

OpenAir Beschallung mit LineArrays

Ziel von Beschallung

Beschallung wird bei Veranstaltungen immer dann nötig, wenn die Darbietung sonst von Zuhörerplätzen als zu leise empfunden würde, Zuspätkommen eingesetzt werden, oder Klang-Manipulationen eingesetzt werden.

Wird beschallt, so muss eine ausreichende und möglichst gleichmäßige Lautstärke mit ähnlichen Klangeigenschaften auf allen Hörerplätzen erreicht werden. Um dies zu bewerkstelligen bietet sich ein Aufbau an, der möglichst viel Direktschall und möglichst wenig Diffusschall abstrahlt.

Um eine größere Veranstaltungsstätte adäquat beschallen zu können bedarf es aufgrund der ungenügenden Leistung eines einzelnen Lautsprechers immer einer Reihe von Lautsprechern. Dabei ist eine Verbindung mehrerer konventioneller Lautsprecher (Clustering) oder die Verbindung von Line-Array-Elementen zu Line-Arrays möglich. Um das Arbeitsprinzip und die Vorteile von Line-Arrays verstehen zu können muss man sich zunächst mit der Arbeitsweise von konventionellen Lautsprecherclustern beschäftigen.

Cluster aus Hornlautsprechern

Vor der Erfindung von Line-Arrays werden zur Beschallung von Veranstaltungen ausschließlich eine Reihe von Hornlautsprechern verwendet die zu horizontal zusammengefassten Lautsprechergruppen, so genannten Clustern, zusammengeführt werden.

Betrachtet man, wie in *Abb.1* dargestellt, das einfachste denkbare Cluster, eine Gruppe von zwei im Abstand von einem Meter nebeneinander angeordneten Lautsprechern so bemerkt man je nach abgestrahlter Frequenz unterschiedliche Ergebnisse:

Bei 125Hz kommt es zu einer konstruktiven Interferenz, die Amplituden beider Lautsprecher addieren sich, die zwei Lautsprecher der Gruppe „verschmelzen“ sozusagen zu einem Lautsprecher mit höherer Leistung und ähnlichem Richtverhalten. Betrachtet man jedoch den gleichen Aufbau bei einer Frequenz 400Hz, 1kHz oder gar 4kHz, so kommt es zu destruktiven Interferenzerscheinungen, die eine sinnvolle Nutzung des Aufbaus unmöglich machen.

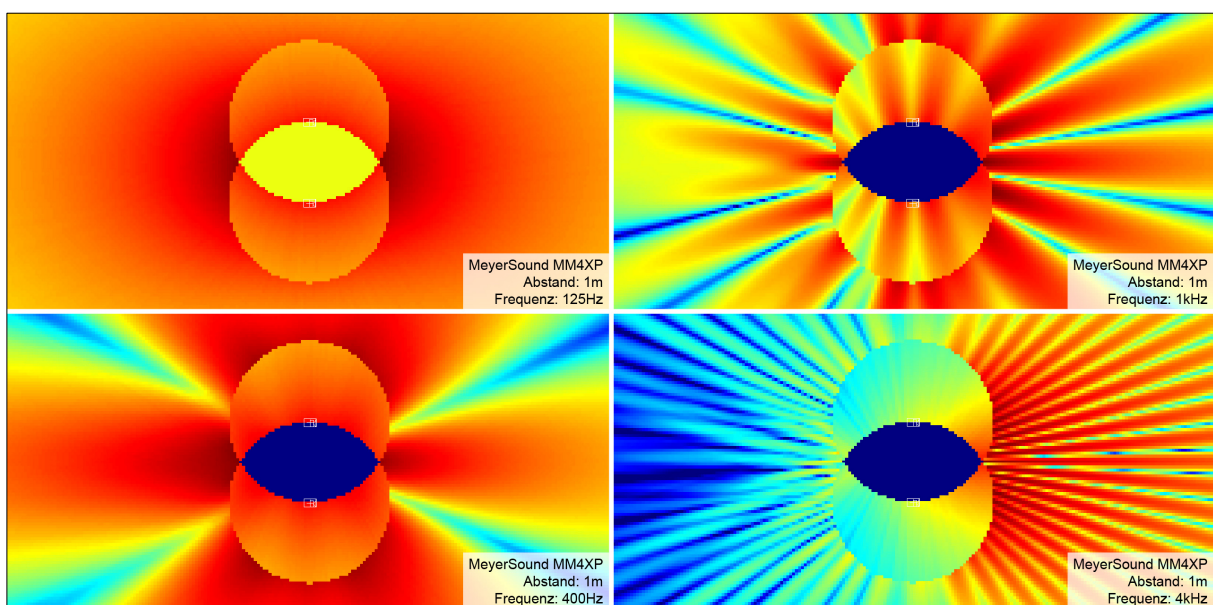


Abb. 1

Die Ursache hierfür liegt im Verhältnis des Lautsprecherabstands zur Wellenlänge. Sind die Lautsprecher weniger als $d=\lambda/2$ voneinander entfernt, so ergeben sie sich zu einer neuen, leistungsfähigeren Quelle. Setzt man den im Beispiel verwendeten Abstand von $d=1\text{m}$ gleich der Bedingung $d=\lambda/2$, so erhält man ein λ von 2m und damit eine Grenzfrequenz von ca. 170Hz .

Um die gleichen Bedingungen für eine Frequenz von $f=4\text{kHz}$ herzustellen wäre der Abstand zwischen den Schallquellen lediglich $d=4\text{cm}$, für $f=16\text{kHz}$ wäre es noch $d=1\text{cm}$.

Soll die Erhöhung der Leistung durch Clustering von Konus-Lautsprechern erzielt werden und soll dieses Cluster eine obere Grenzfrequenz von 16kHz ohne destruktive Interferenzen abstrahlen können, so darf der Abstand zwischen den Lautsprechern, und damit auch die Lautsprecher selbst, eine Größe von 1cm nicht übersteigen.

Da ein Konuslautsprecher mit einem Durchmesser von weniger als 1cm bereits technisch nicht denkbar wäre und ein Lautsprecher dieser Größe auf keinen Fall eine annehmbare Tiefenwiedergabe ermöglichen würde, verwendet man die Addition zweier Konuslautsprecher zur Steigerung des Schalldruckpegels nur im Tieftonbereich. Im höher frequenten Bereich setzt man auf eine andere Art der Schalldruckpegelsteigerung: durch die Verwendung von Hörnern strahlt man hohe Frequenzen gezielt auf einen kleineren Bereich ab, der vom Horn der jeweils benachbarten Box nicht mehr erfasst wird. (In der Idealvorstellung werden die Grenzen so gelegt, dass der Pegel der konstruktiven Interferenzmaxima der beiden

benachbarten Hörner gegenüber dem Maximum des eigentlichen Horns um 6dB abgefallen ist). Da die abgestrahlte Schallenergie des Hochtöners durch Vorschaltung eines Horns gleich bleibt, jedoch auf einen kleineren Bereich verteilt wird, steigt der Schalldruckpegel im beschallten Bereich an.

Während je ein Hochtöner gezielt einen Bereich beschallt, beschallen die Tieftöner gemeinsam alle Bereiche.

Man spricht beim konventionellen Clustering deshalb auch von zwei unterschiedlichen

Arten der Schalldruckpegelerhöhung:

1. Kopplung im Tieftonbereich
2. Konzentration und Separation im Hochtonbereich

Pro:

- Häufig sind die Lautsprecherchassis bereits für Clustering abgeschrägt, so dass aufwändiges Winkelmessen entfällt.
- Eine Veränderung des Clusters vor Ort kann ohne Probleme durch Hinzufügen oder Entfernen eines Lautsprechers realisiert werden.

Contra:

- Interferenzprobleme werden nur weitgehend umgangen, nicht gelöst.
- Die Kopplung im Tieftonbereich macht diesen akustisch schmaler.
- Der Übergang von breitem aber interferenzfreien Tiefbereich zum hohen schmalen aber interferenzreichen Bereich ist unsauber.

Moderne Line-Arrays

Auf dem Vorbild des Clustering von Hornlautsprechern entwickelt die französische Firma L-Acoustics 1992 das erste funktionierende Line-Array-System mit dem Namen V-DOSC. Es wird bis heute verkauft und vielfältig eingesetzt.

Der Name Line-Array ergibt sich aus dem theoretischen Konstrukt einer Linienquelle, einer unendlich langen linienförmigen Schallquelle mit zylindrischer Schallabstrahlung. Entgegen dem Mythos der dem Line-Array vorausieht strahlt dieses keine gleichmäßig zylinderförmigen Wellen ab.

Beim Line-Array wird, wie beim Cluster aus Hornlautsprechern, eine Kopplung im Tieftonbereich und Konzentration und Separation im Hochtonbereich zur Steigerung des Schalldruckpegels verwendet. Mit dieser Vorgehensweise bedient man sich zwar weiterhin geschickter physikalischer Gegebenheiten, vermeidet aber durch geschickte Vorgehensweise die für Cluster typischen Nachteile:

Die größte Herausforderung die es für die Line-Array-Hersteller zu meistern gilt ist die Beseitigung der Interferenzen im Hochtonbereich. Dieses Problem lässt sich physikalisch einwandfrei durch die Verkleinerung der Schallquellen bei höheren Frequenzen erreichen. Um dies zu bewerkstelligen erzeugt man aus einem großen Kugelstrahler, mehrere sehr kleine und nah beieinander liegende Kugelstrahler. Wenn man nun dafür sorgt, dass die kleinen Kugelstrahler ohne Phasenverschiebung arbeiten, so können sie sich, wie im Tieftonbereich zu einer einzigen Schallquelle vereinigen.

Diese Vorgehensweise wird mit den so genannten Waveguides (Abb.2) bewerkstelligt.

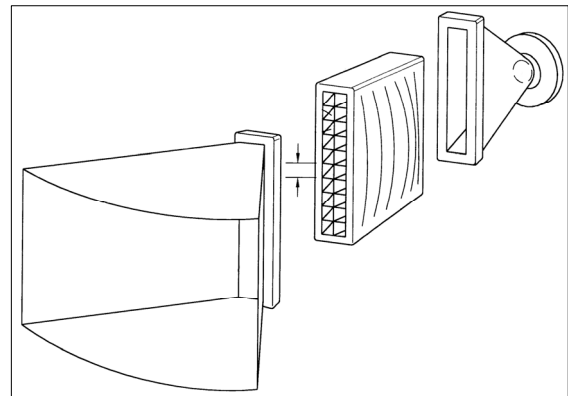


Abb. 2

Die Idee dabei ist von mehreren Herstellern in verschiedener Art und Weise umgesetzt und patentiert, funktioniert jedoch immer ähnlich: Der vom Hochtontreiber abgestrahlte Schall wird, meist durch verschiedene Luftkanäle oder einen Phaseplug (ein kegelartiger Einsatz vor dem Hochtontreiber, Abb.3) so umgelenkt, dass Schall aus der Mitte des Treibers den längsten Weg, und Schall vom Rand des Treibers einen kürzeren Weg bis zum Schallaustritt zurücklegen muss wodurch die Wellenfront geglättet und die Phasenverschiebung der einzelnen Pseudoschallquellen minimiert wird.

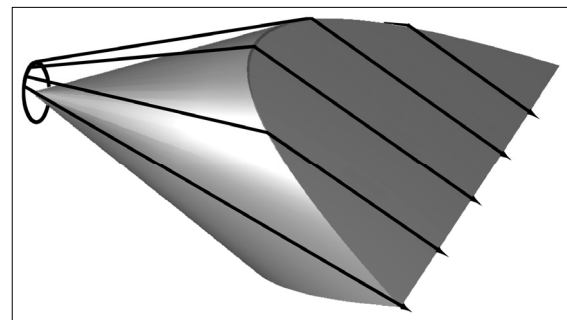


Abb. 3

Dabei ist eine vollständig geglättete Wellenfront entgegen den meisten Meinungen nicht erwünscht, da sonst bereits bei leichter Neigung der Arrayelemente zueinander (dem so genannten Curving), die Wellenfront aufreißt.

Verschiedene Hersteller bieten auch für Curving geeignete und weniger geeignete Line-Arrays an die mit einem unterschiedlichen vertikalen Öffnungswinkel arbeiten, bzw. weisen ihre Line-Arrays als für Curving (nicht) geeignet aus.

Durch die auch schon beim Konuslautsprecher vorhandene stärkere Richtwirkung zu höheren Frequenzen wird zusätzlich mehr Schallenergie der höheren Frequenzen nach vorne abgestrahlt was zu einer stärkeren Richtwirkung für höhere als für tiefere Frequenzen führt.

Das Problem der Bündelung im Tieftonbereich wird bei Line-Arrays durch die Verwendung von vertikal gestackten Aufbauten gelöst, die die Kopplung des Tieftonbereichs nicht in die Breite, sondern in die Höhe vornehmen. Dieses Verfahren bringt gleich zwei Aspekte mit sich: das Abstrahlverhalten wird schmaler und ähnelt somit mehr dem Abstrahlverhalten des Höhenanteils. Des Weiteren entsteht durch die Koppelung eine zusammenhängende Strahlerfläche, die ein ausgeprägtes Nahfeld ausbildet.

Innerhalb dieses Nahfeldes nimmt der Pegel im Durchschnitt nur um 3dB pro Verdopplung der Entfernung ab, was dem Verhalten einer Linienquelle entspricht und dem Line-Array den Namen gibt.

Die Ausbreitung des sich ausbildenden Nahfeldes berechnet sich nach der Formel

$$d_{\text{Grenz}} = \frac{l^2 f}{2c}$$

Wobei neben der Frequenz auch die Länge des Arrays die Größe des Nahfeldes bestimmt. Ist die Größe des Line-Arrays im Verhältnis zur Entfernung zu selbigem zu vernachlässigen, strahlt es wieder Punktförmig ab und der Pegel nimmt wieder mit 6dB pro Entfernungs-

verdopplung ab. Neben der Größe des Line-Arrays spielt jedoch auch die abgestrahlte Frequenz bei der Trennung zwischen Nah- und Fernfeld eine Rolle: bei höheren Frequenzen dehnt sich das Nahfeld weiter als das Nahfeld des tieffrequenteren Anteils aus, was in weiter entfernten Bereichen zu einer Klangverschiebung zu höheren Frequenzen führt. Dort werden höhere Frequenzen im Nahfeld und somit mit nur 3dB, tiefere Frequenzen im Fernfeld und somit mit 6dB pro Entfernungsverdopplung abgeschwächt.

Neben der Größe des Fernfeldes ist auch die vertikale Bündelung sowohl von der abgestrahlten Frequenz f als auch von der Länge des Line-Arrays l abhängig.

Sie ergibt sich zu

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

was das Problem einer stärkeren Bündelung von höheren Frequenzen (vor allem bei steigender Array-Größe und somit ohnehin steigender Klangverschiebung zu hohen Frequenzen im weiter entfernten Bereich) zusätzlich verstärkt.

Die Umbauten der Line-Array Erfinder haben zwar die Nachteile von Clustern aus Hornlautsprechern gelöst, dabei aber zwei neue Probleme geschaffen:

- Mit steigender Entfernung zur PA verschiebt sich der Klang zu höheren Frequenzen
- Mit abweichender Position von der vertikalen Symmetrieachse verschiebt sich der Klang zu tiefen Frequenzen.

Curving

Die durch Line-Array Systeme verursachten Probleme werden durch progressives Curving des Line-Arrays gelöst. Dabei werden die einzelnen Line-Array-Elemente zueinander mit ansteigendem Winkel gekippt. Dadurch werden die Eigenschaften eines großen Linienstrahlers in lokal unterschiedliche Eigenschaften mehrerer Linienstrahler unterteilt. Diese Ausrichtung darf natürlich nicht zufällig erfolgen, sondern muss den Klang für möglichst viele Stellen im Auditorium optimieren.

Exemplarisch werden zwei Sitzpositionen nah bei der Bühne und weit von der Bühne entfernt veranschaulicht:

1. weit von der Bühne entfernt:

mit steigender Entfernung zur Bühne bewegt der Zuhörer sich mehr und mehr aus dem Nahfeld des tieferen Frequenzbereichs, wodurch eine Überbetonung an Höhen entsteht. Bewegt man nun die Bündelungsrichtung des unteren Bereichs des Line-Arrays durch progressives Curving immer stärker vom entfernten Zuhörer weg, so kommt man bei

diesen Line-Array-Elementen für den Zuhörer aus der Symmetrieachse, was den Klang der unteren Line-Array-Elemente zu tieferen Frequenzen hin verschiebt.

Die Höhenüberbetonung der direkt abstrahlenden Line-Arrays mischt sich mit den tiefenüberbetonten indirekt abstrahlenden Line-Arrays zu einem akzeptablen Ergebnis.

2. nah der Bühne:

bei einem nicht gecurvt geflogenen Line-Array würde ein Zuhörer nah der Bühne außerhalb der Symmetrieachse sitzen und somit vornehmlich tieffrequenten Diffusschall erhalten. Durch die Ausrichtung der unteren Line-Array-Elemente in Richtung dieses Zuhörers bekommt dieser deren höherfrequenten Direktschall der sich wiederum mit dem tieffrequenten Diffusschall der restlichen Elemente mischt.

Die Abb. 4 und 5 zeigen den Unterschied im Frequenzgang eines Line-Arrays aus zehn MeyerSound M3D das in zehn Metern Höhe mit 13° über den Zuschauern gekippt geflogen

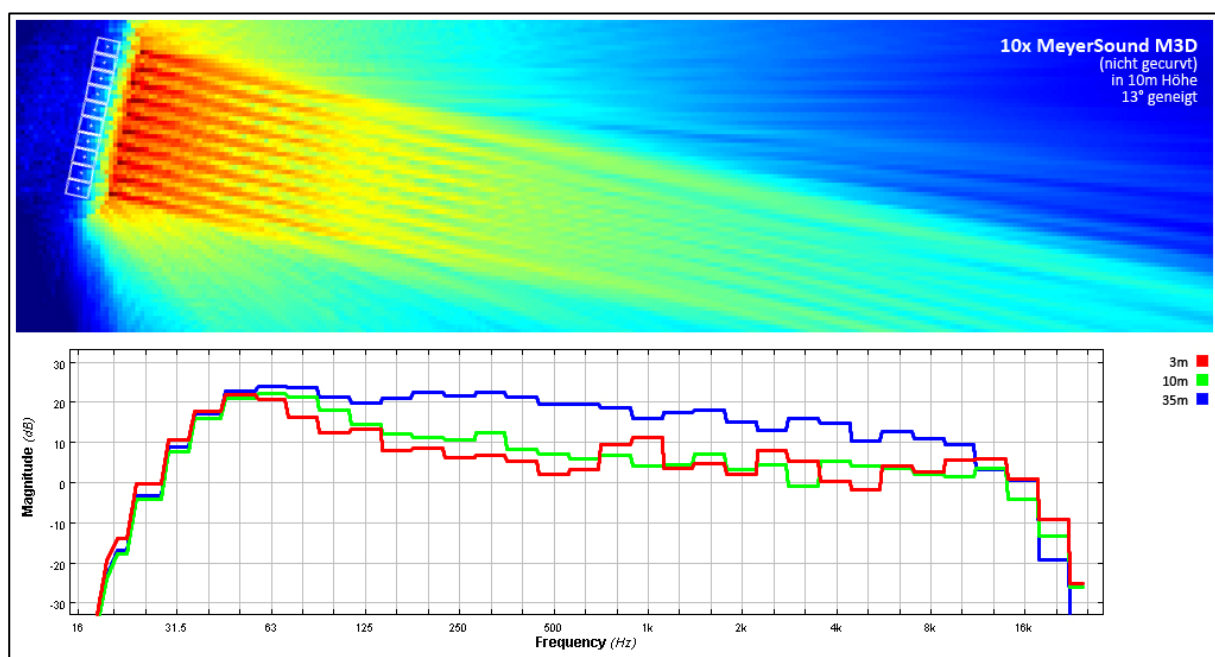


Abb. 4

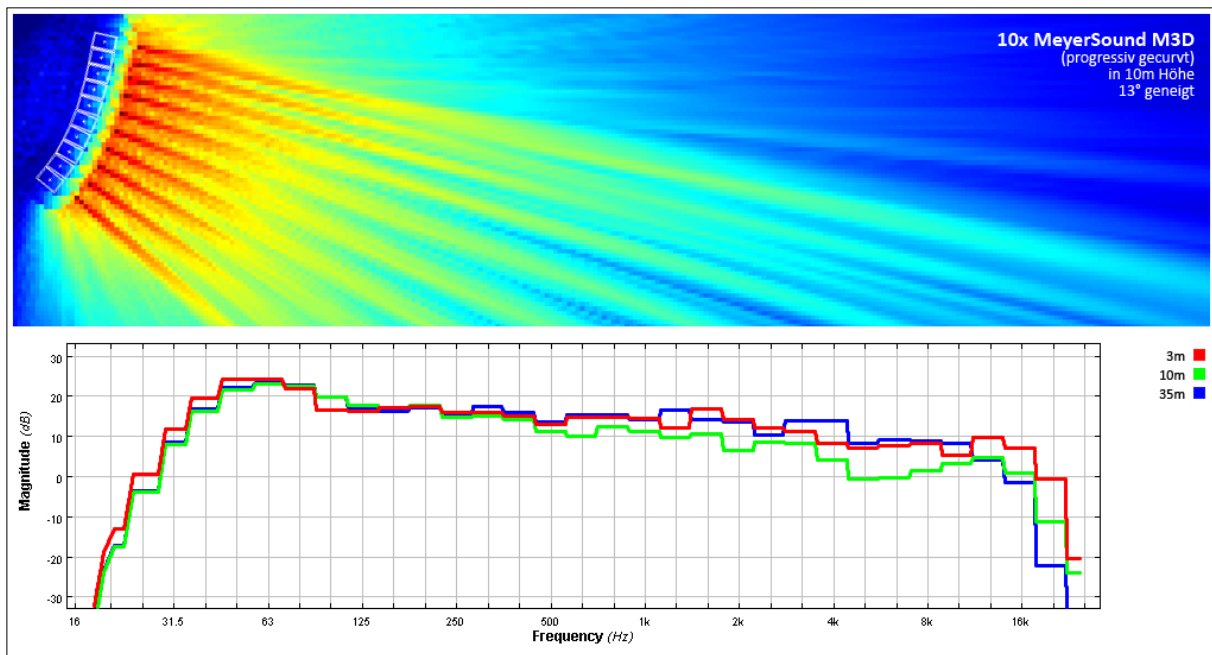


Abb. 5

montiert ist. Dabei werden die Hörerpositionen eines 1,8m großen Zuhörers im Abstand von 3m, 10m und 35m berücksichtigt. Die Abb. 4 stellt dabei den Frequenzgang bei einem nicht gebogenen Line-Array dar, das in Abb. 5 dargestellte LineArray ist ab dem dritten Array-Element mit -1° , ab dem vierten Array-Element mit $-1,5^\circ$, dem fünften mit -3° , ab dem sechsten mit -4° und ab dem neunten mit -5° , und somit progressiv gebogen.

Die progressive Ausrichtung bewirkt neben einer Korrektur des Frequenzgangs, dass mehr Schallenergie in weiter entfernte als in näher liegende Regionen abgestrahlt wird. Dieser Effekt scheint zunächst störend, wird aber durch die mit der Entfernung ohnehin verbundene Pegelabnahme ausgeglichen.

Obwohl das nicht gebogene System in 35m Entfernung den gewünschten klanglichen Vorstellungen näher kommt, lässt sich das gebogene Line-Array besser einsetzen, da sich sowohl Schallpegel als auch Frequenzgang an

den drei Hörerpositionen weniger unterscheiden.

Die eventuell unerwünschte deutliche Ausprägung des Frequenzbereichs um 63Hz sowie die Abflachung zum höher-frequenten Bereich ab 4kHz beim gebogenen Array lassen sich durch geeignetes EQing leicht beheben.

Erweiterung des Line-Arrays

Durch Vergrößerung des Line-Arrays reichen dessen Ausmaße schnell auch an Wellenlängen tiefer Frequenzen heran: geht man davon aus, dass eine Schallquelle beginnt stärker zu richten sobald sie sich in ihren Ausmaßen der Wellenlänge des abgestrahlten Signals annähert, so erreicht ein 10m langes Line-Array immerhin eine Wellenlänge von 35Hz. Dies führt wiederum zu einer Bündelung des Abstrahlverhaltens für tiefere Frequenzen was auch den Akteuren auf der Bühne zu Gute kommt, auf die weniger tieffrequenter Diffusschall der PA abgestrahlt wird.

Zusammenfassung

Vorteile:

- destruktive Interferenzen wie beim Cluster werden durch kohärente Abstrahlung weitestgehend vermieden
- der Aufbau vor Ort ist einfach, da die Beschallung zentral bei der Bühne verbleibt und die einzelnen Elemente schnell nach Vorgabe des Toningenieurs zusammengebaut werden können
- die Reichweite des Line-Arrays lässt sich durch die Länge skalieren, je nach Anzahl der Elemente kommen viele Anwendungen in Frage
- nach wie vor sind Line-Arraysysteme deutlich teurer als adäquate Cluster aus Hornlautsprechern
- vor allem bei OpenAir-Veranstaltungen kann es zu Problemen bei starkem Wind kommen, da die Beschallung über große Entfernungen erfolgt und das abgestrahlte Signal sprichwörtlich vom Winde verweht wird
- Line-Arrays strahlen Rückwände im Winkel von nahezu 90° an wodurch ungewünschte Reflexionen und dadurch Flatterechos entstehen können.

Nachteile:

- eine genaue Planung ist unvermeidlich: es müssen vor Beginn des Aufbaus genaue Daten zu Ausdehnung des zu beschallenden Bereichs, zur Höhe der Bühne, etc. vorliegen
- während bei einem Cluster zur Erweiterung des horizontalen Abstrahlwinkels einfach ein weiterer Lautsprecher hinzugefügt wird, ist beim Line-Array die Breite fest bei etwa 90°

Die Vor- und Nachteile von Line-Arrays zeigen deutlich warum sie vornehmlich bei Tourinstallationen unter offenem Himmel eingesetzt werden:

Ist die Bühne bei jedem Tourauftritt identisch und das zu beschallende Gebiet großflächig, so kann einmal geplant werden und bei jedem Umzug schnell auf- und abgebaut werden. Davon abgesehen sind Reflexionen an Rückwänden unter freiem Himmel auch seltener als in Gebäuden.

Stand: 19.05.2008

Quellenangaben:

- Theoretische Grundlagen und die praktische Anwendung von Line-Arrays in der Beschallungstechnik und ihre Berücksichtigung in Simulationsprogrammen (*Anselm Goertz, 2002*)
- Mysterium Line-Array — Mode oder Trend (*Dipl.-Ing. Volker Holtmeyer, 2003*)
- Line-Arrays — The Hype goes on (*Dipl.-Ing. Volker Holtmeyer, 2006*)
- Line-Arrays — Theory, Fact and Myth (*Meyer Sound Laboratories, Inc., 2002*)
- Beschallung: Probleme und Lösungen, 2. Auflage (*Michael Dickreiter, 1990*)
- M2D, Datasheet (*Meyer Sound Laboratories, Inc., 2004*)