

Voice-Acoustic User Guide

Gerichtete Subwoofer-Konfigurationen

Anleitung und Wissenswertes
Stand V1.0, Juli 2025

Voice-Acoustic User Guide gerichtete Subwooferkonfigurationen

Einleitung

Da Subwoofergehäuse deutlich kleiner als die Wellenlänge ihres Wiedergabebereichs sind (25 Hz bis 100 Hz entsprechen einer Wellenlänge von ca. 13,7 m bis 3,4 m), haben Subwoofer nur eine geringe Richtwirkung und strahlen nahezu Kugelförmig (omnidirektional) ab. Hinter Subwoofern ist es daher fast genauso laut wie davor. In manchen Fällen ist eine deutliche Richtwirkung gewünscht, um beispielsweise Lärmemissionen zu minimieren. Durch bestimmte Array-Konfigurationen kann eine signifikante Richtwirkung erzielt werden. Für eine einfache Umsetzung sind in den VADAS und HDSP Endstufen für alle Voice-Acoustic Subwoofer jeweils zwei verschiedene Array-Settings vorkonfiguriert.

Der **CSAG**-Mode ist optimiert auf eine möglichst gute Richtwirkung mit maximaler Dämpfung nach hinten und entspricht dem, was häufig „Cardioid Subwoofer Array“ (CSA) oder „Gradient Array“ genannt wird. Die Addition und damit der Schalldruck nach vorne ist geringer als bei Standardaufbauten, bei denen alle Subwoofer nach vorne strahlen.

Der **CSAE**-Mode ist auf eine möglichst gute Wiedergabequalität nach vorne optimiert und hat eine weniger ausgeprägte Richtwirkung. Der CSAE-Mode entspricht dem, was häufig als **End-Fire-array** bezeichnet wird. Häufig werden End-Fire-Arrays aus mehreren Reihen von Subwoofern hintereinander umgesetzt. Die bei uns vorkonfigurierten Arrays entsprechen aber der gleichen Aufstellung, wie beim oben genannten CSAG-Mode mit zwei Subwoofern nach vorne und einem nach hinten gerichteten Subwoofer. Die Umsetzung eines End-Fire-Arrays in dieser Konfiguration wird auch „Inverted Stack- Array“ genannt.

Aufbau

Alle vorkonfigurierten Einstellungen für eine gerichtete Bassabstrahlung basieren auf demselben Aufbau.

Der Aufbau besteht aus drei Subwoofern, bei dem normalerweise der mittlere nach hinten zeigt. Die Einstellungen sind für vertikale Stacks (Abbildung rechts) optimiert, können aber auch horizontal hochkant stehend aufgebaut werden.

Werden mehrere Stacks nebeneinander betrieben, muss eine Lücke von **mindesten 40 cm** zwischen den Stacks bleiben. Die Stacks sollten **mindestens 1 m** von der Wand entfernt stehen.

Weitere mögliche Aufbauvarianten für bestimmte Anwendungen sind auf Seite 3 dargestellt.

Achtung: niemals CSAG und CSAE Presets zusammen verwenden! Entweder CSAG oder CSAE.

CSAG-Mode

Die Settings im CSAG-Mode sind auf Stacks, bestehend aus jeweils drei gleichen Subwoofern ausgelegt. Im Normalfall werden die drei Subwoofer übereinander gestapelt, wobei der mittlere Subwoofer nach hinten gerichtet wird. Es werden pro Stack zwei Endstufenkanäle benötigt. Die nach Vorne gerichteten Subwoofer werden mit dem „**Standard**“-Preset betrieben. Der nach Hinten gerichtete Subwoofer bekommt das „**CSAG Rear**“-Preset.

Eine Verzögerung der Topteile gegenüber dem Standard-Preset ist im CSAG-Mode nicht notwendig.

CSAG-Mode Preset

Top: standard Top preset



CSAE-Mode Presets

**Top: standard Top preset
+ 4 ms (1,38 m) Delay**



CSAE-Mode

Die Settings im CSAE-Mode sind auf Stacks, bestehend aus jeweils drei gleichen Subwoofern ausgelegt. Im Normalfall werden die drei Subwoofer übereinander gestapelt, wobei der mittlere Subwoofer nach hinten gerichtet wird. Es werden pro Stack zwei Endstufenkanäle benötigt. Der nach Hinten gerichtete Subwoofer wird im „**CSAE Rear**“-Preset und die nach Vorne gerichteten Subwoofer im „**CSAE Front**“-Preset betrieben.

Achtung: Im CSAE-Mode müssen die verwendeten Topteile oder Line-Arrays um **4 ms (1,38 m)** verzögert werden!

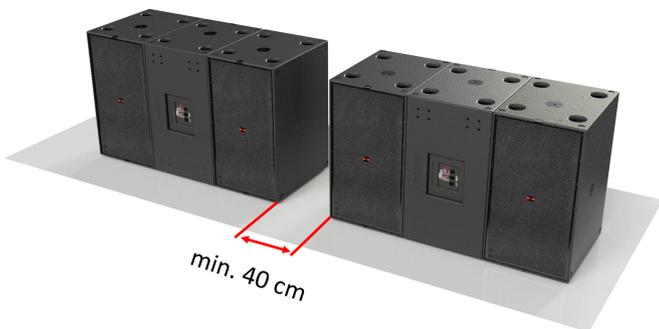
Auswahl Standard—CSAG—Mode—CSAE—Mode

Standard-, CSAG- und CSAE- Mode unterscheiden sich bezüglich ihres Outputs, der Abstrahlcharakteristik und des Klangs (Die Hintergründe werden in den Grundlagen auf Seite 4 und 5 erläutert) . In der Folgenden Übersicht werden die Vor- und Nachteile der Konfigurationen eingeordnet. Ein cardioider Aufbau sollte nur gemacht werden, wenn es wirklich nötig ist.

Configuration	Front-SPL	Sound Quality	Rear Cancellation
Standard	★★★★★	★★★★★	★★
CSAG- Mode	★★★	★★	★★★★★
CSAE- Mode	★★★★	★★★★★	★★★★

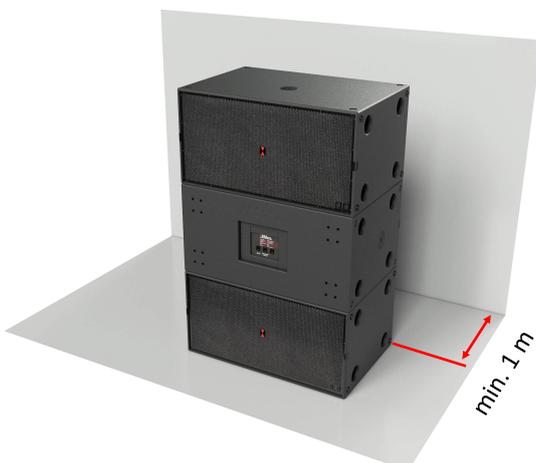
Abstand zwischen Stacks

Zwischen den Stacks muss ein Abstand von mindestens **40 cm** gehalten werden. Ein kleiner Abstand würde die Funktion beeinträchtigen.



Abstand zu Wänden

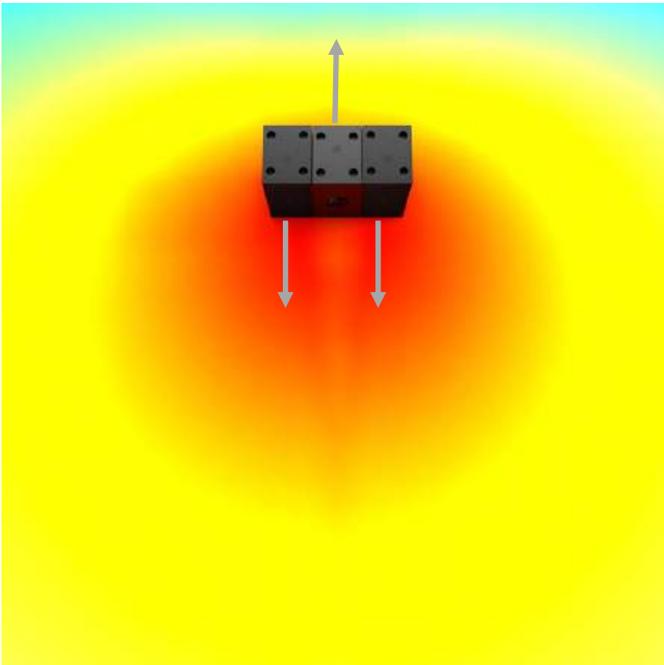
Zu Wänden muss ein allseitiger Abstand von mindestens **1 m** gehalten werden. Besonders wichtig ist der Abstand zu Wänden hinter dem Stack. Sollte es nötig sein, Subwoofer näher an einer Wand oder starren Bühne zu platzieren, sollte auf gerichtete Subwooferkonfigurationen verzichtet werden.



Aufbauten

Symmetrische Stacks für den CSAG – Mode und CSAE – Mode

Die Presets sind sowohl für den CSAG-Mode, als auch für den CSAE-Mode für symmetrische Stacks aus drei Subwoofern ausgelegt. Die Stack können vertikal, horizontal oder vertikal geflogen aufgebaut werden.

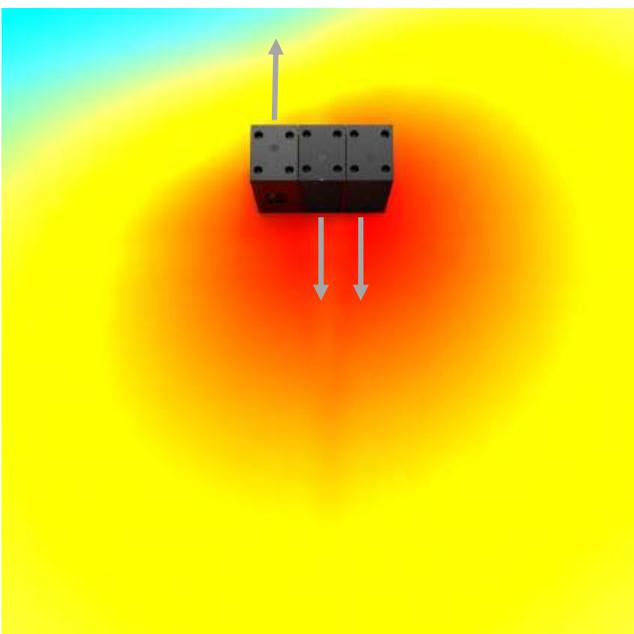


Asymmetrische Stacks

Wird ein asymmetrisches Abstrahlverhalten benötigt, kann dieses durch asymmetrische Stacks erreicht werden.

Die Hauptabstrahlachse dreht sich bei asymmetrischen Anordnungen in Richtung der Seite, auf der die nach Vorne gerichteten Subwoofer sind.

Im linken Beispiel dreht sich die Hauptabstrahlachse nach Rechts und im rechten Beispiel (geflogene Subwoofer) nach Unten. Asymmetrische Stacks können nützlich sein, um z.B. bei einer links/rechts Aufstellung neben der Bühne die zur Bühnenmitte rückwärtig abstrahlende Schallenergie zu verringern.



Stacks mit 2 Subwoofern

Es ist auch möglich CSAG- und CSAE- Stacks aus jeweils zwei Subwoofern aufzubauen. Dabei sollte der Untere Subwoofer nach Vorne und der Obere nach Hinten zeigen.



Bei CSAG- Stacks aus zwei Subwoofern, sollte der nach Hinten gerichtete Subwoofer um **3 dB abgesenkt** werden, wenn eine möglichst große Auslöschung direkt hinter dem Stack gewünscht ist.

Soll das CSAG- Stack für hohe Anforderungen an den Lärmschutz ausgelegt werden (optimiert auf Auslöschung im Fernfeld hinter dem Stack), wird der Pegel des nach Hinten gerichteten Subwoofers nicht abgesenkt.

Subwoofer (Line-) Arrays

Bei der Konfiguration von „Zahnlücken-“ Arrays sollten ein paar Grundsätze beachtet werden.

Um Minima im zu beschallenden Bereich und Maxima außerhalb des zu beschallenden Bereichs zu vermeiden, sollte ein maximaler Abstand zwischen den Subwoofern eingehalten werden, damit sie korrekt miteinander koppeln. Im Bild rechts ist das Abstrahlverhalten eines Arrays mit deutlich zu großem Abstand dargestellt. Minima und Maxima sind deutlich zu erkennen.

Der maximale Abstand ist relativ zur Wellenlänge. Als Faustregel kann ein maximaler Abstand s_{max} von einer halben Wellenlänge der höchsten zu übertragenden Frequenz angenommen werden.

$$s_{max} = \frac{\lambda_{min}}{2} = \frac{c}{2 f_{max}}$$

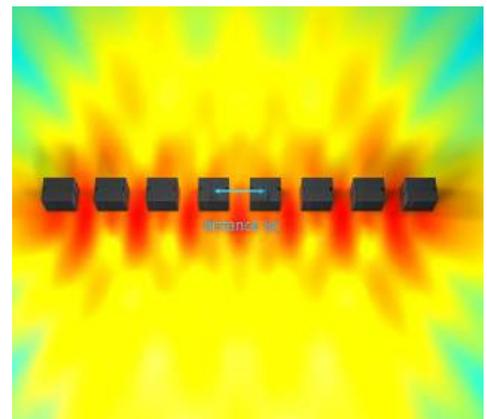
Achtung: Die Schallgeschwindigkeit c ist Abhängig von der Temperatur!

Als Beispiel wird hier der maximale Abstand für eine maximal zu übertragende Frequenz von 120 Hz bei einer Temperatur von 20 °C berechnet:

$$s_{max} = \frac{343 \frac{m}{s}}{2 * 120 \text{ Hz}} = \frac{343 \frac{m}{s}}{2 * 120 \frac{1}{s}} = 1,4 \text{ m}$$

Da der maximale Abstand ermittelt wird, empfiehlt es sich das Ergebnis abzurunden.

Der ermittelte Abstand bezieht sich auf den Abstand zwischen den Mittelpunkten der Schallquellen. Mitte Gitter zu Mitte Gitter sollte nicht Größer als 1,4 m sein.



Abstand zwischen Schallquellen ist deutlich zu groß

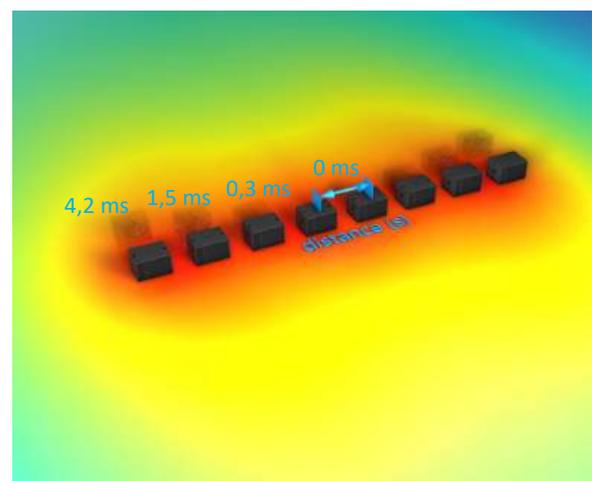
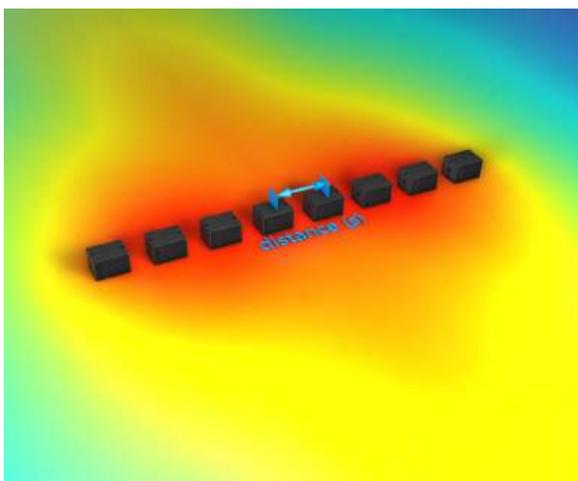
Temperatur / °C	Schallgeschwindigkeit / m/s
0	331,5
10	337,5
20	343,5
30	349,3
40	354,9

Schallgeschwindigkeit in Abhängigkeit der Temperatur

Je länger das Subwoofer-Array ist, desto schmaler strahlt das Array ab. Entscheidend ist hier das Verhältnis von Arraylänge zur Wellenlänge. Damit ist das Abstrahlverhalten frequenzabhängig.

Im Sinne des Lärmschutzes kann eine ausgeprägte Richtwirkung von Vorteil sein. Wird für eine gleichmäßige Beschallung über die Breite eine weniger ausgeprägte Richtwirkung benötigt, kann das Array als Bogen („Sub-Arc“) konfiguriert werden. Dabei muss der Bogen nicht physikalisch aufgebaut werden. Der Bogen kann auch durch Verzögerung von einzelnen Subwoofern „virtuell“ nachgebildet werden, um das horizontale Abstrahlverhalten wieder etwas breiter zu machen.

Folgend ist beispielhaft ein 10 m langes Array bestehend aus 8 Subwoofern als gerade Linie (links) und als „virtuell“ gebogene Linie (rechts) dargestellt. Im Beispiel rechts sind die beiden mittleren Subwoofer nicht verzögert, die Weiteren von Innen nach Außen um 0,3 ms, 1,5 ms und 4,2 ms. Dies ist auf beiden Seiten einzustellen, im Beispiel von links nach rechts: 4,2 ms, 1,5 ms, 0,3 ms, 0 ms, 0 ms, 0,3 ms, 1,5 ms, 4,2ms.



Grundlagen CSAG-Mode

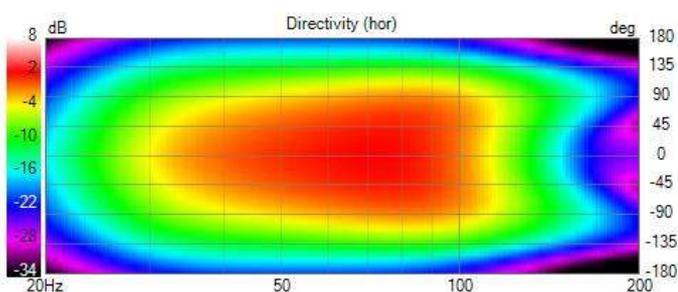
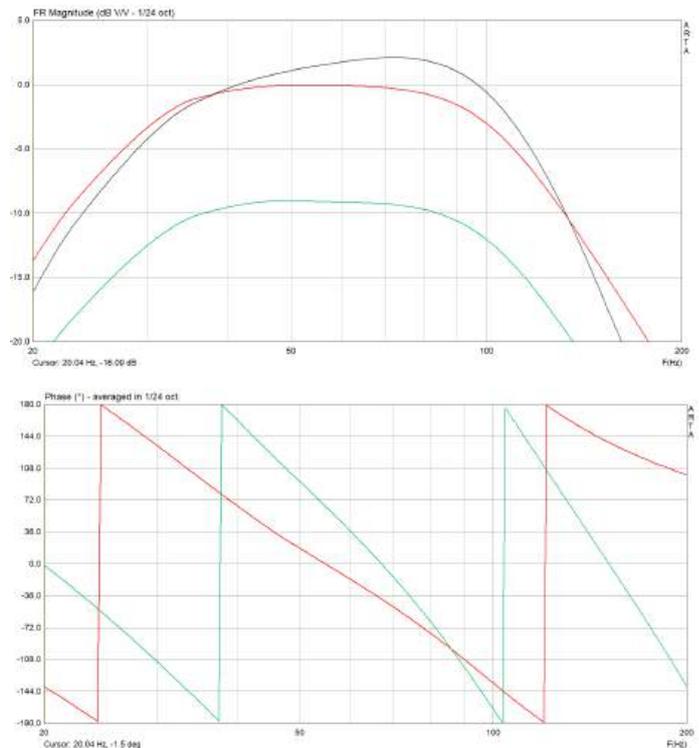
Die Richtwirkung des CSAG-Mode wird erzielt, indem der Rear-Subwoofer genutzt wird, um den Schall hinter dem CSAG-Stack durch destruktive Interferenz auszulöschen. Dafür wird der das Signal für den Rear-Subwoofer verzögert, sodass hinter dem CSAG-Stack die Signale der Front-Subwoofer Phasengleich mit dem Signal des Rear-Subwoofers ist. Um das Schallsignal hinter dem CSAG-Stack auszulöschen wird die Polarität des Rear-Subwoofers gedreht. Wichtig ist, dass die benötigte Verzögerung in der Regel deutlich größer ist, als die Tiefe der Subwoofer vermuten lässt. Es kann auch vorkommen, dass eine einfache Verzögerung nicht ausreicht, um die Phase anzupassen. Daher müssen die benötigten Einstellungen zwingend messtechnisch ermittelt werden (in den Voice-Acoustic CSAG und CSAE Presets ist alles fertig eingestellt). Des Weiteren müssen die Pegelverhältnisse angepasst werden. Hier sollte bedacht werden, dass auch die Limiter mit angepasst werden, damit die Richtwirkung im Grenzbereich nicht abnimmt.

Der CSAG-Mode hat eine sehr gute rückwertige Dämpfung, aber eine Schwäche nach Vorne.

In den Abbildungen rechts sind die typischen Frequenzgänge der Front-Subwoofer (Rot) und des Rear-Subwoofers (Grün) eines CSAG-Stacks, in Betrag (Oben) und Phase (Unten), dargestellt.

Die graue Kurve im Betrag des Frequenzgangs zeigt die Summe aus Front- und Rear-Subwoofern. Deutlich ist zu erkennen, dass es einen Bereich konstruktiver Interferenz¹ und Bereiche destruktiver Interferenz gibt.

Wird nur der Betrag des Frequenzgangs betrachtet, lässt sich sagen, dass ein CSAG-Stack aus **drei** Subwoofern gegenüber einem konventionellen Stack aus **zwei** Subwoofern zwar einen höheren Schalldruckpegel hat, aber weniger Tiefbass.



Typisches Abstrahlverhalten CSAG- Mode in Abhängigkeit der Frequenz

In der Abbildung links ist das typische Abstrahlverhalten eines CSAG-Stacks abgebildet. Hier ist der Vorteil des CSAG-Modus zu erkennen. Das Abstrahlverhalten ist über die gesamte Bandbreite sehr gut und daher gut geeignet wenn hohe Anforderungen an den Lärmschutz gestellt werden.

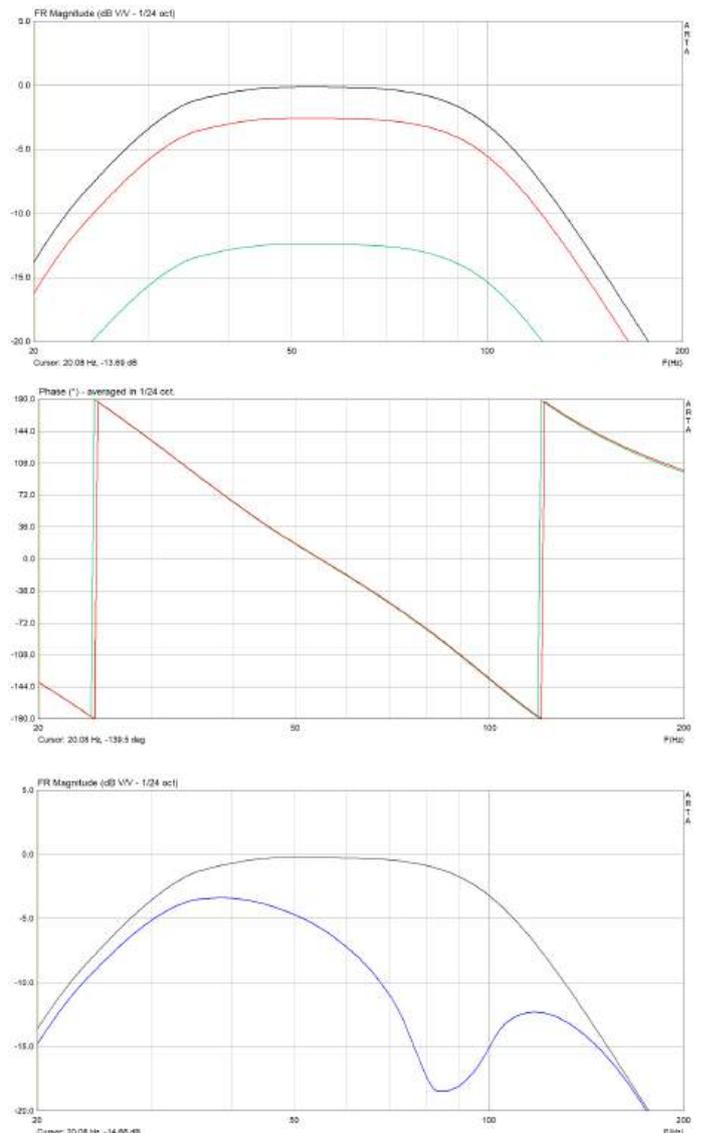
¹ siehe Seite 8

Grundlagen CSAE-Mode

Wenn von einem End-Fire-Array gesprochen wird, ist in den meisten Fällen eine Aufstellung von Subwoofern in mehrere Reihen hintereinander gemeint. Dabei werden alle Reihen auf das Schallsignal der hintersten Reihe verzögert. Dadurch addieren sich die Reihen nach Vorne. Nach Hinten gibt es frequenzabhängige Auslöschungen durch den Zeitversatz der Schallsignale.

Deutlich platzsparender und einfacher in der Handhabung ist die Aufstellung als Stack mit zwei Front-Subwoofern und einem Rear-Subwoofer, wie beim CSAG-Mode. Auch hier werden die Front-Subwoofer auf das Schallsignal des Rear-Subwoofers verzögert. Die benötigte Verzögerung bei diesem Aufbau ist normalerweise deutlich größer als die Tiefe der Subwoofer vermuten lässt. Es kann auch vorkommen, dass eine einfache Verzögerung nicht ausreicht, um die Phase anzupassen.

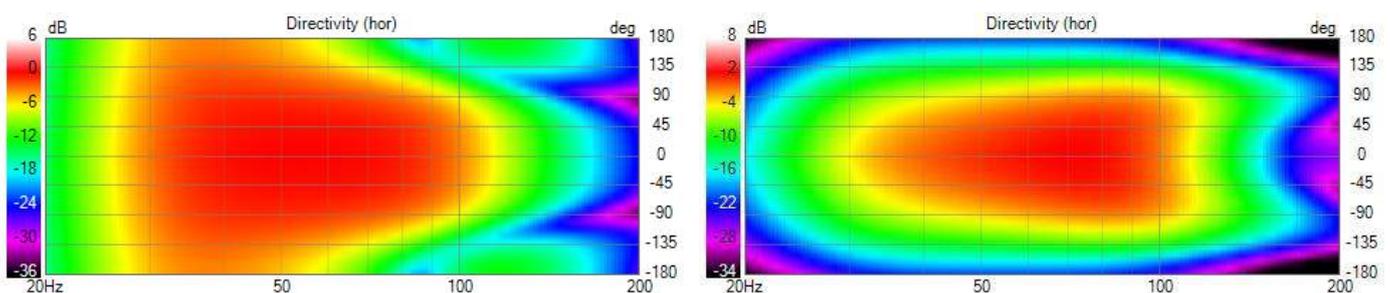
Vor dem CSAE-Stack addieren sich die Signale phasenrichtig. Dadurch wird die Wiedergabequalität nach Vorne nicht beeinträchtigt. Gegenüber einem konventionellen Stack aus drei nach vorne gerichteten Subwoofern ist das CSAE-Stack allerdings etwas leiser. Auch muss beachtet werden, dass sich die Gesamtverzögerung des Systems erhöht (unsere Settings sind so ausgelegt, dass die Tops für alle Subwoofer im CSAE-Mode um **4 ms / 1,38 m** verzögert werden müssen).



Die Richtwirkung des CSAE-Stacks ist deutlich frequenzabhängig. In der Abbildung rechts ist in Grau der Betrag des Frequenzgangs eines CSAE-Stacks nach Vorne und in Blau nach Hinten dargestellt. Eine deutliche Richtwirkung wird nur in einem schmalen Frequenzbereich erzielt. Dieser ist abhängig vom tatsächlichen Laufzeitversatz zwischen Front- und Rear-Subwoofern (der nicht nur von der Tiefe der Subwoofer abhängt).

Vereinfacht lässt sich sagen, dass sich mit größeren und tiefen Subwoofern eine bessere Richtwirkung erzielen lässt, als mit kleineren.

In den Abbildungen unten sind die typischen Abstrahlcharakteristika eines CSAE-Stacks (links) und eines CSAG-Stacks (rechts) dargestellt. Es ist deutlich zu erkennen, dass das Abstrahlverhalten des CSAE-Modus deutlich mehr von der Frequenz abhängt, als das Abstrahlverhalten des CSAG-Modus.



Typisches Abstrahlverhalten CSAE-Mode (links) und CSAG-Mode (rechts) in Abhängigkeit der Frequenz

Top-Sub Alignment

In den meisten Fällen, wird der Frequenzbereich von PA-Systemen nach unten mit Subwoofern erweitert. Diese werden häufig räumlich getrennt von den Tops platziert. Hierbei gilt es ein paar Grundsätze zu beachten, die im Folgenden beschrieben werden.

Unsere Presets sind so gestaltet, das Tops und Subs Gitter an Gitter (siehe Abbildung rechts) zeitlich korrekt zusammen spielen.

Werden räumlich getrennte Setups aufgebaut, müssen die entstehenden Laufzeitdifferenzen durch eine elektronische Verzögerung korrigiert werden.

Durch das Frontgitter als Referenzfläche, ist es möglich diese Laufzeitkorrektur in vielen Fällen ohne ein akustisches Messsystem, nur mit einem Laser-Entfernungsmesser durchzuführen.

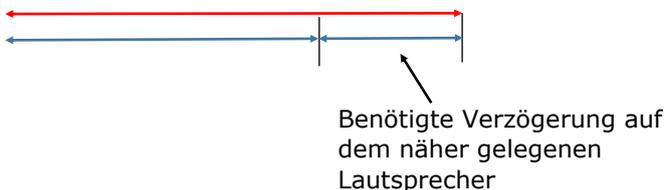
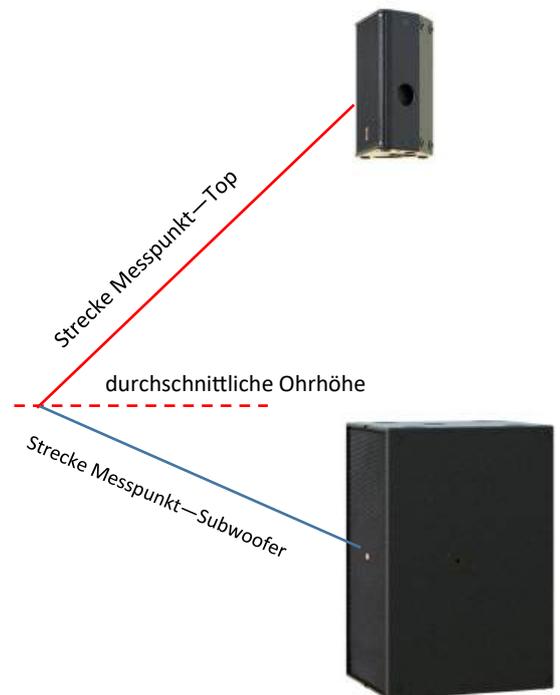
Dafür kann die Entfernung zum Top und zum Subwoofer gemessen und die Differenz der Entfernungen berechnet werden. Der weniger weit entfernte Lautsprecher kann entsprechend der Entfernungsdifferenz verzögert werden. Die benötigte Verzögerung, kann in den VADAS oder HDSP-Systemendstufen direkt als Entfernung (m) eingestellt werden. Eine Umrechnung in eine Zeiteinheit (ms) ist nicht nötig.



Für größere Subwoofer-Stacks sollte beachtet werden, dass sich die Zeiten verschieben, wodurch der Einsatz einem akustischen Messsystems empfohlen wird.

Werden die Topteile **bis ca. 3,5 m Höhe** geflogen, ist die Wahl des Messpunktes unkritisch. Der Messpunkt sollte in etwa auf der zu erwartenden Ohrhöhe im Zuhörerbereich gewählt werden. Vom Messpunkt aus wird die Distanz zum Topteil und zum Subwoofer gemessen und die Differenz berechnet. Der näher gelegene Lautsprecher wird dann um diese Differenz verzögert. Der Messaufbau ist qualitativ in der Abbildung rechts dargestellt.

Werden die Topteile höher geflogen oder komplexe Flächen beschallt, reicht dieses einfache Vorgehen nicht aus und es sollte eine entsprechend sachkundige Person mit Messequipment hinzugezogen werden.

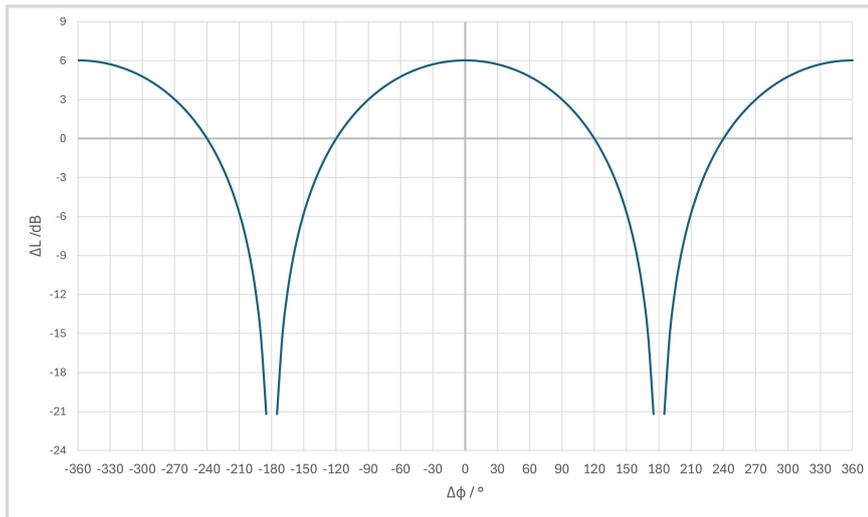


Note:

Interferenz

Von Interferenz spricht man, wenn mehrere Wellen überlagert werden. Die Überlagerung erfolgt ungestört, das heißt, dass sich die Wellen nicht gegenseitig beeinflussen (es gilt das Superpositionsprinzip).

Es wird zwischen konstruktiver - und destruktiver Interferenz unterschieden. Bei der konstruktiven Interferenz kommt es zu einer Verstärkung der resultierenden Welle, bei der destruktiven Interferenz zu einer Auslöschung. In der Abbildung Unten ist die Summe zweier Schallereignisse gleicher Frequenz und Amplitude in Abhängigkeit des Phasenwinkels dargestellt.



Impressum

© SRV Distribution / Voice-Acoustic, alle Rechte vorbehalten.

Es sind keine Kopien, auch auszugsweise, zulässig.

Publikation erfolgt ausschließlich auf Webseiten der SRV Distribution oder bedürfen einer schriftlichen Zustimmung.

Verlinkungen zum Download sind zulässig.

Sämtliche Angaben in dieser Anleitung basieren auf den zum Zeitpunkt der Drucklegung verfügbaren Informationen über die Eigenschaften der hier beschriebenen Produkte und den entsprechenden Sicherheitsvorschriften. Technische Spezifikationen sowie Abmessungen, Gewicht und Eigenschaften stellen keine zugesicherten Eigenschaften dar.

Der Hersteller behält sich Änderungen und Modifikationen im Rahmen der gesetzlichen Bestimmungen sowie die Verbesserung der Produkteigenschaften ausdrücklich vor. Dieses Handbuch und alle weiteren notwendigen Informationen zum sicheren Gebrauch müssen allen Personen, die das System benutzen, zum Zeitpunkt des Auf- und Abbaus und während des Betriebs verfügbar sein!

Ohne dieses Handbuch gelesen, verstanden und griffbereit vor Ort zu haben, darf das System weder aufgebaut noch eingesetzt werden.

Wir freuen uns über Anregungen und Verbesserungsvorschläge zu diesem Handbuch.

SRV Distribution - Voice-Acoustic
Brocksfeld 3
D-27313 Dörverden

Tel.: + 49 (0) 4234 942 777

Anfrage@Voice-Acoustic.de
www.Voice-Acoustic.de