weiterentwicklung der verwendeten Beschallungsanlagen zu verzeichnen, die im Zusammenhang mit neuen Musikrichtungen und geänderten Klangpräferenzen eine Überprüfung der Emissionskenngrößen hinsichtlich Schallleistungspegel, Richtcharakteristik und Spektrum nahelegen.

Auf der Basis aktueller Messungen und der Auswertung vorhandener Berichte und Kenngrößen wurden die in der Sächsischen Freizeitlärmstudie (SFLS) zusammengestellten Emissionskenngrößen insbesondere zum Thema „Freiluftbühnen“ aktualisiert. Zusätzlich wurde die Geräuschquelle „Freilichtkinos“ als eigene Freizeitanlage untersucht und mit ihren spezifischen Emissionskenngrößen erfasst.

### Aufgabenstellung

Im Auftrag des Sächsischen Landesamts für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG) sollten die Emissionsansätze und Prognoseverfahren des Teils „Freiluftkonzerte“ der im Jahr 2006 veröffentlichten Sächsischen Freizeitlärmstudie [1] überprüft und aktualisiert werden. Erstmals sollten „Freilichtkinos“ als neue Geräuschquelle aufgenommen werden. [2]

### Vorgehensweise

Zur Datengewinnung wurden eine Vielzahl von Messungen an Freiluftbühnen sowie Freilichtkinos durchgeführt. Hierbei wurden folgende Emissionskenngrößen ermittelt:

- energieäquivalenter Dauerschallpegel  $L_{Aeq}$
- 5-Sek.-Taktmaximalmittelungspegel  $L_{AFTeq}$
- Impulszuschlag  $K_I = L_{AFTeq} - L_{Aeq}$
- Scheitelmaß  $\Delta L_{max} = L_{AFmax} - L_{Aeq}$
- Terzspektrum (normiert, A-bewertet)

Aus dem  $L_{Aeq}$ -Mittelungspegel wurde durch eine inverse Schallausbreitungsberechnung unter Berücksichtigung der Richtcharakteristik der Beschallungsanlage der jeweilige äquivalente Schallleistungspegel der Quelle ermittelt.

Mit den Ergebnissen der statistischen Analyse dieser Schallleistungspegel wurden die Prognosemodelle aktualisiert. Der mit diesen zu ermittelnde Schallleistungspegel bildet die Grundlage der Ausbreitungsberechnung in der Prognose.

### Richtcharakteristik der Quellen

Durch den technologischen Fortschritt und Kostenreduzierungen hat der Einsatz von Line Arrays, auch bei kleineren Bühnen, deutlich zugenommen. Anhand der Richtwirkung verschiedener realer Beschallungssysteme wurden mittlere Richtcharakteristiken ermittelt. Hierzu wurden die Richtwirkungen verschiedener Beschallungssysteme simuliert und gemittelt. Die Ergänzung zur Sächsischen Freizeitlärmstudie [2] enthält nunmehr mittlere Richtcharakteristiken für:

- konventionelle Punktstrahler
- gestackte bzw. niedrig geflogene Line Arrays
- hochgeflogene Line Arrays

Des Weiteren lässt sich beobachten, dass bei Subwoofern zum Teil gerichtet abstrahlende Cardioid-Systeme zum Einsatz kommen. Daher werden ebenfalls mittlere oktavweise Richtcharakteristiken angegeben für:

- omnidirektionale Subwoofer
- Cardioid-Subwoofer

Bild kann vorübergehend  
nicht angezeigt werden  
(Feb. 2022)

**Abbildung 1:** Filmnächte am Elbufer in Dresden; sowohl Freiluftbühne als auch Freilichtkino (Foto: PAN GmbH).

### Untersuchungen an Freiluftbühnen

Zur Gewinnung der erforderlichen Ausgangsdaten wurden in den Sommermonaten der Jahre 2017 und 2018 eine Vielzahl von Messungen durchgeführt:

- 86 Konzerte auf insgesamt 33 Freiluftbühnen
- Zuschauerkapazität: 800 – 60.000
- zu beschallende Fläche: 250 m<sup>2</sup> – 15.000 m<sup>2</sup>

Die Messungen wurden im Bereich des entferntesten Hörerplatzes oder direkt am Mischpultplatz durchgeführt. Die Aufzeichnung lief jeweils über die gesamte Konzertdauer (einschließlich Titelpausen). Vorbands wurden getrennt untersucht. Zusätzlich wurde Kontrollmessungen in größeren Abständen sowie auch hinter der Bühne durchgeführt.

Tabelle 1: Übersicht der ermittelten Signalkenngrößen der Messungen an Freiluftbühnen

Kenngröße	Großbühnen			Kleinbühnen	Klassikbühnen
	Main Acts	Vorgruppen	Comedy		
$\overline{L_{VA}}$ in dB(A)	93,0	88,7	79,1	85,1	74,8
$\overline{K_I}$ in dB	4,6	4,2	6,8	4,8	5,0
$\overline{\Delta L_{Amax}}$ in dB	12,8	12,6	23,0	12,6	17,0
$\overline{L_{Ceq}} - \overline{L_{Aeq}}$ in dB	12,6	12,9	7,2	7,7	3,8
Anzahl Messungen	47	18	4	33	7

**Spektren**

Aus den Messungen wurden unterschiedliche Terzspektren ermittelt. Im Hinblick auf die abweichenden Basspegel wird dabei sowohl zwischen Bühnengröße (Trennung bei 500 m<sup>2</sup> bzw. 1000 Personen) als auch Genre unterschieden:

- Großbühnen
- Kleinbühnen Rock/Pop
- Kleinbühnen Klassik/Jazz/Welt
- Musik & Moderation

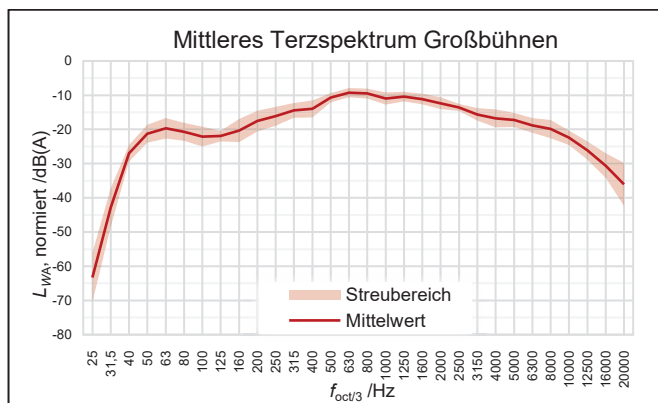


Abbildung 2: Mittleres Terzspektrum für Großbühnen (A-bew).

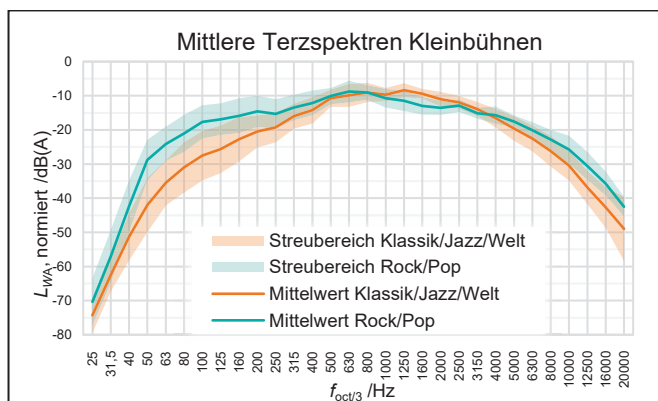


Abbildung 3: Mittlere Terzspektren für Kleinbühnen (A-bew).

Um eine getrennte Ausbreitungsrechnung der Subwoofer und Mittel-Hochtöner zu ermöglichen werden jeweils auch getrennte Spektren für diese Quellenarten angegeben.

Die Spektren zeigen eine deutlich Bassüberhöhung. Bei den Großbühnen liegt diese bei 50...63 Hz (Abbildung 2). Bei den Kleinbühnen (Rock/Pop) liegt die Anhebung bei 80 Hz, und damit deutlich höher (Abbildung 3). Zudem ist diese nicht so deutlich ausgeprägt. Aufgrund der vergleichbaren

Genre ist die Anhebung im Tieftonspektrum nicht dem Programminhalt, sondern der eingesetzten Beschallungstechnik zuzuschreiben. Im Bereich Klassik/Jazz/Weltmusik ist sie signifikant schwächer.

Noch deutlicher wird die Bassüberhöhung – besonders der Großbühnen – beim Vergleich der linearen Spektren (Abbildung 4). Dabei entspricht der Frequenzverlauf in etwa dem von d&b audio im Programm NoizCalc [3] zur Verfügung gestellten Spektrum für „Live Bands“. Unterschiede bei hohen Frequenzen sind in der detaillierten Betrachtung der Luftabsorption nach ISO 9613-2 [4] begründet.

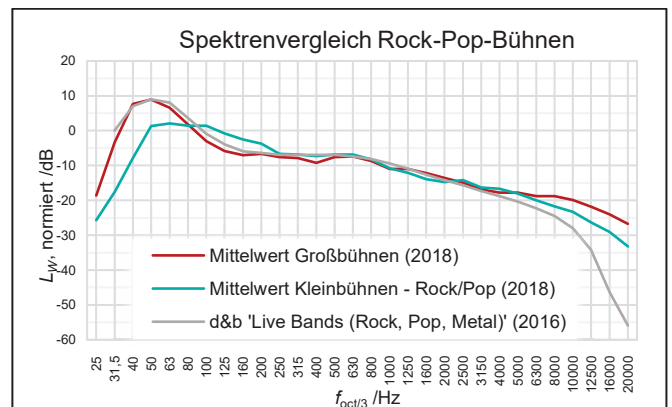


Abbildung 4: Vergleich der mittleren Terzspektren für Großbühnen und Kleinbühnen mit d&b Live Bands [3] (unbewertet).

**Prognose des Schalleistungspegels**

Für die Schallausbreitungsrechnung wird der äquivalente Schalleistungspegel der Quelle zugrunde gelegt. Dieser Schalleistungspegel ergibt sich für Klein- und Großbühnen aus dem jeweiligen Versorgungspegel, der Größe der zu beschallenden Fläche und einer neu eingeführten Genre-Korrektur nach Gleichung (1):

$$L_{WA} = L_{VA} + 8 \text{ dB} + 10 \lg(A) \text{ dB} + K_G \quad (1)$$

mit:

- $L_{VA}$  Versorgungspegel in dB(A):  
93 dB(A) bei Großbühnen  
86 dB(A) bei Kleinbühnen unter 500 m<sup>2</sup> / 1000 Pers.
- $A$  zu beschallende Fläche in m<sup>2</sup>
- $K_G$  Genrekorrektur in dB:  
-4 dB (Genrekategorie 1: Jazz, verstärkte akust. Instr.)  
0 dB (Genrekategorie 2: Pop, klassische Rockmusik)  
+4 dB (Genrekategorie 3: Elektro, Techno, Hip-Hop)

Für Klassikbühnen zeigen sich geringfügig andere Pegelverhältnisse. Hier gilt analog Gleichung (2):

$$L_{WA} = L_{VA} + 12 \text{ dB} + 10 \lg(A) \text{ dB} \quad (2)$$

mit:

$L_{VA}$  Versorgungspegel in dB(A):  
75 dB(A) bei Klassikbühnen  
 $A$  zu beschallende Fläche in  $\text{m}^2$

Damit wurden gegenüber dem bisherigen Prognoseverfahren die Versorgungspegel leicht erhöht und die Genrekorrektur zur präziseren Abstufung eingeführt.

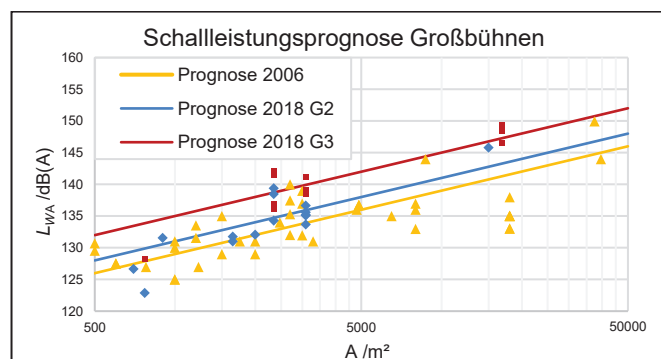


Abbildung 5: Vergleich des prognostizierten Schalleistungspegels für Großbühnen 2018 (Genre G2/G3) und 2006.

## Untersuchungen an Freilichtkinos

Da bislang keine systematischen Untersuchungen zur Schallemission von Freilichtkinos vorlagen, wurden im Untersuchungszeitraum 2017/2018 Messungen dazu vorgenommen:

- 57 Kinovorstellungen auf 9 Aufführungsstätten
- Zuschauerkapazität: 100 – 4.400
- Zu beschallende Fläche: 50  $\text{m}^2$  – 2.200  $\text{m}^2$

Zur Beschallung wurde bei den 3 größten Aufführungsstätten Line Arrays genutzt, während die 6 kleineren mit Punktstrahlen beschallt wurden. An 2 Freilichtkinos kamen dabei auch Surround-Lautsprecher zum Einsatz.

Der mittlere Versorgungspegel wurde mit 68 dB(A) bestimmt. Dieser liegt damit deutlich unter den Versorgungspegeln von Freiluftbühnen. Der Impulszuschlag und das Scheitelmaß sind aber deutlich höher. Zur Prognose sollte  $K_1 = 6 \text{ dB}$  angesetzt werden.

Das zugehörige Spektrum weist eine deutlich geringere Bassüberhöhung auf. Aufgrund des hohen Sprachanteils ist es mit dem Spektrum für Musik & Moderation vergleichbar, wenn auch mit einem etwas stärkeren Bassanteil.

Die Prognose erfolgt analog zu Bühnen mit Gleichung (3):

$$L_{WA} = L_{VA} + 12 \text{ dB} + 10 \lg(A) \text{ dB} \quad (3)$$

mit:

$L_{VA}$  Versorgungspegel in dB(A):  
68 dB(A) bei Freilichtkinos  
 $A$  zu beschallende Fläche in  $\text{m}^2$

## Fazit

Im Prognoseverfahren wurden die Versorgungspegel für Klein- und Großbühnen um 4 dB erhöht. Gleichzeitig wurden die Berechnungsverfahren und die Richtcharakteristiken verändert. Daher ist die Erhöhung der Schalleistungspegel sowie der Immissionspegel geringer. Gegenüber den Untersuchungen bis 2008 [1] [5] zeigt sich ein Anstieg der prognostizierten Schalleistungspegel um 2 dB bei Großbühnen (vgl. Abbildung 5), 3 dB bei Klassikbühnen und 2 dB bei Kleinbühnen. Das Scheitelmaß zur Bestimmung des Spitzenpegels hat sich ebenfalls von 9 dB auf 13 dB erhöht.

Deutlich fällt zudem die Verschiebung des spektralen Maximums bei Großbühnen von 80 Hz zu 50 Hz auf. Dies ist mit einer deutlich stärkeren Pegelüberhöhung im Bassbereich verbunden.

Mit der Angabe gesonderter Spektren für Kleinbühnen, Großbühnen und Klassik/Jazz/Weltmusik, aktualisierten Richtcharakteristiken für Line Arrays, Punktstrahler und Cardioid-Basssysteme und der angepassten Prognoseformel des Schalleistungspegel ist die Grundlage für wesentlich präzisere Immissionsprognosen von Freiluftbühnen und Freilichtkinos gelegt.

Zu aktualisierten Verfahren rechnerischen Prognoseverfahren der Schallimmissionspegel sei auf den Bericht [6] verwiesen.

## Hinweis

Die Ergänzung zur Sächsischen Freizeitlärmstudie [2] ist auf der Internetseite des Sächsischen Landesamts für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie frei verfügbar:

<https://publikationen.sachsen.de/bdb/artikel/32823>

## Literatur

- [1] Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie (Hrsg.): Sächsische Freizeitlärmstudie, Dresden, 2006.
- [2] Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (Hrsg.): Ergänzung zur Sächsischen Freizeitlärmstudie, Dresden, 2019.
- [3] d&b Audiotechnik GmbH, Rechenprogramm NoizCalc V 2.0, 2018.
- [4] DIN ISO 9613-2: Dämpfung des Schalls bei der Ausbreitung im Freien, Teil 2: Allgemeines Berechnungsverfahren, 1999.
- [5] VDI 3770: Emissionskennwerte von Schallquellen – Sport- und Freizeitanlagen. 2012.
- [6] Roy, A.; Nicht, A.: Schall-Immissionsschutz bei Open-Air-Veranstaltungen – Aktualisierte Prognoseverfahren. DAGA 2019, Rostock.