

# Welche Lautsprecherdaten werden für eine aussagekräftige Simulation benötigt?

Anselm Goertz<sup>1</sup>, Michael Makarski<sup>2</sup>, Alfred Schmitz<sup>3</sup>

<sup>1</sup> IFAA Institut für Akustik und Audiotechnik, Herzogenrath, E-Mail: [anselm.goertz@ifaa-akustik.de](mailto:anselm.goertz@ifaa-akustik.de)

<sup>2</sup> IFAA Institut für Akustik und Audiotechnik, Würselen, E-Mail: [michael.makarski@ifaa-akustik.de](mailto:michael.makarski@ifaa-akustik.de)

<sup>3</sup> IFAA Institut für Akustik und Audiotechnik, Korschenbroich, E-Mail: [alfred.schmitz@ifaa-akustik.de](mailto:alfred.schmitz@ifaa-akustik.de)

## Einleitung

Simulationsprogramme für akustische Berechnungen von Räumen und Beschallungsanlagen berücksichtigen Lautsprecher in der Regel als Balloon-Datensatz mit 5° Winkelauflösung. Herkömmliche Lautsprecher können mit diesem nur im Fernfeld des Lautsprechers gültigen Format hinreichend gut dargestellt werden. Komplexere Anordnungen wie Line-Arrays oder DSP-gesteuerte Zeilen erfordern jedoch aufgrund des sehr weit ausgedehnten Nahfeldes eine korrekte Betrachtung und Darstellung der Schallabstrahlung sowohl für das Fernfeld, wie auch für das Nahfeld. Ebenfalls von großer Bedeutung ist die richtige Vorhersage des erreichbaren Maximalpegels durch die Simulation. Die bisher üblichen stark vereinfachenden und auf rein rechnerischen Werten basierenden Verfahren führen häufig zu nicht nachvollziehbaren Aussagen. Dieser Beitrag stellt ein verbessertes Verfahren vor, bei dem der Lautsprecher zunächst in seine einzelnen Elemente (Tieftöner, Hochtöner, Filter, ...) unterteilt und dann gemessen wird, um im Anschluss daran den Datensatz für die Simulation aus den Daten der einzelnen Wege und Filter zu konstruieren [3].

## Datensätze

Konkret bedeutet das, dass jeder Weg des Lautsprechers und die zugehörigen Filterfunktionen einzeln erfasst werden. Alle Messungen, einschließlich der Balloon-Daten, sind dabei als komplexe Datensätze mit Amplituden- und Phasendaten [1] in frequenzlinearer Aufteilung abzulegen. Für das Format sind FFT Spektren mit 16K bis 64K Länge bei 48 kHz Abtastrate zu bevorzugen. Die Auflösung liegt dem entsprechend bei 0,73 bis 2,93 Hz. Die erforderliche Winkelauflösung des Balloons steht im Zusammenhang mit seiner weiteren Verwendung. Werden mit den Balloon-Daten Anordnungen wie Strahlerzeilen, Line-Arrays etc. gebildet, dann sollte die Winkelauflösung in Abhängigkeit von der Ausdehnung und dem Abstand der Einzelquellen zwischen 1° und 10° liegen [2]. Mögliche Symmetrien des Strahlers können zur Reduzierung der Datenmenge genutzt werden. Decken- und Wandeinbaulautsprecher sind in einer Grenzfläche unter Halbraumbedingungen zu messen. Alle Messpunkte des Balloons liegen auf Großkreisen.

**Tabelle 1:** Mindest erforderliche Winkelauflösung des Balloons in Abhängigkeit von der Ausdehnung und dem Abstand der Einzelquellen

Ausdehnung [m]	0,1	0,2	0,4	0,8
Winkelauflösung [°]	10	5	2	1

In der Praxis bewährt haben sich FFT Längen von 16K für die Balloon-Daten und 64K für alle anderen Messungen. Die

dabei entstehenden Datenmengen sind für aktuelle Computersysteme gut zu verarbeiten.

**Tabelle 2:** Anzahl der Messpunkte und die Datenmenge in Abhängigkeit von der Winkelauflösung bei Messung eines vollständige Balloons ohne Symmetrien

Winkelauflösung [°]	10	5	2	1
Anzahl der Messpunkte	703	2701	16471	65314
Datenmenge in MB	45	180	1125	4500

## Directivity im Nah- und Fernfeld

Die Messentfernung für den Directivity Balloon sollte möglichst groß sein, mindestens jedoch im Fernfeld des jeweiligen Strahlers liegen. Typische Messentfernungen liegen bei 4-8 m, so dass man sich bei herkömmlichen Lautsprechern sicher im Fernfeld befindet. Gl.1 zeigt eine einfache Formel zur Abschätzung der Übergangs vom Nah- ins Fernfeld.

$$r_{\text{Fernfeld}} = \frac{l^2 \cdot f}{340 \text{ m/s}} \quad [\text{m}] \quad (1)$$

Problematisch gestalten sich unter diesem Aspekt größere Anordnungen wie Line-Arrays oder Strahlerzeilen. Das Nahfeld einer  $l=3,72 \text{ m}$  langen Zeile hat so z.B. bei  $f=2500 \text{ Hz}$  bereits eine Ausdehnung von  $r=100 \text{ m}$ . Ein Lösungsansatz für eine korrekte Darstellung im Nah- und Fernfeld besteht darin, die Komponenten der Anordnung zunächst einzeln zu messen und später in der Simulation durch eine komplexe Summation wieder zusammensetzen. Die Einzelkomponenten können aufgrund ihrer geringen Ausdehnung problemlos im Fernfeld gemessen werden. Wichtig ist dabei die Erfassung der Phasendaten und die hinreichende Winkelauflösung. Ein weiterer Pluspunkt dieser Vorgehensweise ist die Möglichkeit die Anordnung in der Simulation noch mit variablen Filter und variabler Geometrie zu versehen.

## Maximalpegel und Powercompression

Simulationen werden in der Planungsphase einer Beschallungsanlage häufig zum Nachweis der Sprachverständlichkeit und des erreichbaren Schalldrucks benötigt. Die hier gemachten Aussagen sollten daher der Realität möglichst gut entsprechen und belastbar sein, was in der Vergangenheit bereits häufiger zum Streitpunkt wurde. Es stellt sich daher die wichtige Frage, wie der SPL-Wert zu berechnen ist. Ein einfacher Ansatz besteht darin, aus der angegebenen Sensitivity und der Belastbarkeit des Lautsprechers einen Wert zu berechnen, was von Fall zu Fall jedoch zu unrealistisch hohen Werten führt. Wie die Belastbarkeit zu bestimmen ist,

wird in verschiedenen Normen und Standards beschrieben. Der Grenzwert wird so festgelegt, dass der Lautsprecher in einem bestimmten Zeitraum nicht zerstört werden darf respektive sich in einem thermischen Gleichgewicht befinden muss. Als Testsignale werden typischer Weise bandpassbegrenzte Rauschsignale mit einem auf 6 dB begrenzten Crestfaktor genutzt. Die Messdauer beträgt je nach Anforderung 1 s, 1 min, 2 h oder 100 h. Die beiden letzt genannten Zeiten dienen zur Ermittlungen der thermischen Dauerbelastbarkeit, wo sich der gesamte Lautsprecher mit Spule, Korb und Magnet im thermischen Gleichgewicht befinden soll. Mit einer Zeitspanne von 1 min. wird lediglich die Zeitkonstante zur Erwärmung der Schwingspule berücksichtigt. Der 1 s Test prüft die mechanische Zerstörungsgrenze des Lautsprechers. Diese Verfahren haben gemeinsam, dass sie weder eine Aussage über die bei dieser Belastung entstehende Powercompression ermöglichen noch über die Verzerrungen die das Signal erfährt.

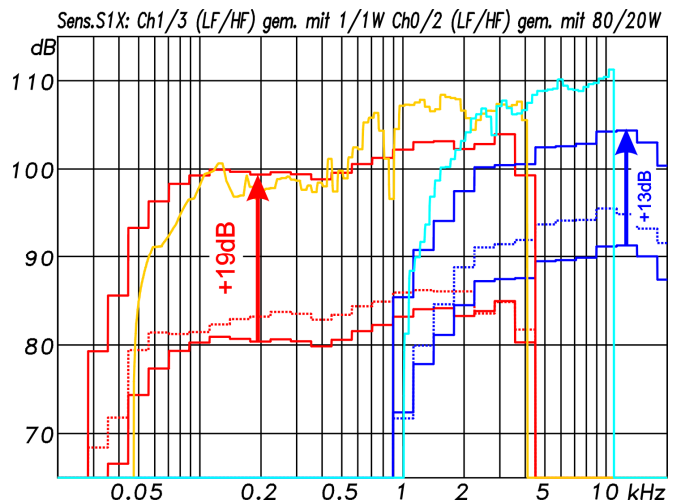
### THD-Messung

Eine Alternative besteht in einer THD-Messung in Abhängigkeit von der Frequenz, bei der ein maximal zulässiger Verzerrungsgrenzwert festgelegt wird. Der Messalgorithmus [4] steigert dabei den Pegel so lange, bis dieser THD-Grenzwert oder ein ebenfalls einstellbares Leistungslimit erreicht ist. Die obere und untere Grenzfrequenz der Messung beschränkt sich auf den typischen Einsatzbereich des jeweiligen Lautsprechers zuzüglich einer Oktave in die jeweilige Richtungen. Das Leistungslimit kann je nach Dauer der Messpausen an den 1 min oder 1 s Belastbarkeitswert des Lautsprechers angelehnt werden.

### Powercompression Messung

Die einem Lautsprecher zugeführte elektrische Leistung wird zu einem großen Teil in thermische Verlustleistung der Schwingspule umgewandelt. Die damit einhergehende Erwärmung der Spule lässt deren ohmschen Widerstand ansteigen und verringert gleichzeitig den Stromfluss und damit die Antriebskraft. Es kommt zur sogenannten Powercompression. Weitere Ursachen für die Powercompression sind in mechanischen Limitierung der Treiber zu finden. Die effektive Sensitivity des Lautsprechers verringert sich daher bei hohen Leistungen in signifikanter Weise. Um diesen Effekt messtechnisch zu erfassen, wird eine Frequenzgangmessung mit einem Rauschsignal vorgeschlagen. Dazu wird bandbegrenztetes Pinknoise mit einem begrenzten Crestfaktor (z.B. 6 dB) genutzt. Zunächst wird die Messung mit einer geringen Leistung ( $\leq 1\text{W}$ ) durchgeführt und daraus ein Referenzfrequenzgang mit Angabe der Sensitivity ermittelt. Anschließend wird der Pegel schrittweise erhöht und dabei die Abweichung von der Referenzmessung in Terzbändern geprüft. Überschreitet die Abweichung einen bestimmten Wert (z.B. 3 dB), dann wird die dabei eingestellte Leistung als Grenzwert definiert. Bei dieser Messmethode stellt sich ebenfalls die Frage nach der Messdauer und dem sich dabei einstellenden thermischen Gleichgewicht des Lautsprechers. Verwendet man ein auf der Sende- und Empfangsseite synchron laufendes FFT Messverfahren, dann lässt sich mit dieser Messung in besonders eleganter Weise direkt eine hoch aufgelöste Frequenzgang und Sensitivity Messung

kombinieren, bei der der frequenzabhängige Sensitivity-Verlust direkt abgelesen werden kann. Mehrfachmessungen und Mittelungen sind bei einer synchronen Messung nicht erforderlich.



**Abbildung 1:** Messungen an einem 2-Wege Monitor. In rot und blau gestrichelt die Sensitivity, gemessen mit einem Pinknoise bei 1W Leistung. Darunter als durchgezogene Linie die Messung mit 80W (LF) und 20W (HF) Leistung. Die Sensitivity sinkt entsprechend der Powercompression. Aus dieser Sensitivity berechneter Maximalpegel für 80W(+19dB) bzw. 20W(+13dB) Leistung. Zum Vergleich die Kurven des Maximalpegels für höchstens 10% THD. Das Leistungslimit für die THD-Messung betrug 200W (LF) und 50W (HF).

### Fazit

Die Zerlegung und Einzelmessung komplexerer Strahleranordnungen mit anschließender Synthetisierung in der Simulation ist ein gut geeignetes Verfahren diese in der Simulation möglichst genau im Nah- und Fernfeld zu berücksichtigen. Zusätzlich wird durch dieses Verfahren auch noch eine hohe Flexibilität bezüglich der geometrischen Strahleranordnung und der elektrischen Filter erreicht. Problematisch und noch nicht eindeutig definiert erscheint jedoch die Berechnung der möglichen Maximalpegel, wo in diesem Beitrag neben den bekannten Belastbarkeitstests mit der THD- und der Powercompression Messung zwei weitere Verfahren zur Diskussion gestellt werden.

### Literaturhinweise

- [1] Feistel S., Ahnert W.: The Significance of Phase Data for the Acoustic Prediction of Combinations of Sound Sources. AES Convention Paper 6632, 2005 October
- [2] Feistel S., Thompson A., Ahnert W.: Methods and Limitations of Line Source Simulation. J. Audio Eng. Soc., Vol. 57, No. 6, 2009 June
- [3] EASE SpeakerLab, AFMG Technologies GmbH <http://www.afmg.de>
- [4] Monkey Forest Mess-Software, Four-Audio GmbH <http://www.four-audio.com>