

# Mysterium Line-Array – Mode oder Trend?

Dipl.-Ing. Volker Holtmeyer

Mit Blick auf die derzeitige Marktsituation stellt sich die Frage, ob es sich bei der Line-Array-Technologie wirklich nur um eine kurzweilige Mode, oder doch um einen anhaltenden Trend mit großem Zukunftspotenzial handelt. Was ist wirklich dran? Wo liegen die Vor- und Nachteile eines solchen Systems? Wo ist ein Line-Array sinnvoll und wo nicht?

Bevor wir versuchen das vermeidliche Geheimnis der Line-Array-Technologie ein wenig zu lüften, erscheint es unerlässlich kurz einen Blick auf die Gesetze der Physik zu werfen, denn auch ein Line-Array vermag diese nicht zu beugen.

## Wellenausbreitung

Befindet sich ein Sender (schwingendes System, von dem sich Wellen ausbreiten) in einem unendlich ausgedehnten Medium und ist zudem relativ zu ihm in Ruhe, so herrschen nach allen Seiten die gleichen Ausbreitungsbedingungen und es gibt durch eventuelle Reflexionen an den Grenzflächen keine Rückwirkungen auf den Sender. In diesem Fall hat man je nach Form des Senders drei verschiedene Formen der Wellenausbreitung, die von besonderem Interesse sind:

1. Die ebene Welle (flächenförmiger Sender)
2. Die Zylinderwelle (linienförmiger Sender)
3. Die Kugelwelle (punktförmiger Sender)

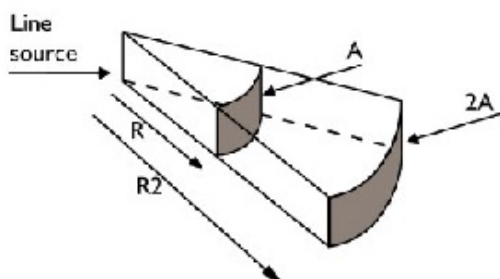
### Die ebene Welle

Der Ausgangsort einer ebenen Welle ist definitionsgemäß eine Ebene, d.h. die Strahlerfläche ist als unendlich ausgedehnte und homogen schwingende Fläche zu betrachten. Alle geometrischen Orte gleicher Phasenlage der ebenen Welle sind Parallelebenen zu der Ursprungsebene. Die Ausbreitungsrichtung steht auf ihr senkrecht. Die ebene Welle ist also ihrem Charakter nach eine eindimensionale Welle.

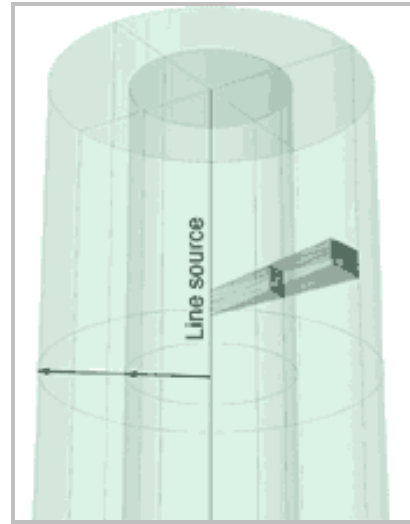
Die Besonderheit der ebenen Welle lässt sich unter anderem darin sehen, dass die Energiedichte überall gleich groß ist. Unabhängig von Entfernung und Position ist der Schalldruck überall konstant. Es kommt also zu keinem Pegelabfall mit der Entfernung.

### Die Zylinderwelle

Wegen der senkrecht zum linienförmig angeordneten Sender überall gleichen Ausbreitungsbedingungen sind Flächen gleicher Schwingungsphase Zylinderflächen, in deren Zentrum der Sender liegt. Die Energiedichte nimmt mit zunehmenden Abstand vom Zentrum ab.



Ausbreitungscharakteristik einer Zylinderwelle

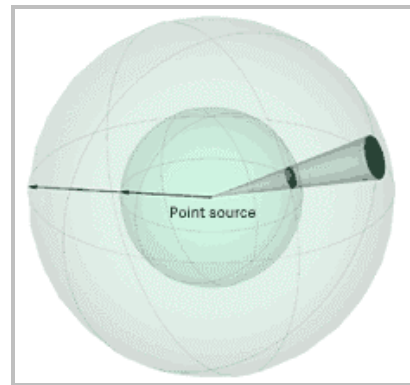


Modell einer Linienquelle

Die insgesamt abgestrahlte Leistung verteilt sich hier bei einer Verdoppelung der Entfernung vom Sender auf die zweifache Fläche. Damit reduziert sich die Leistungsdichte auf die Hälfte (-3 dB) und der Schalldruckpegel um den Faktor 0,707 (-3 dB).

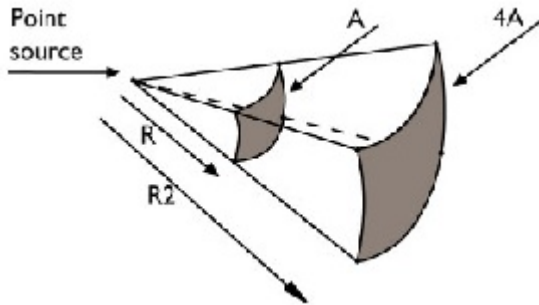
### Die Kugelwelle

Ist der Ausgangsort einer Welle (Sender) als punktförmig anzusehen, so breitet sich die Welle in einem homogenen isotropen Medium als Kugelwelle aus, d.h. die Flächen gleicher Phasen sind konzentrisch zum Sender gelegene Kugelflächen, die gleiche Abstände voneinander haben.



Modell einer Punktquelle

Wie man leicht einsieht, verteilt sich bei der Kugelwelle die Energiedichte auf immer größere Flächen, d.h. sie nimmt mit  $1/r^2$  ab. Daraus ergibt sich eine Abnahme der Wellenamplitude mit  $1/r$ . Diese mit dem reziproken Abstandsquadrat gegebene Abnahme der Energiedichte einer Kugelwelle wird auch als das Quadratisches Abstandsgesetz bezeichnet.



Ausbreitungscharakteristik einer Kugelwelle

Anders ausgedrückt könnte man auch sagen, dass sich durch die Vervierfachung der Fläche bei Verdopplung der Entfernung zum Sender die Leistungsdichte auf ein Viertel (-6 dB) und der Schalldruckpegel auf die Hälfte (-6 dB) reduziert.

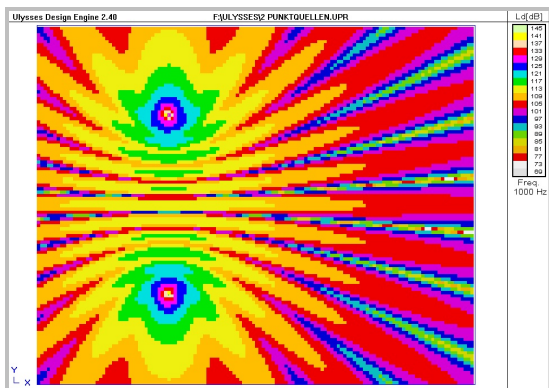
### Interferenzerscheinungen

Wellen können sich wie Schwingungen überlagern. Das Ergebnis der Interferenz hängt von den Amplituden der Einzelwellen und der Phasendifferenz im Punkt der Überlagerung ab, ist also räumlich und zeitlich veränderlich.

Besitzen die Wellen jedoch die gleiche Wellenlänge (respektive Frequenz) und gehen von zwei Sendern aus, die mit einer zeitlich konstanten Phasendifferenz arbeiten, dann ergeben sich raumfeste Flächen gleicher Phasendifferenz beider Wellen, also im Raum lokalisierte Interferenzfiguren.

Die Kurven die alle Punkte gleicher Phasendifferenz miteinander verbinden, sind konfokale Hyperbeln (Brennpunkte sind die beiden Punktschallquellen), denn diese sind mathematisch definiert als geometrische Orte aller Punkte, deren Abstandsunterschied zu zwei Festpunkten (Brennpunkten) gleich groß ist.

Alle Punkte auf der Hörfläche, an denen die beiden Wellen mit der Phasendifferenz  $2\pi$  oder Vielfachen davon eintreffen, lassen eine Verstärkung der dort lokalisierten Schwingung erkennen, wogegen alle Punkte, die durch eine Phasendifferenz  $\pi$  oder ungeradzahliges Vielfachen davon ausgezeichnet sind, praktisch Auslöschung zeigen.

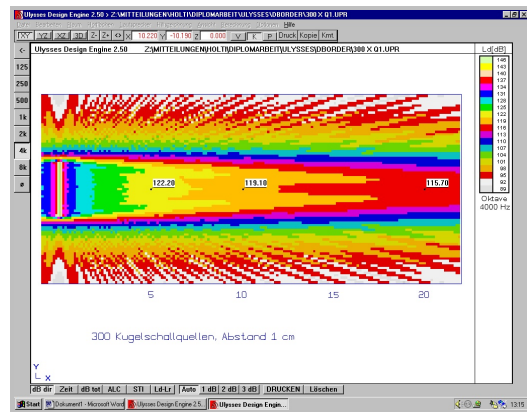


Zur Veranschaulichung wurde in der Abbildung ein solches Interferenzmuster mit der Software Ulysses visualisiert. Die von den Punktschallquellen ausgehenden Kugelwellen haben die gleiche Amplitude und ihre Phasendifferenz ist gleich 0. Betrachtet wird die Frequenz  $f = 1000$  Hz; beide Sender emittieren also ein Signal der gleichen Wellenlänge.

Überträgt man die Beobachtungen in der zweidimensionalen Ebene auf den drei-dimensionalen Raum, erhält man als Orte maximaler Wellenerzeugung

oder vollständiger Auslöschung Rotationshyperbolide, die wiederum die beiden Erregungszentren als gemeinsame Brennpunkte haben.

Ein Sonderfall der Überlagerung von Wellen liegt vor, wenn die Wellenlänge groß gegenüber dem Abstand der Quellen ist. Dabei überlagern sich die von einer geraden Reihe punktförmiger Quellen ausgehenden Kugelwellen und bilden in einer gewissen Entfernung praktisch eine Zylinderwelle. Die Zylinderwelle kann man sich also durch eine Reihe unendlich dicht zusammenliegender Punktquellen entstanden denken.



In der Abbildung ist das Abstrahlverhalten einer Anordnung von 300 linienförmig angeordneten Kugelschallquellen mit einem Abstand von 1 cm zueinander zu sehen. Bei der betrachteten Frequenz von 4 kHz ist sehr deutlich das Verhalten einer Linienquelle mit einem Pegelabfall von 3 dB pro Entfernungsverdoppelung zu erkennen. Zu beachten ist die im Berechnungsalgorithmus fest implementierte Luftabsorption, die zu höheren Frequenzen zunehmend in Erscheinung tritt.

### Theoretische Grundlagen von Linienquellen endlicher Länge

Grundsätzlich besitzt ein modernes Line-Array - eine kohärente Kopplung aller Elemente und eine gerade Ausrichtung vorausgesetzt - ein Zylinderwellenverhalten. Durch die endliche Länge ist dieses Verhalten aber nur bis zu einer gewissen räumlichen Ausdehnung gültig. Es gibt dabei einen kontinuierlichen Übergang von einem Nahfeld mit zylindrischer Wellenausbreitung in ein Fernfeld mit sphärischer Wellenausbreitung. Dieser Übergang lässt sich näherungsweise mit folgender Formel errechnen:

$$d_{\text{Border}} = \frac{3}{2} h^2 f \sqrt{1 - \left( \frac{1}{3hf} \right)^2}$$

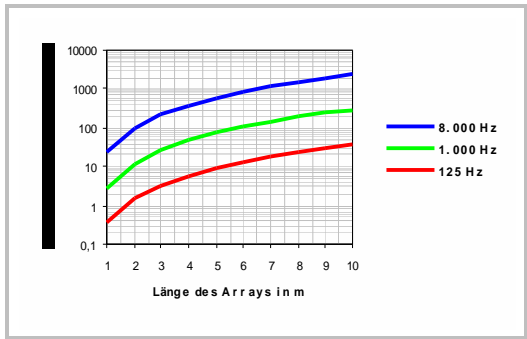
wobei  $h$  die Höhe des Arrays in m und  $f$  die Frequenz in kHz ist.

Für übliche Frequenzen und Höhen des Arrays wird der Wurzel-Ausdruck näherungsweise zu 1. Daraus ergibt sich die häufig benutzte überschlägige Formel:

$$d_{\text{Border}} = \frac{h^2 f}{2c}$$

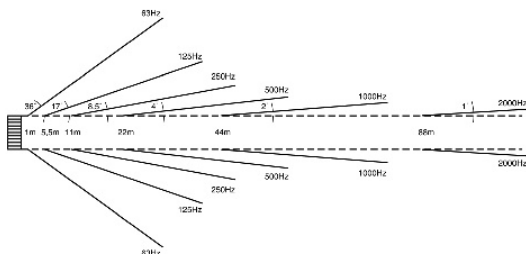
wobei  $h$  die Höhe des Arrays in m,  $f$  die Frequenz in Hz und  $c$  die Schallgeschwindigkeit ist.

Wie man erkennt, ist der Übergang sehr stark von der Länge der Linienquelle abhängig und auch von der Frequenz, was im folgenden Diagramm dargestellt ist.



Übergang vom Nahfeld zum Fernfeld

Das Nahfeld, welches gelegentlich auch als Fresnel-Region bezeichnet wird, zeichnet sich durch den günstigen Umstand einer Reduzierung des Schalldruckpegels von nur 3 dB pro Entfernungsverdoppelung aus. Für das Fernfeld bzw. die Fraunhofer-Region nimmt der Schalldruckpegel wieder wie beim gewöhnlichen Lautsprecher mit 6 dB pro Entfernungsverdoppelung ab.

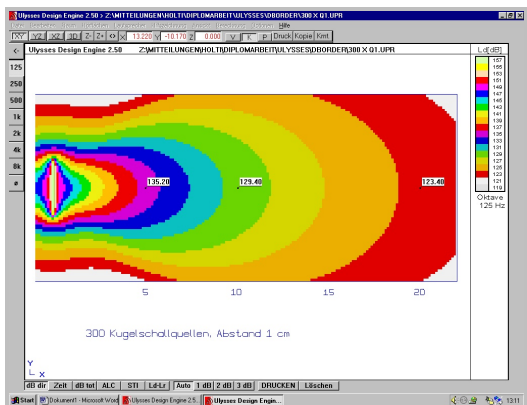


Vertikaler Öffnungswinkel einer 4 m langen Linienquelle mit Übergang vom Nah- zum Fernfeld

Die vertikale Richtcharakteristik eines gerade Linienstrahlers ist gekennzeichnet durch den  $-6$  dB-Öffnungswinkel des Hauptmaximums, der sich berechnet als:

$$D_v = 2 \sin^{-1} \left( \frac{0,6}{3hf} \right)$$

wobei  $h$  die Höhe des Arrays in m und  $f$  die Frequenz in kHz ist.

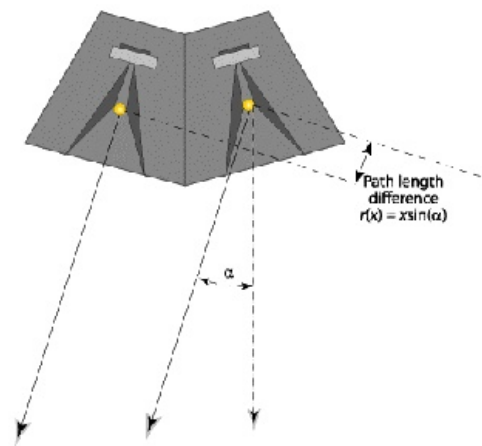


In der Abbildung ist das Abstrahlverhalten einer Anordnung von 300 linienförmig angeordneten Kugelschallquellen mit einem Abstand von 1 cm zueinander zu sehen.

Bei der betrachteten Frequenz von 125 Hz befinden sich die angeklickten Pegelwerte im Fernfeld, was durch den Pegelabfall von 6 dB pro Entfernungsverdoppelung zu erkennen ist.

## Konventionelle Lautsprecher Cluster

Eines der bedeutenden Kriterien für moderne Beschallungsanlagen ist ein hoher Schalldruckpegel für den gesamten hörbaren Frequenzbereich. Mit einem einzigen Lautsprecher stößt man da sehr bald an Grenzen. Darum bildet man üblicherweise sogenannte Cluster; man gruppiert also eine gewisse Anzahl an Lautsprechern. Im einfachsten Fall kann das die simple Aufstellung von zwei Lautsprechern nebeneinander sein.



Wegunterschied zweier Lautsprecher

Wie leicht nachzuvollziehen ist, treffen von beiden Quellen zeitgleich ausgesandte Signale für die meisten Punkte im Raum mit einem zeitlichen Versatz ein. Dadurch entstehen Interferenzen, die im Raum ein Interferenzmuster bilden, wie schon zuvor beschrieben. Lediglich für tiefe Frequenzen, wo die Wellenlänge größer als der doppelte Abstand der Quellen ist, koppeln beide Quellen und wirken wie eine einzige.

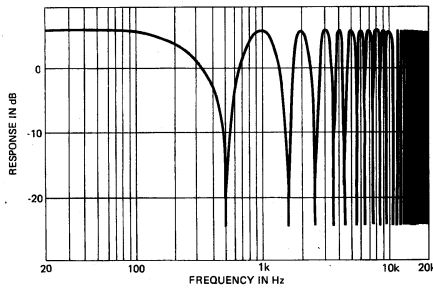
Darum versucht man bei der konventionellen Cluster-Bildung im Tieftonbereich eine Kopplung der Tieftontreiber zu erreichen. Für den Hochtonbereich ist dies nicht möglich und man verwendet stark bündelnde Hornsysteme mit einem möglichst konstanten Richtverhalten. Diese sind jeweils auf unterschiedliche Bereiche des Auditoriums gerichtet und man versucht die Überlappungsbereiche möglichst klein zu halten.



## Überlappungsbereiche bei der konventionellen Cluster-Bildung

Zur Cluster-Bildung geeignete Lautsprecher haben aufgrund ihres hohen Bündelungsfaktors eine höhere Sensitivity, vermögen also in Hauptabstrahlrichtung mehr Schalldruck zu erzeugen, als Lautsprecher mit geringerer Bündelung. Die insgesamt abgestrahlte Energie ist hingegen gleich.

Lautsprecher in einer Cluster-Anordnung sollten mit ihrem nominellen Abstrahlwinkel<sup>1</sup> zueinander angeordnet werden, so dass der Pegel im Überlappungsbereich in Punkten konstruktiver Interferenz gleich dem Pegel in Hauptabstrahlrichtung ist. In Punkten destruktiver Interferenz ist der Pegel für entsprechende Frequenzen jedoch in jedem Fall geringer, als bei der Verwendung nur eines einzigen Lautsprechers, wodurch im Überlappungsbereich Einbrüche im Frequenzgang entstehen.



Dargestellt ist der Frequenzgang, der durch die Interferenz zweier Quellen entsteht, die einen Entfernungsunterschied von etwa 34 cm zum Empfänger haben.

Mit dieser Art der Anordnung von Lautsprechern gelingt es also durchaus für viele Zuhörer eine breitbandige Schalldruckpegelerhöhung zu erzielen. Allerdings sind die räumlichen Übernahmbereiche der einzelnen Lautsprecher äußerst kritisch zu betrachten. Hier kommt es zu den beschriebenen Einbrüchen im Frequenzgang, die sich - da durch destruktive Interferenzen verursacht - auch nicht etwa durch einen Equalizer ausgleichen lassen.

## Moderne Line-Arrays

Hier setzt nun der Grundgedanke moderner Line-Array-Lautsprechersysteme an. Ziel ist es, für den gesamten Frequenzbereich eine kohärente Wellenfront zu erzeugen; ein Line-Array soll also quasi als ein einziger großer Lautsprecher agieren.

Um das System leichter handhabbar zu machen und um es für verschiedene Anforderungen konfigurieren zu können, ist es modular aufgebaut. Das bedeutet, dass es in mehrere Elemente unterteilt ist, die in der Regel als Mehrwegesystem aufgebaut sind. Dieses beinhaltet wiederum neben konventionellen Konuslautsprechern sogenannte Waveguides für den Hochtonanteil.

## Waveguides

Bei einem Line-Array ist es von erheblicher Bedeutung, dass eine zusammenhängende Wellenfront erzeugt wird. Dazu bedarf es einer kohärenten Kopplung der einzelnen schallabstrahlenden Systeme, was einen maximalen Abstand der akustischen Zentren von der halben Wellenlänge zueinander voraussetzt. Für den Tief- und Mitteltonbereich, wo die Wellenlänge groß ist, ist das noch kein Problem und es kann mit herkömmlichen Konus-Treibern gearbeitet werden.

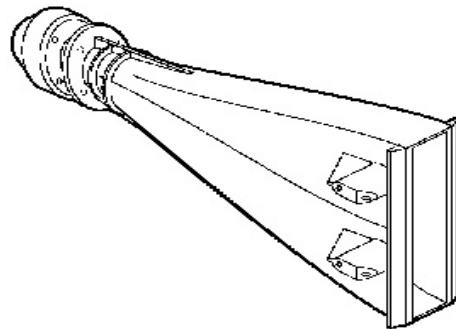
Schwierig wird es allerdings am oberen Ende des menschlichen Hörbereichs. Möchte man für eine hochwertige Musikedarbietung als höchste Frequenz beispielsweise 16 kHz übertragen, entspricht das einer Wellenlänge von etwa 21 mm. Demzufolge müsste ein Treiberabstand von ca. 10 mm eingehalten werden. Mit gewöhnlichen Treibern ist das nicht mehr zu realisieren,

woraus ersichtlich wird, dass dem Problem durch eine schlichte Aufreihung von Quellen nicht begegnet werden kann.

Um nun auch im Hochtonbereich eine kohärente Wellenfront über die gesamte Höhe des Line-Array-Elementes - und damit über die Höhe des gesamten Arrays - zu bilden, gibt es von den verschiedenen Herstellern die unterschiedlichsten Ansätze, die im Folgenden kurz erläutert werden sollen.

## Koerzitiv-Waveguides

Die wohl einfachste Lösung ist die Verwendung eines konventionellen Kompressionstreibers mit einem langen Horn, das eine im Verhältnis zur Länge kleine schlitzzartige Schallaustrittsöffnung hat. Durch die lange Schallführung wird erreicht, dass ein geringer Laufzeitunterschied der aus der Hornmündung austretenden Schallanteile besteht.

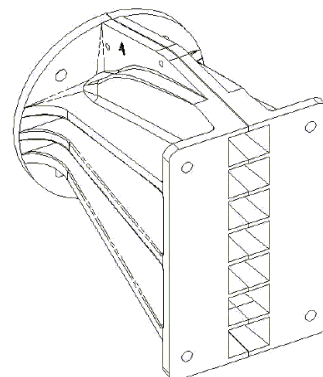


WaveFormer™ der Firma JBL

Die dennoch gekrümmte Wellenfront darf eine Phasendifferenz von einer viertel Wellenlänge nicht überschreiten, um mit dem darüber bzw. darunter anschließenden Waveguide kohärent zu koppeln.

## Schallführung in Kanälen

Häufig anzutreffen ist auch die Schallführung mittels unterschiedlicher Kanäle. Diese Kanäle werden von einem konventionellen Kompressionstreiber angetrieben und leiten den Schall zu mehreren übereinander angeordneten Austrittsöffnungen. Diese Öffnungen emittieren den Schall weitgehend sphärisch, weisen aber aufgrund ihres geringen Abstandes eine kohärente Kopplung auf.



Hydra™ der Firma ElectroVoice

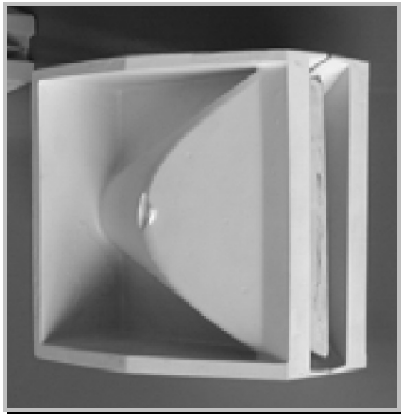
Die einzelnen Kanäle haben zumeist eine unterschiedliche Länge und beinhalten bei einigen Herstellern zusätzlich Materialien (Schaumstoff o.ä.), welche die Geschwindigkeit des Schalls mindern sollen.

<sup>1</sup> Der nominelle Abstrahlwinkel eines Lautsprechers ist in der Regel definiert als der Winkel bei dem der Pegel gegenüber der Hauptabstrahlachse jeweils um 6 dB geringer ist.

So kann auch bei einer solchen Konstruktion eine zusammenhängende Wellenfront erzielt werden.

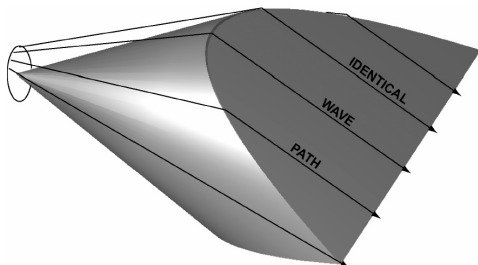
### DOSC-Waveguide

Von der Firma L-Acoustics patentiert ist eine Schallführung nach der sogenannten Wavefront Sculpture Technology™ (WST™). Dabei wird ein konventioneller Kompressionstreiber an eine Schallführung angeschlossen, die alle Schallanteile kontinuierlich derart umlenkt, dass sie aus der spaltförmigen Mündung phasengleich austreten.



DOSC-Waveguide

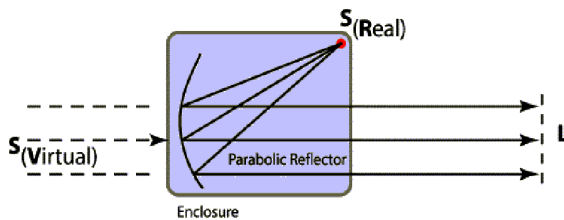
Dazu wurde gewissermaßen ein eingehüllter Phaseplug entwickelt, um den herum alle Pfade vom Treiberanschluss bis zur Austrittsöffnung eine konstante Länge aufweisen.



Pfade im DOSC-Waveguide

### Parabolischer Reflektor

Ein neuer und innovativer Ansatz wurde von der Firma NEXO in den Modellen der GEO-Serie verwirklicht. Unter Verwendung eines parabolisch geformten akustischen Spiegels wird der Schall, der von einem konventionellen Kompressionstreiber erzeugt wird, umgelenkt. Durch die Reflexion haben alle Schallanteile beim Erreichen der Austrittsöffnung die gleiche Laufzeit und sind damit phasengleich.



Prinzipieller Aufbau des parabolischen Reflektors

Als interessante Varianten gibt es auch noch elliptisch und hyperbolisch geformte Reflektoren. Der elliptische Reflektor hat die Eigenschaft, eine konkav gekrümmte

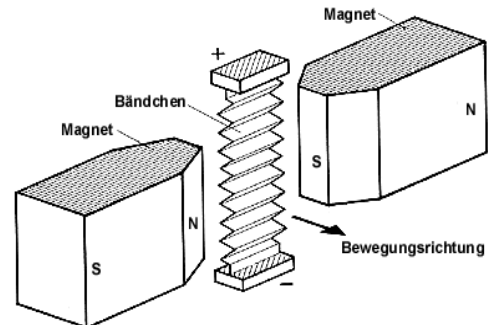
Wellenfront zu bilden und so den Schall in einem Brennpunkt zu fokussieren. Mit dem hyperbolischen Reflektor, der eine konvex gekrümmte Wellenfront erzeugt, gelingt es mehrere Treiber als Punktschallquelle agieren zu lassen, indem man die virtuellen Brennpunkte überein bringt.



Parabolischer Reflektor

### Bändchenhohtöner

Bei Großbeschallungs-lautsprechern selten anzutreffen sind Bändchenhohtöner. Bei einem klassischen Bändchenlautsprecher ist zwischen zwei entgegengesetzt gepolten Magnetplatten ein hauchdünnes, extrem massearmes Aluminiumbändchen gespannt. Es handelt sich um das gleiche Antriebsprinzip, wie bei einem Tauchspulenwandler, jedoch mit dem Vorteil, dass Spule und Membran identisch sind.



Prinzipieller Aufbau eines Bändchenlautsprechers

So kann eine sehr lange zusammenhängendes Band erreicht werden, dass auf der gesamten Länge isophasisch arbeitet. Aufgrund des geringen Wirkungsgrades ist diese Technik lediglich für den Hochtonbereich interessant.



Line-Array mit Bändchenhohtönern

### Abstrahlverhalten

Die horizontalen Abstrahleigenschaften eines Line-Arrays sind nicht variabel; dabei ist es weitgehend unerheblich, aus wie vielen Elementen das Line-Array besteht. Line-Array-Elemente besitzen häufig einen definierten horizontalen Abstrahlwinkel zwischen 70° und 120°. Einige Hersteller ermöglichen es jedoch Elemente mit verschiedenen Abstrahlwinkeln zu kombinieren. Damit wird es beispielsweise möglich, für Bereiche nahe des Arrays weite Winkel und für die

hinteren Zuhörerbereiche kleinere Abstrahlwinkel zu verwenden.

Um das vertikale Abstrahlverhalten eines modernen Line-Arrays zu verstehen, betrachten wir zunächst noch einmal zwei Charakteristika der Linienquelle endlicher Länge:

Wie bereits beschrieben, ist der Übergang vom Nahfeld zum Fernfeld einer Linienquelle endlicher Länge respektive eines geraden Line-Arrays abhängig von der Länge der Quelle und der Frequenz. Dabei ist zu beobachten, dass mit größer werdendem Verhältnis von der Länge der Quelle zur Wellenlänge sich das Nahfeld immer weiter ausdehnt. Das lässt den Schluss zu, dass bei einem geraden Line-Array mit zunehmender Entfernung der Frequenzgang immer Hochton-lastiger wird.

Weiter ist auffällig, dass der vertikale Öffnungswinkel mit zunehmendem Verhältnis von der Länge der Quelle zur Wellenlänge geringer wird. Das lässt erkennen, dass für Punkte außerhalb der vertikalen Hauptabstrahlachse der Frequenzgang immer Tiefton-lastiger wird, wenn das beschriebene Verhältnis zunimmt.

Diese Beobachtungen treffen sowohl für eine ideale Linienquelle endlicher Länge als auch für ein gerades Line-Array zu, wobei der Effekt an sich vom möglichen Richtverhalten der einzelnen Elemente des Arrays unbeeinflusst ist.

Diese beiden Merkmale, die auch bei konventionellen Zeilenlautsprechern zu beobachten sind, sind für praktische Beschallungsaufgaben denkbar ungeeignet. Daher werden bei einigen Zeilenlautsprechern die Pegel der äußeren Chassis mit zunehmender Frequenz gesenkt; die wirksame Länge der Quelle wird also gleichsam im Hochtonbereich verkürzt. Der maximal erreichbare Schalldruck wird dabei gewissermaßen vom Tieftonbereich vorgegeben und um einen linearen Frequenzgang zu erhalten, wird der Pegel im Hochtonbereich entsprechend herabgesetzt.

Genau so könnte man natürlich bei einem modernen Line-Array auch vorgehen. Dem Problem auf der Hauptabstrahlachse wäre damit bereits begegnet, aber der Charakter der Tieftonlastigkeit außerhalb der vertikalen Hauptabstrahlachse bliebe bestehen. Durch die Aufteilung des Line-Arrays in einzelne Elemente bekommt man die Möglichkeit, sozusagen zwei Fliegen mit einer Klappe zu schlagen.

Durch die Winklung der einzelnen Elemente zueinander – dem sogenannten Curving – kann im Mittel- und Hochtonbereich eine Aufweitung des vertikalen Abstrahlverhaltens in gewissen Grenzen erreicht werden. Ein geringer Öffnungswinkel der vertikalen Abstrahlcharakteristik der einzelnen Elemente und zumeist ein trapezförmiger Querschnitt des Gehäuses wirken dabei einem Aufreißen der Wellenfront entgegen. So lässt sich gewissermaßen der vertikale Abstrahlwinkel skalieren.

Vereinfacht könnte man sagen, dass durch das Neigen der Richtcharakteristika der unteren Elemente des Arrays, für weit entfernte Zuhörer im Hochtonbereich nur der obere Teil des Arrays von Bedeutung ist. Zu höheren Frequenzen wird die wirksame Länge des Arrays hier quasi verkürzt. Zu tiefen Frequenzen hingegen wirkt aber das Array in seiner ganzen Länge, da die einzelnen Elemente im tieffrequenten Bereich nahezu keine Richtwirkung haben und deren Ausrichtung daher nicht von Belang ist. So wird der Frequenzgang für weit entfernte Punkte ausgeglichen, indem der Übergang vom Nahfeld zum Fernfeld für alle Frequenzen idealer Weise auf die gleiche Entfernung gebracht wird – ähnlich wie beim gesteuerten Zeilenlautsprecher.



Curving am Beispiel Monarc MLA5

Der eigentliche Trick beim Line-Array ist nun, dass der Hochtonanteil, der von den unteren Elementen emittiert wird nicht einfach unterdrückt, sondern für die Versorgung der vorderen Zuhörerbereiche genutzt wird (wo ja beim geraden Array eine tonale Verschiebung zum Tieftonbereich vorherrscht.)

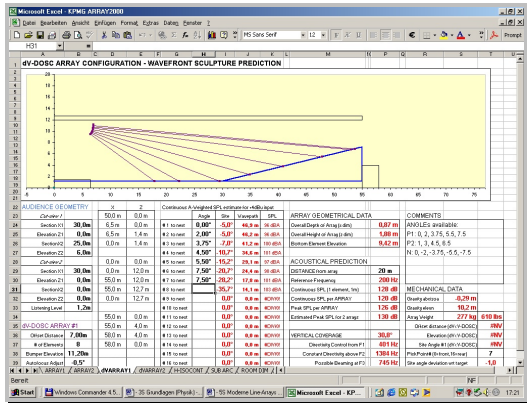
*Ein gebogenes Line-Array wirkt an verschiedenen Punkten im Auditorium für unterschiedliche Frequenzen jeweils als Linienquelle mit einer anderen Länge.*

Es wird deutlich, dass die vertikale Abstrahlcharakteristik eines Line-Arrays in großem Umfang variabel ist und ihrer genauen Planung daher essentielle Beachtung geschenkt werden sollte. Das Ziel dieser Planung ist nun wie beschrieben, das Line-Array an allen Punkten des Zuhörerbereiches für unterschiedliche Frequenzen als Linienquelle mit einer anderen Länge wirken zu lassen.

Dazu bieten die Hersteller von Line-Arrays zumeist auf Spreadsheet-Dateien basierende Computer-Programme an, mit denen sich alle relevanten Parameter berechnen lassen. Als wichtigste Informationen erhält man z.B. die Winkel zwischen den einzelnen Elementen sowie die Ausrichtung des gesamten Arrays und dessen Höhe. Als Grundlage dienen zunächst Informationen über die Raumgeometrie bzw. die Positionen der Zuhörerbereiche. Aufgrund dieser Daten wird dann eine Schnittansicht grafisch dargestellt, in die dann ebenfalls das Line-Array als optischer Anhaltspunkt eingebracht werden kann.

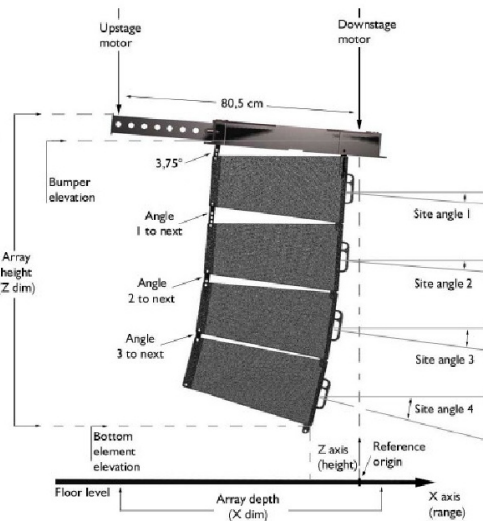
Die Programme arbeiteten naturgemäß nicht aktiv sondern gewissermaßen passiv, was bedeutet, dass die Array-spezifischen Daten zuvor vom Benutzer vorgegeben werden müssen und mithilfe des Programms gleichsam verifiziert werden. Als einfachste Herangehensweise hat sich die Strategie herausgestellt, die Auftreffpunkte der gedachten Hauptabstrahlachsen der einzelnen Elemente auf der Hörfläche einen etwa konstanten Abstand bilden zu lassen. Die meisten Programme unterstützen dieses

Herantasten an die optimale Konfiguration, durch eine optische Darstellung der Hauptabstrahlachsen. Fast alle Programme stellen auch den zu erwartenden Schalldruckpegel im Zuhörerbereich für verschiedene Frequenzen grafisch dar, womit die Funktionalität der vorgegebenen Konfiguration kontrolliert und ggf. nachgebessert werden kann. Durch eher geringere Winkel im oberen Bereich des Arrays kann zum Beispiel der zu hohen Frequenzen zunehmenden Luftabsorption entgegengewirkt werden.



Screenshot, L-Acoustics ARRAY2000-Spreadsheet

Die Ergebnisse gelten als recht genaue Richtwerte für die Installation eines Line-Arrays sind aber nicht etwa gleichzusetzen mit den Ergebnissen einer Simulation mit CAAD-Programmen, da lediglich der Direktschall betrachtet wird und die Raumakustik und die Interaktion mehrerer Line-Arrays keine Berücksichtigung findet.



Parameter beim dV-DOSC-Array

### Fazit

Der Autor möchte keine endgültigen Antworten auf die eingangs gestellten Fragen geben, doch seien für ein umfassendes Bild kurz die wesentlichen Argumente für bzw. gegen ein modernes Line-Array diskutiert:

#### Pro

- **keine destruktiven Interferenzen**  
Durch die kohärente Kopplung der Elemente wird der Schall isophysisch abgestrahlt, wodurch ungewollte Interferenzerscheinungen

weitgehend unterdrückt werden. So kann ein gleichmäßiger Direktschall-Frequenzgang erzeugt werden. Durch die so gewonnene Effizienz kann breitbandig ein hoher Schalldruck erzielt werden.

- **gleichmäßige Pegelverteilung (Skalierbarkeit)**

Durch den modularen Aufbau eines Line-Arrays kann eine gleichmäßige Schalldruckpegelverteilung über die Tiefe des Auditoriums erreicht werden. Dabei kann die vertikale Abstrahlcharakteristik derart skaliert werden, dass Zuhörerbereiche gezielt beschallt werden und andere Bereiche möglichst ausgespart werden.

- **gutes Handling (Transport, Rigging)**

Ein modernes Line-Array ist in recht gut handhabbare Elemente unterteilt, die zu der gewünschten Länge zusammengesetzt werden. In der Regel sind die wesentlichen zum Verbinden notwendigen Bauteile fest mit den Elementen verbunden. Zum Fliegen des gesamten Arrays genügen zwei Hängepunkte und unter Umständen sogar ein einziger.

#### Contra

- **hohe Anschaffungskosten**

Ganz allgemein gesprochen ist die Line-Array-Technologie kostenintensiv. Häufig findet man Argumente bezüglich der Anzahl der im Element vorhandenen Treiber oder andere durchaus nachvollziehbare Argumente bezüglich konventioneller Beschallungskonzepte - fest steht jedoch, dass ein Line-Array für bestimmte Anwendungen aus finanziellen Gründen von vornherein ausscheidet.

- **genaue Planung unabdingbar**

Aufgrund der differenzierten Möglichkeiten der Konfiguration eines Line-Arrays, ist es unabdingbar vor der Installation eine genaue Planung durchzuführen, welche die jeweiligen örtlichen Gegebenheiten berücksichtigt. Dazu bedarf es ein umfassendes Wissen über die Fähigkeiten (und ggf. auch das Unvermögen) eines Line-Arrays.

- **horizontaler Abstrahlwinkel fest**

Die horizontale Abstrahlcharakteristik eines Line-Arrays ist durch die jeweiligen Abstrahlwinkel der einzelnen Elemente festgelegt und ist nicht variabel, wodurch bei sehr breiten Auditorien Probleme auftreten.

- **Windempfindlichkeit bei großen Entfernungen**

Beim Einsatz eines Line-Arrays unter freiem Himmel kann Seitenwind durch den langen Weg, der vom Schall zurückgelegt wird, weitaus kritischer sein, als etwa bei einem Beschallungskonzept mit Delay-Lines.

- **evtl. störende Reflexionen an Rückwänden**

Natürgemäß werden bei der Verwendung eines Line-Arrays senkrechte Begrenzungsflächen unter einem flacheren Winkel beschallt, als etwa bei einem dezentralen Beschallungskonzept. Dadurch treffen dortige Reflexionen auf Bereiche im mittleren

Auditorium und treten dort unter Umständen als Echo auf.

Mit einem modernen Line-Array kann man dem Ziel einer Beschallung mit möglichst ausgeglichenem Frequenzgang bei überall ausreichendem Schalldruckpegel für einen großen Zuhörerbereich sehr nahe kommen. Dabei wirkt die große Richtwirkung eines Line-Arrays den Einflüssen der Raumakustik entgegen und vermag so das akustische Ergebnis zu verbessern. Zu bedenken sind aber beschriebene Umstände die im konkreten Fall ein anderes Beschallungskonzept für sinnvoller erscheinen lassen.