

## TRINNOV AUDIO WAVEFORMING

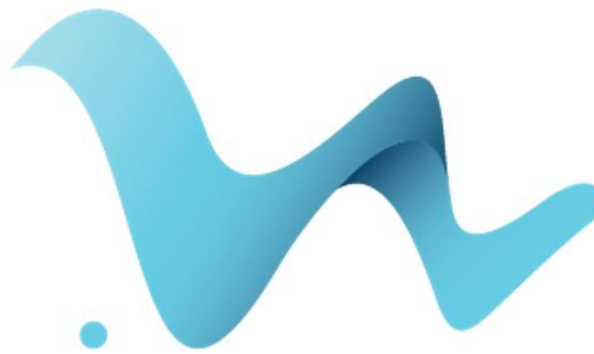
Ein ideales Tonsystem für das Heimkino muss eine flache und gleichmäßige akustische Antwort über den gesamten Hörbereich gewährleisten. Eine Hauptherausforderung bei der Erreichung dieses Ziels besteht darin, das akustische Feld bei sehr niedrigen Frequenzen (unterhalb von etwa 100 Hz) zu kontrollieren. Das akustische Feld bei diesen Frequenzen wird stark von dem modalen Verhalten des Raums dominiert, was aufgrund von modalen Maxima und Minima zu großen Unterschieden im akustischen Druck im gesamten Hörbereich führt. Darüber hinaus verschleiern die vielen Reflexionen und langen Nachhallzeiten dieser Raummoden einen Großteil der Dynamik und Details, die sonst wahrgenommen und genossen werden könnten.

### I. EINLEITUNG

Traditionelle passive Lösungen erfordern große Mengen an Absorption, um bei niedrigen Frequenzen effektiv zu sein, was zu einem unverhältnismäßig großen Platzbedarf führt, der nicht nur in Bezug auf Material, sondern auch in Bezug auf Immobilien teuer ist. Andere Ansätze wie Bassfallen sind in der Regel nur bei bestimmten Frequenzen wirksam und sind als Breitbandlösung unpraktisch. Als solche sind traditionelle passive akustische Behandlungen für niedrige Frequenzen allein für das Heimkino unzureichend.

Als Reaktion auf diese Realität haben viele Heimkino-Spezialisten zusätzlich zur passiven Behandlung mehrere Subwoofer-Anordnungen übernommen. Es gibt verschiedene Anordnungen, die darauf abzielen, die Raummoden zu unterbrechen. Unsere Forschung hat gezeigt, dass einige Ansätze die Auswirkungen der Raummoden tatsächlich mildern können, aber nicht die eigentliche Ursache (Welleninterferenzen) ansprechen und daher unerwünschte Nebenwirkungen erzeugen, ohne das gesamte Problem zu lösen.

Die Ausnahme bildet die Methode des "Double Bass Array" (DBA). Der traditionelle DBA-Ansatz verwendet, wie der Name schon sagt, zwei Anordnungen von Subwoofern: eine an der Vorderwand (die abstrahlende Anordnung) und eine andere an der Rückwand (die absorbierende Anordnung). Die abstrahlende Anordnung erzeugt eine ebene Welle, um die Interferenzen im Raum von den Seitenwand-, Decken- und Bodenreflexionen zu reduzieren. Dann versucht die absorbierende Anordnung, die Rückwandreflexion mit demselben Signal zu stornieren, jedoch invertiert und verzögert um die Zeit, die der Schall benötigt, um die Länge des Raums zu durchlaufen.



## WAVEFORMING

Dieser Ansatz liefert jedoch nur unter idealen Bedingungen gute Ergebnisse, die in der Praxis schwer zu erreichen sind. Zu oft sind die Wände nicht ausreichend reflektierend, um eine gute planare Welle zu erzeugen. Außerdem hat sich die Welle, die die hintere Wand erreicht, während ihrer Reise durch den Raum verändert, da die Wände unzureichend steif oder parallel sind, um die Welle ordnungsgemäß zu leiten... Schließlich ändert sich die Natur der Welle, wenn sie auf Möbel, Erhöhungen, gestufte Sitzgelegenheiten usw. trifft. Das Ergebnis ist, dass die Welle, die die hintere Wand erreicht, nicht mehr die gleiche ist wie die, die die vordere Wand verlassen hat, und nicht effektiv eliminiert werden kann. In dem Maße, wie es zu einer Diskrepanz kommt, wird unerwünschte Energie in den Raum eingeführt.

Trinnov's WaveForming™ überwindet die Einschränkungen bestehender Lösungen und bietet ein effektiveres und vielseitigeres Werkzeug zur Kontrolle von sehr niederfrequenten akustischen Feldern. Die wichtigsten Aspekte von WaveForming und einige Richtlinien und Empfehlungen zur optimalen Nutzung dieser Technologie werden im Folgenden erläutert.

Waveforming ist ein leistungsstarkes und flexibles Werkzeug. Die physikalischen Gesetze gelten jedoch nach wie vor, unabhängig von der Raffinesse der Signalverarbeitung. Es gibt insbesondere zwei Faktoren, die die empfohlene Anzahl von Subwoofern für einen bestimmten Raum bestimmen:

Die Größe der vorderen und hinteren Wände. Verständlicherweise erfordern größere Räume mehr Subwoofer als kleinere Räume.

Die höchste Frequenz, die Sie kontrollieren möchten. Höhere Frequenzen bedeuten kürzere Wellenlängen, die wiederum einen engeren Abstand der Subwoofer erfordern, um die Kontrolle über die planare Wellenbildung aufrechtzuerhalten.

Bitte beachten Sie, dass dieses Dokument die Anzahl der Subwoofer und deren empfohlene Platzierung behandelt, um die Leistung von Waveforming zu maximieren. Es enthält keine Empfehlungen für den Typ des zu verwendenden Subwoofers oder technische Spezifikationen für jeden Subwoofer. Dieses Dokument enthält auch keine Mittel zur Berechnung des akustischen Druckniveaus des WaveForming™-Systems auf der Grundlage der Leistungsfähigkeit jedes Subwoofers. Diese Empfehlungen werden in einem separaten Umsetzungsdokument zu einem späteren Zeitpunkt verfügbar sein.

Die beste Empfehlung in diesem Stadium ist:

Verwenden Sie dieselben Subwoofer innerhalb jeder Gruppe.

Spezifizieren Sie Subwoofer mit dem gleichen Frequenzbereich für beide Front- und Hinterradarrays.

Das Hinterradarray kann aus Subwoofern mit geringerer Leistungsfähigkeit als die Frontsubwoofer bestehen.

## II. FORTGESCHRITTENE STEUERUNG VON NIEDRIGFREQUENTEN AKUSTISCHEN WELLEN MIT WAVEFORMING™

Abbildung 1 unten zeigt das Arbeitsprinzip von WaveForming, das aus zwei Hauptschritten besteht:

Im ersten Schritt wird das akustische Feld innerhalb eines Volumens um den Hörbereich herum und in diesem ausgewertet. Das Ziel dieses Schrittes besteht darin, die notwendigen Informationen über das Modellverhalten des Raums (sowie eventuelle Veränderungen, die durch Objekte im Raum eingeführt wurden) abzurufen, damit der Algorithmus diese unerwünschten Beiträge eliminieren kann. Dies erfolgt durch die Abtastung des akustischen Feldes in einem dreidimensionalen Raster von Mikrofonpositionen im gesamten Hörbereich (blaues gestricheltes Rechteck in Abbildung 1).

Aus dem im vorherigen Schritt gemessenen akustischen Feld berechnet der WaveForming-Prozessor die Filter, die auf jeden Subwoofer des Systems angewendet werden sollen, und wendet diese Filter an, um die Modellsignatur des Raums zu eliminieren. Die auf die Lautsprecher angewendeten Filter gewährleisten die Erzeugung der engsten und gleichmäßigsten Wellenfront möglich innerhalb des Hörbereichs, während die auf alle Subwoofer (einschließlich der vorderen und hinteren Subwoofer-Arrays) angewendeten Filter die meisten Raumreflexionen und Resonanzen (Moden) gemeinsam absorbieren.

Die Verarbeitung von WaveForming liefert beispiellose Leistung, dank ihrer Raffinesse und ihrer Fähigkeit, sich an verschiedene Einschränkungen anzupassen (wie unregelmäßige Subwoofer-Anordnungen):

**Raffiniert:** WaveForming kombiniert mehrere fortschrittliche und einzigartige Technologien wie "Akustikumformung", "Wellenfrontsynthese" und "Optimierung mit mehreren Quellen und mehreren Controllern", um einen spezifischen Filter für jeden Subwoofer so zu synthetisieren, dass das gesamte System als idealisierter Subwoofer funktioniert. WaveForming maximiert die Homogenität des Feldes in Zeit, Raum und Frequenz über den gesamten Hörbereich hinweg. Diese komplexen Filter überwinden die Einschränkungen einfacher Gain- und Delay-Filter.

**Anpassungsfähig:** Diese Filter werden aus dem gemessenen Feld berechnet und passen sich den physikalischen Eigenschaften jedes individuellen Raums an, einschließlich der genauen Form und akustischen Eigenschaft jeder Wand

und allem, was sich im Raum befindet. Erneut liefert es effektivere Filter als einfache Gain- und Delay-Filter, da sie sich an die spezifischen Faktoren anpassen, die die Leistung im Hörbereich beeinflussen. Diese leistungsstarke Analyse ermöglicht eine robustere und effizientere Steuerung des akustischen Felds, selbst unter anspruchsvollen Bedingungen wie nicht idealer Raumgeometrie.

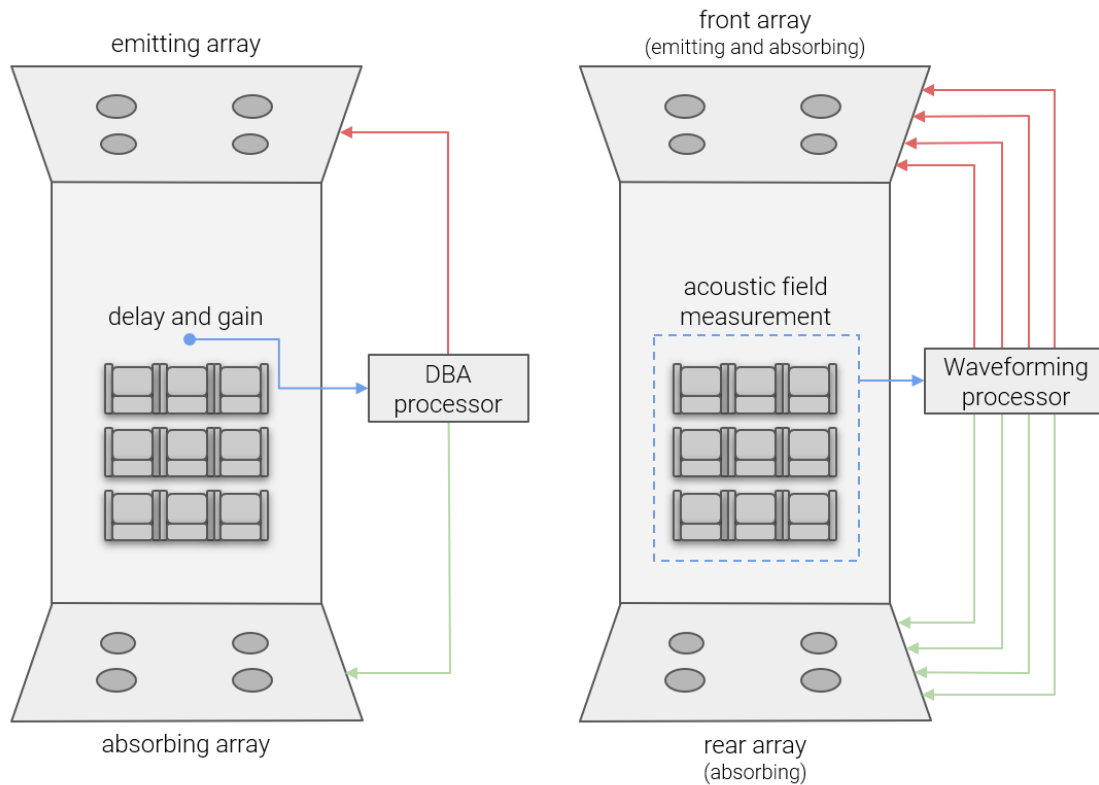


Figure 1. Working principle of the DBA (left) versus WaveForming (right).

### III. RAUMBEZUG ABTASTRICHTLINIEN

Wenn das akustische Feld mit Mikrofonen abgetastet wird, sind die folgenden Richtlinien entscheidend, um eine gute Leistung zu erzielen.

Der Abstand zwischen dem vorderen Array und der Messzone sollte mindestens 2 Meter betragen.

Der Abstand zwischen der Messzone und den übrigen Wänden und der Decke sollte mindestens 1 Meter betragen.

Das Messgitter sollte mindestens 2 horizontale Ebenen haben, wobei die erste Ebene 1 Meter über dem Boden liegt (typische Ohrhöhe für eine sitzende Person).

Der maximale Abstand zwischen zwei benachbarten Mikrofonpositionen sollte 1 Meter betragen, damit das akustische Feld bis zu Frequenzen von etwa 100 Hz eindeutig charakterisiert wird.

Eine gewisse Präzision bei der Platzierung dieser Mikrofone während des Messvorgangs ist wichtig, da der WaveForming-Algorithmus ein klares "Verständnis" des dreidimensionalen Feldes im gesamten Hörbereich benötigt. Objekte im Raum und sogar der Raum selbst führen zu Veränderungen der Welle, während sie die Länge des Raums durchläuft. Diese Veränderungen müssen dokumentiert werden.

## **IV. BESTIMMUNG DER ANZAHL UND PLATZIERUNG DER SUBWOOFER**

Die ersten Fragen, die jedem in den Sinn kommen, wenn sie darüber nachdenken, WaveForming in ihr Raumdesign zu integrieren, lauten: 1) "Wie viele Subwoofer benötige ich?" und 2) "Wie positioniere ich sie im Raum?"

Die Antwort hängt größtenteils von zwei Parametern ab:

Die Größe Ihres Raumes (genauer gesagt, die Abmessungen Ihrer Vorder- und Rückwände)

Die höchste Frequenz, die Sie wünschen (oder benötigen), um zu kontrollieren.

Es ist ziemlich intuitiv, dass größere Räume möglicherweise mehr Subwoofer erfordern. Aber die Dichte dieser Subwoofer an der Wand bestimmt die höchste Frequenz, bei der eine saubere, ebene Wellenfront erzeugt werden kann. Beide Parameter müssen festgelegt werden, bevor eine informierte Entscheidung getroffen werden kann.

Wir werden diese beiden Überlegungen in umgekehrter Reihenfolge angehen. Wir glauben, dass es Ihnen leichter fallen wird, die erforderliche Anzahl von Subwoofern zu verstehen, sobald Sie die verschiedenen möglichen Layouts und die Flexibilität, die wir bei der Platzierung der Subwoofer haben, besser verstanden haben.

## V. RICHTLINIEN FÜR DIE ANORDNUNG VON SUBWOOFERN

Dieser Abschnitt gibt Empfehlungen für die optimale Positionierung von Subwoofern. Diese Empfehlungen basieren auf umfangreichen Forschungen, die numerische Simulationen, Experimente und theoretische Analysen einschließen. Alle experimentellen Daten wurden unter Verwendung eines speziellen Mikrofonarrays entwickelt, das die zuvor beschriebenen Richtlinien zur räumlichen Erfassung des akustischen Feldes respektierte. Die folgenden Empfehlungen zur Positionierung der Subwoofer leiten sich aus diesen Daten und den Richtlinien zur räumlichen Erfassung ab.

Die Bezeichnungen in den Layouts folgen dem Format  $N_f$ -  $N_r$ , wobei die Anzahl der Subwoofer im vorderen Emitterarray und die Anzahl der Lautsprecher im hinteren Absorberarray angegeben wird.

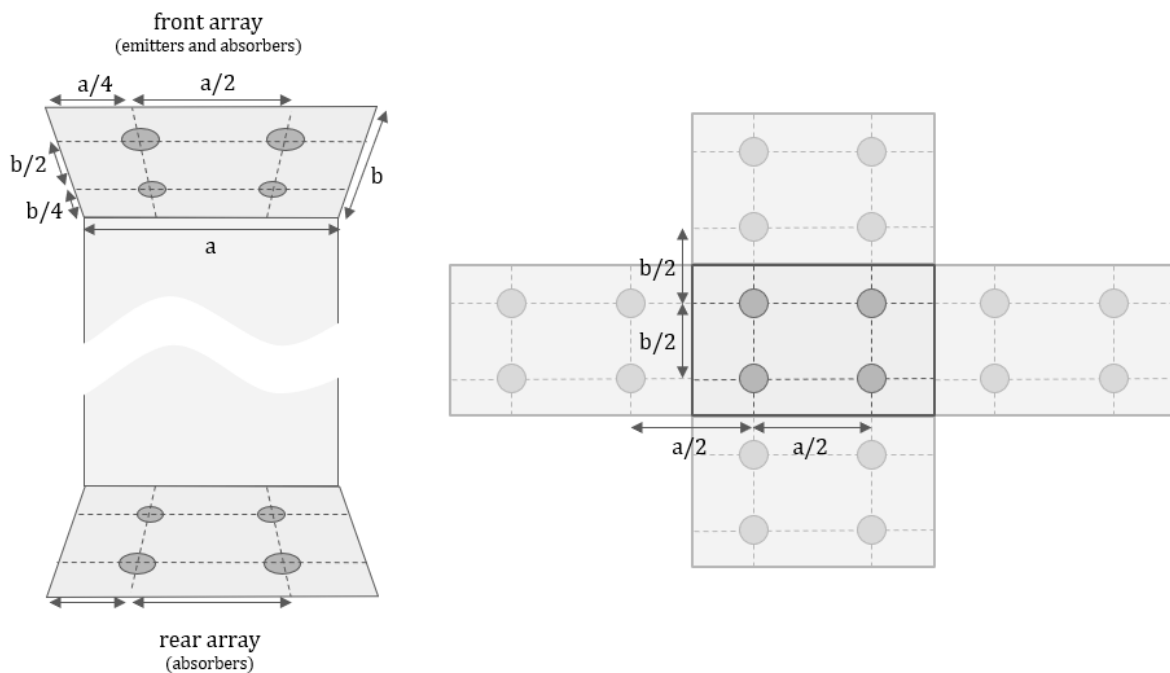


Figure 2. A 4-4 regular layout (left, top view) and the wall of emitters with their image sources (right, front view).

## A. REGULÄRE LAYOUTS: REGULÄRE POSITIONEN

Wie aus der obigen Abbildung (Abbildung 2) ersichtlich ist, ist der ideale Abstand der Subwoofer so aufgeteilt, dass der Raum zwischen einem Subwoofer und der angrenzenden Raumbofläche (Wand, Decke oder Boden) die Hälfte des Abstands zwischen ihm und seinem benachbarten Subwoofer beträgt. Dieser Abstand gewährleistet, dass die von diesen Raumboflächen verursachte reflektierte Energie als "virtuelle Subwoofer" mit gleichem Abstand zu den benachbarten tatsächlichen Subwoofern wirkt. Idealerweise sollte dieser Abstand sowohl horizontal als auch vertikal gleichbleibend sein. Die Breite der Wand ("a") wird durch die Anzahl der Subwoofer entlang der Breite des Raums geteilt, und die Höhe der Wand ("b") wird durch die Anzahl der Subwoofer entlang der Höhe des Raums geteilt. (In einem anderen Raum könnte es eine 3 x 2-Anordnung horizontal und vertikal geben, die "a/3" und "b/2" für den Abstand erfordert.) Wir nennen dies eine "reguläre Anordnung", wobei "regulär" auf die Konsistenz der Anordnung hinweist.

In einer regulären Anordnung sind die Subwoofer so angeordnet, dass sie einen gleichmäßigen Abstand haben (einschließlich der Reflexionen, die als "virtuelle" Subwoofer fungieren), sowohl horizontal als auch vertikal. Daher muss der Abstand zwischen einem Subwoofer am Rand des Arrays und der angrenzenden Wand die Hälfte des Abstands zwischen zwei benachbarten Subwoofer-Spalten betragen. Ebenso muss der Abstand zwischen einem "Rand"-Subwoofer und der angrenzenden Decke oder dem Boden die Hälfte des Abstands zwischen zwei benachbarten Reihen von Subwoofern betragen.

Daher, wenn A die Raumweite ist und wir C Subwoofer-Spalten haben, beträgt der Abstand zwischen zwei benachbarten Spalten  $a/C$ , und der Abstand von einem seitlichen Subwoofer zur angrenzenden Wand beträgt  $a/2C$ . Ebenso beträgt bei Höhe b und R Reihen der Abstand zwischen zwei benachbarten Reihen  $b/R$ , und der Abstand von der unteren/oberen Reihe zum Boden/Decke beträgt  $b/2R$ .

Beachten Sie, dass bei WaveForming die Anzahl der nach vorne abstrahlenden Subwoofer nicht gleich der Anzahl der nach hinten absorbierenden Subwoofer sein muss. Die besondere Anordnung, bei der die beiden Arrays die gleichen Abmessungen und die gleiche Anzahl von Subwoofern haben, wird als Double Bass Array (DBA) bezeichnet. Abbildung 2 zeigt eine 4-4 reguläre Anordnung mit 2x2-Arrays in einem Raum mit einer Breite a und einer Höhe b.



## B. IDEALE LAYOUTS: IDEALE ANZAHL VON SUBWOOFERN

Der Abstand zwischen den Subwoofern bestimmt die obere Frequenzgrenze, die effektiv als ebene Welle gesteuert werden kann. Dies ergibt sich aus der Tatsache, dass höhere Frequenzen kürzere Wellenlängen haben und die abstrahlenden Subwoofer innerhalb eines bestimmten Teils dieser Wellenlänge voneinander entfernt sein müssen, damit die ebene Wellenbildung gut funktioniert. (Die Gesetze der Physik lassen sich nicht umgehen).

Die ideale Anordnung ist eine regelmäßige Anordnung, bei der die Arrays die gleichen Abmessungen haben. In einer solchen Anordnung werden die Positionen der Reihen und Spalten der Subwoofer jeweils von der Höhe und Breite des Raums diktiert. Darüber hinaus bestimmt der Abstand zwischen zwei Subwoofern die Bandbreite der Optimierung. Daher bestimmen für einen Raum einer bestimmten Größe die Anzahl der Reihen und Spalten die obere Grenze der gesteuerten Bandbreite.

Abbildung 3 und der folgende Rechner geben die Anzahl der Reihen und Spalten der idealen Anordnung für eine gegebene Breite und Höhe für eine typische Bandbreite bis zu 100 Hz an. Beachten Sie, dass, da wir eine diskrete Ausgabe (die Anzahl der Subwoofer) für eine kontinuierliche Eingabe (die Abmessungen einer Wand) vorschlagen, die Bandbreite nicht für alle Kombinationen von Raumabmessungen gleich sein würde. Daher gibt der Rechner eine Warnung aus, wenn mindestens eine der Abmessungen innerhalb von 15 cm von der Grenze entfernt ist, wie in den grauen Bereichen in Abbildung 3 dargestellt.

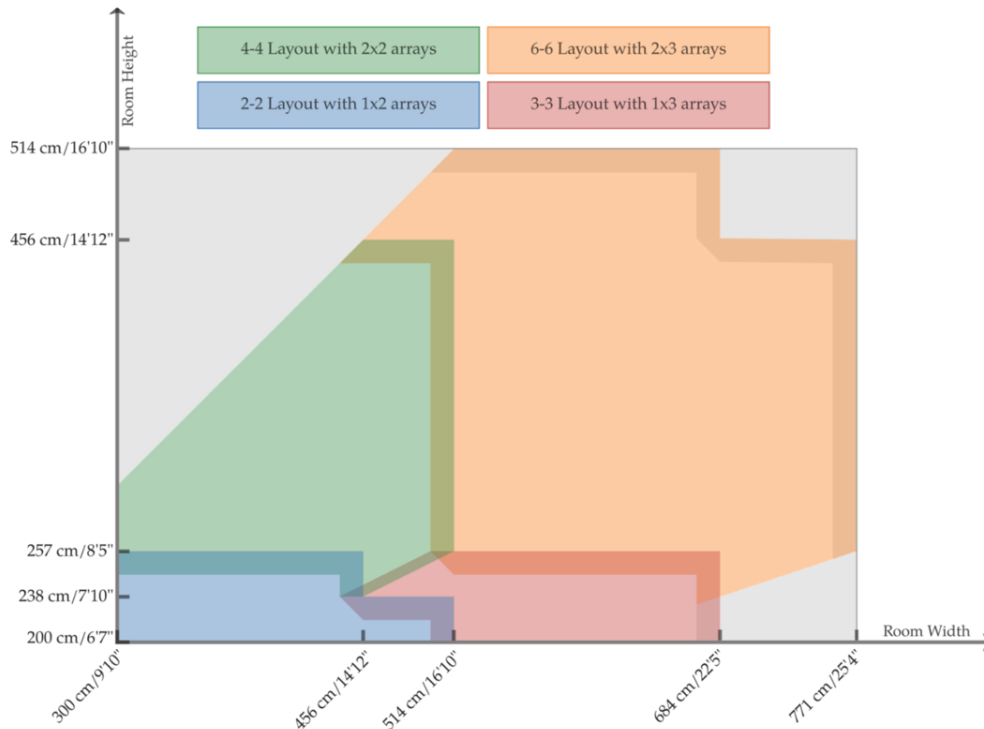


Figure 3. Recommended layouts in terms of room width and height.

Die "ideale" Anordnung liefert die beste Leistung von WaveForming. Das bedeutet, die empfohlene Anzahl von Subwoofern (siehe Abschnitt IV. C) mit einer gleichen Anzahl von vorderen und hinteren Subwoofern, alle an den regulären Positionen (siehe Abschnitt IV. B) zu haben. Allerdings erlaubt die Raffinesse und Anpassungsfähigkeit von WaveForming, eine große Vielfalt von Anordnungen zu unterstützen, während ein hohes Leistungsniveau beibehalten wird. Kurz gesagt, es toleriert Abweichungen von der "idealen" Anordnung:

**Reduzierung der Anzahl der Subwoofer:** Die Anzahl der Subwoofer der idealen Anordnung, insbesondere der hinteren Subwoofer (nur Absorber), kann bei Bedarf reduziert werden. Dies kann zwar die Ergebnisse beeinflussen, aber in allen Fällen wird eine gute Leistung erwartet. Es ist vorzuziehen, die Anzahl der hinteren Subwoofer zu reduzieren, anstatt die Anzahl der Subwoofer im vorderen Array zu reduzieren, da der Leistungsverlust minimal ist.

**Unterstützung für asymmetrische Arrays:** Mit Waveforming müssen die vorderen und hinteren Arrays nicht übereinstimmen, solange sie jeweils regelmäßig bleiben. In diesem Fall ist das bevorzugte Szenario, wenn das hintere Array weniger Subwoofer als das vordere Array hat. Die Verwendung von weniger hinteren Subwoofern beeinflusst die Gesamtleistung nicht wesentlich, während die Verwendung von weniger vorderen Lautsprechern dies tut. Dies ist eine einfache Konsequenz der Tatsache, dass vordere Subwoofer wichtiger sind: Sie sind die Strahler und gleichzeitig auch Absorber.

Asymmetrische Arrays mit weniger hinteren Subwoofern können auf zwei Arten nützlich sein. Erstens ist es eine effektive Möglichkeit, die Anzahl der Subwoofer bei gleichzeitig hoher Leistung zu reduzieren. Zweitens ist es eine gute Möglichkeit, die beste Leistung für eine gegebene Anzahl von Subwoofern zu erzielen. Zum Beispiel liefert eine Anordnung von 4-2 oft eine höhere Gesamtleistung als eine Anordnung von 3-3 mit 6 Subwoofern. Und bei 8 Subwoofern liefert eine Anordnung von 6-2 oft eine höhere Leistung als eine Anordnung von 4-4. Es handelt sich um eine allgemeine Tendenz und nicht um eine absolute Regel, da jede Situation von den spezifischen Raumverhältnissen abhängt.

Unterstützung von unregelmäßigen Anordnungen: Eine gewisse Verschiebung der Subwoofer innerhalb eines Arrays kann toleriert und manchmal sogar empfohlen werden, wie z.B. das Platzieren von 3 Subwoofern in einer unregelmäßigen Dreiecksanordnung. Dieser "Spielraum" ist in Fällen wertvoll, in denen die Platzierung der Subwoofer durch physische Einschränkungen begrenzt ist, wie z.B. die Arbeit um die Bildschirmsprecher herum. (Siehe Abschnitt D für Verschiebungsempfehlungen.)

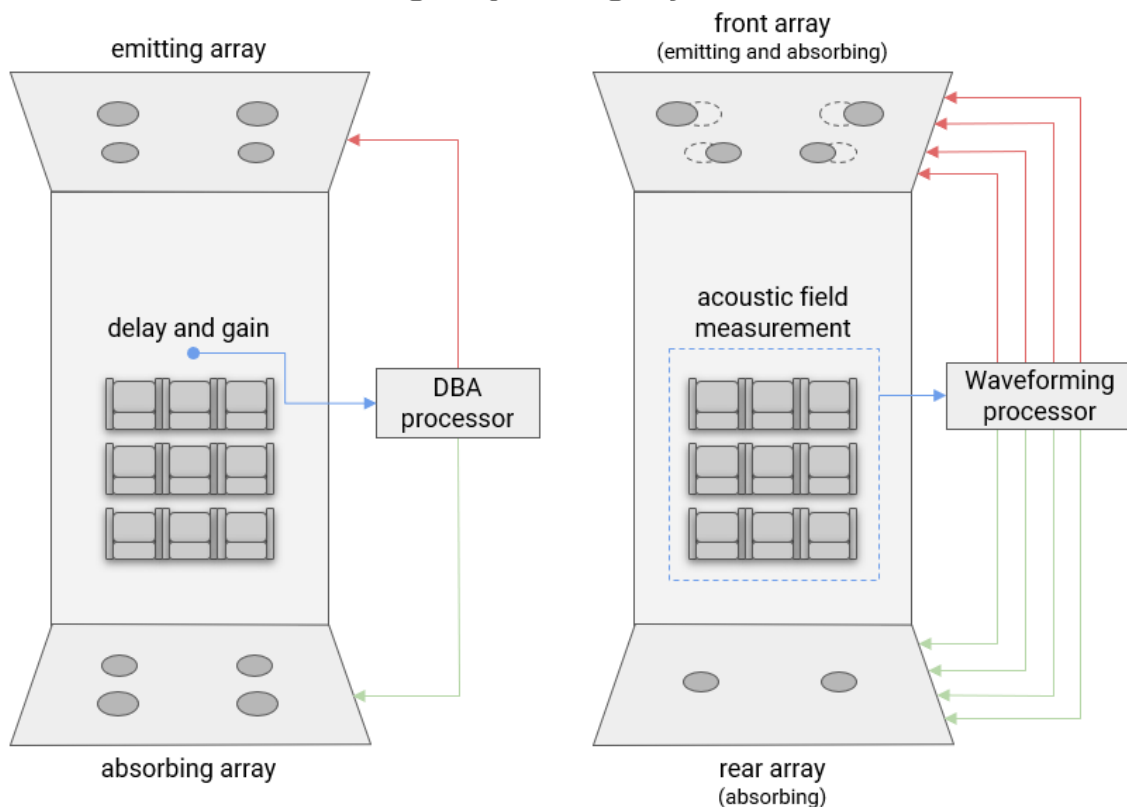


Figure 1b. Working principle of the DBA (left) versus WaveForming (right) with asymmetric and irregular layout.

## C. REDUZIERUNG DER ANZAHL VON SUBWOOFERN UND LEISTUNG

Denken Sie daran, dass die optimale Anzahl von Subwoofern für einen bestimmten Raum durch zwei Faktoren bestimmt wird: die Größe des Raums und die obere Frequenz, die Sie kontrollieren möchten. Verständlicherweise benötigen größere Räume mehr Subwoofer sowohl für die Kontrolle als auch für die Ausgabe. Aber für einen bestimmten Raumgröße bestimmt der Abstand zwischen den Subwoofern die obere Grenze der Fähigkeit von Waveforming, eine planare Welle zu erzeugen.

Der folgende Abschnitt gibt allgemeine Richtlinien zur Reduzierung und/oder Verschiebung der Subwoofer und den entsprechenden Leistungsstufen.

Dunkelgrün entspricht der maximalen Leistung.

Helleres Grün zeigt an, dass die Leistung möglicherweise etwas reduziert werden kann.

Das hellste Grün ist die mindestens empfohlene WaveForming-Implementierung.

Dennoch garantieren alle aufgeführten Layouts eine minimale zufriedenstellende Schwelle.

### DAS IDEALE 2-2 LAYOUT

Das ist das reguläre Layout mit zwei 1x2-Anordnungen (zum Beispiel eine Reihe von zwei Subwoofern an jeder Wand). Da es bereits eine geringe Anzahl von Subwoofern hat, kann es nicht reduziert werden.

<b>Layout 2-2</b>	<b>Ideal Layout</b> (tolerates minimal displacement)	<b>Ideal Layout with Displacement</b> (tolerates maximal recommended displacement)
-------------------	---	---

### DAS 3-3 IDEALE LAYOUT

Das ist das normale Layout mit zwei 1x3-Anordnungen (zum Beispiel eine Reihe von drei Subwoofern an jeder Wand). Es erlaubt die Reduzierung der Anzahl der Subwoofer um eins.

<b>Layout 3-3</b>	<b>Ideal Layout</b> (tolerates minimal displacement)	<b>Ideal Layout with Displacement</b> (tolerates maximal recommended displacement)
<b>Layout 3-2</b>	<b>Reduced Layout</b> (tolerates minimal displacement)	<b>Reduced Layout with Displacement</b> (tolerates maximal recommended displacement)

Für das verkleinerte Layout werden die Subwoofer an den regulären Positionen platziert (siehe IV. a).

## DAS IDEALE 4-4 LAYOUT

This is the regular layout with two 2x2 arrays (e.g., two rows and two columns of two subs each, on each wall). It tolerates reducing the number of subs by two.

<b>4-4 Layout</b>	<b>Ideal Layout</b> (tolerates minimal displacement)	<b>Ideal Layout with Displacement</b> (tolerates maximal recommended displacement)
<b>4-2 and 3-3 Layouts</b>	<b>Reduced Layout</b> (tolerates minimal displacement)	<b>Reduced Layout with Displacement</b> (tolerates maximal recommended displacement)

Für das reduzierte Layout sollten die Subwoofer an den regulären Positionen platziert werden (siehe IV. a). Die Reduzierung auf 4-2 wird bevorzugt gegenüber einer Reduzierung auf 3-3, wenn die Decke zu hoch ist, um nur eine Reihe von Subwoofern zu haben, und der Raum zu schmal ist, um drei Spalten zu benötigen.

## DAS IDEALE 6-6 LAYOUT

Dies ist das reguläre Layout mit zwei 2x3-Arrays (zum Beispiel zwei Reihen mit jeweils drei und zwei Spalten mit jeweils zwei Subwoofern an jeder Wand). Es ermöglicht die Reduzierung der Anzahl der Subwoofer von 12 auf 8.

<b>6-6 Layout</b>	<b>Ideal Layout</b> (tolerates minimal displacement)	<b>Ideal Layout with Displacement</b> (tolerates maximal recommended displacement)
<b>6-5, 6-4, 5-5, &amp; 5-4 Layouts</b>	<b>Reduced Layout</b> (tolerates minimal displacement)	<b>Reduced Layout with Displacement</b> (tolerates maximal recommended displacement)
	<b>Ideal Layout</b> (tolerates minimal displacement)	
<b>5-3 &amp; 6-2 Layouts</b>	<b>Reduced Layout (Regular)</b> (tolerates minimal displacement)	

In den Fällen 6-4 und 5-4 sollten die vier Absorber an den üblichen Positionen platziert werden (siehe IV. a). Es ist jedoch ungewöhnlich, einen Raum zu haben, der breit genug ist, um drei Reihen von Subwoofern zu benötigen, während seine Decke niedrig genug ist, damit die Verarbeitung gut funktioniert. Daher empfehlen wir, wenn 3 oder 5 Subwoofer an einer Wand platziert werden sollen, sie in diesem Fall wie folgt zu positionieren (siehe Abbildung 4):

- 3 Subwoofer (unregelmäßige Dreiecksanordnung): ein Subwoofer auf halber Breite und einem Viertel der Höhe (vom Boden entfernt), und die anderen

beiden auf einem Sechstel und fünf Sechstel der Breite und drei Viertel der Höhe (vom Boden entfernt).

- 5 Subwoofer (unregelmäßige trapezförmige Anordnung): zwei Subwoofer auf einem Viertel und drei Viertel der Breite und einem Viertel der Höhe (vom Boden entfernt) und drei Subwoofer auf einem Sechstel, der Hälfte und fünf Sechstel der Breite und drei Viertel der Höhe (vom Boden entfernt).

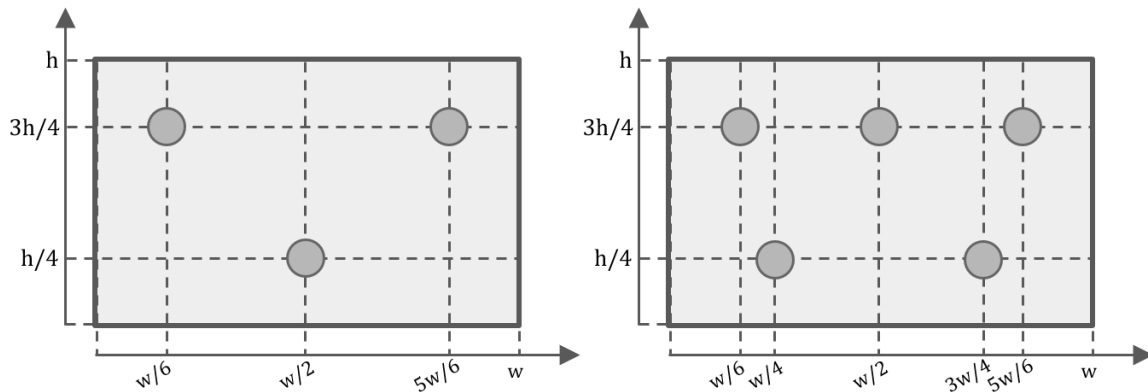


Figure 4. Irregular layouts with 3 subwoofers and 5 subwoofers

## D. LEITLINIEN FÜR DAS VERSETZEN VON SUBWOOFERN

### GEMEINSAME LEITLINIEN FÜR ALLE LAYOUTS

1. Im Allgemeinen wird bevorzugt, die Subwoofer voneinander zu entfernen, anstatt sie näher zueinander zu bewegen. Die ungünstigste Situation tritt auf, wenn alle Subwoofer nebeneinander stehen (was einer einzigen akustischen Quelle entspricht).
2. Wir empfehlen, mindestens eine der regulären Positionskordinaten einzuhalten. Mit anderen Worten sollten Verschiebungen von den regulären Positionen entweder horizontal oder vertikal erfolgen, aber vorzugsweise nicht in beiden Richtungen gleichzeitig.

*In dem Rest dieses Abschnitts wird die horizontale Verschiebung als Prozentsatz der Raumweite und die vertikale Verschiebung als Prozentsatz seiner Höhe angegeben.*

## BESONDERE FÄLLE FÜR DIE 2-2-ANORDNUNG:

Sich gleichzeitig bewegende Strahler und Absorber in horizontaler Richtung sollten vermieden werden. Die beste Leistung wird erzielt, wenn entweder die Strahler oder die Absorber in ihrer regulären horizontalen Position verbleiben.

Strahler und Absorber können gleichzeitig in vertikaler Richtung verschoben werden, jedoch nicht mehr als 10%.

## SONDERFÄLLE FÜR DAS 3-3-LAYOUT:

Wenn nur der mittlere Emittor bewegt wird:

horizontal: 15% (Abbildung 5)

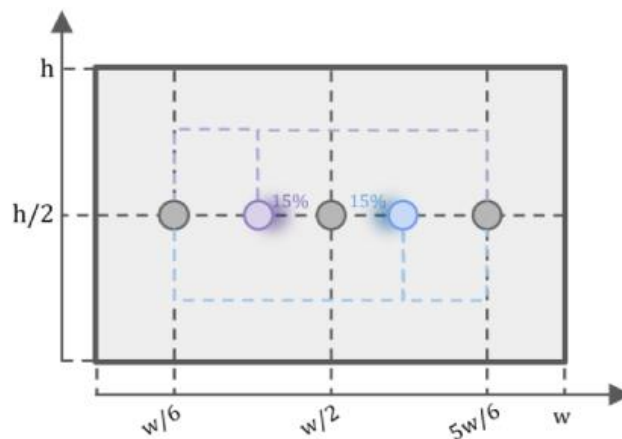


Figure 5. Displacing center emitter horizontally

- vertikal: 30% (Abbildung 6)

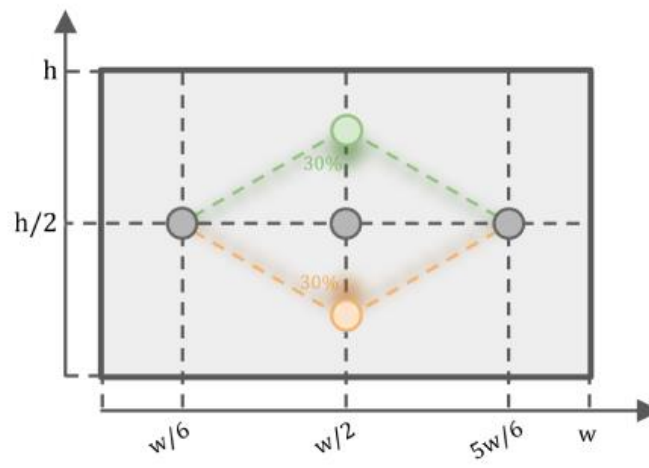


Figure 6. Displacing center emitter vertically

Es ist besser, Dreiecke oder Diagonalen zu bilden, anstatt alle Unterabschnitte um denselben Betrag vertikal zu verschieben: If all emitters are moved vertically:

- +/- 5 %, falls alle Subwoofer nach oben oder unten bewegt werden (Abbildung 7)

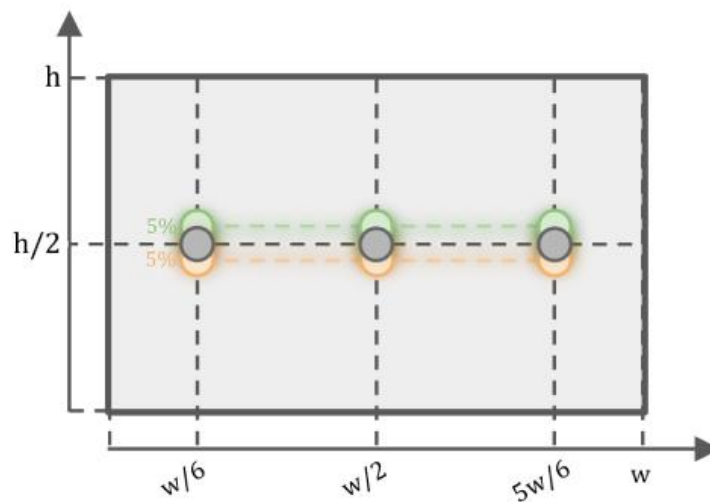


Figure 7. Displacing all 3 emitters vertically

+/- 15 %, wenn sie ein Dreieck bilden (Abbildung 8)

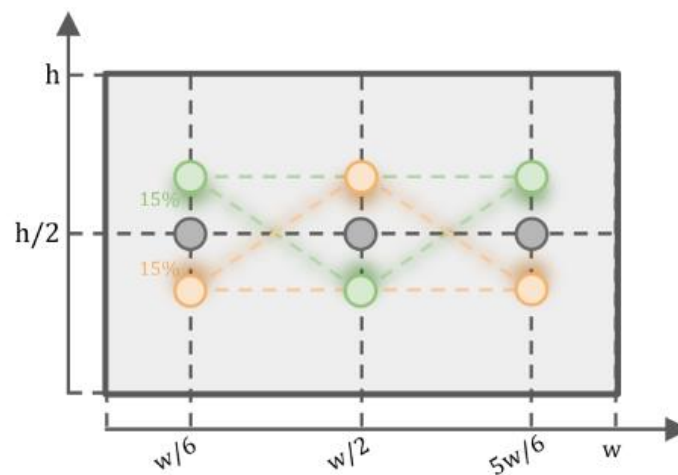


Figure 8. Displacing all 3 emitter vertically (triangular layout)



+/- 20%, wenn sie eine Diagonale bilden (Abbildung 9)

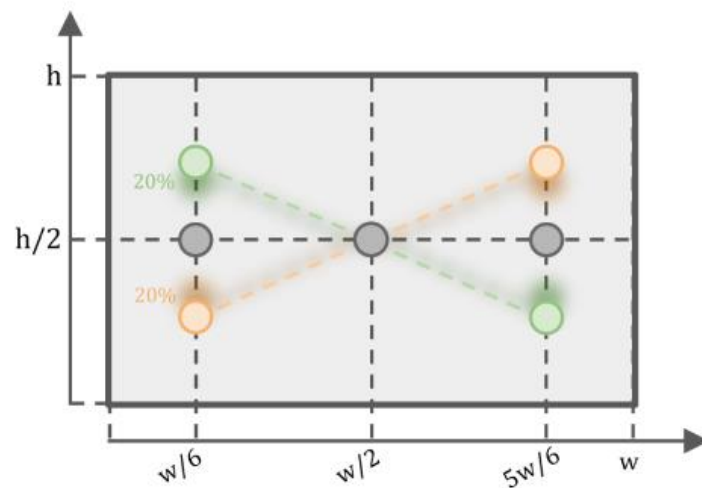


Figure 9. Displacing the side emitters vertically (diagonal layout)

Wenn alle Absorber vertikal bewegt werden, sind die Grenzen flexibler:

- +/- 10%, wenn alle Subwoofer nach oben oder unten bewegt werden
- +/- 30%, wenn sie ein Dreieck bilden
- +/- 30%, wenn sie eine Diagonale bilden

## BESONDERE FÄLLE FÜR DIE 3-2 ANORDNUNG:

Wenn nur der mittlere Emitter bewegt wird:

- horizontal: +/- 15%
- vertikal: +/- 30%

Wenn alle Emitter vertikal bewegt werden:

- +/- 15%, wenn alle Subwoofer nach oben oder unten bewegt werden
- +/- 20%, wenn sie ein Dreieck bilden
- +/- 20%, wenn sie eine Diagonale bilden

Wenn die beiden Absorber vertikal bewegt werden:

- +/- 10%, wenn alle Subwoofer nach oben oder unten bewegt werden
- +/- 20%, wenn sie eine Diagonale bilden

## BESONDERE FÄLLE FÜR DAS 4-4 LAYOUT:

- Wenn die Strahler (horizontal oder vertikal) verschoben werden: +/- 10% (Abbildungen 10 und 11)

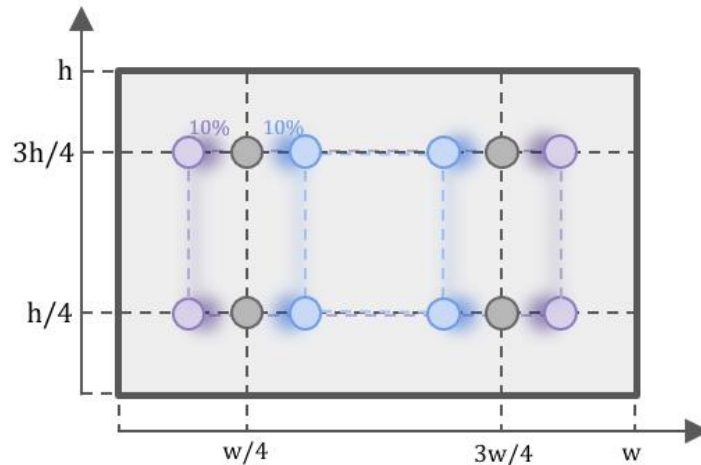


Figure 10. Displacing all 4 emitters horizontally

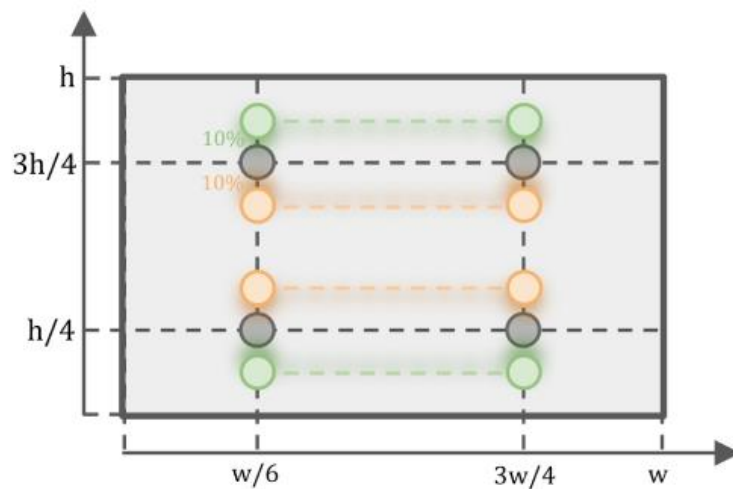


Figure 11. Displacing all 4 emitters vertically

- Wenn die Absorber bewegt werden (horizontal oder vertikal): +/- 15%
- Es ist besser, die Subwoofer voneinander zu entfernen, als sie näher zueinander zu bewegen oder alle in eine Richtung zu bewegen.
- Wenn der Hörbereich weit genug von der Decke entfernt ist (mit anderen Worten, wenn die Abtastzone näher am Boden als an der Decke liegt), ist es zu empfehlen,

die Subwoofer in einem trapezförmigen Layout zu platzieren.\* (Abbildung 12)

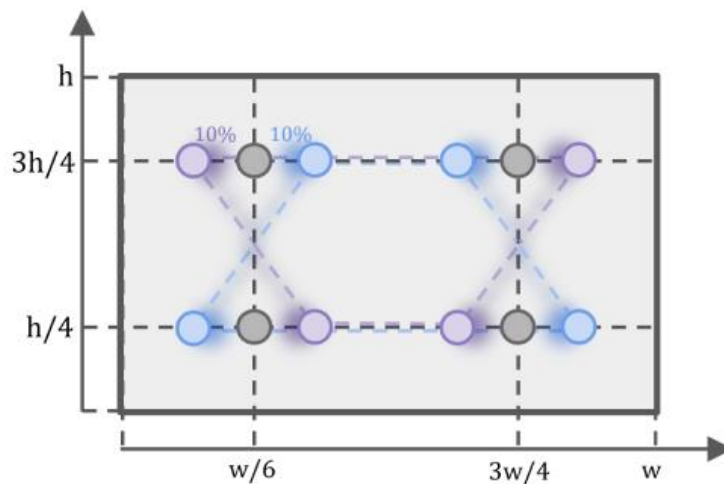


Figure 12. Displacing all 4 emitters horizontally (trapezoidal layout)

Das bedeutet, die oberen Unterabschnitte voneinander wegzubewegen und die unteren Unterabschnitte näher zueinander zu bewegen oder umgekehrt.

## VI. SCHLUSSFOLGERUNGEN

Trinnov wurde vor zwanzig Jahren gegründet, um Grundlagenforschung darüber zu betreiben, wie wir Menschen komplexe, dreidimensionale Klangfelder wahrnehmen. Ein Großteil der frühen Forschungen konzentrierte sich auf die Möglichkeit, ein solches Klangfeld beispielsweise in einem Konzertsaal zu erfassen, mit dem Ziel, dasselbe Klangfeld in einem viel kleineren Raum (bei Ihnen zu Hause) wiederzugeben. In der Tat wurde unsere Optimizer-Technologie als direktes Ergebnis dieser frühen Forschung entwickelt.

Es gab jedoch noch viel mehr über tiefe Frequenzen und ihre Wechselwirkungen mit diesen kleinen Räumen zu lernen (d. h. mit Räumen in Wohnungsgröße und nicht mit Konzertsälen oder Sportstadien). Obwohl sich viele Wissenschaftler und Ingenieure mit diesem Problem befasst haben, haben die meisten dieser Arbeiten zu Möglichkeiten geführt, die Probleme bei diesen Frequenzen zu mildern.

Wir wollten herausfinden, ob es einen Weg gibt, diese Probleme zu beseitigen.

Während unserer Forschungen haben wir viel über die komplexen Vorgänge bei niedrigen Frequenzen in kleinen Räumen gelernt. Wir gehen davon aus, dass es fünf oder sogar zehn Jahre dauern kann, bis die Technologien, die aus dieser Forschung hervorgegangen sind, umgesetzt werden. Kurz gesagt, es liegt noch viel vor uns.

Wir gehen jedoch davon aus, dass die besten und besten Umsetzungen unserer Erkenntnisse immer eine gewisse Ähnlichkeit mit dem traditionellen Double Bass Array (DBA) haben werden. WaveForming macht solche Entwürfe wesentlich flexibler und effektiver, indem es ein hohes Maß an "Intelligenz" in seine ausgeklügelten Algorithmen einbaut. Aus diesem Grund haben wir uns entschlossen, zunächst die beste Implementierung von WaveForming vorzustellen: Wir möchten demonstrieren, was dank dieses jahrelangen Forschungsprojekts jetzt möglich ist.

Dies ist erst der Anfang der technologischen Freigabe von WaveForming. Wir planen die Möglichkeiten, die sich aus den gewonnenen Erkenntnissen ergeben, zu erweitern, einschließlich neuer Funktionen, die sowohl für diese Front- und Heckbass-Arrays als auch für andere, weniger anspruchsvolle Systemdesigns gelten. Die leistungsstarke PC-basierte Signalverarbeitung, die durch unsere einzigartige Hardware-Plattform ermöglicht wird, erlaubt es uns, diese Funktionen zu entwickeln und unseren Kunden über einfache Software-Updates zur Verfügung zu stellen. Dies bestätigt unsere Entscheidung von vor vielen Jahren, einen weniger ausgetretenen Pfad zu beschreiten.

Wir hoffen, Sie haben dieses kurze White Paper interessant und lehrreich gefunden. Wir freuen uns darauf, Menschen dabei zu helfen, die Welt der Dynamik und der Details im Tieftonbereich zu entdecken, die aufgedeckt werden, wenn Sie die Kakophonie der Bassreflexionen und die daraus resultierenden modalen Probleme beseitigen, die normalerweise die Tieftonwiedergabe im Heimbereich dominieren.