Line-Array Simulation White Paper
2006 März 28

von Volker Löwer
IFBsoft
Eleonorentr. 11
65474 Bischofsheim
Germany

Das Babylon-Syndrom

Über Line-Arrays wird immer mehr geredet und geschrieben.

Leider gibt es aber für die Nachbildung des Verhaltens von sogenannten Line-Arrays zur Zeit keine einheitlichen, standardisierten Daten und Algorithmen zur Nutzung in CAAD Simulationsprogrammen.

Die zur Zeit verwendeten Verfahren zur Beschreibung des Verhaltens von Line-Arrays sind recht verschieden und deren zugrundeliegenden Daten und Methoden sind für den Anwender meist weder transparent noch klar nachvollziehbar.

Ganz besonders schwierig ist es nach unseren Erfahrungen, aussagekräftige Ballondaten der Einzelelemente eines Line-Arrays von den Herstellern zu bekommen.

Bei den letzten Diplomarbeiten, die unser Unternehmen zur Untersuchung von Line-Array Simulationsverfahren unterstützt hat, haben wir zum Erhalt solcher Daten, wenn überhaupt, in der Regel weitreichende Geheimhaltungsvereinbarungen unterzeichnen müssen.

Aber was ist ist den an Lautsprecherdaten nun so geheim? Sind die Eigenschaften eines Line-Arrays am Ende nicht durch die Eigenschaften der Einzelteile beschreibbar aus denen das gesamte Array besteht? Aber wenn die Eigenschaften nicht in den Einzelteilen stecken, wo stecken sie dann?

Inzwischen häufen sich nun auch die Fälle, dass für ein Projekt eine Simulation eines Line-Arrays verlangt wird. Nun kann aber das Line-Array vom Hersteller A oft nur in der Software X und das Line-Array des Herstellers B nur in der Software Y berechnet werden, da nur für diese Softwarepakete entsprechende Daten und Verfahren zur Verfügung stehen. Die Vergleichbarkeit der Simulationsergebnisse ist damit äußerts fraglich, besonders wenn auch noch unterschiedliche Berechnungsmethoden in den Softwarepaketen verwendet werden. Und wenn die Eingangsdaten der Lautsprecher oder die Messmethoden unterschiedlich sind, was und wie soll dann am Ende für eine seröse Entscheidungsfindung in einem Projekt verglichen werden?

In einem unserer letzten Projekte ging es sogar noch weiter. Wir sollte ein Konzept mit einem Array aufgrund eines uns vorgelegten Simulationsergebnisses auf seine Tauglichkeit beurteilen.
Wir merkten an, dass wir nicht nachvollziehen könnten wie das vorgelegte Ergebniss berechnet wurde und auf welchen Lautsprecherdaten es beruhe.
Weiterhin äußerten wir, dass es in der Nähe des verwendeten (simulierten Lautsprecher-Arrays) doch im Vergleich zu den weiter entfernten Bereichen laut der Simulationsergebnisse extrem laut sei.

Die Antwort ließ nicht lange auf sich warten.

Sie lautete sinngemäß, dass die entsprechenden Software-Module für diesen Lautsprechertyp noch nicht ganz fertig seien und daher die Ergebnisse eigentlich anders aussähen. Und außerdem sei das Array so umfangreich parametrierbar, dass nahezu jede beliebige Pegelverteilung erzielt werden könne.

Nun gut, wenn sowieso nahezu jedes Ergebnis erzielt werden kann stellt sich die Frage nach der Notwendigkeit einer Simulation.

Wenn der Anbieter einfach vertraglich vereinbart, dass er die Wunschergebnisse erfüllt, so reicht zum Darstellen der Wunschergebnisse auch ein Malprogramm mit ansprechender Farbpalette.

von Volker Löwer
IFBsoft
Eleonorentr. 11
65474 Bischofsheim
Germany

CAAD Simulation als Planungswerkzeug

Wir möchten uns ja gerne dafür einsetzen, dass Simulationssoftware im Sinne von Vorausberechnungen weiterhin als Planungswerkzeug einsetzbar sind.

Damit dies gelingen kann ist es unabdingbar, dass für den Anwender die verwendeten Daten der Lautsprecher transparent und die Berechnungsmethode zumindest im Grundsatz nachvollziehbar sind.

Dies ist schon bei Einzellautsprechern recht problematisch, da verschiedene Lautsprechermeßmethoden, Datenformate, Softwarepakete und Berechnungsverfahren nebeneinander existieren.

Allerdings werden dabei die Ergebnisse klar aus den Eingangsdaten (Lautsprecher-Ballons die man auch anschauen und auf Plausibilität prüfen kann) und der Berechnungsmethode in der jeweiligen Software erzeugt.

Bei den meisten Line-Array-Simulationen kennt der Anwender jedoch weder die Lautsprecher-Eingangsdaten, noch die Methode, wie aus diesen Daten das Gesamtverhalten ermittelt wird.

Damit wird auch die Möglichkeit über die Plausibilität und Gültigkeit der brechneten Ergebnisse zu urteilen stark eingeschränkt, wenn nicht sogar unmöglich.

Dies ist sicherlich kein erstrebenswerter Zustand.

Ein anwendertransparenter Ansatz

Wegen der genannten Schwierigkeiten versuchen wir nun mit der ULYSSES Software einen anderen Weg zu gehen:

Die näherungsweise Nachbildung des Verhaltens von Line Arrays ist in ULYSSES prinzipiell schon lange möglich (vgl. http://www.ifbsoft.de, d_line_array_diplomarbeit.pdf von *Volker Holtmeyer*)

Im einfachsten Fall wird jedes Lautsprecherelement eines Line-Arrays durch den im Fernfeld gemessenen Ballon dieses einzelnen Lautsprecherelements ersetzt. Fernfeld ist hier als Fernfeld eines einzelnen Line-Array-Elements zu verstehen und soll nicht mit den für Line-Arrays üblichen Fern- und Nahfeldbegriffen verwechselt werden, die sich auf ganze Arrays beziehen.

Die Berechnung von Pegel und Zeit mit Oktavmittelung[1] liefert dann Ergebnisse die zur Abschätzung des zu erwartenden Beschallungsergebnisses herangezogen werden können.

Ebenso besteht die Möglichkeit ein Lautsprecherelement eines Line-Arrays durch eine vertikale Anordnug von mehreren Quellen abzubilden. Dies kann die Genauigkeit der Berechnungen in bestimmter Hinsicht vergrößern.

Weil die Abstände der Punkquellen zueinander im Vergelich zu den betrachteten Wellenlängen höherer Audiofrequenzen nicht mehr klein sind entstehen gewisse Ungenauigkeiten bei der Pegelberechnung dieser Frequenzbereiche.
Aber in diesem Fall gibt es einen klar sichtbaren, kausalen Zusammenhang zwischen den Eingangsdaten, der verwendeten Berechnungsmethode und den Ergebnissen. Diese Ungenauigkeiten können also aufgespürt, bestimmt und interpretiert werden. Ähnliche Methoden der Interpretation und Bewertung von Modellrechnungen sind in vielen technischen Disziplinen üblich und werden mit Erfolg angewandt.
Es sind also keine Mysterien im Spiel.
Dieser Ansatz steht im absoluten Gegensatz zu allen Simulationen die Black-Box Modellrechnungen

1 **Vgl. ULYSSES online-Help, Oktav-Mittelung, http://wwwifbsoft.de**

von Volker Löwer
IFBsoft
Eleonorentr. 11
65474 Bischofsheim
Germany

benutzen. Bei diesen Verfahren kann der Anwender nicht entscheiden, ob ein Teil der Ergebnisse einfach durch die Eingangsdaten und die Berechnungsmethode erzeugt wird, oder aber durch versteckte, unbekannte oder gar geheimgehaltene Komponenten des angewandten Werkzeuges.

Zur Zeit arbeitet IFBsoft an der Verfeinerung des Verfahrens zur Line-Array Simulation mit dem Ziel größerer Genauigkeiten der Berechnungsergebnisse. Dabei wird versucht jedes Lautprecherelement eines Line-Arrays durch eine vertikale Anordnung von Punktquellen zu ersetzen.

Aber auch bei dieser Entwicklung muss gewährleistet sein, dass die Erzeugung dieser Anordnung aus den gemessenen Daten eines Line-Array-Elements mit einer transparenten, nachvollziehbaren Methode erfolgt. Logischerweise ist dazu natürlich der Ballon eines Einzelelements erforderlich.

Aber auch diese verfeinerten Verfahren werden wieder ihre typischen Ungenauigkeiten erzeugen. Aber sie können wieder klar erkannt, zugeordnet und interpretiert werden.

Wir wissen derzeit noch nicht wie weit sich durch ein solches Verfahren die Genauigkeit der Berechnungen verbessern lässt.

Simulationsergebnisse / Messergebnisse

Glücklicherweise erhielt einer unserer Diplomkandidaten die Chance die anwendertransparente Methode zur Simulation von Line-Arrays in ULYSSES mit richtigen Messungen zu vergleichen.

Insgesamt wurden 3 verschiedene Line-Arrays von 3 verschiedenen Herstellern am gleichen Punkt in der gleichen Veranstaltungsstätte vermessen. Das Ganze dauerte 3 Tage, jeden Tag ein anderes Line-Array.

Abbildung 1: Die Veranstaltungsstätte

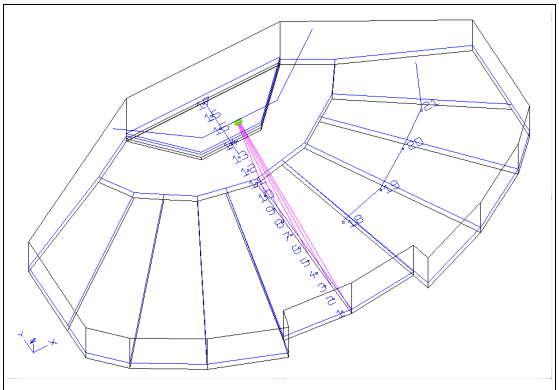

Abbildung 2: Das Raum-Modell

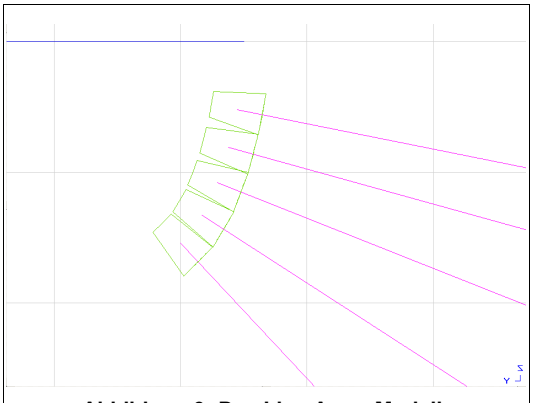

Abbildung 3: Das Line Array Modell

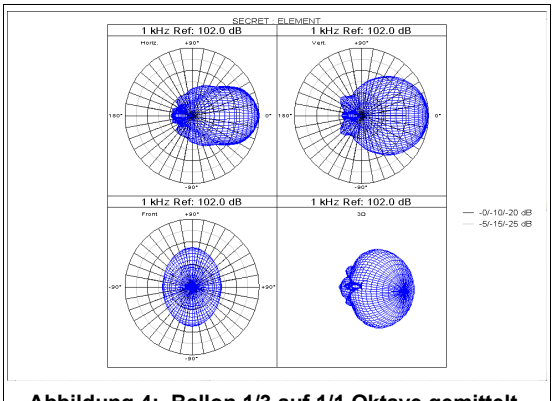

Abbildung 4: Ballon 1/3 auf 1/1 Oktave gemittelt

von Volker Löwer
IFBsoft
Eleonorentr. 11
65474 Bischofsheim
Germany

Im simulierten, gemessenen und hier dargestellten Fall wurden 5-Line-Array-Elemente verwendet.

Der Hersteller lieferte aussagekräftige Daten für die Simulation (Ballons etc.).

Wie schon einige Male vorher mußten wir eine weitere Geheimhaltungsvereinbarung unterzeichnen diese Daten Dritten nicht zugänglich zu machen oder sie an Dritte weiterzugeben.

Aus diesem Grund wird hier weder der Hersteller, noch der verwendete Lautsprechertyp genannt.

Aus den vom Hersteller gelieferten 1/3 Oktav-Daten wurden 1/1 Oktavdaten rechnerisch ermittelt.

Das Stacking, Curving und die Ausrichtung wurde vom Hersteller durch ein spezielles „Prediction Spreadsheet“ ermittelt. Das Line-Array wurde für die bestmögliche Versorgung des mittleren Zuhörerbereiches eingestellt. Die äußeren Zuhörerbereiche links und rechts wurden absichtlich nicht versorgt.

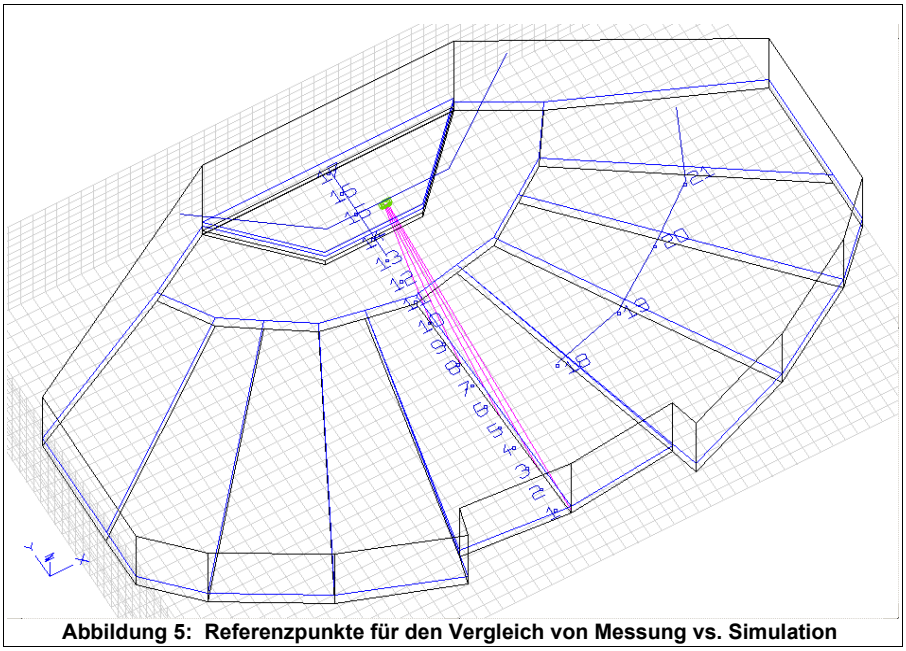

Abbildung 5: Referenzpunkte für den Vergleich von Messung vs. Simulation

Für den Vergleich von Messung und Simulation wurden 21 Referenzpunkte bestimmt.

Es wurden Messungen mir Rosa Rauschen, einem Präzisonspegelmesser und dem MLSSA Messystem durchgeführt. Die mit MLSSA ermittelten Impulsantworten wurden sowohl breitbandig als auch in 1/1 Oktavbändern für den Direktschall ausgewertet.

von Volker Löwer
IFBsoft
Eleonorentr. 11
65474 Bischofsheim
Germany

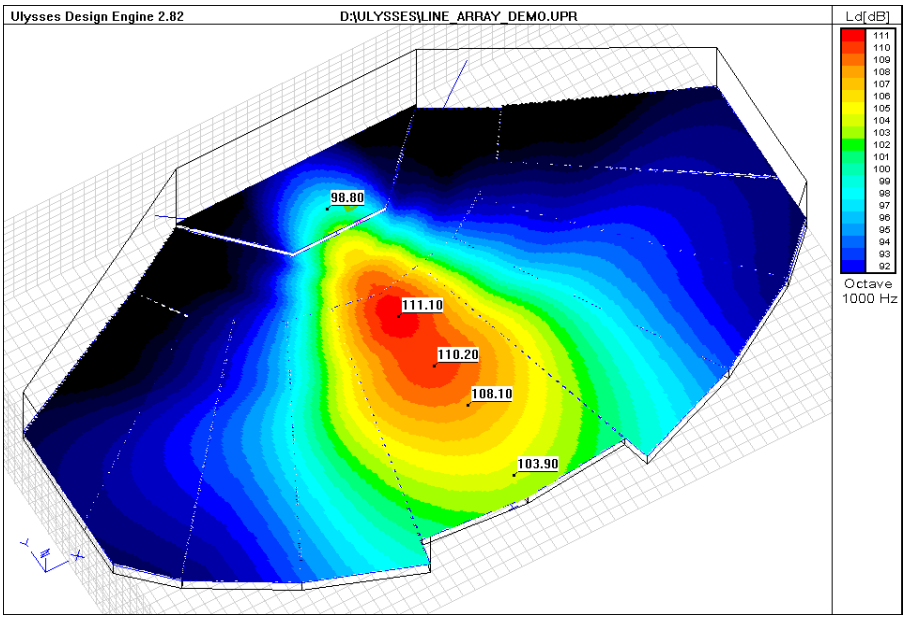

Abbildung 6: Simulation Ld 1kHz Oktave

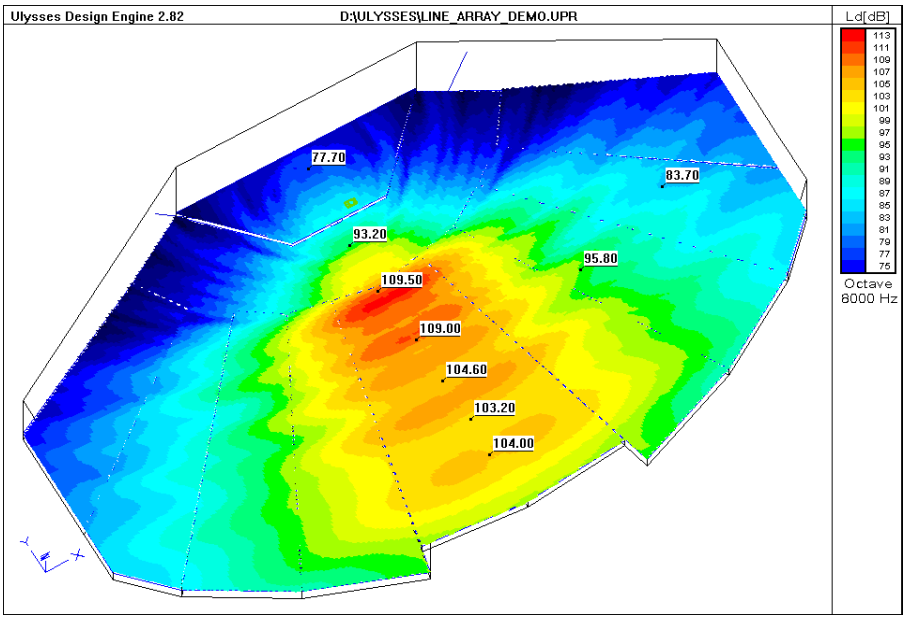

Image 7: Simulation Ld 8 kHz OKtave

von Volker Löwer
IFBsoft
Eleonorentr. 11
65474 Bischofsheim
Germany

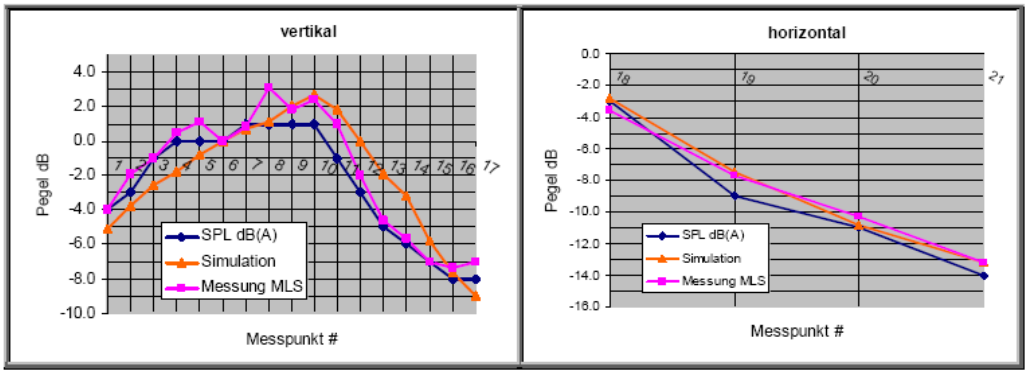

Abbildung 8: Vergleich von Messung vs. Simulation, breitbandig

Eine recht ordentliche Übereinstimmung konnte bei der breitbandigen, linearen Mittelung und bei den A-bewerteten Pegelverteilungen des Direktschalls erzielt werden. Die Übereinstimmung ist besonders gut für das Zielgebiet des geraden Array-Teils (#1-12nicht „gecurvter" Teil). Gleiches gilt für die horizontalen Messungen und Simulationen (#18-21).

Bei stark frequenzselektiver Betrachtung (z.B. nur in einer Oktave) zeigen sich jedoch in der Simulation des Direktschalls gewisse Überhöhungen und Einbrüche im Pegel, die bei den von uns durchgeführten Vergleichsmessungen nicht in der berechneten Intensität auftraten.

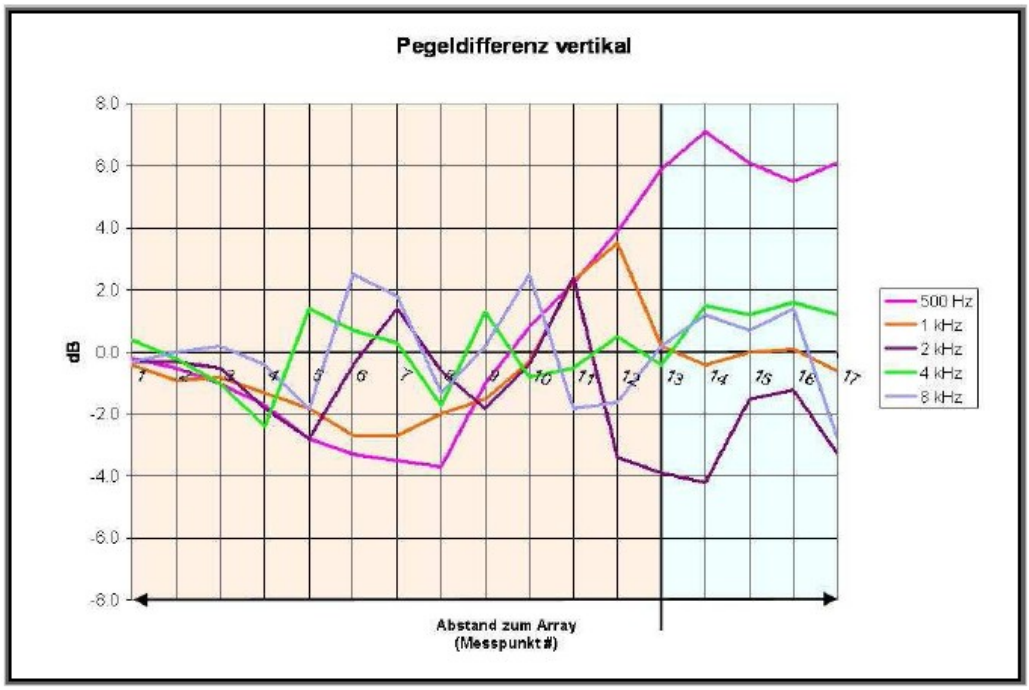

Abbildung 9: Vergleich Simulation vs. Messung, 1/1 Octave (Referenzpunkte #1-17)

Interessanterweise sind die Abweichungen in den höheren Frequenzbändern jedoch insgesamt nicht so stark wie man allein aus der verwendeten Methode erwarten könnte (vergl. *„What's a DLL"*, SynAudCon Newsletter Volume 33, Number 4 Fall 2005 and *„What's a DLL, Part 2, Line Array prediction vs. Measurements"*, SynAudCon Newsletter, Volume 34 Winter 2006 © by Pat and Brenda Brown, http://www.synaudcon.com). Die Messungen zeigen eher weichere Pegelübergänge als die Simulation.

von Volker Löwer
IFBsoft
Eleonorentr. 11
65474 Bischofsheim
Germany

Direkt senkrecht unterhalb eines Arrays (#12-13) und hinter dem Array (#13-17) zeigen die simulierten Pegelberechnungen die deutlichsten Abweichungen gegenüber den von uns durchgeführten Vergleichsmessungen. (Frequenzbereiche unter 500Hz konnten aufgrund der verwendeten Fenstertechnik zur Berechnung des Direktschalls aus den Impulsantworten wegen diskreter Reflexionen nicht ausagekräftig ausgewertet werden.)

Hier bilden sich durch die relativ großen Abstände der zur Berechnung verwendeten Ballons „Nebenkeulen“ aus, die bei den Vergleichsmessungen nicht beobachtet werden konnten.
Dies ist ein Effekt der auch aus anderen Untersuchungen bekannt ist bei denen ebenfalls Punktquellen zur Line-Array Simulation verwendet wurden (vergl. „*Berechnung der Schallpegelverteilung und der für die Schallimmission relevantenWerte mit Hilfe von Computersimulationen am Beispiel eines großen Stadions*“ issued CAVIS 2003, Frankfurt/M. by *Anselm Goertz*, Audio & Acoustics Consulting Aachen ; http:/www.anselmgoertz.de).
Im realen Line-Array sind alle aufgereihten Gehäuse vorhanden und beeinflussen das Schallfeld. Dieser Effekt wird, besonders im Tief-Mitteltonbereich, nicht berücksichtigt, da für die Berechnung ja in der Regel Ballons von einzelnen, „freistehend gemessenen“ Lautsprecherelementen verwendet werden.

Wie wir wissen fügen einige Hersteller bei den Messungen eines Einzelelements z.B. jeweils 2 benachbarte Dummy-Gehäusen in der Vertikalebene ein. Nach unserem Verständnis soll dies bei späteren Simulationen des gesamten Arrays den genannten Effekt gewissermaßen im Voraus kompensieren. Ein interessanter Ansatz.

Empfehlungen

Wir empfehlen daher für Line-Array Simualtionen mit ULYSSES:

- geeignete im Fernfeld gemessen Ballons von Line-Array-Lautprecherelementen zu verwenden
- nur gleiche Ballons in einem Line-Array zu verwenden

Bezüglich der Simulationsergebnisse empfehlen wir:

- Die Berechnungen für Pegel und Zeit mit Oktavmittelung durchzuführen

- Besonders für die obersten Oktaven zeigen die Berechnungen im Haupt-Abstrahlbereich gewisse Überhöhungen und Einbrüche im Direktschallpegel und daraus abgeleiteten Parametern.

Die errechneten Pegel sollten daher nicht zu stark frequenzselektiv (z.B. nur in einer Oktave) interpretiert werden, sondern hauptsächlich die gemittelten Pegelwerte der mittleren Frequenzbänder zur Beurteilung herangezogen werden.

Bei Vergleichsmessungen in realen Situationen waren diese lokalen Überhöhungen und Einbrüche deutlich weniger ausgeprägt.

- Die Berechnungen weisen kleinere Rückwärtsdämpfungen im Tief-Mitteltonbereich aus, als sie bei Vergleichsmessungen im realen Fall erreicht werden (ähnliche Abweichungen ergeben sich auch in anderen Line-Array Berechnungsverfahren).

von Volker Löwer
IFBsoft
Eleonorentr. 11
65474 Bischofsheim
Germany

Zusammenfassung

Im Laufe unserer Beratungstätigkeit haben wir einige Erfahrung mit dem beschriebenen anwendertransparenten Verfahren zur Simulation von Line-Arrays gesammelt.

Als Hauptpunkt ist zu nennen, dass im Hauptzielgebiet die Berechnungsergebnisse und Parameter generell eher etwas schlechter ausfallen als sie dann in der Realität meßtechnisch ermittelt werden (ungünstigere Diretschall/Nachhallverhältnis, schlechter AlCons und STI Werte, größere Pegelvarianz besonders zu höheren Frequenzen etc.).

Aber es ist anzumerken, dass dies auch nur dann der Fall war, wenn das jeweilige Line-Array aufgrund seiner Konstruktion und einer der Beschallungssituation angepassten Parametrierung tatsächlich als Array funktionieren konnte.

Außerdem wurde hinter den Arrays eine zu geringe Rückwartsdämpfung errechnet, die dann aber, zum Glück, in der Realität meist deutlich besser war.

Insgesamt lassen sich so aussagekräftige Vorausberechnungen anstellen die nachvollziehbar und vergleichbar sind. Dies ist aber nur möglich, wenn die Hersteller entsprechendes Datenmaterial zur Verfügung stellen.

Weiterer Literaturhinweis:

Diplomarbeit Entwurf: von Benjamin Lampert[2]
„*Praxisnahe Simulation von Line-Array-Lautsprechersystemen mittels Directivity-Balloons*“
Referent: Prof. Dr.-Ing. Christof Ricken
Korreferent: Dipl.-Ing. Phys. Volker Löwer
Entwurfsstand: 2006 März 24

***

2 **Alle Abbildungen, Modelle und Darstellungen mit freundlicher Genehmigung von Benjamin Lampert**