

Einführung in XDir und Erzeugung von Richtwirkung

Anlass/Vorbild für diese kleine Untersuchung war der Beitrag „Richtwirkung erzeugen“ aus dem Diy-Hifi-Forum:

<http://www.diy-hifi-forum.eu/forum/showthread.php?t=13506>

Dort wurde ein recht mächtiges und leider auch nicht ganz so einfach zu verwendendes Tool für die Untersuchungen verwendet.

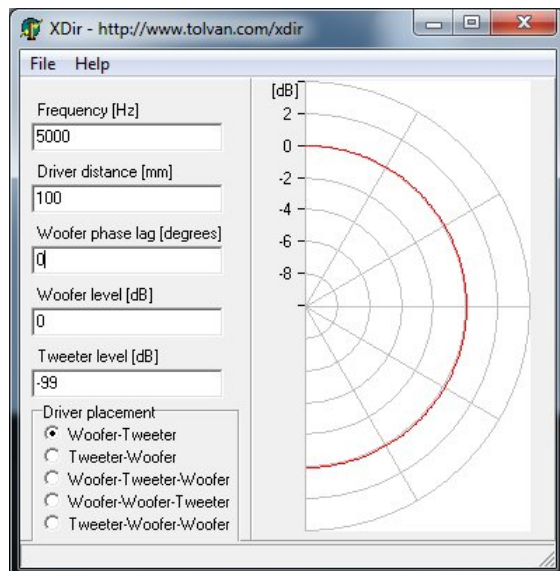
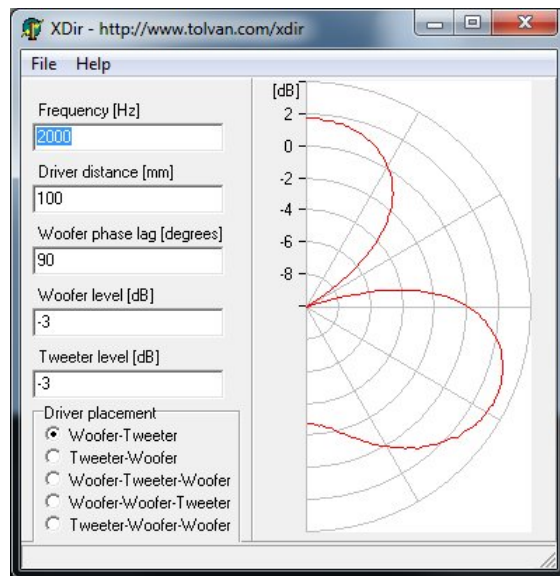
Um für mich selbst noch ein paar Fragen zu klären/zu veranschaulichen habe ich mir das Tool XDir nochmal angeschaut:

<http://www.tolvan.com/index.php?page=xdir/xdir.php>

Es gibt nicht viel Dokumentation/Hilfe zu diesem kostenlosen kleinem Tool. Ich bin bei meinen ersten Versuchen erstmal auch nicht so richtig schlau aus den Ergebnissen geworden. Aber ich denke jetzt habe ich den Wert dieses Tools auch danke der zuerst genannten Diskussion verstanden. Auf den zweiten Blick erwies sich das Tool dann als mächtige und leicht zu verstehende Hilfe für ein paar Aspekte des Lautsprecherdesigns.

Wenn man das Tool startet, bekommt man folgendes Bild zu sehen.

In dem Menü selbst versteckt sich keine interessante Funktionalität, aber das Spiel mit den Parametern auf der linken Seite hilft dabei einige wesentliche Effekte noch etwas besser zu verstehen. Dieser Text soll auch eine Einführung in die Benutzung des Tools XDir sein. Zur Vertiefung kann ich nur empfehlen selbst mit dem Tool herumzuspielen. Ich habe nicht das Ziel alle Effekte und Erkenntnisse, die das Tool ermöglicht, hier zu erwähnen



Was mir weitergeholfen hat für ein besseres Verständnis des Tools, war den Pegel für einen der beiden Lautsprecher (Im Bsp: Tweeter) erstmal auf „-99db“ zu setzen. Das ist so leise, dass man sich diesen Lautsprecher damit wegdenken kann. Die „Woofer Phase Lag“ (Phasenverzögerung des Basslautsprechers) habe ich zwar im Beispiel auch auf Null gesetzt, aber an dieser Stelle ist das nicht wichtig. Zu der Bedeutung der Phasenverzögerung komme ich später

Jedenfalls kann man dann feststellen, dass XDir für alle Simulationen ideale Punktschallquellen benutzt. Egal für welchen Lautsprecher man welche Frequenz eingibt, im Ergebnis ergibt sich immer derselbe Pegel und die gleiche kreisförmig Abstrahlung, solange die zweite Schallquelle „ausgeschaltet“ ist. Die Verwendung der Bezeichnung

„Woofer“ und „Tweeter“ ist also willkürlich und es geht nur um die Verwendung mehrerer Lautsprecher und welche Effekte dabei entstehen. Der Rechenaufwand in XDir für diese Simulation ist dank des einfachen Ansatzes extrem gering und die Rechenzeit damit auch minimal. Mit diesem vereinfachten Ansatz, muss XDir einfach nur die gesamte Phasenverschiebung für einen bestimmten Winkel berechnen. Der ergibt sich aus „Woofer Phase Lag“ + Laufzeitunterschied (Als Funktion des Winkels). Überlagern die Signale sich gerade mit einem Phasenunterschied von 180 Grad in eine Richtung, dann ist der Pegel in diese Richtung null.

Es gibt in dem Tool auch keine Schallwand, welche die Abstrahlung beeinflusst. Für letzteres gibt es vom selben Autor das Tool EDGE:

<http://www.tolvan.com/index.php?page=/edge/edge.php>

Die relevanten Parameter für XDir sind nur:

- die Schallquellen (zwei oder drei) und deren Anordnung,
- der Abstand zwischen den Schallquellen,
- die Phasenverschiebung zwischen den Schallquellen.

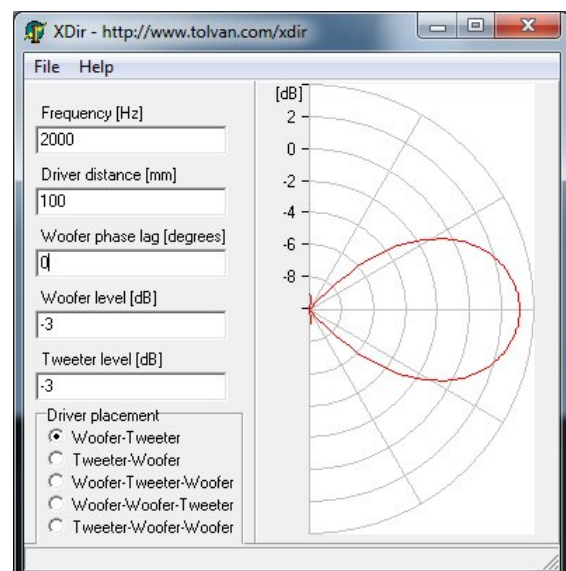
Das Tool ist sicherlich hauptsächlich dazu gedacht die Abstrahlung bei Zweiweglautsprechern im Bereich der Trennfrequenz zu simulieren. Das Tool kann aber auch für andere interessante Effekt zur Beeinflussung der Richtwirkung verwendet werden. Dazu habe ich später ein paar Beispiele angefügt

Die Beschränkung auf das einfache Model von zwei, bzw. drei idealen Schallquellen ist sicherlich ein Einschränkung des Tools für eine vollständige Simulation. Ideale punktförmige Schallquellen sind in der Realität eben nur selten zu finden. Aber diese Einschränkung des Modells hilft zugleich wesentliche Effekte besser zu verstehen, die sich eben schon alleine aus diesen Parametern ergeben. Das Verständnis der Schallausbreitung wird hier nicht getrübt, weil sich eben nicht mehrere Effekte überlagern Insbesondere zu nennen sind hier:

- Die Schallwand
- Der Durchmesser der Schallquelle
- Eine Schallführung (Waveguide, Horn)
- Partialschwingungen der Membran
- Raumeinflüsse

Beispiele 1: Der Zweiweglautsprecher an der Trennfrequenz

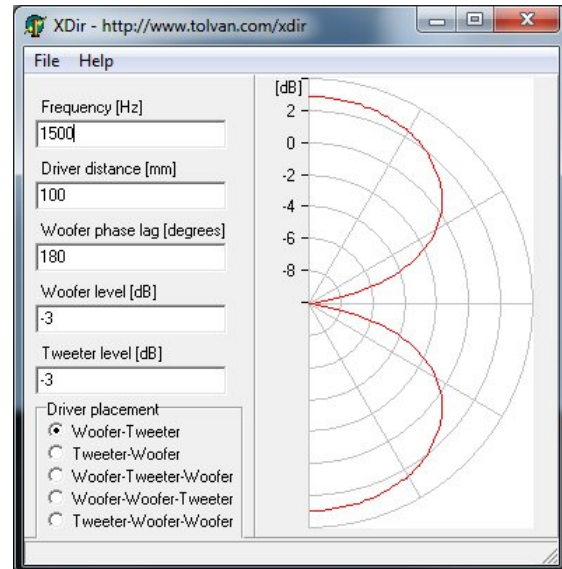
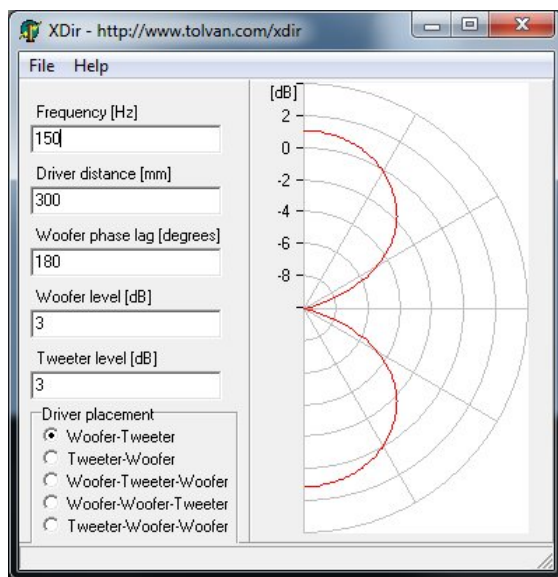
Bei diesem Model ist ein klassischer kleiner Zweiweglautsprecher mit einer Trennfrequenz von 2000 Hz das Vorbild. Beide Lautsprecher sind in einer vertikalen Linie übereinander angebracht und ihr Zentrum nur 10 cm voneinander entfernt. Die Weiche hat für beide Lautsprecher an der Trennfrequenz eine Pegelreduzierung von -3db verursacht. Horizontal ergibt sich damit bereits eine deutliche Bündlung Die einzelnen Lautsprecher mit eher kleinem Durchmesser werden in diesem Frequenzbereich noch deutlich weniger bündeln Man



bekommt auf der Trennfrequenz also eine hier oft nicht gewollte Einschnürung des Abstrahlverhalten. Aber in dem oben genannte Text wird auch eine positive Nutzung der so erzeugten Richtwirkung aufgezeigt. Dazu wird eine sowieso gewollte Richtwirkung durch eine Schallführung durch diesen Effekt im Bereich der Trennfrequenz erweitert.

Beispiel 2: Der Dipol

Dieses Model ist schon eine etwas überraschendere Anwendung des Tool. Zum besseren Verständnis muss man das Resultat allerdings im Kopf um 90 Grad drehen. Dieses Model simuliert einen klassischen idealen Dipol. In der Realität kommt dem ein nach hinten offener Lautsprecher ohne Schallwand am nächsten Simuliert wird das in XDir durch zwei ideale Schallquellen, die in einem Abstand von z. B. 10 cm um genau 180 Grad Phasenverschoben abstrahlen. Die 10 cm entsprechen in der Realität der mittleren Strecke, den der Schall braucht um von „vorne um die Membran herum nach hinten“ zu gelangen.

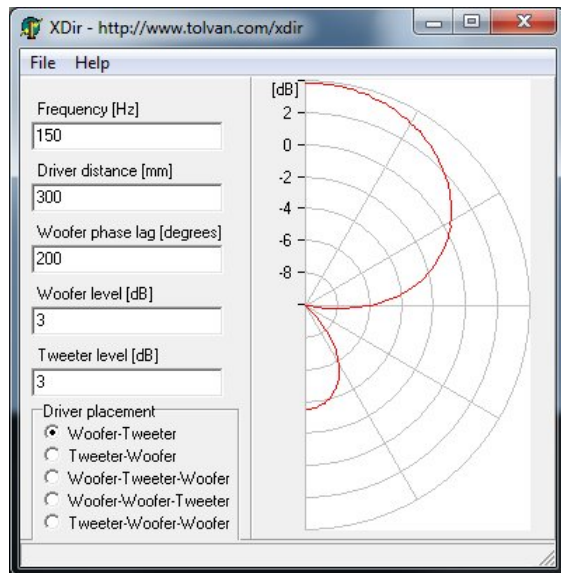


Bekanntermaßen benötigt ein Dipol für die Wiedergabe tieferer Frequenzen einen größeren Umweg/Abstand zwischen den Schallquellen und/oder eine Anhebung des Pegel. Das wird in diesem Bild gezeigt.

Wie man sieht ist in diesem Beispiel der nach vorne abgestrahlte Pegel niedriger (1db), als der Pegel, der nur durch eine Schallquelle erzeugt würde (3db). Es kommt also hier durch den zeitlich versetzten Schall von hinten immer noch zu einer teilweisen Auslösung des Schalls von der Vorderseite.

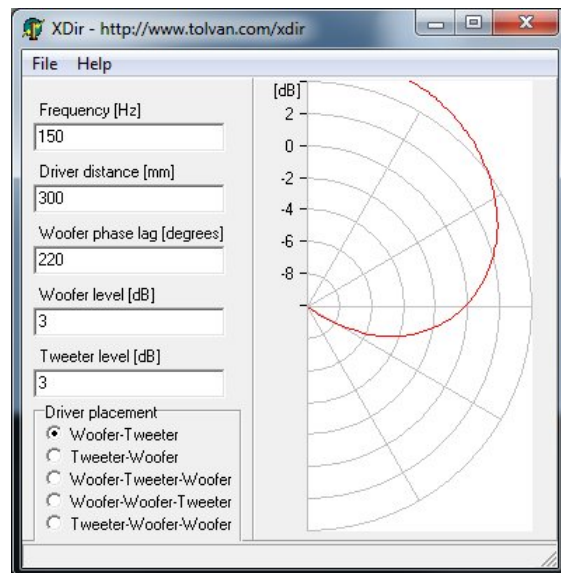
Es ist im übrigen schon interessant zu sehen, wie sich der Pegel (was ja bekannt ist) und auch das Abstrahlverhalten über die verschiedenen Frequenzen bei einem Dipol kontinuierlich verändert. Da kann man schon ins Grübeln kommen, ob sich so überhaupt ein sinnvoller Lautsprecher konstruieren lässt. In der Realität hat die Richtwirkung der Schallwand und/oder der Membranfläche eine große Bedeutung um die auftretenden Effekte bei einem Dipol beherrschbar zu machen.

Beispiel 3: Der Kardioid

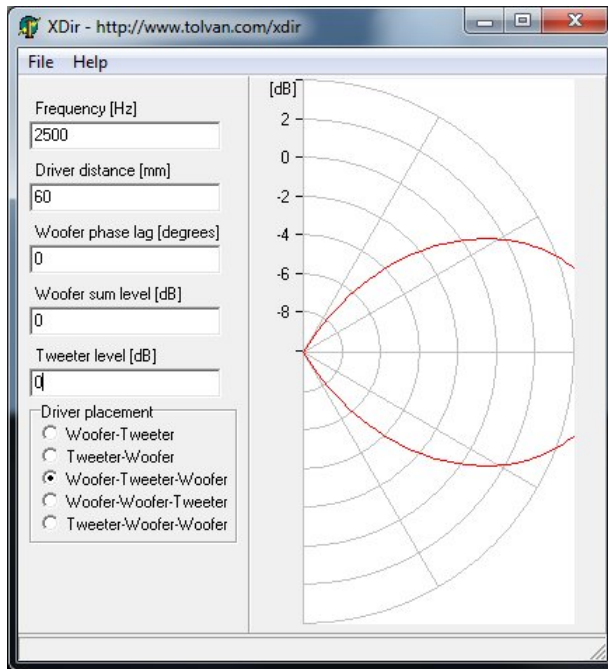


Subwoofers überlagert um sich vorne positiv als Verstärkung auszuwirken. Gleichzeitig führt das nach hinten zu einer Abschwächung. Wählt man die richtige Phasenverschiebung kann man den Schall genau nach hinten auslöschen und gleichzeitig nach vorne eine maximale Verstärkung (optimal Überlagerung) erreichen. Die so erzielte Richtcharakteristik wird als Kardioid bezeichnet. Die Bündelung nach vorne ist nach dieser Simulation aber schlechter, als bei einem Dipol.

Ein andere Methode Richtwirkung vorrangig im Bassbereich zu erzeugen wird im Folgenden aufgezeigt. Um die Funktionsweise zu verstehen geht man gedanklich am besten von einem Dipol aus. Wenn dieser nicht aus einem Lautsprecher in einer offenen Schallwand besteht, sondern aus zwei unabhängigen Subwoofern jeweils in einem geschlossenen Gehäuse, dann ist es möglich die Phase gegeneinander frei zu verschieben. Dadurch ist es möglich den Schall von dem Subwoofer hinten so zu verschieben, dass der Schall genau rechtzeitig sich mit dem Schall des vorderen



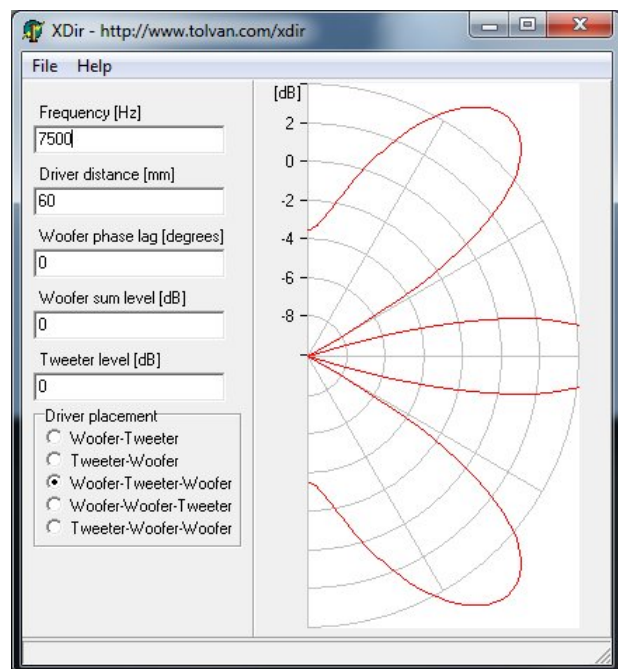
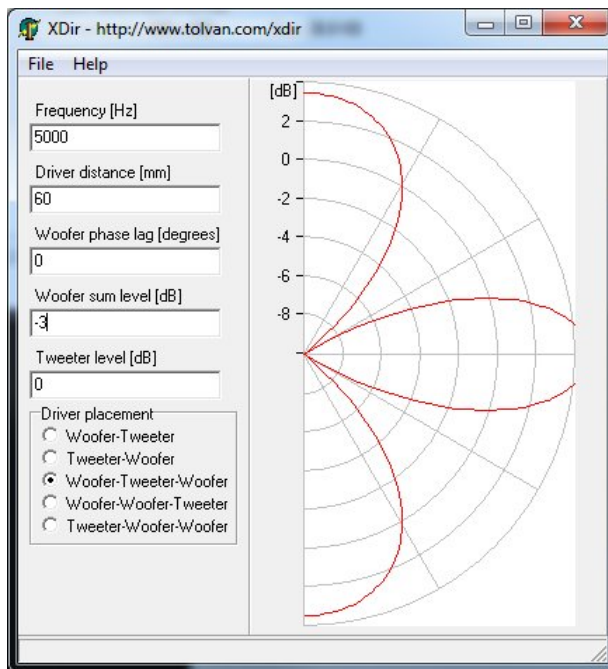
Beispiel 4: Das (kurze) Line Array



Ein anderes Mittel um Richtwirkung zu erzielen ist die Verwendung mehrerer Schallquellen in einer Linie übereinander. Auch hier kann XDir eine entsprechende Simulation durchführen. Verwendet wird dazu das „Driver Placement“ – Woofer-Tweeter-Woofer. Das dürfte typischerweise für die Simulation von D’Appolito – Anordnungen verwendet werden. Aber im Prinzip können damit auch die Auswirkung eines kurzen Line-Array simuliert werden. In dem Beispiel wird die Richtwirkung von drei Hochtöner, die in einer Linie angeordnet sind, simuliert. Bei 2500 Hz ergibt sich somit eine schöne Bündlung in vertikaler Richtung.

Der Nachteil eines solchen Line Arrays ist, dass bei höheren Frequenzen dann pegelintensive Nebenkeulen entstehen. Die folgenden Bilder zeigen die Nebenkeulen bei 5000 Hz und bei 7500 Hz. Insbesondere bei etwa 7500 Hz entstehen heftige Nebenkeulen, die über einmalige Reflektion am Boden und am Fußboden sich

sehr ungünstig für das Frequenzverhalten und auch die Ortbarkeit auswirken dürften. In der Realität dürfte der Effekt nicht ganz so schlimm sein, weil die Hochtöner von sich aus schon eine gewisse Richtwirkung entfalten und

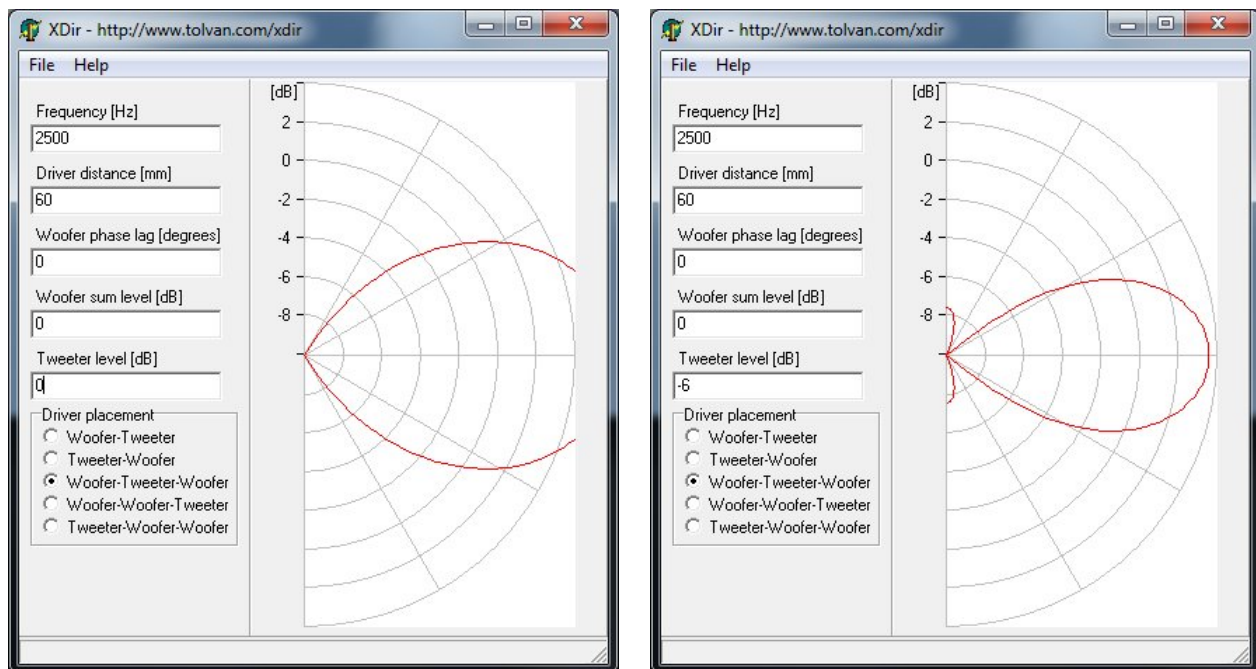


damit weniger in Richtung der Nebenkeulen ausstrahlen.

Ich benutze hier den Begriff kurzes Line Array, weil die hier gezeigten Simulationen nur für Line Arrays funktioniert, die kurz sind in Relation zur Raumhöhe. Ein raumhohes Line Array funktioniert anders. Hier ergibt sich durch „Spiegelung“ an der Decke und dem Fußboden im Prinzip ein quasi unendlich langes Line Array mit im Effekt ganz anderen Ergebnissen.

Beispiel 5: Das modifizierte kurze Line Array (Pegel)

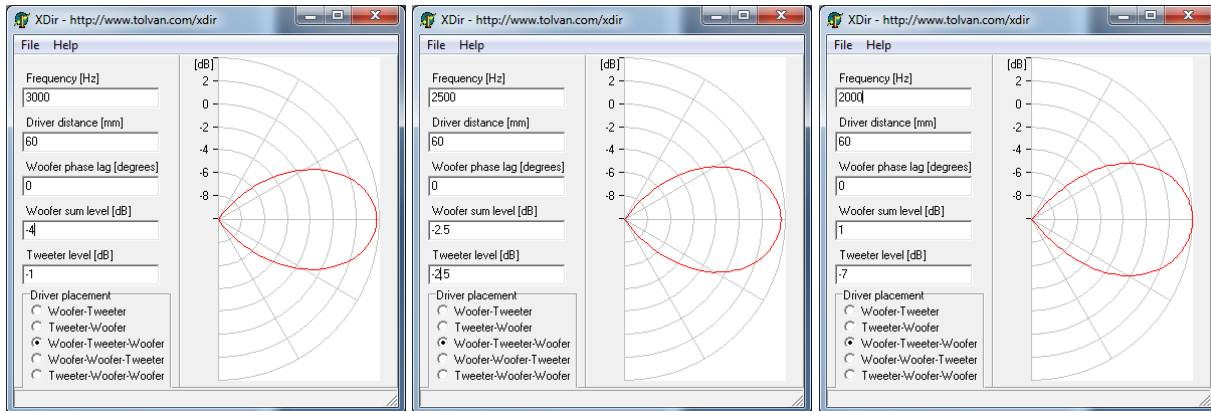
Die Bündlung eines Line Arrays kann sogar noch gesteigert werden und zwar nur indem man den/die Schallquellen in der Mitte abschwächt. Das linke Bild zeigt nochmal die vertikale Bündlung des Line Arrays aus Beispiel 4 bei 2500Hz. Im rechten Bild wird nur die mittlere Schallquelle im Pegel abgesenkt. Es entsteht eine stärkere (!) vertikale Bündlung.



Das spannende an dieser Tatsache ist, dass das Line Array in dem Beispiel unterhalb von 2500 Hz ja zunächst mal ohne weitere Maßnahmen allmählich immer weniger bündelt. Durch ein geschicktes langsames absenken des Pegels der mittleren Schallquelle könnte man die Bündlung noch eine Weile exakt konstant halten. Das Problem an dieser Methode ist allerdings, dass das absenken des Pegels nicht so einfach mittels Frequenzweiche erfolgen kann, weil dies ja auch eine Änderung der Phase zur Folge hat. Aber das kann man ja auch noch mit der Hilfe des Tools XDir in seinen Auswirkungen studieren. Oder man macht es mittels DSP und FIR-Filtern ohne Einfluss auf die Phase.

Andersherum kann man übrigens genauso durch das Absenken des Pegels für die äußeren Schallquellen die Bündlung reduzieren für eine bestimmte Frequenz oder für höhere Frequenzen konstant halten.

Die folgenden drei Bilder zeigen das vertikal konstante Richtungsverhalten fuer 2000Hz, 2500 Hz und 3000 Hz des Line Arrays sogar bei konstantem Frequenzverlauf, dass erreicht wird nur durch unterschiedliche Pegel der

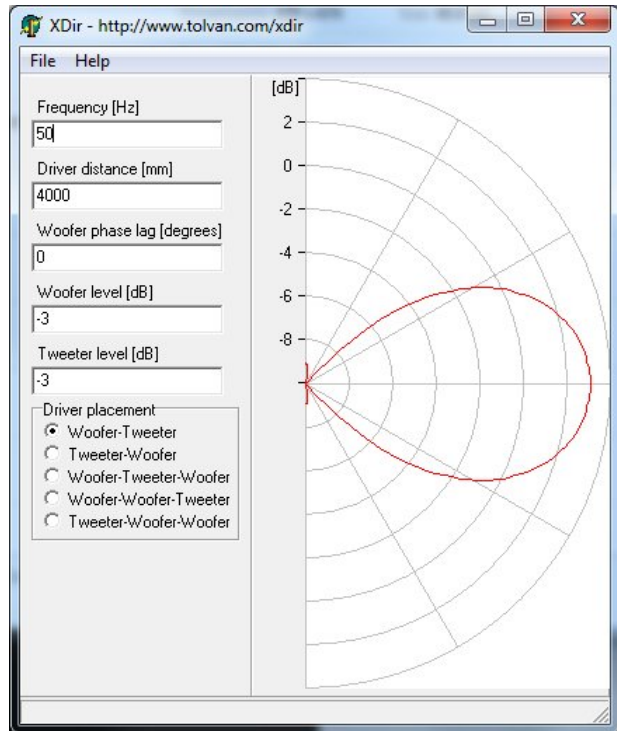
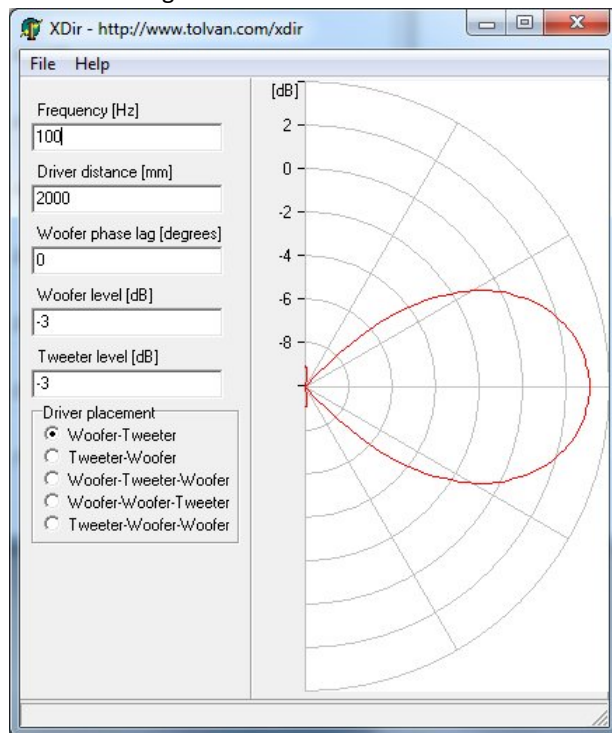


mittleren Schallquelle, bzw. der äußeren Schallquellen.

Damit ist auch klar, dass ein längeres Line Array mit mehr Lautsprechern sich auf diese Weise für einen sehr weiten Frequenzverlauf zu einem vertikal konstanten Richtungsverhalten steuern lässt. Und wenn man diesen Gedanken jetzt noch ein bisschen weiter spinnt und das gleiche Prinzip auch für das horizontale Richtungsverhalten anwendet für ein Array mit $N \times N$ Lautsprechern kommt man mit entsprechendem Aufwand zu einem Lautsprecher, dessen Richtungsverhalten sich sowohl horizontal als auch vertikal konstant halten lässt. Allerdings ist der Aufwand für das ganze leider nicht zu vernachlässigen

Beispiel 6: Bündlung im Bass

Wenn man sich nun nach den Line Array Experimenten in Beispiel 5 fragt, bis zu welchen tieferen Frequenzen sich eine solche vertikale Bündlung aufrechterhalten, dann kann man sich auch wieder mit XDir eine Antwort verschaffen. Jedenfalls wissen wir jetzt, das zwei entfernt voneinander angebrachte Schallquellen stärker bündeln als ein Line Array. Also nehmen wir hierfür auch nur zwei Schallquellen. Für 50 Hz ergibt sich eine noch etwas unhandliche Entfernung von 4 Metern Abstand um auf etwa die gleiche Bündlung zu kommen wie in Beispiel 5 fuer mittlere Frequenzen. Mein Wohnzimmer gibt das nicht her. Außerdem müsste ich meine Ohren noch auf eine Höhe von 2 Metern bringen. Besser geht es mit 100 Hz. Aber auch dann brauche ich noch einen Lautsprecher ganz unten und fast ganz oben. Aber mit einer optimalen Höhe von einem Meter für die Ohren geht es zu mindestens theoretisch.



Allerdings müsste man hier noch über die Effekte nachdenken, die sich durch die „akustische Spiegelung am Boden und der Deck ergibt. Ich denke sie würden die Bündlung verbessern.

Allerdings zeigt das erste Bild hier auch noch etwas anderes. Für ein paar Stereo Lautsprecher ist eine Basis von 4 Metern in der Breite dann doch wieder denkbar. Der Bass wird durch ein paar Stereolautsprecher im Bass also zu mindestens horizontal sowieso schon nach vorne gebündelt, solange beide Lautsprecher im Bassbereich dasselbe wiedergeben, was aber in der Regel der Fall sein dürfte. Das führt zu einem etwas harmloseren Verhalten was Raummoden angeht. Allerdings nicht in Hauptrichtung der Bündlung, sondern nur senkrecht zur Hauptrichtung, also in üblichen Räumen Höhe und Breite.