

# Phasenkohärente Berechnung bei Schallimmissionsprognosen von komplexen Beschallungsanlagen, im Rahmen der ISO 9613-2 und der Nord 2000

Jochen Schaal<sup>1</sup>, Dieter Zollitsch<sup>2</sup>, Matthias Christner<sup>3</sup>

<sup>1</sup> SoundPLAN International LLC, 71522 Backnang, E-Mail: js@soundplan.com

<sup>2</sup> Braunstein + Berndt GmbH, 71522 Backnang, E-Mail: dieter.zollitsch@soundplan.de

<sup>3</sup> d&b audiotechnik GmbH, 71522 Backnang, E-Mail: matthias.christner@dbaudio.com

## Einleitung

Professionelle Lautsprecherhersteller wie die d&b audiotechnik GmbH unterstützen ihre Kunden mit Planungstools wie ArrayCalc [1]. Damit kann unter Berücksichtigung aller akustisch relevanten Effekte die Schallverteilung im Zuschauerbereich zuverlässig prognostiziert werden. Leider eignet sich dieses Tool nur für kurze Entfernungen und ist somit nicht für Schallimmissionsprognosen zu verwenden, da es außerdem keine Boden- oder Meteorologieeffekte bzw. Reflexionen oder Abschirmung berücksichtigen kann.

Die im Rahmen der Schallimmissionsprognose üblicherweise verwendeten Verfahren (wie z.B. ISO 9613-2 [2]) sind andererseits nicht in vollem Umfang anwendbar, da sie keine Phaseneffekte für die Vorhersage von solchen komplexen Lautsprecher-Setups berücksichtigen können. Wichtig wäre daher ein qualifiziertes Werkzeug, um das Layout von solchen Beschallungsanlagen planen zu können, um eine hohe Klangqualität für die Zuschauer und zur gleichen Zeit möglichst genau berechnete Pegel in der Umgebung zu gewährleisten.

Mit der Zusammenarbeit zwischen der d&b audiotechnik GmbH und der Braunstein + Berndt GmbH haben wir versucht, diese Lücke der verfügbaren Planungs-Tools zu schließen.

## Grundlagen Lautsprechersysteme

Beschallungsanlagen haben oft eine sehr ausgeprägte Richtwirkung, die für eine einzelne Box komplett unterschiedlich zu einem Array von Boxen sein kann. Die Richtwirkung eines Arrays entsteht durch Interferenzeffekte (kohärente Überlagerung von Schallwellen) der einzelnen Boxen. Dieser Effekt ist sowohl bei den Subwoofer- und bei den Main-Arrays zu beobachten. Dies bedeutet aber auch, dass die „Richtwirkung“ der Gesamtanlage über die Entfernung nicht konstant bleibt. Diese Effekte werden ganz bewusst eingesetzt um die Beschallung der Zuschauerflächen zu optimieren.

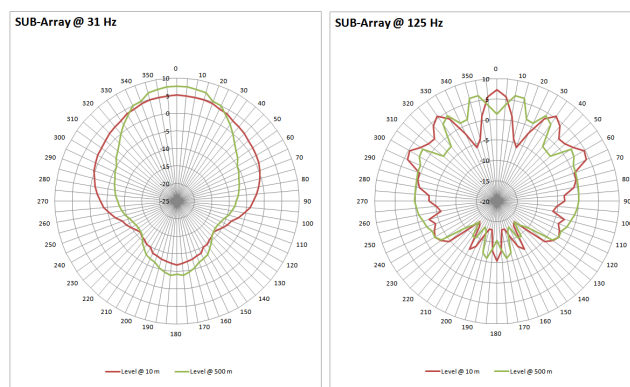
## Schallimmissionsprognose

Die Genehmigungsbehörden sind sich zwischenzeitlich der Probleme, die mit Open-Air-Veranstaltungen einhergehen, bewusst und diese werden mehr und mehr reglementiert. Dies liegt sicher auch an der zunehmenden Anzahl von Beschwerden der Anwohner. Veranstaltungen können daher

nur noch stattfinden, wenn die Veranstalter nachweisen können, dass die erzeugten Geräuschpegel in der Umgebung unter den erlaubten Grenzwerten liegen.

Leider sind die Personen, die die Beschallungsanlagen planen in der Regel nicht die gleichen, die für Schallimmissionsprognose verantwortlich sind. Dies führt sehr oft zu einer problematischen Schnittstelle zwischen den beiden Planern. Die größten Probleme können wie folgt zusammengefasst werden:

1. Schlechte Kommunikation - nicht alle relevanten Informationen stehen allen zur Verfügung und werden zwischen den Planern ausgetauscht.
2. Nicht alle in der Planung der Lautsprecher-Setups verwendet akustische Parameter können bei der Schallimmissionsprognose verwendet werden (z.B. Signalverzögerungen).
3. Schallimmissionsprognosemodelle können mit frequenzabhängigen 3-dimensionalen Richtwirkungen umgehen, diese sind allerdings von der Entfernung zur Quelle unabhängig und somit nicht ausreichend. Phaseneffekte, basierend auf der Laufzeit des Schallsignals werden durch die üblichen Prognosemodelle nicht behandelt und werden somit ignoriert.



**Abbildung 1:** Beispielhafte Darstellung für die „Richtwirkung“ eines Subwooferarrays für unterschiedliche Frequenzen und Entfernungen.

## Optimierte Vorgehensweise

SoundPLAN [3] unterstützt zukünftig die direkte Übernahme der Projektdaten von ArrayCalc um Informationsverluste

zwischen den Fachplanern zu vermeiden. Das Rechenmodell kann dann mit allen zur Verfügung stehenden Geometrieobjekten (Gelände, abschirmende und reflektierende Flächen) ergänzt werden um dann eine Schallimmissionsprognose unter Berücksichtigung von Interferenzeffekten durchzuführen. Dazu muss die Laufzeit der Schallsignale berücksichtigt werden, damit die Phasenunterschiede am Immissionsort bekannt sind und eine komplexe Summation durchgeführt werden kann. Dieses Vorgehen wurde sowohl für die ISO 9613-2 [2] und die Nord2000 [4] umgesetzt. Bei der Berechnung der Bodeneffekte und Reflektionen wird weiterhin von inkoheränten Punktschallquellen ausgegangen. Dies ist nicht korrekt, lässt sich aber im Rahmen der gängigen Richtlinien nur schwer anders lösen.

### Auswirkung auf die Schallimmissionsprognose

Um die Auswirkung dieser optimierten Vorgehensweise zu dokumentieren wurde für eine typische Beschallungsanlage, einmal mit dem konventionellen Ansatz (jeder Lautsprecher eine Punktschallquelle mit 3D-Richtwirkung) und einmal mit dem optimierten Ansatz (phasenrichtige Berechnung) durchgeführt und verglichen.

#### Setup des Testprojektes:

Die Beschallungsanlage bestand aus einem Subwoofer-Array (6 Lautsprecher) und 2 Main-Arrays (mit jeweils 8 Lautsprechern). Für die optimierte, phasenrichtige Berechnung werden in SoundPLAN die einzelnen Lautsprecher in Punktschallquellen aufgelöst. Anzahl pro Lautsprecher bei der verwendeten J-Serie sind 3 Punktschallquellen pro Subwoofer und 17 Punktschallquellen pro Lautsprecher des Main-Arrays. Die für den Test verwendete Beschallungsanlage wird für die phasenrichtige Berechnung somit in 290 Punktschallquellen aufgelöst.

#### Ergebnisse:

Zwischen den beiden Ansätzen ergeben sich deutliche Pegelunterschiede von bis zu  $\pm 11$  dB für einzelne Frequenzen, aber auch für den Gesamtbeurteilungspegel. Dies gilt sowohl im Nahfeld aus auch für größere Entfernungen.

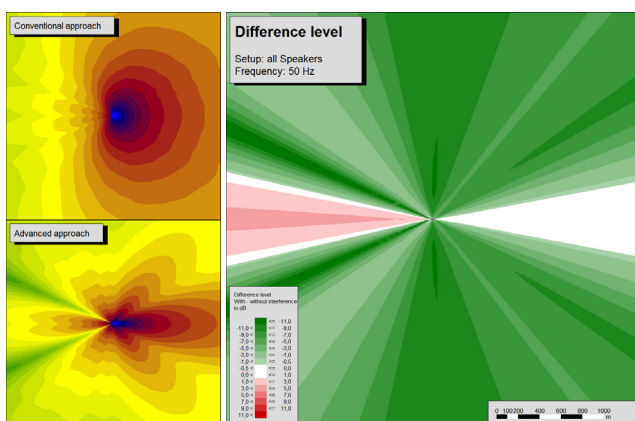


Abbildung 2: Berechneter Schalldruckpegel und Pegeldifferenz für 50 Hz.

Mit dem konventionellen Ansatz kommt es beim Summenpegel zu einer deutlichen Überschätzung der Schallpegel in der Umgebung von ca. 5 dB bzw. hinter der Bühne in Teilbereichen sogar von bis zu 10 dB.

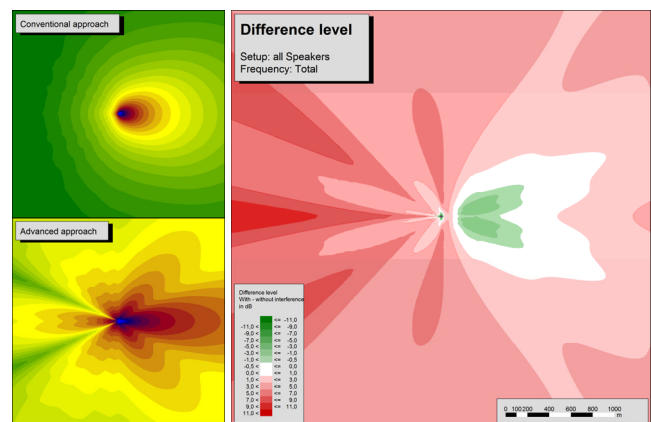


Abbildung 3: Berechneter Schalldruckpegel und Pegeldifferenz für den Summenpegel.

Dies verdeutlicht zu welchen falschen Ergebnissen es mit einer konventionellen Prognose kommen kann, mit der Konsequenz einer groben Fehleinschätzung bei der Beurteilung.

### Zusammenfassung

Mit der Umsetzung der direkten Verwendung von Lautsprecherdefinitionen und die Berücksichtigung der Phaseneffekte in SoundPLAN, wurde die Lücke zwischen Lautsprecherproduzent / Planer und Umwelt Akustiker geschlossen. Jetzt ist es sehr leicht möglich, präzise Geräuschpegel in der Umgebung von Freiluftveranstaltungen mit Beschallungsanlagen ohne Reibungsverluste zwischen den Planern zu prognostizieren. Die neu eingeführte Methodik zur Berücksichtigung der Phaseneffekte führt zu verlässlichen Ergebnissen und somit einer besseren Beurteilung der Lärmpegel in der Umgebung. Dadurch werden typische Fehler in der Prognose und deren Beurteilung vermieden.

### Literatur

- [1] ArrayCalc user's manual TI 385, d&b Line array design, d&b audiotechnik GmbH (Backnang, 2014), [www.dbaudio.com](http://www.dbaudio.com)
- [2] ISO 9613-2, Attenuation of sound during propagation outdoors - part 2: General method of calculation (1996).
- [3] SoundPLAN® users's manual, Braunstein + Berndt GmbH / SoundPLAN International LLC (Backnang, January 2014), [www.soundplan.eu](http://www.soundplan.eu)
- [4] Nord2000, A General Nordic Sound Propagation Model and Applications (Group Nordic Noise, 31 December 2001).