

Schall-Immissionsschutz bei Open-Air-Veranstaltungen

Aktualisierte Prognosemethoden

Axel Roy, Andreas Nicht

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. Im Zusammenhang mit dem im Vortrag „Schall-Immissionsschutz bei Open-Air-Veranstaltungen – Aktuelle Messergebnisse“ vorgestellten aktuellen Emissionskenngrößen waren auch die Prognosemethoden einer Aktualisierung zu unterziehen. Dabei spielen die Richtcharakteristiken eine wichtige Rolle, die bei modernen Beschallungsanlagen (z.B. Line Arrays) sehr stark vom Abstrahlverhalten eines Kugelstrahlers abweichen. Deshalb wurden Richtungs-Balloons verschiedener Beschallungssysteme durch Simulation gewonnen und ihre Parameter für Prognosezwecke aufgearbeitet. Im Zusammenhang mit den messtechnisch bestimmten Schalleistungspegeln und Signalspektren werden Methoden für die Prognose der Schallausbreitung von Open-Air-Veranstaltungen vorgestellt. Wegen des zunehmenden Tieftonteils im Signalspektrum von Open-Air-Konzerten wird besonderer Wert auf die genauere Prognose von Subwoofer-Emissionen gelegt. Neben einer überschlägigen Prognose werden die aktuellen Möglichkeiten verschiedener Software-Tools zur Schall-Ausbreitungsrechnung für Open-Air-Konzerte erläutert.

Aufgabenstellung

Im Rahmen der „Ergänzung zur Sächsischen Freizeitlärmstudie“ [1] auf dem Gebiet „Freiluftkonzerte“ sind neue, genauere Prognosemethoden für die Schallausbreitung und Schallimmission zu entwickeln. Weiterhin sollen spezielle Software-Werkzeuge zur Prognose der Schallemission und -immission von Beschallungsanlagen vorgestellt und ihre Anwendung erläutert werden. Schließlich wird ein Ausblick auf die zu erwartende weitere Entwicklung auf dem Gebiet der Prognosemethoden und der besseren Kontrolle der Schallausbreitung moderner Beschallungsanlagen gegeben.

Prognoserechnungen zur Schallausbreitung

Im Beitrag „Schall-Immissionsschutz bei Open-Air-Veranstaltungen – Aktuelle Messergebnisse“ [2] wird die Prognose des Schalleistungspegels L_{WA} von Bühnen und Freilichtkinos aus der zu beschallenden Fläche, dem jeweiligen Versorgungspegel und gegebenenfalls einer Genre-Korrekturgröße abgeleitet. Dieser Wert entspricht dem Gesamt-Schalleistungspegel, der in der Regel für die Ausbreitungsrechnung auf zwei Quellen aufzuteilen ist. Er gilt für die angenommene, ungerichtete Schallquelle (Lautsprecher bzw. Line Array), die den auf der Hauptachse messbaren Schalldruckpegel in alle Richtungen gleichmäßig abstrahlt. Durch das Richtwirkungsmaß verringert sich bei der Ausbreitungsrechnung der Pegel an Immissionsorten, die

nicht in Hauptstrahlrichtung liegen. Die reale Schalleistung des Lautsprechers oder Line Arrays ist deshalb niedriger.

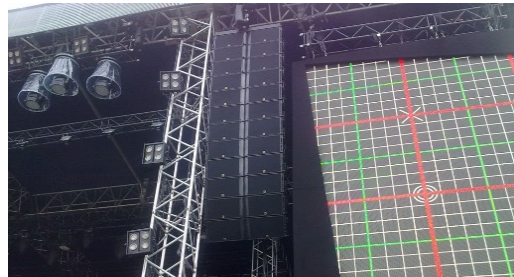


Abbildung 1: Line-Array-Lautsprechersystem einer Großbühne

Die Schalleistungspegel gelten allgemein für Punktschallquellen. Line-Arrays (Linienschallquellen endlicher Länge) können bei Berechnungen für Immissionsorte außerhalb des Nahfeldes wie Punktschallquellen behandelt werden. Die Grenze des Nahfeldes liegt für ein Line Array üblicher Länge (ca. 5 m) und eine Frequenz von 1000 Hz bei ca. 37 m.

Für dezentrale Anlagen und solche mit Haupt- und Delay-Systemen, bei denen das Hauptsystem weniger als neun Zehntel der Gesamt-Schalleistung abstrahlt, müssen individuelle Prognoserechnungen durchgeführt werden. Da bei dezentraler Beschallung die Gesamtemission bei gleichem Versorgungspegel geringer ist als bei zentraler Beschallung, liegt man in der Regel mit einer Prognose nach dem hergeleiteten, überschlägigen Verfahren für entfernte Immissionsorte auf der sicheren Seite.

Überschlägiges Berechnungsverfahren

Ausgangspunkt für die Ermittlung von Beurteilungspegeln an Immissionsorten ist das allgemeine Berechnungsverfahren, das in der DIN ISO 9613-2 [3] beschrieben wird. Eine Ausbreitungsrechnung kann z.B. mit Tabellenkalkulationsverfahren vorgenommen werden. In den meisten Fällen wird die Berechnung jedoch mittels spezieller Prognosesoftware für die Schallimmission erfolgen, wie sie von verschiedenen Herstellern angeboten wird.

Zur Vereinfachung sind als Schallquellen nur die zwei Hauptsysteme der Beschallungsanlage (Main Arrays, Punktrahler) zu definieren. Die Quellenhöhe ist einzelfallbezogen in Abhängigkeit von der Aufstellhöhe der Lautsprecher festzulegen. Bei ausgedehnten Anordnungen (z.B. Line Arrays) ist die mittlere Höhe anzusetzen. Für moderne Beschallung mit Line Arrays kann ein mittleres Richtwirkungsmaß verwendet werden, welches aus der „Ergänzung zur Sächsischen Freizeitlärmstudie“ [1] zu entnehmen ist. Für konventionelle Beschallungen können die Werte der Sächsischen Freizeitlärmstudie [4] aus dem Jahre

2006 herangezogen werden. Die Gesamt-Schallleistung der Beschallungsanlage ist energetisch auf die Schallquellen aufzuteilen. Das bedeutet bei gleicher Pegelung der beiden Lautsprecher(-Cluster) eine Absenkung um jeweils 3 dB.

Die Teil-Immissionspegel pro Schallquelle $L_{Aeq,i}$ können gemäß Gleichung (1) überschlägig berechnet werden.

$$L_{Aeq,i} = L_{WA,i} + D_{L,i} - D_i \quad [dB] \quad (1)$$

mit:

$L_{Aeq,i}$ Teil-Immissionspegel pro Schallquelle in dB(A)

$L_{WA,i}$ Schallleistungspegel der Einzelquelle in dB(A)

$D_{L,i}$ A-bewertetes Richtwirkungsmaß der Einzelquelle in dB

D_i Gesamtdämpfungsmaß für die Schallausbreitung der Einzelquelle in dB.

Der Dauerschalldruckpegel am Immissionsort ergibt sich durch energetische Addition der resultierenden Teilpegel.

Detailliertes Berechnungsverfahren

Für komplexe Anlagen mit mehreren Komponenten sowie nahe zur Bühne liegende Immissionsorte ist das detaillierte Rechenverfahren zu empfehlen. Dafür sind die in [1] enthaltenen aktuellen Richtwirkungsmaße für Line Arrays zu verwenden, die dort oktavweise für die horizontale und vertikale Abstrahlungsebene angegeben sind. Auch die aktuellen mittleren Signalspektren für die verschiedenen untersuchten Bühnenarten können aus [1] entnommen werden.

Für die geometrische Anordnung und Ausrichtung der Schallquellen sollte nach Möglichkeit auf die aktuelle Beschallungsplanung der Bühnen zurückgegriffen werden.

Für genauere Untersuchungen zur Bassabstrahlung, die besonders für nahe der Bühne gelegene Immissionsorte außerhalb der Hauptabstrahlrichtung und Cardioid-Subwoofer-Arrays sinnvoll sein können, ist auch eine spektrale Aufteilung der Schallleistung auf Line Arrays und Subwoofer gemäß Abbildung 2 möglich. Die dafür nötigen Spektrumsdaten sind ebenfalls in [1] enthalten.

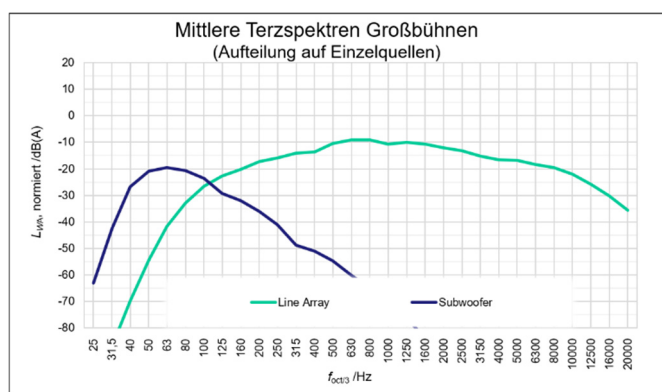


Abbildung 2: Mittlere Terzspektrale für Großbühnen – Aufteilung auf Einzelquellen (A-bewertet, normiert auf A-Summenpegel 0 dB)

Prognose mit aktuellen Software-Tools

Die bisher dargelegten Prognosemethoden sind auch anwendbar, wenn keine genauen Angaben über Typ, Anzahl

und Ausrichtung der vorgesehenen Beschallungslautsprecher bzw. -arrays vorliegen. Falls man diese Informationen jedoch besitzt, ist eine genauere Simulation des Richtwirkungsmaßes der verwendeten Lautsprecher bzw. Arrays möglich.

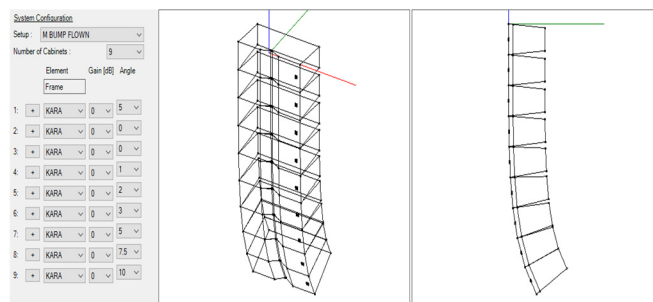


Abbildung 3: Konfiguration mit Winkelung eines Beispiel-Line-Arrays aus 9 Einzellementen (Quelle: EASE SpeakerLab [5])

Dabei kann eine konkrete Line-Array-Anordnung mit der vorgesehenen Winkelung zwischen den Elementen z.B. in der Software EASE SpeakerLab [5] nachgebildet werden. Die Software berechnet sogenannte Richtungs-Balloons, die das Richtwirkungsmaß des Arrays sphärisch in einer Winkelauflösung von 5° enthalten (siehe Abbildung 4).

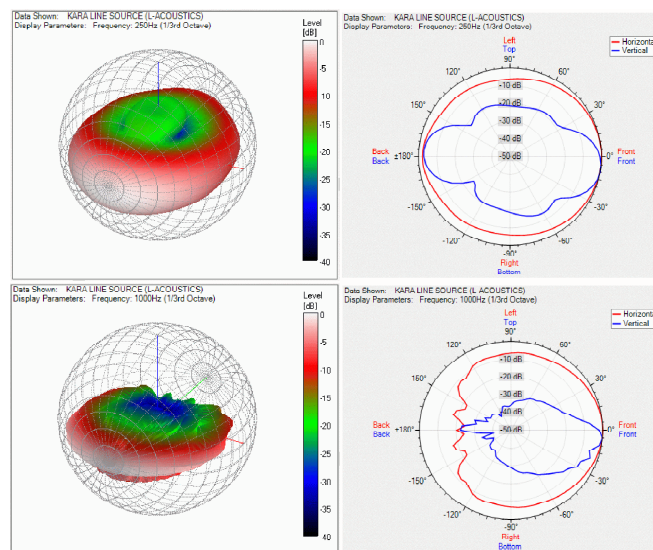


Abbildung 4: Simulierte Balloon-Diagramme (links) und Polar-Diagramme (rechts) eines Beispiel-Line-Arrays für die Terz-Bänder 250 Hz (oben) und 1 kHz (unten) (Simulation mit EASE SpeakerLab [5])

Diese Daten können z.B. im xhn-Format exportiert und in Programmen zur Schall-Immissionsprognose (z.B. IMMI 2018 [6]) importiert werden (siehe Abbildung 5). Dort ist dann eine normgerechte Ausbreitungsrechnung möglich.

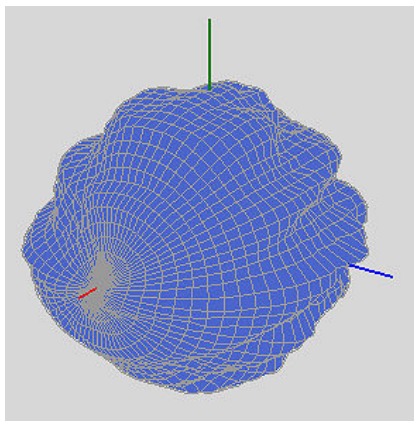


Abbildung 5: Im xhn-Format importiertes Balloon-Diagramm eines Beispiel-Line-Arrays für das Terz-Band 4 kHz (Darstellung aus IMMI 2018 [6])

Eine andere Möglichkeit der Array-Modellierung bietet die Software d&b ArrayCalc [7]. Diese dient als Werkzeug für die Planung der kompletten Beschallung einer Bühne mit der kompletten geometrischen Anordnung, Ausrichtung und Pegelung aller Lautsprechersysteme. Eine typische Arbeitsoberfläche dieser Software zeigt Abbildung 6. Seit 2017 ist es möglich, die komplette erstellte Lautsprecherkonfiguration zu exportieren und in einer gemeinsam mit der Fa. SoundPLAN entwickelten Software (d&b NoizCalc [8]) zur Ausbreitungsrechnung zu importieren.

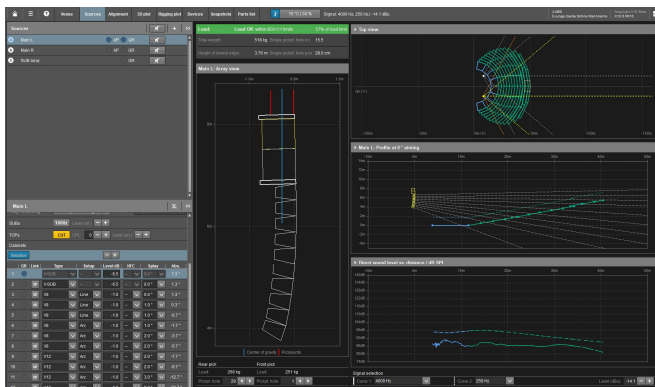


Abbildung 6: Quellmodellierung einer Line-Array-Konfiguration (Darstellung aus der Software ArrayCalc [7])

Hiermit können orientierende Rasterberechnungen des Immissionspegels durchgeführt werden, die vor allem den Beschallungstechnikern wichtige Anhaltspunkte für die Einhaltung der zulässigen Beschallungspegel innerhalb des Zuschauerbereichs liefern (siehe Abbildung 7).

Eine weitere Möglichkeit besteht darin, die aus ArrayCalc [7] exportierte Lautsprecherkonfiguration in die Software SoundPLAN [9] zu importieren. Hier sind dann normgerechte Ausbreitungsrechnungen für amtlich verwertbare Schall-Immissionsprognosen möglich, deren Ergebnisse als Raster- oder Einzelpunktberechnung abrufbar sind.

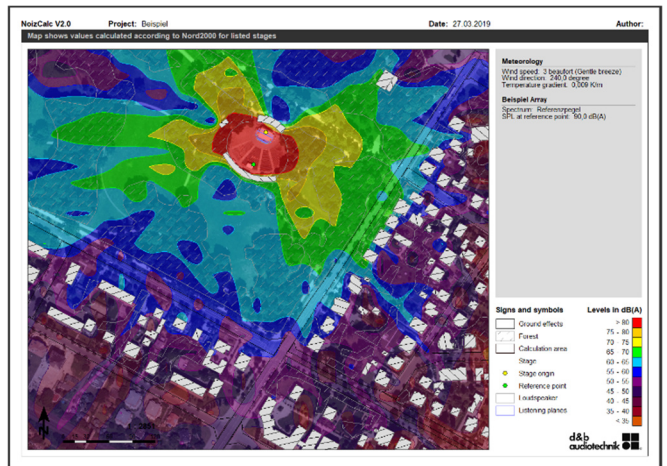


Abbildung 7: Pegel-Rasterdarstellung einer Beispiel-Bühne mit Umgebung (Darstellung aus NoizCalc [8])
Quelle für Hintergrundbild: GeoSN [10]

Ein Beispiel für die Rasterberechnung mit SoundPLAN [9] für ein aus ArrayCalc [7] importiertes Beispiel-Line-Array zeigt Abbildung 8.

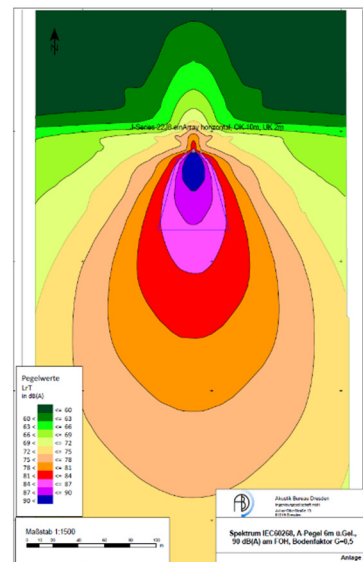


Abbildung 8: Pegelraster eines aus ArrayCalc importierten Beispiel-Line-Arrays (Darstellung abgeleitet aus SoundPLAN [9])

Die letztgenannten Prognosewerkzeuge auf der Basis von d&b ArrayCalc [7] bieten den Vorteil, dass die Lautsprecher und Arrayelemente als einzelne Schallquellen in die Software zur Ausbreitungsrechnung übernommen werden, mit denen dann eine komplexe Ausbreitungsrechnung möglich ist. Damit ergibt sich vor allem im Nahfeld von Line Arrays eine höhere Prognosegenauigkeit.

Allerdings ist anzumerken, dass dieses Verfahren derzeit auf Lautsprecher des Herstellers d&b Audiotechnik beschränkt ist.

Ausblick

Mit den beschriebenen Prognosemethoden ist die Simulation der Schallausbreitung komplexerer Quell-Konfigurationen möglich, z.B. für Kombinationen von Line Arrays und Subwoofer Arrays. Dabei können die Quell-Datensätze aus Programmen zur Beschallungssimulation in die Software zur Schall-Immissionsprognose importiert werden. Einschränkungen, z.B. auf Lautsprecher eines bestimmten Herstellers, sollten zunehmend überwunden werden.

Moderne Beschallungstechnologien können zur Minimierung unerwünschter Emissionen beitragen. Dazu gehören z.B. Line Arrays mit softwaregesteuerter Abstrahlcharakteristik, Cardioid Subwoofer (Arrays) und Cardioid Line Arrays. Auch zunehmend komplexere Einsatzformen dezentraler Beschallungssysteme können dazu beitragen.

Hinweis

Die Ergänzung zur Sächsischen Freizeitlärmstudie [1] 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, Landwirtschaft und Geologie (Hrsg.): Ergänzung zur Sächsischen Freizeitlärmstudie, Dresden, 2019
- [2] Nicht, A.; Roy, A.: Schall-Immissionsschutz bei Open-Air-Veranstaltungen, Aktuelle Messergebnisse, DAGA 2019, Rostock
- [3] DIN ISO 9613-2: Dämpfung des Schalls bei der Ausbreitung im Freien, Teil 2: Allgemeines Berechnungsverfahren, 1999
- [4] Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie (Hrsg.): Sächsische Freizeitlärmstudie, Dresden, 2006
- [5] AFMG, Rechenprogramm EASE SpeakerLab V1.1, 2009
- [6] Wölfel Engineering GmbH, Rechenprogramm IMMI, Version 2.18, 2018
- [7] d&b Audiotechnik GmbH, Rechenprogramm ArrayCalc V9.4R003, 2018
- [8] d&b Audiotechnik GmbH, Rechenprogramm NoizCalc V 2.0, 2018
- [9] SoundPLAN GmbH, Rechenprogramm SoundPLAN 8.0, 2017
- [10] Staatsbetrieb Geo-Basisinformation und Vermessung Sachsen (GeoSN), Dresden, 2018