



---

# **BACHELORARBEIT**

---

Herr  
**Felix Bohne**

**Vor- und Nachteile eines Pro-  
Ribbon Hochtontreibers im  
Vergleich zu einem  
Hochtontreiber mit einer  
Hornapplikation in Blick auf  
Großbeschallungssysteme**

2019

# **BACHELORARBEIT**

---

## **Vor- und Nachteile eines Pro-Ribbon Hochtontreibers im Vergleich zu einem Hochtontreiber mit einer Hornapplikation in Blick auf Großbeschallungssysteme**

Autor:  
**Herr Felix Bohne**

Studiengang:  
**Media and Acoustical Engineering**

Seminargruppe:  
**MG15wA-B**

Erstprüfer:  
**Herr Prof. Dipl. Toning. Mike Winkler**

Zweitprüfer:  
**Herr Dipl. Ing. (FH) Enrico Schumann**

Einreichung:  
Mittweida, 30.04.2019

# **BACHELOR THESIS**

---

## **Advantages and disadvantages of a Pro-Ribbon high-frequency driver in comparison to a high- frequency driver with a horn application in view of large PA systems**

author:

**Mr. Felix Bohne**

course of studies:

**Media and Acoustical Engineering**

seminar group:

**MG15wA-B**

first examiner:

**Mr. Prof. Dipl. Toning. Mike Winkler**

second examiner:

**Mr. Dipl. Ing. (FH) Enrico Schumann**

submission:

Mittweida, 30.04.2019

---

## **Bibliografische Angaben**

Bohne, Felix:

### **Vor- und Nachteile eines Pro-Ribbon Hochtontreibers im Vergleich zu einem Hochtontreiber mit einer Hornapplikation in Blick auf Großbeschallungssysteme**

Advantages and disadvantages of a Pro-Ribbon high-frequency driver in comparison to a high-frequency driver with a horn application in view of large PA systems

54 Seiten, Hochschule Mittweida, University of Applied Sciences,  
Fakultät Medien, Bachelorarbeit, 2019

## **Abstract**

Diese Arbeit beschäftigt sich mit Vor- und Nachteilen von Hochtontreibern in Großbeschallungsanlagen. Untersucht werden hierbei die Pro Ribbon Hochtontreiber der Firma Alcons Audio und Kompressionstreiber der Firma d&b Audiotechnik. Die Lautsprecher werden anhand der Bauprinzipien, mittels akustischer Grundlagen sowie eigenen Messungen miteinander verglichen.

# Inhaltsverzeichnis

<b>Inhaltsverzeichnis</b> .....	<b>II</b>
<b>Abkürzungsverzeichnis</b> .....	<b>IV</b>
<b>Formelverzeichnis</b> .....	<b>V</b>
<b>Abbildungsverzeichnis</b> .....	<b>VII</b>
<b>Vorwort</b> .....	<b>VIII</b>
<b>1 Einleitung</b> .....	<b>1</b>
<b>2 Grundlagen</b> .....	<b>2</b>
2.1 Grundlagen der Akustik.....	2
2.1.1 Schwingungen .....	2
2.1.2 Schall.....	3
2.1.3 Schalldruck .....	4
2.1.4 Schalldruckpegel.....	5
2.1.5 Schallfeld .....	6
2.2 Schallwahrnehmung.....	8
2.2.1 Das Gehör und seine Funktion.....	8
2.2.2 Psychoakustik.....	10
2.3 Schallsender .....	12
2.3.1 Notwendigkeit gerichteter Systeme .....	12
2.3.2 Elektrodynamische Treiber .....	13
2.3.3 Elektroplanare Wandler.....	16
2.4 Bauformen .....	18
2.5 Hornlautsprecher .....	21
2.5.1 Grundprinzip .....	21
2.6 Kompressionstreiber .....	23
<b>3 Der Vergleich</b> .....	<b>25</b>
3.1 Alcons Audio .....	25
3.1.1 Der Aufbau vom Pro Ribbon™ Hochtontreiber .....	25
3.1.2 Das Alcons Audio LR18 .....	26
3.2 d&b Audiotechnik .....	28
3.2.1 Hochtontreiber von d&b .....	28
3.2.2 Waveformer allgemein .....	29
3.2.3 Der d&b V8 Lautsprecher.....	32
<b>4 Messungen</b> .....	<b>33</b>

---

4.1	Allgemeine Messbedingungen .....	33
4.2	Messaufbau .....	35
4.2.1	Signalführung.....	35
4.2.2	Lautsprecheranordnung.....	36
4.3	Messungsdurchgang eins bei 7,50m.....	38
4.3.1	Messung der Frequenzverläufe auf 7,50m.....	38
4.3.2	Messung des Phasengangs bei 7,50m .....	40
4.4	Messungsdurchgang zwei / Gerade bei 1,80m.....	43
4.5	Impulsmessung.....	45
<b>5</b>	<b>Diskussion zu den Messungen .....</b>	<b>47</b>
<b>6</b>	<b>Schlussbemerkungen.....</b>	<b>53</b>
	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>XIV</b>
	<b>Anlagen.....</b>	<b>XV</b>
	<b>Eigenständigkeitserklärung .....</b>	<b>XIX</b>

---

## Abkürzungsverzeichnis

Abb.	Abbildung
AES/EBU	Bezeichnung der Schnittstelle AES3 zur Übertragung digitaler (Zweikanal-)Audiosignale (wörtl. „Audio Engineering Society / Europäische Rundfunkunion“)
Bzw.	Beziehungsweise
d.h.	das heißt
DSP	digitaler Signalprozessor
Kap.	Kapitel
PA	Beschallungsanlage (engl. „Public Address“)
S.	Seite
SPL	Schalldruckpegel (engl. „Sound Pressure Level“)
Vgl.	Vergleich

# Formelverzeichnis

## Formelzeichen

A	Fläche [m <sup>2</sup> ]
c	Schallgeschwindigkeit [m/s]
f	Frequenz [Hz]
F	Kraft [N]
h	Höhe [m]
L <sub>p</sub>	Schalldruckpegel [dB, bzw. dB <sub>SPL</sub> ]
s	Weg bzw. Länge [m]
t	Zeit [s]
r	Radius [°]

## Einheiten

1 dB	Dezibel (1/10 Bel), logarithmisches Maß für Pegel (z.B. für den Schalldruckpegel, auch dB <sub>Spl</sub> )
1 dB <sub>FS</sub>	Dezibel (engl. „Decibels relative to full scale“) lineare Skala in einem digitalen tontechnischen System
1 Hz	Hertz, Einheit der Frequenz (1Hz= 1/s)
1 m	Meter (SI-Einheit)
1 s	Sekunde (SI-Einheit)

---

1°	Grad (Winkelangabe)
1“	Zoll (Durchmesserangabe)
1Pa	Pascal (Druckangabe)
$\lambda$	Lambda (Wellenlänge)

**Vielfache und Teile von Einheiten**

c	Zenti-(0,01)
d	Dezi-(0,1)
k	Kilo-(1000)
m	Milli-(0,001)

**Formeln**

Wellenlänge	$\lambda = \frac{c}{f}$
Druck	$p = \frac{F}{A}$
Schalldruckpegel	$L_p = 20 \cdot \log \left( \frac{p}{p_0} \right)$

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Pendelschwingung .....	2
Abbildung 2 Rechts: Kugelwelle Links: Ebenewelle; Dickreiter, 1997, Abb. 1/4 .....	6
Abbildung 3 Veranschaulichung des Verhältnisses der Schallintensität bei Entfernungsverdopplung vgl. Weinzierl, 2008, Abb 1.15.....	7
Abbildung 4 menschliches Gehör vgl. Weinzierl, 2008, Abb. 2.1 .....	8
Abbildung 5 Hörfeld vgl. Dickreiter, Abb. 3/3 .....	10
Abbildung 6 Kurven gleicher Lautstärken vgl. Dickreiter, 1997, Abb. 3/4 .....	11
Abbildung 7 Konustreiber vgl. Weinzierl, 2008, Abb. 8.1 .....	14
Abbildung 8 Bändchen Lautsprecher vgl. Weinzierl, 2008, Abb. 8.3.....	16
Abbildung 9 A= Geschlossenes Gehäuse; B= Bassreflex Gehäuse; C= Bandpass Gehäuse, Vgl. Weinzierl, 2008, Abb. 8.6.....	20
Abbildung 10 Exponentialhorn, vgl. Weinzierl, 2008, Abb. 8.8.....	21
Abbildung 11 Kompressionstreiber.....	23
Abbildung 12 Ribbon Tweeter im Schnitt mit Membran und Magnetanordnung (Membran Rot).....	26
Abbildung 13 Das Alcons Audio LR18 Innenansicht.....	27
Abbildung 14 D&B Audiotechnik Line Array V-Serie .....	28
Abbildung 15 Arten von Waveguides vgl. Holtmeyer, 2003, S. 4f.....	30
Abbildung 16 Arten von Waveguides vgl. Holtmeyer, 2003, S. 28f .....	31
Abbildung 17 Messplatz aus Blickrichtung der Lautsprecher .....	34
Abbildung 18 PA-Tower .....	34
Abbildung 19 Messplatz mit Messrichtung Vogelperspektive.....	35
Abbildung 20 6 d&b Audiotechnik V8 Lautsprecher mit berechneter Winkelung .....	37
Abbildung 21 6 Alcons Audio LR18 Lautsprecher mit berechneter Winkelung.....	37
Abbildung 22 Frequenzmessung auf 5m (Grün=Alcons/Orange=d&b) .....	38
Abbildung 23 Frequenzmessung bei 10m (Grün=Alcons/Orange=d&b) .....	39
Abbildung 24 Frequenzmessung bei 20m (Grün=Alcons/Orange=d&b) .....	39
Abbildung 25 Frequenzmessung bei 40m (Grün=Alcons/Orange=d&b) .....	40
Abbildung 26 Phasengangsmessung bei 5m (Grün=Alcons/Orange=d&b).....	41
Abbildung 27 Phasengangsmessung bei 20m (Grün=Alcons/Orange=d&b).....	41
Abbildung 28 Phasengangsmessung bei 40m (Grün=Alcons/Orange=d&b).....	42
Abbildung 29 Phasenmessung Alcons Audio .....	43
Abbildung 30 Phasenmessung d&b Audiotechnik .....	44
Abbildung 31 Impulsmessung Alcons Audio.....	45
Abbildung 32 Impulsmessung d&b Audiotechnik.....	45
Abbildung 33 Messungsdurchgang Zwei.....	51

# Vorwort

## Danksagung

Ich möchte mich bei meiner Freundin und meiner Familie bedanken, die mir in der Schreibphase dieser Arbeit stets motivierend zur Seite standen. Außerdem danke ich meinem Kollegen Matthias Heilmann, der mich bei der Erstellung der Arbeit und bei der Durchführung der Messungen mit seiner Fachkenntnis unterstützte.

Ein weiteres Dankeschön geht an die Firma ILS Medientechnik, die mich bei der Erstellung dieser Arbeit begleitete und Materialien für die Messungen zur Verfügung stellte.

Die Firma BLT Sonnek stellte mir freundlicherweise das d&b Audiotechnik System für die Messungen zur Verfügung.

Ein weiterer Dank gilt den Prüfern dieser Arbeit, Herr Prof. Dipl.-Toning. Mike Winkler und Herr Dipl.Ing. (FH) Enrico Schumann.

Das Thema „Lautsprecher“ interessiert mich bereits sehr lange. Gern baue ich Lautsprecherboxen auseinander, neue Gehäuse drumherum und schaue, was sich verändert hat. Außerdem spiele ich schon länger als Musiker in Bands, weshalb mich das Thema der Beschallung sehr oft beschäftigt. Ich arbeite auch öfters als FOH-Techniker für andere Bands, dadurch steigerte sich mein Interesse an der Thematik der Arbeit noch mehr. Auf dieses spezielle Thema bin ich bei der Durchführung des Praxismoduls bei der Firma ILS Medientechnik in meinem 6. Semester gekommen. Die Firma ILS Medientechnik benutzt Beschallungssysteme der Firma Alcons, welche eine Besonderheit haben - die Hochtontreiber.

# 1 Einleitung

Lautsprecher gibt es schon seit jeher in unterschiedlichster Art und Bauform. Dennoch ist die Geschichte der Lautsprecher nicht alt. In dieser Arbeit sollen die Funktion und Leistung zweier Systeme in Form einer Momentaufnahme dargestellt werden.

Die Arbeit beschäftigt sich mit dem Thema Lautsprecher in Großbeschallungssystemen. Besonderes Augenmerk wurde dabei auf den Vergleich zweier Hochtontreiberarten gelegt.

Es wurden Pro Ribbon Treiber der Firma Alcons Audio mit Hochtontreibern der Firma d&b Audiotechnik verglichen. Bei den Treibern der Firma d&b Audiotechnik soll es sich nur um ein Modell für Kompressionstreiber handeln. Der genaue Vergleich soll zwischen „Bändchen“ Hochtontreibern und Kompressionstreibern mit einer Hornapplikation erfolgen.

## **Kurzübersicht**

Für eine gute Verständlichkeit werden im Kapitel 2 die Grundlagen, die für einen Lautsprecher wichtig sind erklärt. In Kapitel 3 wird auf die beiden unterschiedlichen Lautsprechersysteme eingegangen. Anschließend beschreiben Kapitel 4 und 5 die Messungen und diskutieren die Ergebnisse. Kapitel 6 fasst die Ergebnisse zusammen.

## 2 Grundlagen

### 2.1 Grundlagen der Akustik

#### 2.1.1 Schwingungen

Schwingungen sind ein allgemeiner physikalischer Begriff, der nicht nur der Akustik vorbehalten ist. Dieser Begriff taucht unter anderem als ein allgemein physikalischer Begriff auf.

Schwingungen, bezeichnen dabei periodisch wiederkehrende Vorgänge, zum Beispiel kann man sich die Bewegung eines Uhrenpendel oder auch sich eine vor und zurückbewegende Lautsprechermembran vorstellen. Diese werden auch wiederkehrend um ihre definierte Ruhelage bewegt. Das Ganze geschieht in Abhängigkeit der Zeit. Dabei entsteht eine Wellenbewegung mit Positivanteil und Negativanteil. Diese werden auch Wellenberg und Wellental genannt. In Abhängigkeit der Zeit ist nun die Frequenz die Maßeinheit, welche die Anzahl der Schwingungen innerhalb einer Sekunde definiert. Außerdem ist die Amplitude eine wichtige Maßeinheit. Sie beschreibt die maximale Auslenkung des Wellenberges oder des Wellentales um den Nullpunkt herum.<sup>1</sup>

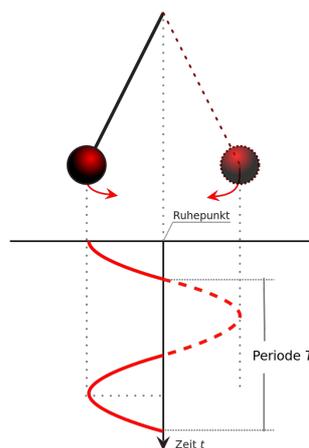


Abbildung 1 Pendelschwingung

<sup>1</sup> Vgl. Pieper, 2015, S. 21f

## 2.1.2 Schall

Schwingt eine Lautsprechermembran vor und zurück werden die angrenzenden Luftteilchen in Bewegung gesetzt. Es entstehen Schallwellen (Schwingungen). Es werden dabei nur die Teilchen und nicht die Masse bewegt, das bedeutet es entstehen Luftdruckunterschiede und keine Luftmassenbewegung. Die einzelnen Luftteilchen schwingen um ihre Ruhelage. Dabei entsteht eine Dichtewelle auch Longitudinalwelle genannt. Schall ist also eine wellenförmige Ausbreitung von akustischen Informationen in einem elastischen Medium. Das Medium Luft ist dabei sehr wichtig. In dieser Arbeit soll es um Luftschall gehen und nicht um den Körperschall, welchen man in Wasser oder Feststoffen findet. Die Geschwindigkeit, mit der die Luftteilchen ausgelenkt werden nennt man Schallschnelle ( $v$ ).

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

$\lambda$  = Wellenlänge in Meter

$c$  = Schallgeschwindigkeit in Meter/Sek.

$f$  = Frequenz in Hz

Charakteristische Größen für die Schallwelle  $\lambda$ , sind die Schallfrequenz (=Tonhöhe), die Wellenlänge und die Schallgeschwindigkeit. Die Geschwindigkeit ergibt sich aus dem zurückgelegten Weg und der Zeit. Die Schallgeschwindigkeit  $c$  ist abhängig von der Temperatur. Bei 20°Celsius hat Schall eine Geschwindigkeit von 343,8 m/s. Bei 0°Celsius 331,8 m/s. Als allgemein gültigen Richtwert, kann man hierbei 340m/s annehmen.<sup>2</sup>

---

<sup>2</sup> Vgl. Pieper, 2015, S. 22f

### 2.1.3 Schalldruck

Die Intensität von Luftdruckschwankungen nennt man Schalldruck  $p$ . Der Schalldruck setzt sich aus der Kraft  $F$  und der Fläche  $A$ , auf die die Kraft einwirkt, zusammen.

$$p = \frac{F}{A}$$

Dieser ist im direkten Zusammenhang mit der Amplitude zu sehen. Man kann auch sagen umso mehr die Lautsprechermembran ausgelenkt wird, um so höher ist der Schalldruck. Erhöht sich der Schalldruck erhöht sich auch die wahrgenommene Lautstärke.

## 2.1.4 Schalldruckpegel

Das menschliche Ohr verfügt über einen sehr großen bestimmten Hörbereich, in dem es Töne wahrnehmen kann. Deshalb wurde der Schalldruckpegel  $L_p$  eingeführt. Dieser beschreibt das Verhältnis zwischen dem vorhandenen Schalldruck  $p$  und dem Referenzschalldruck  $p_0$ . Der Schalldruckpegel  $L_p$  wird in Dezibel angegeben.

Die Verhältnisangabe Dezibel wird immer logarithmisch dargestellt, so auch bei Schalldrücken. Mit dieser Formel lassen sich Schalldrücke in Dezibel umrechnen<sup>3</sup>:

$$L_p = 20 \cdot \log \left( \frac{p}{p_0} \right)$$

L: absoluter Schalldruckpegel in dB

$P_0$ : bezugsdruck 0,00002 Pa

P: zu errechnender Schalldruck

Log: Dekadischer Logarithmus

---

<sup>3</sup> Vgl. Pieper, 2015, S. 23 ff.

## 2.1.5 Schallfeld

Ein Lautsprecher regt mit seiner Bewegung das umliegende Medium zum Mitschwingen an, zum Beispiel Luft. Dabei entsteht ein Schallfeld. Wenn kein Medium vorhanden ist, wie zum Beispiel in einem Vakuum, kann auch kein Schallfeld erzeugt werden. Eine Schallwelle ist immer abhängig von räumlichen und zeitlichen Schwankungen, der Dichte und dem Druck des Mediums. Außerdem spielt die Schwankung der Geschwindigkeit der schwingenden Teilchen um ihre Ruhelage eine wichtige Rolle. Ein freies Schallfeld wird auch Direktschall genannt. Dieser gelangt ungehindert an den Hörer oder das Mikrofon, ohne an umliegenden Wänden sowie Gegenständen im Raum gebrochen zu werden.

Im diffusen Schallfeld wird der Schall sehr oft an umliegenden Wänden oder Gegenständen im Raum gebrochen, gebeugt, zerstreut oder gebündelt. Dadurch überlagern sich statisch sehr viele freie Schallfelder und legen sich übereinander. Die Energie des diffusen Schallfeldes ist im Raum, im Gegensatz zum Direktschall, idealerweise im ganzen Raum gleich. Dabei gibt es keine Vorzugsrichtung.

Zur Beschreibung müssen zwei Schallfeldgrößen angegeben werden. Dabei sind die Orts- und Zeitabhängigkeit notwendig. In der Praxis werden meist Druck und Schnelle (Geschwindigkeit der Auslenkung der Teilchen um die Ruhelage) genutzt.<sup>4</sup>

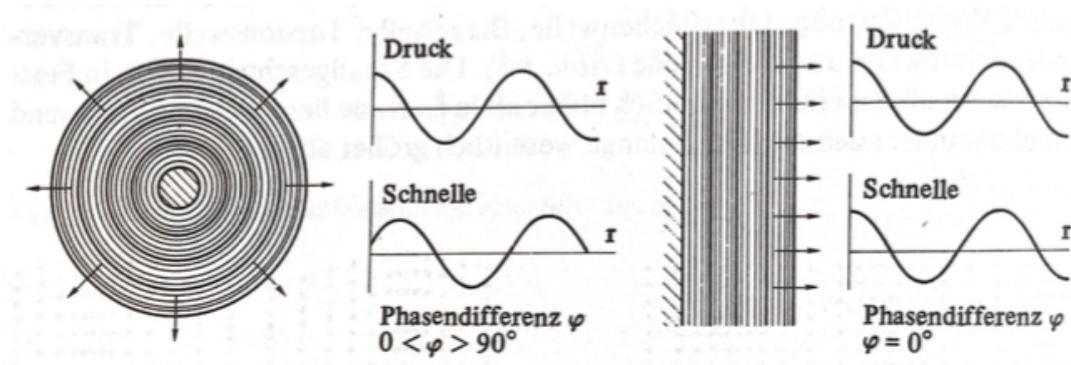


Abbildung 2 Rechts: Kugelwelle Links: Ebenewelle; Dickreiter, 1997, Abb. 1/4

<sup>4</sup> Vgl. Dickreiter, 1997, S.2

## Ebene Welle

Eine Ebene Welle ist ein Schallfeld, bei dem sich Schalldruck und Schallschnelle nur in eine Richtung verändern. Sie verlaufen entlang der Ausbreitungsrichtung. Eine ebene Welle entsteht dann, wenn die Quelle (Lautsprecher) größer ist als die Frequenz ( $h < \lambda$ ). Durch die zylindrische Abstrahlform nimmt die Schallintensität pro Verdoppelung der Entfernung nur mit 3 dB ab.

In der ebenen Welle sind also Schalldruck und Schallschnelle in Phase, d. h. am Ort des maximalen Schalldrucks ist auch die Geschwindigkeit der Teilchenbewegung maximal.

## Kugelwelle

Bei einer Kugelwelle beschreibt man, dass sich um einen Punkt (Quelle/Lautsprecher) ein Schallfeld in konzentrischen Kreisen ausbreitet. Dabei sind sie immer kleiner als die gesendete Wellenlänge ( $h < \lambda$ ). Dabei nimmt die Intensität mit  $\frac{1}{r^2}$  bei doppelter Entfernung ab. Die Abbildung zeigt das sich bei einer Linienquelle die Abstandsvervielfachung nur mit Faktor 2 auswirkt, wohingegen bei einer Punktschallquelle quadriert werden muss.<sup>5</sup>

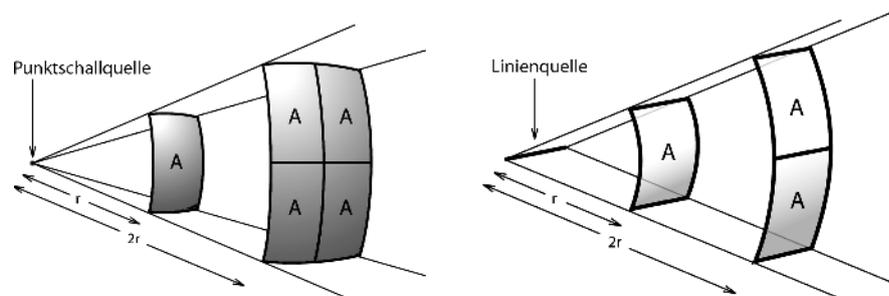


Abbildung 3 Veranschaulichung des Verhältnisses der Schallintensität bei Entfernungsverdopplung  
vgl. Weinzierl, 2008, Abb 1.15

<sup>5</sup> Vgl. Dickreiter, 1997, S. 6

## 2.2 Schallwahrnehmung

Das menschliche Ohr und seine Schallwahrnehmungen sind sehr komplex. Zudem sind auch noch nicht alle Funktionsweisen des Ohres vollständig erforscht. Dadurch kann in dieser Arbeit nur kurz auf einige wichtige Faktoren eingegangen werden, die im Folgenden wichtig sind. Diese basieren auf Dickreiter und Weinzierl. Deshalb muss für detaillierte Erklärungen und Analysen auf einschlägige Fachliteratur verwiesen werden.

### 2.2.1 Das Gehör und seine Funktion

Da das menschliche Ohr zwar schon sehr weit aber längst noch nicht vollständig erforscht wurden ist, habe ich das Thema im Umfang an diese Arbeit angepasst.

Das menschliche Ohr wird in drei Bereiche geteilt. Das Außenohr, Mittelohr und Innenohr.

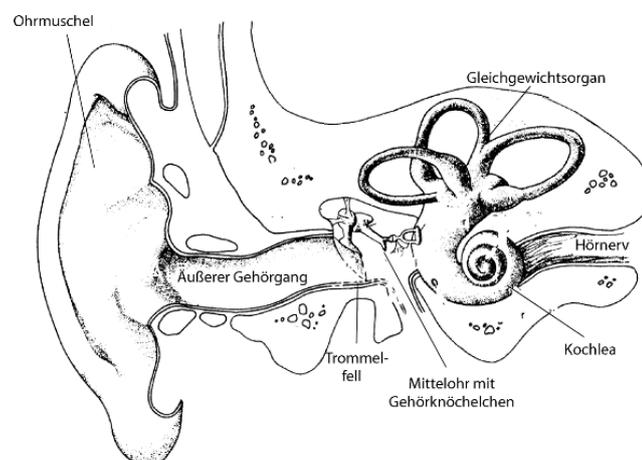


Abbildung 4 menschliches Gehör vgl. Weinzierl, 2008, Abb. 2.1

Das Außenohr besteht aus der Ohrmuschel, dem Gehörgang und schließt mit dem Trommelfell ab. Alle Ohren sind sehr unterschiedlich und alle frequenzspezifisch. Dies wird hauptsächlich durch das Außenohr geprägt. Die Aufgabe ist es, über die Ohrmuschel den Schall einzufangen und durch den Gehörgang weiter an das Trommelfell zuleiten. Diese Membran (= Trommelfell) wird durch den Schall zum Mitschwingen gezwungen. Das aus Hammer, Amboss und Steigbügel bestehende Mittelohr überträgt die Schwingungen über diese Knöchelkette an das „ovale Fenster“.

---

Dieses stellt die Verbindung zum Innenohr dar. Nicht nur die Übertragung, sondern auch eine Impedanzanpassung von Luftdruck an die sich im Innenohr befindende Schneckenflüssigkeit ist eine Aufgabe des Mittelohres. Durch die Knöchelkette wird außerdem das Innenohr vor zu hohen Schalldrücken geschützt.

Das Innenohr bestehend aus Gehörschnecke und Gleichgewichtsorgan, bildet den Übergang zwischen physikalischem Schall und elektrischem Nervensignal. Die genauere Erklärung der Vorgänge und weiteren Bestandteile ist jedoch zu komplex um sie hier zu erläutern.<sup>6</sup>

---

<sup>6</sup> Vgl. Dickreiter, 1997, S.107 ff.

## 2.2.2 Psychoakustik

Das Ohr hat eine Hörschwelle und eine Schmerzgrenze. Diese bezeichnen den minimalen und den maximalen Schalldruck, welchen das Ohr wahrnehmen kann. Aus dem minimalen Schalldruck von 0,00002 Pascal wurde der Referenzwert  $p_0$  abgeleitet. Dieser wird bei der Schalldruckpegelerrechnung benötigt. Der maximale Schalldruck, die Schmerzgrenze, liegt bei 150 Pascal. Dieser Umfang entspricht sieben Zehnerpotenzen. Man kann auch sagen einen Faktor von 10.000.000. In Schalldruckpegel wird die Hörschwelle in 0 dB SPL und die Schmerzgrenze in 137,5 dB SPL angegeben.

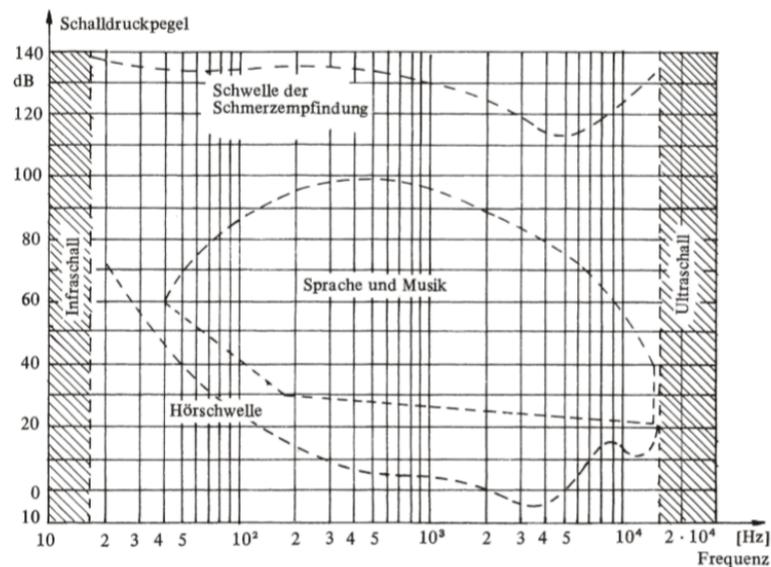


Abbildung 5 Hörfeld vgl. Dickreiter, Abb. 3/3

### Intensitätsanalyse

Die subjektive Wahrnehmung von Schall ist frequenzabhängig. Das ergaben empirische Tests mit Probanden. Bei diesen Testverfahren wurde eine festgelegte Frequenz von 1000 Hz mit einem definierten Pegel abgespielt. Dann sollte eine weitere Frequenz mit demselben Pegel eingestellt werden, so dass beide Frequenzen in ihrer Lautstärke identisch sind. Die Ergebnisse sind in der Isophonen Kennlinie festgehalten. Diese beschreibt, welche Frequenzen wir mit welchem Pegel als gleich intensiv wahrnehmen. Man kann erkennen, dass das Ohr in den tiefen sowie in den oberen Frequenzen unempfindlicher reagiert. Dies ist bei geringerem Pegel noch ausgeprägter.

Wenn man von Intensität spricht ist die Lautheit, in der Umgangssprache Lautstärke, gemeint. Wenn ein Ton die doppelte Lautstärke erreichen soll, muss man das Signal um 10 dB anheben. Eine elektrische Verdoppelung ist schon bei 6 dB erreicht.

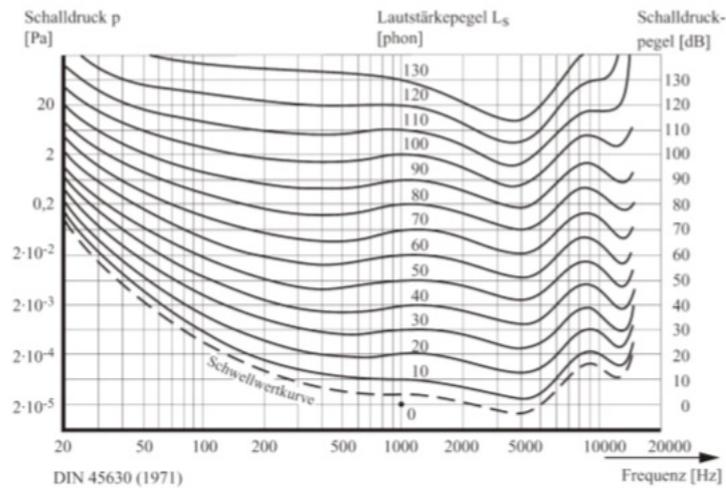


Abbildung 6 Kurven gleicher Lautstärken vgl. Dickreiter, 1997, Abb. 3/4

## Klanganalyse

Wenn man Tonhöhen in ihrer Beziehung bewerten möchte, ist nicht der absolute Wert der Frequenz wichtig, sondern das Verhältnis der Tonhöhen zueinander. Das bedeutet eine Oktave entspricht dem Verhältnis 1:2. Bei Frequenzen ist es 40Hz zu 80Hz. Mit zunehmender Frequenz bleibt dieses Verhältnis konstant. Zum Beispiel 200 Hz zu 400Hz, oder 2000Hz zu 4000Hz. Es wird immer als eine Oktave wahrgenommen, dabei ist der absolute Wert für das Gehör nicht relevant, um Tonhöhen in ihrer Beziehung zueinander zu unterscheiden.<sup>7</sup>

<sup>7</sup> Vgl. Dickreiter, 1997, S. 108 ff

## 2.3 Schallsender

In diesem Abschnitt werden kurz einige Grundlagen und Eigenschaften von Schallsendern, also Lautsprechern, erläutert. Es werden dabei die wichtigsten Punkte herausgegriffen.

Hierbei kann man sagen, dass es viele verschiedene Lautsprecherarten gibt. Es treten deshalb weitaus mehr Anwendungsbereiche für Schallsender auf. Das hat zur Folge, dass nicht jeder Lautsprecher allen Anforderungen entspricht, sondern jeder seinen eigenen Anwendungsbereich hat. So können zum Beispiel Studiomonitore nicht für eine Beschallung eines Stadions genutzt werden.

### 2.3.1 Notwendigkeit gerichteter Systeme

Es ist wichtig ein gerichtetes System zu verwenden, um möglichst viel Direktschall an das Ohr des Hörers zu transportieren. Ohne dieses würde man unnötig das diffuse Schallfeld anregen. Ein weiterer Vorteil, gerichtete Systeme bei Beschallungen zu benutzen, ist das stehende Wellen und Reflexionen verringert werden. Außerdem wird nicht so viel Energie gebraucht.

Bei Beschallungen gilt es die Bühne und den Zuschauerraum akustisch zu trennen, da die meisten Bühnen einen anderen, auch oft einen unausgewogenen Klang haben. Sind Monitore und Sidefills doch so laut auf der Bühne, dass Anteile in den Publikumsbereich gelangen, dann können diese Verfärbungen des Klangbildes sowie Auslöschungen hervorrufen. Außerdem können Monitore mit einem zu hohen Pegel, welche man dann lokalisieren kann, das Stereopanorama zerstören oder beeinflussen.

Das bedeutet in Zuschauernähe und auf der Bühne sind gerichtete Systeme sehr wichtig. Man minimiert auch Störschall und Rückkopplungen, siehe oben.

### 2.3.2 Elektrodynamische Treiber<sup>8</sup>

Dieser Lautsprecher ist die am meisten genutzte Art. Die mechanischen Schwingungen werden durch eine Spule, die Schwingspule, erzeugt. Diese befindet sich in einem Luftspalt, welcher in einem starken permanenten Magneten integriert ist. Sobald Strom durch die Wicklungen der Spule fließt, wird diese durch die entstehende Lorenzkraft hineingezogen oder herausgestoßen. Diese Bewegung wird auf die Membran beziehungsweise auf die Kalotte übertragen und versetzt somit die umliegenden Luftteilchen in Schwingung. Dies geschieht analog zur wechselnden Spannung.

Die permanenten Magnete bestanden früher aus einer Aluminium-Nickel-Cobald Verbindung (AlNiCo). Später wurden diese aus Kostengründen aus Ferrit gefertigt. In der heutigen Zeit verwendet man oft Neodym Magnete. Diese sind weitaus leichter und haben die vergleichbar gleiche Kraft.

---

<sup>8</sup> Vgl. Weinzierl, 2007, S. 423 ff

## Konus Lautsprecher

Der Name Konus Lautsprecher bezieht sich auf die Form der Membran. Die Membran wird bzw. kann aus verschiedenen Materialien hergestellt werden zum Beispiel Papier, Kunststoff, Aluminium, Keramik oder aus anderen Verbundmaterialien. Dabei wird immer darauf geachtet, dass das Material möglichst eine hohe Festigkeit besitzt.

Die auf eine Trägerröhre gewickelte Schwingspule bewegt sich im möglichst eng gehaltenen Luftspalt. Dabei wird sie von einer Zentrierspinne geführt. Bei größeren Lautsprecherdurchmessern werden oft zwei hintereinander liegende Zentrierspinnen verwendet um Taumelbewegungen zu minimieren. Denn wenn sich eine Schwingspule nicht ganz gerade in dem Luftspalt hoch und runter bewegen kann, kann es passieren das diese Schwingspule durch taumelnde Bewegungen am Magneten reibt und so der Lautsprecher kaputt gehen kann.

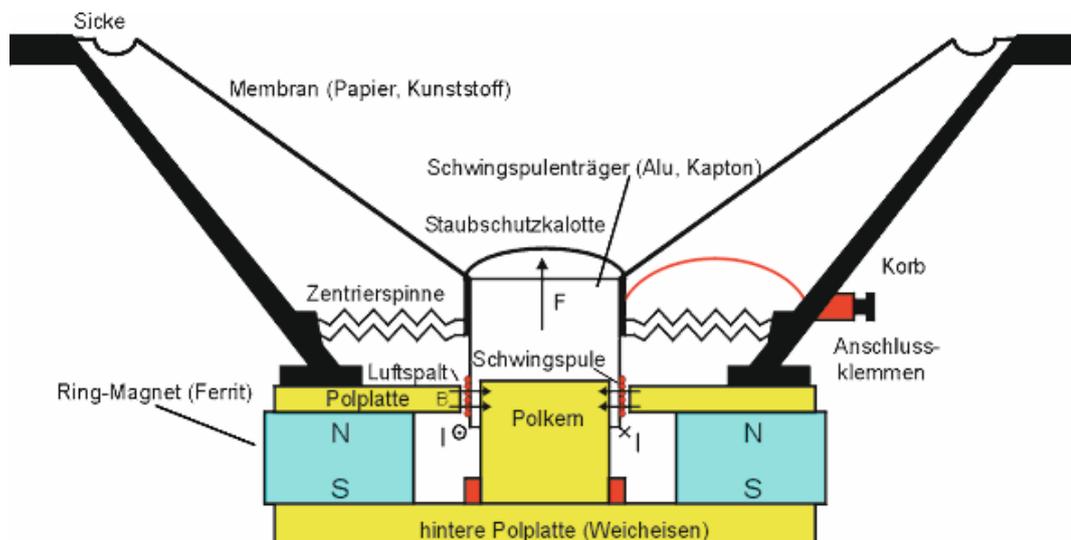


Abbildung 7 Konustreiber vgl. Weinzierl, 2008, Abb. 8.1

## Kalottenlautsprecher

Bei einem Kalottenlautsprecher wird die konusförmige Membran durch eine Kalotte ersetzt. Dabei ist dann kein Korb mehr notwendig, an dem die Membran befestigt werden muss. Diese Kalotte entspricht meist dem Durchmesser der Schwingspule. Das Material ist je nach Größe aus Kunststoff, Aluminium, Gewebe, Titan, Keramik oder in seltenen Fällen auch aus Beryllium.

---

Die beiden, hier aufgeführten Arten von elektromagnetischen Treibern, neigen zu Eigenschwingungen in den Membranen. Das sind die sogenannten Partialschwingungen.

Diese entstehen immer dann, wenn bei den Übertragungen der Kraft von der Schwingspule auf die Membran beide nicht mehr als starre Einheit funktionieren. Sie bilden dann nicht mehr einen starren Kolben und die Membranen können sich in sich verwinden. Dieser Effekt verstärkt sich umso größer die Membran ist und umso höher die Frequenz wird. Deshalb wird immer darauf geachtet, dass die Materialien möglichst eine hohe Festigkeit besitzen und sich deshalb nicht so leicht in sich verwinden können.

Besonders kritisch ist das bei 3“ oder 4“ großen Membranen, welche in Hochtonkompressionstreibern verbaut werden. Dies zeigt sich besonders ab den Frequenzen von 8-10 kHz.

## 2.3.3 Elektroplanare Wandler

### Bändchenlautsprecher

Bei einem Bändchenlautsprecher befindet sich die Membran zwischen den Polen der Magnete. Diese Membran wird im Ganzen von Strom durchflossen, kann aber auch mit parallel liegenden stromdurchflossenen Leiterbahnen belegt sein. Dabei muss die Stromflussrichtung bei allen Leitern gleich sein, damit das Magnetfeld überall die gleiche Ausrichtung hat. Das ganze System ist sehr niederohmig. Deshalb werden oft Übertrager zum Einsatz gebracht, welche für eine Impedanz Anpassung sorgen.

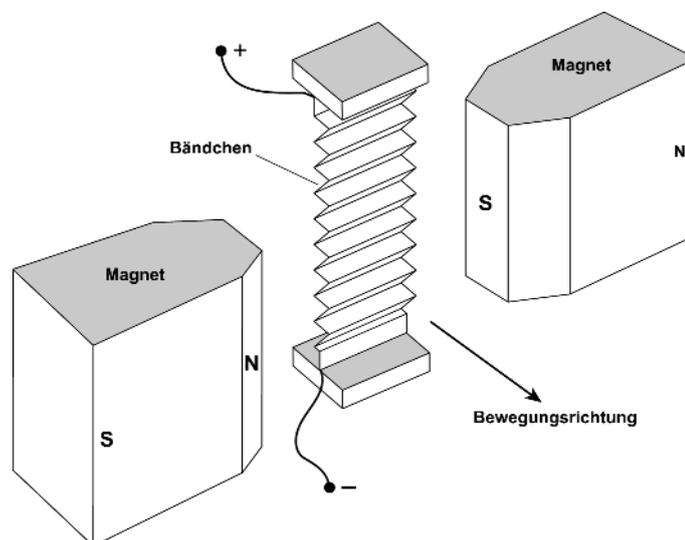


Abbildung 8 Bändchen Lautsprecher vgl. Weinzierl, 2008, Abb. 8.3

### Airmotion Transformer

#### Accelerated Ribbon Technology

Bei diesem Typ ist das Antriebsprinzip wie bei einem Bändchen Lautsprecher. Der Unterschied ist im Aufbau der Membran zu finden. Die Membran ist lamellenmäßig gefaltet. Auf diesen Lamellen sind Leiterbahnen geführt. Benachbarte Leiterbahnen sind so gelagert, dass der Strom gegenläufig durchfließt. Je nach Signalfluss bewegen

---

sich die Lamellen aufeinander zu oder voneinander weg. Dadurch pressen sie die Luft zwischen den Lamellen weg oder saugen diese ein. Durch den Aufbau der Lamellen kommt es zu einer Schnelletransformation der bewegten Luft im Verhältnis der Lamellenseitenfläche zur Öffnungsfläche des Lamellenspaltes. Aufgrund des höheren Strahlungswiderstandes für die Membran erhöht sich auch der Wirkungsgrad. Dies ist vergleichbar mit der Kompression in einem herkömmlichen Horntrieb. Trotz einer kleinen akustischen Fläche kann hier eine deutlich größere Membranfläche wirksam werden. Die Membran besteht aus Capton-Aluminium-Laminat und kann Temperaturen bis zu 400 °C aushalten. Dieser Aspekt ist auch wichtig, da die Membran durch die geringe Masse auch eine geringe Wärmekapazität aufweist, um die bei Leistungsspitzen anfallende Verlustwärme aufnehmen zu können. Der auf der Rückseite abstrahlende Schall wird durch ein gedämpftes Volumen absorbiert.

## 2.4 Bauformen

Es gibt eine Vielzahl von verschiedenen Bauformen. Dabei reicht das Spektrum von normalen Breitbandlautsprechern bis hin zu komplexen Array Lautsprechern. Aufgrund der vielen verschiedenen Bauformen werden hier nur die am meist verbreitetsten Bauformen erklärt, welche auch in der professionellen Audiotechnik Anwendung finden.

### **„Warum müssen Lautsprecher ein Gehäuse bekommen?“**

Diese Frage ist leicht mit einem physikalischen Effekt zu erklären.

Wenn die Lautsprechermembran durch ein Signal nach vorn ausgelenkt wird, komprimiert sie die Luft auf der Vorderseite. Auf der Hinterseite erzeugt sie aber einen Unterdruckbereich. Da die Luft nicht allzu träge ist, versucht sie schnell die unterschiedlichen Druckgebiete auszugleichen. Dieser Vorgang wird akustischer Kurzschluss genannt. Wenn das geschieht wird auch kein Schallfeld erzeugt, welches sich in eine Richtung ausbreitet und man würde nichts hören und der Wirkungsgrad des Senders geht gegen Null.

Das Gehäuse dient der Trennung von Vorder- und Rückseite der schwingenden Membran. Im oberen Frequenzbereich hat das Gehäuse keinen großen Einfluss auf das Abstrahlverhalten. Es schwingt jedoch stark in seiner Resonanzfrequenz mit. Dabei wird es selbst zum Schallsender und eliminiert die Richtwirkung des Lautsprechers. Infolge dessen wird der Übertragungsbereich möglichst über der Resonanzfrequenz angesiedelt.

Um diesem Effekt zu vermeiden gibt es viele verschiedene Bauformen von Lautsprecherboxen, unter anderem geschlossene Gehäuse, Bassreflexgehäuse, Bandpass- und Hornlautsprechergehäuse.<sup>9</sup>

---

<sup>9</sup> Vgl. Weinzierl, 2008, S. 431 ff.

## **Geschlossenes Gehäuse**

Im Vergleich zu den Bassreflexgehäusen und den Bandpassgehäusen benötigen die geschlossenen Systeme das größte Volumen, wenn man gleiche Ergebnisse erzielen möchte wie bei den anderen Gehäusearten, bezogen auf untere Eckfrequenz und Empfindlichkeit. Vorteile an diesem System sind die geringen Phasendrehungen im Tieftonbereich sowie ein gewisser Selbstschutz gegen zu hohe Membranauslenkungen bei sehr tiefen Frequenzsignalen. Dieser wird durch die hohe Federsteifigkeit der Luft im geschlossenen Gehäuse erzielt.

## **Bassreflexgehäuse**

Diese Gehäusebauform unterstützt den Treiber im Arbeitsbereich des Resonators und dadurch kann man die Membranauslenkung reduzieren bei gleichem Ergebnis. Durch den Resonator steigt außerdem die Empfindlichkeit und man kann das Gehäusevolumen reduzieren. Unterhalb der Abstimmfrequenz des Resonators fällt der Pegel jedoch sehr schnell ab und der Treiber muss ohne zusätzliche Schutzmaßnahmen erhebliche Auslenkungen ausführen. Bei zu kleinen Tunneln können störende Geräusche sowie eine Port Compression entstehen. Port Compression sind Turbulenzen des Luftstroms die Nichtlinearitäten auslösen. Durch diese und noch weitere Faktoren können die Gehäusekonstruktionsvorteile wieder relativiert werden.

## **Bandpass Gehäuse**

Diese Bauform entlastet die Membran, da der Lautsprecher nicht direkt abstrahlt, sondern nur den Resonator antreibt und dadurch weniger Auslenkung benötigt. Bei einem Bandpassgehäuse können zwei oder mehrere Resonatoren aufeinander abgestimmt eingesetzt werden. Jedoch kann so ein Aufbau kaum die Empfindlichkeit eines vergleichbaren Bassreflexgehäuses erzielen. Ein Bandpassgehäuse kann aber durch parasitäre Effekte wie Gehäusemoden gestört werden. Ein nicht zu

vernachlässigter Vorzug ist der geschützte Einbau des Treibers im Inneren des Gehäuses.<sup>10</sup>

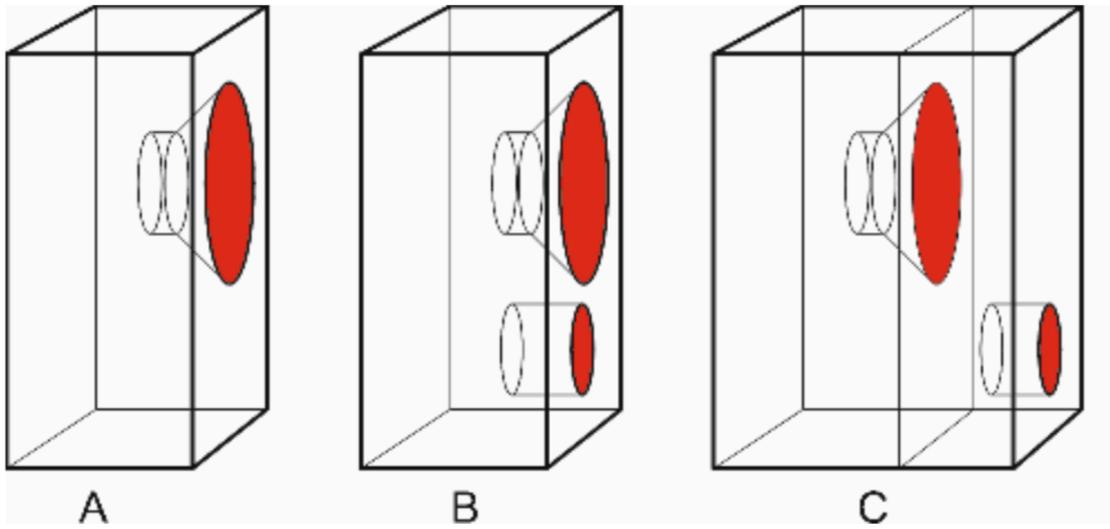


Abbildung 9 A= Geschlossenes Gehäuse; B= Bassreflex Gehäuse; C= Bandpass Gehäuse, Vgl. Weinzierl, 2008, Abb. 8.6

---

<sup>10</sup> Vgl. Weinzierl, 2008, S. 431 ff

## 2.5 Hornlautsprecher

### 2.5.1 Grundprinzip

Wenn man sich ein Horn von außen betrachtet sieht man einen Kanal mit stetig steigendem Querschnitt. Schon in der Antike wurde der schallverstärkende Effekt von Hörnern genutzt. Damals wurden ausgehöhlte Tierhörner als Signalhörner genutzt. In der Musik nutzen viele Instrumente einen Trichter an ihrer Schallöffnung, um sie akustisch zu verstärken.

In der Beschallungstechnik waren Hörner die einzige Möglichkeit, um mit der damaligen geringen Leistung von Verstärkern und Lautsprechern einen hohen Schalldruck zu erzeugen.

Das Grundprinzip eines Hornlautsprechers basiert darauf, dass der Strahlungswiderstand der Lautsprechermembran erhöht wird. Das Horn wirkt ähnlich einem elektrischen Übertrager als Impedanztransformation. Dadurch steigt der Realanteil des Strahlungswiderstandes und somit auch die abgestrahlte akustische Leistung. Eine Grundform von einem Horn ist der Exponentialtrichter. Seine Querschnittserweiterung nimmt exponentiell zu.

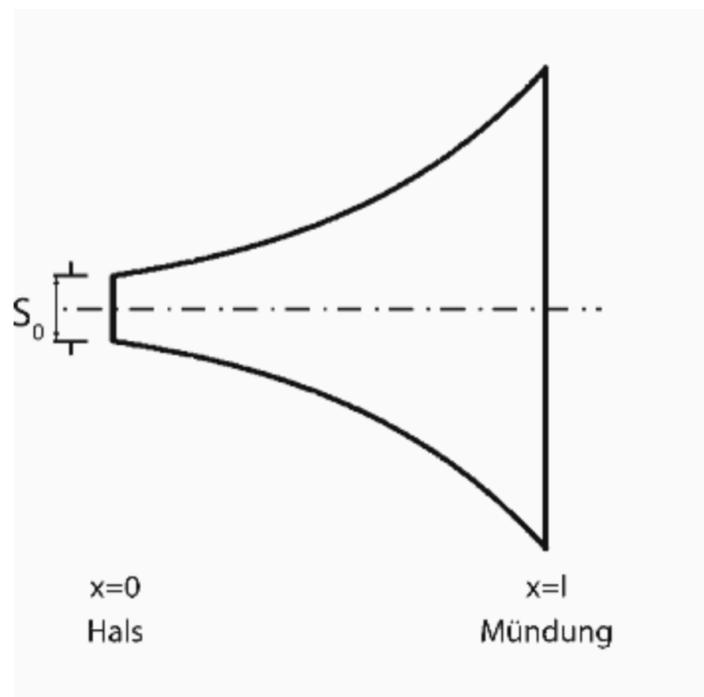


Abbildung 10 Exponentialhorn, vgl. Weinzierl, 2008, Abb. 8.8

Diese Trichter können näherungsweise berechnet werden, doch in der Praxis werden die Abmessungen der Trichter meist durch äußere Faktoren vorgegeben. Dabei ist es meist die Länge, welche einen Maximalwert bekommt, und somit der Trichter frühzeitig in seinem Verlauf abgeschnitten werden muss, bedingt durch die Bauformen eines Lautsprechers.

Mit diesen Bedingungen muss der Entwickler immer einen Kompromiss zwischen Trichtergröße und den akustischen Eigenschaften finden. Meist wird die Entwicklung auf eine tiefe untere Eckfrequenz gelegt, denn alle Frequenzen oberhalb dieser werden durch den akustisch verstärkenden Effekt des Trichters begünstigt, alle darunter brechen sehr schnell und stark ab. Dabei kommt es dann meist zu Problemen. Zum Beispiel werden an der Übergangsstelle zwischen Trichtermund und freiem Schallfeld einige Frequenzen zurück in den Trichter reflektiert und führen dabei zu Kammfiltereffekten.<sup>11</sup>

---

<sup>11</sup> Vgl. Weinzierl, 2007, S. 435 ff.

## 2.6 Kompressionstreiber

Damit der Strahlungswiderstand für die Membran noch weiter erhöht werden kann, höher als es mit einem Horn möglich ist, kann die Membran in eine Druckkammer eingebaut werden. Dabei arbeitet die Membran nicht mehr in Schallaustrittsöffnung und regt auch nicht mehr das Horn direkt an, sondern sie arbeitet in das Volumen der Druckkammer. Damit in dieser Kammer eine Kompression entstehen kann, muss die Öffnung der Kammer, welche auch in das Horn abstrahlt, kleiner sein als die Membran. Entsprechend dem Flächenverhältnis zwischen Membranfläche und der Fläche der Austrittsöffnung erhöht sich der Strahlungswiderstand für die Membran.

Das einfach klingende Prinzip birgt einige Probleme in sich.

Innerhalb der Kammer kann es, bei höheren Frequenzen, zu stehenden Wellen und störenden Resonanzen kommen. Stehende Wellen bilden sich immer dann aus, wenn die halbe Wellenlänge oder ein ganzzahliges Vielfaches zwischen zwei schallharte Wände passt. Die Größe der Kammer ist also entscheidend und gibt die untere Grenzfrequenz vor, unter der sich keine stehenden Wellen mehr ausbilden können. Das sagt aus, dass die Kammern möglichst klein ausgelegt werden müssen.

Um an der Austrittsöffnung eine ebene Welle zu erhalten werden diese Kammern mit sogenannten Phase-Plugs bestückt. Diese Phase-Plugs sind so eingebaut und berechnet, dass durch die Umwege um diese Kanäle der Schall von der Membran bis zur Austrittsöffnung an allen Punkten möglichst die gleiche Laufzeit beziehungsweise Wegstrecke zurückgelegt hat.

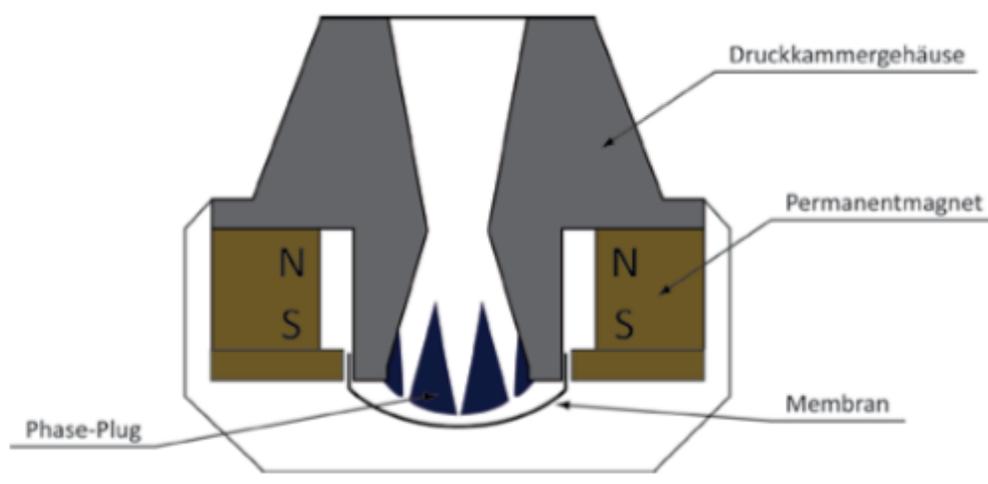


Abbildung 11 Kompressionstreiber

Bei der hohen Kompression innerhalb der Kammer entstehen große Schallschnellen die Strömungsgeräusche nach sich ziehen, welche sehr breitbandig sind. Außerdem können sich Schalldrücke über 160 dB in der Treiberkammer bilden. Dabei entsteht eine Nichtlinearität der Luft zwischen Druck und Schnelle und das führt zu nichtlinearen Verzerrungen. Beide Probleme sind bei der Entwicklung eines Kompressionstreibers nicht gänzlich zu vermeiden.

Dieses Problem, bei dem die Luft bei hohen Schalldrücken eine Nichtlinearität aufweist setzt sich in den Hörnern fort. Da der Anfangsquerschnitt sehr klein ist, kommt es da auch zu sehr hohen Drücken, die zu einer Verzerrung der Wellenform führen. Verzerrungswerte über -20 dB (10%) sind bei einer Treiber-Horn-Kombination nicht ungewöhnlich.

Um ein hohes Kompressionsverhältnis zu erreichen muss die Membran deutlich größer sein als die Austrittsöffnung. Bei einem 2"- Treiber (Bezeichnung für den Durchmesser der Austrittsöffnung) wird meist eine 4" große Membran verbaut. Diese wird auch von einer 4" großen Schwingspule angetrieben. Bei so einer Größe bilden sich schon weit unterhalb von 20 kHz Partialschwingungen aus. Diese Partialschwingungen verursachen nicht nur Amplituden- und Phasenverzerrungen, sondern auch, dass die austretende Wellenform nicht mehr eben ist. Deshalb werden als Lösungsansatz der Hersteller sehr oft 2"- und 1"- Treiber in einem Gehäuse verbaut. Diese arbeiten mit verschachtelten Kanälen auf eine Austrittsöffnung.<sup>12</sup>

---

<sup>12</sup> Vgl. Weinzierl, 2007, S. 339 ff.

## 3 Der Vergleich

In diesem Kapitel soll es um die beiden Hochtontreiber gehen, die in dieser Arbeit genauer miteinander verglichen werden. Es wird noch einmal der genauere Aufbau und das Funktionsprinzip der Hochtontreiber erklärt. Außerdem wird auf einzelne Vor- beziehungsweise Nachteile hingewiesen.

### 3.1 Alcons Audio

#### 3.1.1 Der Aufbau vom Pro Ribbon™ Hochtontreiber<sup>13</sup>

Der Aufbau eines Pro Ribbon Lautsprechers ist sehr ähnlich dem Aufbau eines Bändchenlautsprechers. Deswegen spricht man auch sehr oft vom Bändchen von Alcons oder vom Folien - Magnetostat. Das Funktionsprinzip ist wie bei einem konventionellen elektrodynamischen Treiber. Die Membran ist eine hauchdünne Folie auf der sehr feine Leiterbahnen möglichst eng aufgebracht werden. Durch diese Leiterbahnen wird der Strom geleitet und so entsteht dann die Antriebskraft auf die Membran.

Bei einem elektrodynamischen Treiber entsteht auf gleiche Weise die Antriebskraft, nur bei diesem wird die Spule in einem Luftspalt bewegt. Anschließend muss die Kraft von der Spule noch auf die Membran übertragen werden. Da aber die Spule bei einem „normalen“ Lautsprecher nur am Rand befestigt ist und die Kraftübertragung somit nur an einem Punkt geschieht, bilden sich frequenzabhängig mehr oder weniger starke Partialschwingungen aus.

Bei dem Ribbon Tweeter von Alcons ist die Schwingspule bildlich gesprochen auf der ganzen Membranfläche abgewickelt. Das bedeutet die Antriebskraft greift gleichmäßig auf der gesamten Membran an. Das hat den Vorteil das Partialschwingungen sich erst weit außerhalb der hörbaren Frequenzen ausbilden können. Was nicht bedeutet, dass die Bändchenlautsprecher keine Partialschwingungen entwickeln. Es können sich Längs- und Querresonanzen ausbilden.

Ein weiterer großer Vorteil ist, dass die Membran eines Bändchenlautsprechers als langer schmaler Streifen schwingt. Somit entsteht direkt an der Membran eine

---

<sup>13</sup> Vgl. Produktion Partner, Ausgabe 04/2016, Artikel Alcons Audio LR18

Zylinderwelle mit der Höhe der Membran. In der Horizontalen wird das Abstrahlverhalten durch die Breite des Bändchens bestimmt.

Um das Magnetfeld zu erzeugen, kann man entweder vor und hinter der Membran oder ausschließlich hinter der Membran Magnete anbringen. Wenn man die zweite Variante wählt, hat es den Vorteil, dass die Schallabgabe nicht durch die davor liegenden Magnete gestört wird. Jedoch bietet sich diese Variante nur für sehr hohe Frequenzen an. Wenn man aber nicht nur die ganz hohen Frequenzen wiedergeben möchte, muss man entweder die Auslenkung oder die Fläche der Membran vergrößern. Dabei kommt man zwangsläufig bei der beidseitigen Anordnung an. So auch bei den Pro Ribbon Treibern von Alcons, die mit einem langen schmalen Magnetsteg vor der Membran auskommen (siehe Abbildung12). Es sind insgesamt drei Magnetreihen vor und hinter der Membran.

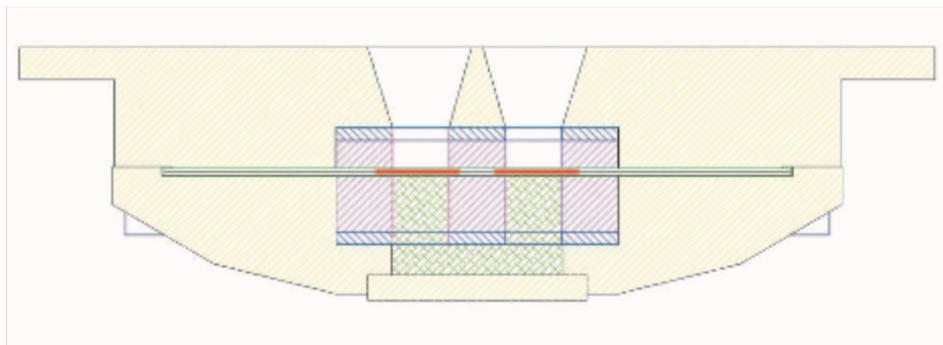


Abbildung 12 Ribbon Tweeter im Schnitt mit Membran und Magnetanordnung (Membran Rot), vgl. Pordution Partner

### 3.1.2 Das Alcons Audio LR18

In diesem Abschnitt wird der komplette Lautsprecher LR18 von Alcons erklärt.

Das LR18 System von Alcons ist ein Line Array System. Es fügt sich in die Reihe zwischen LR28 (das größte Touring System von Alcons) und dem System LR7 (dem kleinsten Line Array) ein. Das LR18 wird von Alcons als ein Mid-Size Array bezeichnet.

Das LR18 ist mit einem 7“ langen Ribbon Tweeter ausgestattet. Dieser hat einen 90° Waveformer für die horizontale Ebene vorgebaut. Außerdem besitzt das System einen 6,5“ Mitteltontreiber und zwei 8“ Tieftönern. Die Mittel- sowie Hochtöner sind koaxial

angeordnet und genau mittig zwischen den beiden außenliegenden 8“ Tieftönern zu finden. Somit ist das LR18 komplett symmetrisch aufgebaut (siehe Abbildung 10). Die beiden Wege Mittel- und Hochtöner werden passiv zueinander getrennt. Also ist das LR18 ein aktives 2-Wege-System.

In dem LR18 System sind die 8“ Woofer in einem Bassreflexprinzip verbaut. Die Tuningfrequenz des Bassreflex liegt bei 68 Hz und das System spielt bis ca. 60 Hz. Bei 150 Hz beginnt die Sensitivity von 90 dB auf 103 dB bei 1 kHz zu steigen. Die Trennfrequenz zur Mittelhochtoneinheit liegt bei 350 Hz. Das ergibt einen großen Überlappungsbereich, in dem die Energie der Tieftonlautsprecher noch gut mit genutzt werden kann und somit noch etwas Pegel erzielt wird.

Die Lautsprecher können von 0,5° bis 10° gewinkelt werden. Die gesamte Box wiegt 28 kg.<sup>14</sup>



Abbildung 13 Das Alcons Audio LR18 Innenansicht

---

<sup>14</sup> Vgl. Alcons Audio

## 3.2 d&b Audiotechnik

In diesem Abschnitt wird der Vergleichslautsprecher von d&b Audiotechnik vorgestellt. Der Lautsprecher von d&b ist aus der V Serie (siehe Abbildung 14).

### 3.2.1 Hochtontreiber von d&b

Die Hochtontreibereinheit von d&b besteht aus zwei 1,4“ Kompressionstreibern (Kapitel 2.6). Die Schwingspulen haben die Größe von 2,5“. Diese sind mit einer Horn Waveguide Applikation und mit einer passiven Frequenzweiche gekoppelt.



Abbildung 14 D&B Audiotechnik Line Array V-Serie

### 3.2.2 Waveformer allgemein

In diesem Abschnitt wird erklärt was ein Waveformer ist und wie er funktioniert. Da d&b keine genaueren Angaben zu ihren Waveformern macht, werden hier alle verschiedenen Arten der verschiedenen Hersteller aufgelistet.

Ein Line Array funktioniert nur dann, wenn es eine zusammenhängende Wellenfront erzeugen kann. Um das zu erreichen, müssen alle Schallsender in einem System eine kohärente Kopplung ermöglichen. Dies geschieht dann, wenn die akustischen Zentren maximal den Abstand der halben Wellenlänge haben. Bei großen Wellenlängen wie im Mittel- und Tieftonbereich ist dies noch kein Problem und man kann mit effizienten Konustreibern arbeiten. Problematisch ist es im Hochtonbereich, da die Wellenlängen sehr klein sind und somit auch die Abstände der Schallsender klein sein müssen. Als Beispiel 16kHz, da ist die Wellenlänge 21mm. Um nun eine kohärente Welle zu erzeugen, müssten die Lautsprecher den maximalen Abstand von 10mm einhalten. Selbst mit sehr kleinen Kalottentreibern ist dies nicht möglich.

Deshalb gibt es von verschiedenen Herstellern verschiedene Ansätze um das Problem zu lösen.

#### **Koerzitiv- Waveguides**

Bei dieser Art von Waveguide wird ein Kompressionstreiber an ein langes Horn mit einer, im Verhältnis zur Länge, sehr kleinen schlitzartigen Schallaustrittsöffnung angebracht. Die Schallanteile, die aus dem langen Horn heraustreten haben dann einen sehr geringen Laufzeitunterschied. Die Schallwelle ist dennoch etwas gekrümmt. Um eine kohärente Wellenfront zu bilden, darf eine Phasendifferenz von einer viertel Wellenlänge nicht überschritten werden. Ansonsten gibt es Probleme mit den darüber beziehungsweise darunter liegenden Waveguides.



Abbildung 15 Arten von Waveguides vgl. Holtmeyer, 2003, S. 4f

### Schallführung in Kanälen

Hierbei handelt es sich um einen Vorbau vor einen Kompressionstreiber, welcher den Schall durch einzelne Kanäle leitet und mehrere übereinander angeordnete Austrittsöffnungen hat. Die einzelnen Kanäle haben meist eine unterschiedliche Länge, welche die Laufzeiten des Schalls angleichen sollen. Einige Hersteller nutzen auch noch verschiedene Materialien, um den Schall in der Geschwindigkeit zu verlangsamen und somit wieder eine kohärente Wellenfront zu erzeugen.

### DOSC- Waveguide

Die französische Firma L-Acoustics hat eine Schallführung, die nach der sogenannten Wavefront Sculpture Technology funktioniert, patentieren lassen. Hier wird wieder ein klassischer Kompressionstreiber an eine Schallführung angeschlossen, die alle Schallanteile so umlenkt, dass sie aus der Mündung phasengleich austreten. Bildlich gesprochen wurde ein Phaseplug eingehüllt, um den alle Pfade von Anschluss des Treibers bis zur Schallaustrittsöffnung gleich sind.

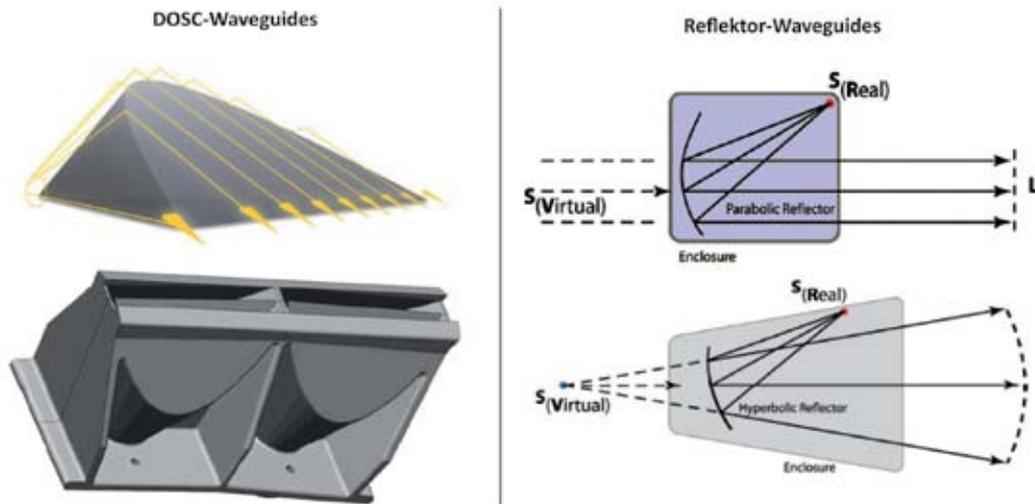


Abbildung 16 Arten von Waveguides vgl. Holtmeyer, 2003, S. 28f

### Parabolischer Reflektor

Da ist das Funktionsprinzip sehr leicht zu erklären. Wie im Namen beschrieben ist es dasselbe Prinzip wie bei einem Parabolspiegel für Licht. Durch Kompressionstreiber erzeugte Schallwellen werden an einem akustischen Spiegel so reflektiert, dass alle Schallanteile am Ausgang die gleichen Laufzeiten haben. Somit sind sie phasengleich. Diese Variante wurde von der Firma Nexo in den Modellen der GEO Serie eingeführt.

### 3.2.3 Der d&b V8 Lautsprecher<sup>15</sup>

Der d&b V8 Lautsprecher ist ein Line Array Lautsprecher für Großbeschallungsaufgaben. Mit dem passenden Flugrahmen der Firma d&b können bis zu 24 Lautsprecher vertikal geflogen werden. Der Lautsprecher hat einen festen horizontalen Abstrahlwinkel von 80°.

Der gesamte Lautsprecher ist ein 3-Wege- Lautsprecher mit 2x 10“ Neodym-Tieftönern und einem 8“ horn geladenem Mitteltontreiber. Als Hochtontreiber kommen die beiden oben genannten Hochtön-Kompressionstreiber zum Einsatz.

Der Aufbau ist symmetrisch zur Mittelachse. Das führt zu einem symmetrischen Abstrahlverhalten. In der Mitte liegt der 8“ Mitteltontreiber und die beiden Hochtöner haben ihre Schallöffnungen davor. Die beiden Schwingspulen liegen oberhalb beziehungsweise unterhalb des Mitteltontreibers. Auf den beiden Außenseiten liegen schräg eingebaut die beiden 10“ Tieftonlautsprecher. Durch die dipolare Anordnung wird das nierenförmige Abstrahlbild schon ab 250 Hz eingehalten. Das Gehäuse ist so, dass die Tieftöner durch ein Bassreflexsystem miteinander arbeiten.

Der Frequenzgang geht von 67Hz bis über 18kHz.

Die einzelnen Lautsprecher können von 0° bis 14° in Ein-Grad-Schritten gewinkelt werden.

---

<sup>15</sup> Vgl. d&b Audiotechnik

## 4 Messungen

### 4.1 Allgemeine Messbedingungen

Die allgemeinen Messbedingungen beschreiben, unter welchen Rahmenbedingungen die Messung erfolgte. Die Messungen dürfen nicht als Referenzmessungen gewertet werden, da die Messumstände nicht optimal gewesen sind, um nachstellbare Referenzwerte zu erhalten. Das heißt die Messung fand nicht in einem schallarmen Raum statt, sondern erfolgte bewusst im Freien, um Messbedingungen nahe der Praxisanwendung zu erhalten. Die durch die Messung erhaltenen, im Folgenden näher erläuternden Graphiken dienen als Darstellungsunterstützung der subjektiv gehörten Ergebnisse.

Die Messungen fanden in Leipzig in der Heiterblickstraße 42 bei der Firma ILS Medientechnik am 16.04.2019 für das d&b Audiotechnik System und am 17.04.2019 für das Alcons Audio System statt. Beim Aufbau auf dem Firmengelände in einem Gewerbegebiet wurde ein PA-Tower (Abb. 18) aufgestellt, um die Lautsprecher zu hängen. Dieser hatte eine Höhe von 8m Der Messplatz hatte eine Breite von ca. 15m und eine Länge von 50m, wobei die maximale Messdistanz 45m betrug (Abb. 17). Der Boden bestand aus Pflaster und Asphalt. Da es auch viele Parkplätze gab, befanden sich etliche Grünflächen mit Büschen und kleineren Bäumen im Messfeld. Außerdem waren einige Autos und die Hallenwand der Firma in der Nähe. An beiden Tagen zeigten sich vergleichbare Wetterverhältnisse. Die Temperatur betrug ca. 13-14 Grad Celsius. Am ersten Messtag war es windstill, am zweiten gab es etwas Wind von hinten.



Abbildung 17 Messplatz aus Blickrichtung der Lautsprecher



Abbildung 18 PA-Tower

## 4.2 Messaufbau

### 4.2.1 Signalführung

Die Messsignalführung erfolgte für beide Systeme analog. Das Messsignal wurde von einer Computer Software (S.m.a.a.r.t.) erzeugt und über ein USB Interface (Roland Octa-Capture) Digital-Analog-gewandelt. Anschließend erfolgte die Signalübertragung über ein Yamaha QL1 Mischpult an die jeweiligen Systemendstufen der Lautsprecher digital über AES (. Außerdem wurde das Messsignal vom Mischpult aus wieder über ein Direct Out in das USB Interface zurückgeführt, um es als Referenzsignal für die Messungen weiter zu nutzen. Das Messmikrofon - Earthworks M23 - wurde über 60m Kabellänge an das USB Interface in das Messprogramm eingeschlossen. Während der Messungen stand das Messmikrofon auf einer Höhe von 1,60m.

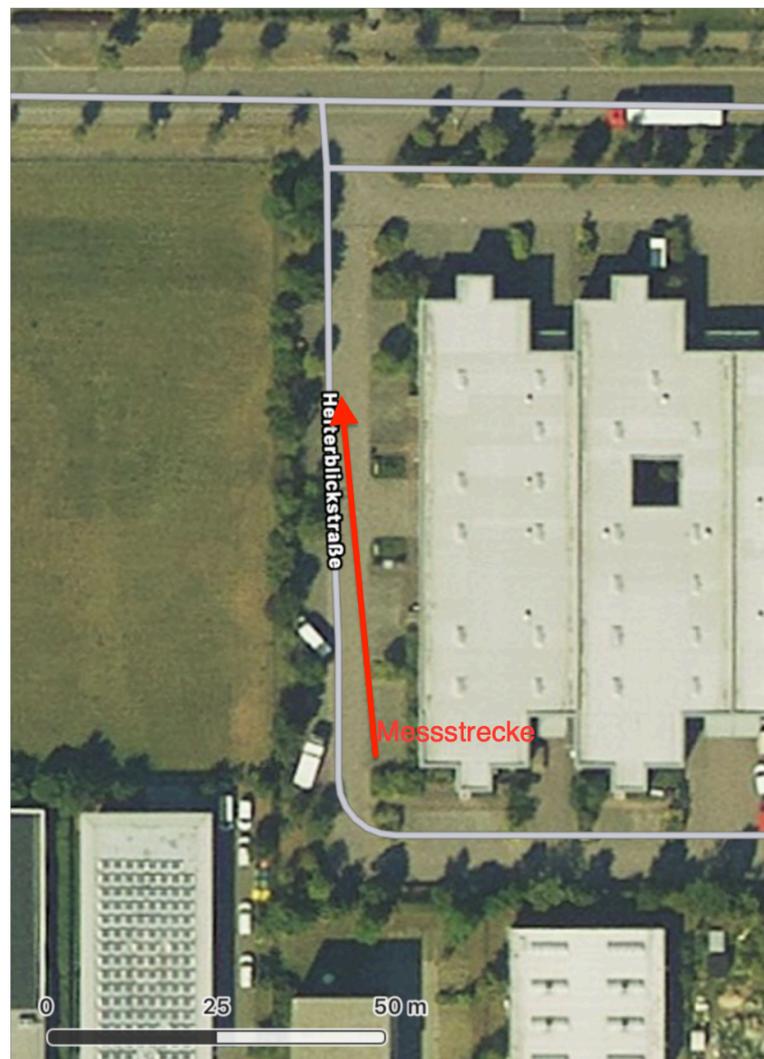


Abbildung 19 Messplatz mit Messrichtung Vogelperspektive

## 4.2.2 Lautsprecheranordnung

Bei beiden Systemen wurden jeweils sechs Lautsprecher als Line Array geflogen. Bei den Messungen wählte man zwei verschiedene Aufbauten der Systeme. In die Software ArrayCalc und EaseFocus wurden jeweils die Maße des Messplatzes eingegeben um die optimale Winkelung der Arrays zu berechnen. ArrayCalc war dabei für d&b Audiotechnik und EaseFocus für Alcons Audio. Für die Messanordnung eines betrug die Anschlagshöhe 7,50m. Die Werte waren relativ unterschiedlich. Dabei hat ArrayCalc eine sehr hohe Winkelung bei den unteren Topteilen vorgenommen, um bei 7,50m Höhe auch auf den ersten Metern eine Beschallung zu erhalten. EaseFocus hingegen hat das System so berechnet, dass die sechs Lautsprecher die recht hohe Entfernung von 50m erreichen. Dabei waren die sechs Lautsprecher weniger stark gewinkelt (Abbildung 20&21). Die Untersuchungen in der vorliegenden Arbeit sollten möglichst keine Optimierungen des Systems enthalten, sondern eine Art Härte-test darstellen. Deswegen wurde auch an den errechneten Ergebnissen nichts optimiert. Auch auf der Systemseite wurden, bis auf Lautsprecher-Presets, keine ergebnisverbessernden Maßnahmen getroffen, um möglichst nur den Lautsprecher zu bewerten und nicht die softwarebasierten Frequenzanpassungen. Alle Couplingfilter sowie High-Shelf- oder Low-Cut-Einstellungen wurden bei null belassen. Außerdem wurden alle Lautsprecher mit einem einzelnen Endstufenkanal betrieben.

Als zweites Messverfahren wurden beide Systeme möglichst auf  $0^\circ$  gewinkelt und auf eine Höhe von 1,80m zwischen dem untersten und dem direkt darüberliegenden Topteil gefahren. Dabei sollten die Ankopplungen der einzelnen Lautsprecher zueinander gemessen werden.

Die Messpunkte befanden sich in 5-Meter-Abständen verteilt auf eine Entfernung von 5m bis 45m im ersten Durchgang. Im zweiten Durchgang waren die Messpunkte in 1m-Abständen von 1m bis 5m angeordnet.

An beiden Messtagen wurde darauf geachtet, dass alle Messergebnisse vergleichbar sind. Dabei wurde auch auf die Wetterverhältnisse geschaut und immer zur ungefähr selben Tageszeit gemessen.



Abbildung 20 6 d&b Audiotechnik V8 Lautsprecher mit berechneter Winkelung



Abbildung 21 6 Alcons Audio LR18 Lautsprecher mit berechneter Winkelung

## 4.3 Messungsdurchgang eins bei 7,50m

### 4.3.1 Messung der Frequenzverläufe auf 7,50m

Beide Systeme sind durch ein Computerprogramm optimal für das Messfeld errechnet wurden. Die Messungen sind mit einem Pink Noise Signal durchgeführt wurden. Dieses Signal hatte keine weitere Gewichtung für Sprache oder Ähnliches. Um möglichst denselben Messschalldruckpegel zu erreichen wurde bei 10m Entfernung eine  $dB_{SPL}$  Messung auf 90dB für beide Systeme mit einem VoltCraft SoundLevelMeter (siehe Anhang 1) durchgeführt. Danach erfolgte die Messung auf allen Messpunkten zwischen 5m und 45m in fünf-Meter-Abständen. Um ein möglichst schnell vergleichbares Bild zu erhalten wurden vier Messpunkte pro System festgelegt. Dies waren 5m, 10m, 20m, und 40m.

Auf den Grafiken ist die Y-Achse eine  $dB_{FS}$  Skala in dB und auf der X-Achse ist der Frequenzverlauf in Hz.

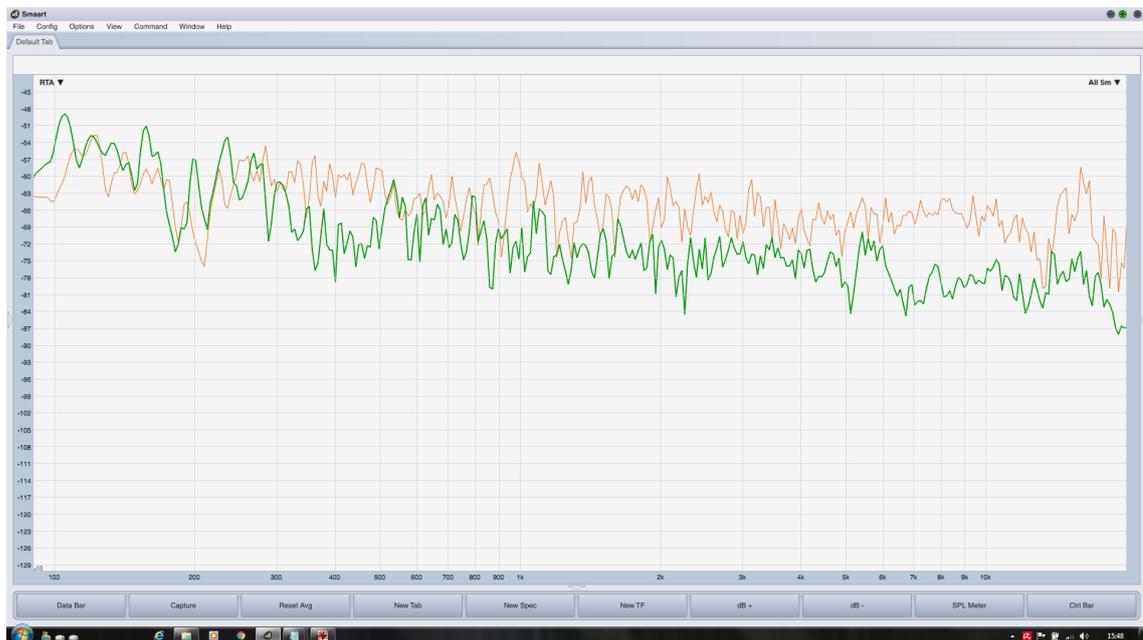


Abbildung 22 Frequenzmessung auf 5m (Grün=Alcons/Orange=d&b)

Man sieht in Abbildung 22, dass die grüne Kurve (Alcons) ab ca. 800Hz unter der orangenen Kurve liegt.



Abbildung 23 Frequenzmessung bei 10m (Grün=Alcons/Orange=d&b)

Bei 10m Entfernung (Abb. 23) sind beide Kurven relativ gleich nur die grüne Kurve ist leicht höher bei 100Hz- 200Hz.

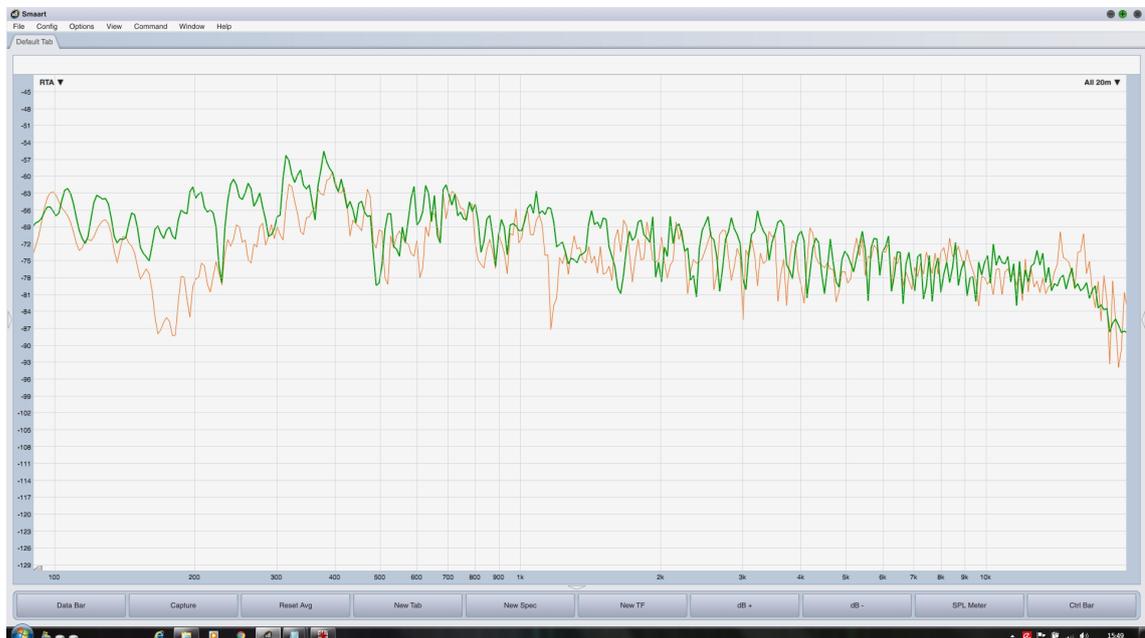


Abbildung 24 Frequenzmessung bei 20m (Grün=Alcons/Orange=d&b)

Für die Messung bei 20m (Abb. 24) erkennt man, dass die orangene Kurve weiter gesunken ist als die grüne Kurve. In den Bereichen von 100Hz und bei 1kHz ist dies besonders stark zu erkennen.

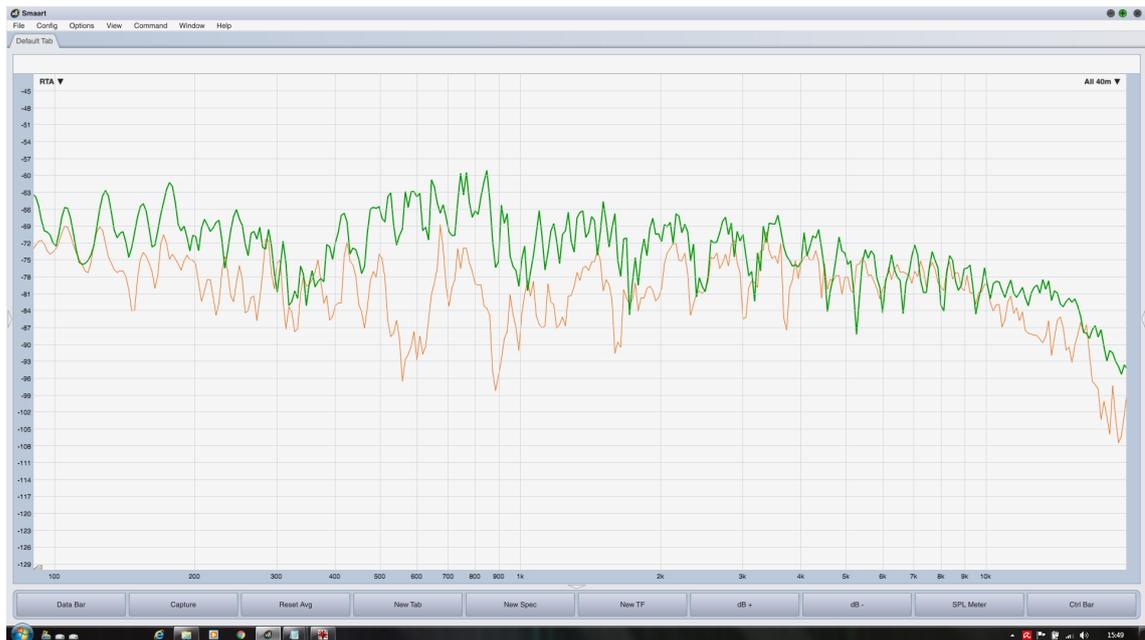


Abbildung 25 Frequenzmessung bei 40m (Grün=Alcons/Orange=d&b)

Bei der nächsten Verdoppelung der Entfernung (40m, Abb. 25) kann man sehen, dass die grüne Kurve fast gleich zu 20m Entfernung ist. Der Lautstärkepegel ist im gesamten Bereich leiser geworden. Die orangene Kurve ist jedoch stark, im Mitten und Hochton Bereich, verändert zur vorhergehenden 20m-Messung.

### 4.3.2 Messung des Phasengangs bei 7,50m

Für die Messung des Phasengangs ist keine Veränderung der Messbedingungen vorgenommen wurden. Die Messung erfolgte wieder in Abständen von fünf Metern über die Messdistanz von 5m bis 45m. Die im Folgenden abgebildeten Grafiken entstanden an den Messpunkten 5m, 20m und 40m.

Die X-Achse zeigt den Frequenzverlauf in Hz, die Y-Achse gibt die Grad zahlen.

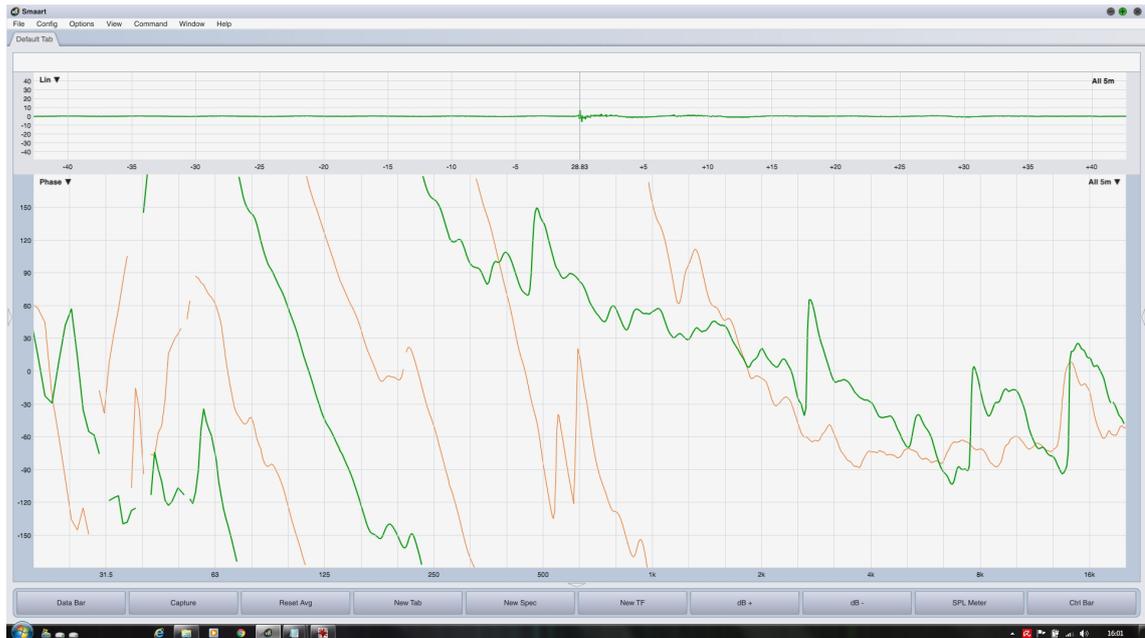


Abbildung 26 Phasengangsmessung bei 5m (Grün=Alcons/Orange=d&b)

In Abbildung 26 erkennt man, dass die orangene Kurve mehr Phasendrehungen aufweist als die grüne.

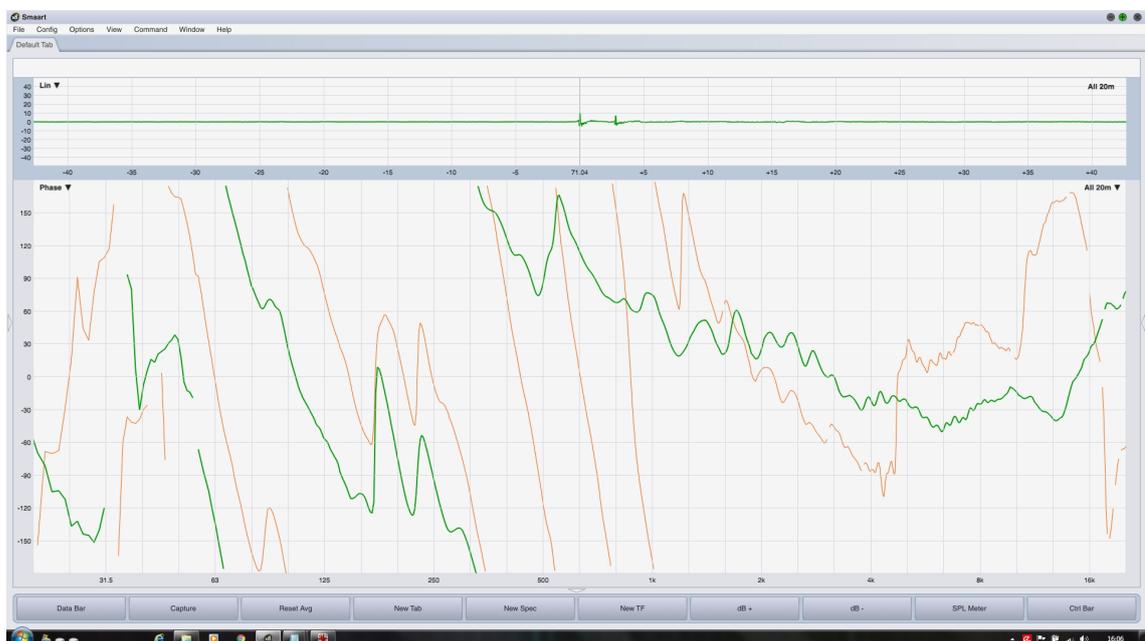


Abbildung 27 Phasengangsmessung bei 20m (Grün=Alcons/Orange=d&b)

Bei der Entfernung von 20m (Abb. 27) hat sich der Verlauf der grünen Kurve nicht drastisch verändert, aber die orangene Kurve zeigt einen deutlich veränderten Verlauf

und es sind deutlich mehr Phasendrehungen im Bereich von 500Hz bis 1kHz ersichtlich.

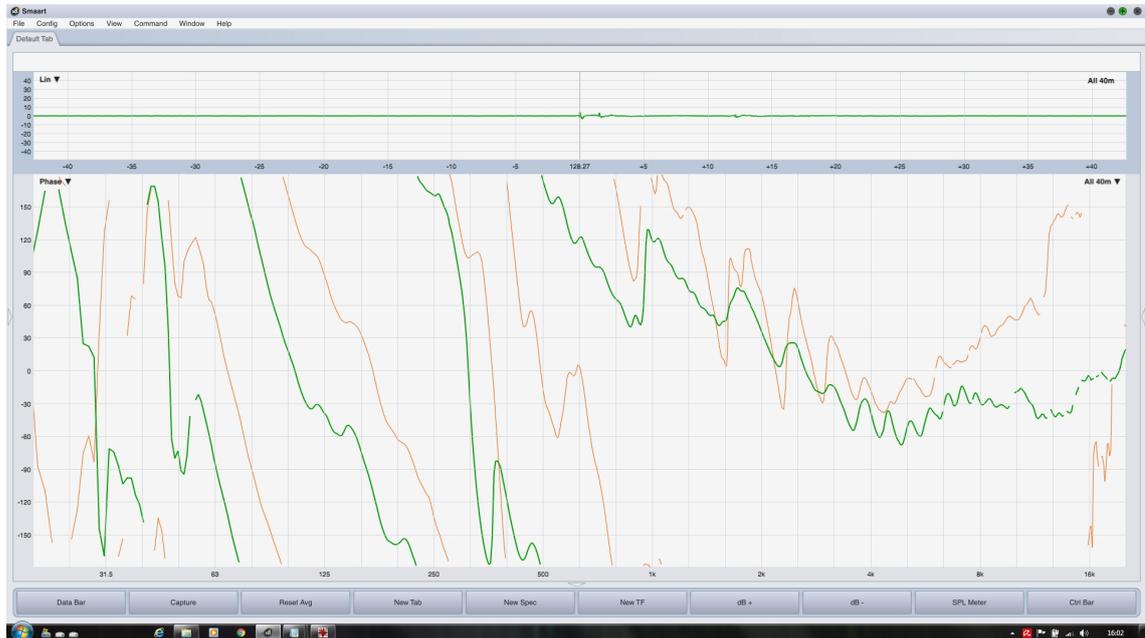


Abbildung 28 Phasengangsmessung bei 40m (Grün=Alcons/Orange=d&b)

Auf 40m Distanz (Abb. 28) sieht man eine starke Veränderung der grünen Kurve. Die orangene Kurve veränderte sich teilweise jedoch nicht so stark wie die grüne Kurve.

## 4.4 Messungsdurchgang zwei / Gerade bei 1,80m

Bei dieser Messung sind beide Systeme neu gewinkelt wurden, sodass sie möglichst bei null Grad waren. Bei dem Alcons Audio System war der geringste einstellbare Winkel 0,5 Grad, anders bei d&B Audiotechnik, da war er null Grad.

Die Messungen erfolgten alle in Ein-Meter-Abständen im Bereich 1m bis 5m. Gemessen wurden die Phasenunterschiede zwischen zwei Topteilen, dem untersten und dem darüber liegenden. In den Abbildungen sieht man drei Kurven. Blau ist dabei die Kurve vom untersten Topteil, grün die Kurve vom zweiten Topteil und rot die Messung beider Topteile.

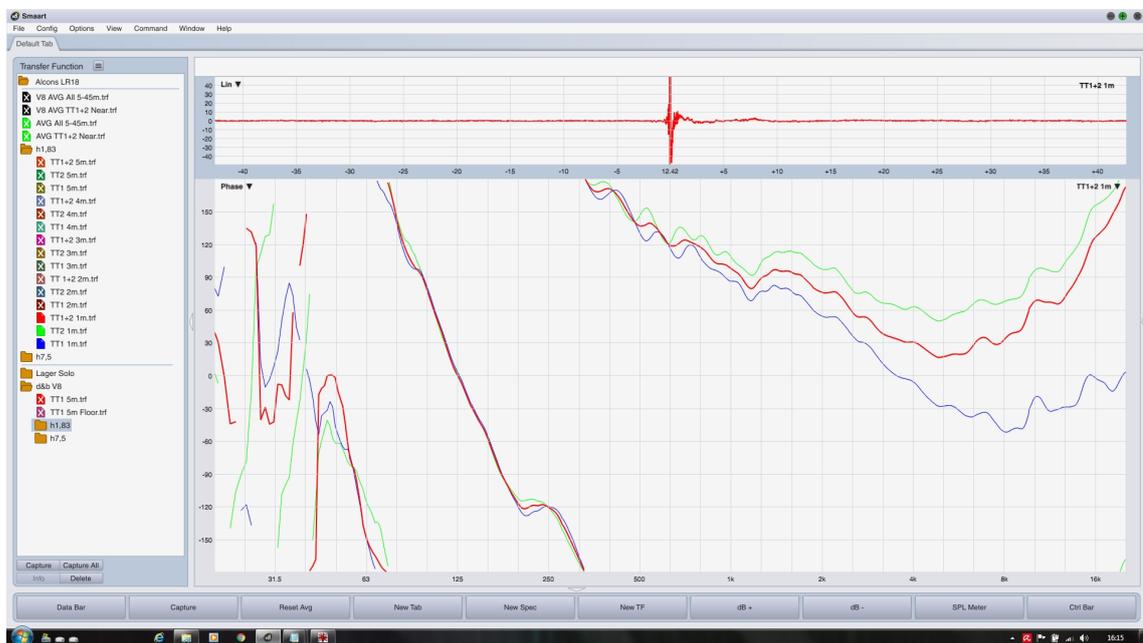


Abbildung 29 Phasenmessung Alcons Audio

Man kann erkennen, dass die Kurven ab ca. 350Hz auseinanderlaufen (Abb. 29). Des weiteren sieht man eine Phasendrehung bei 67 Hz.

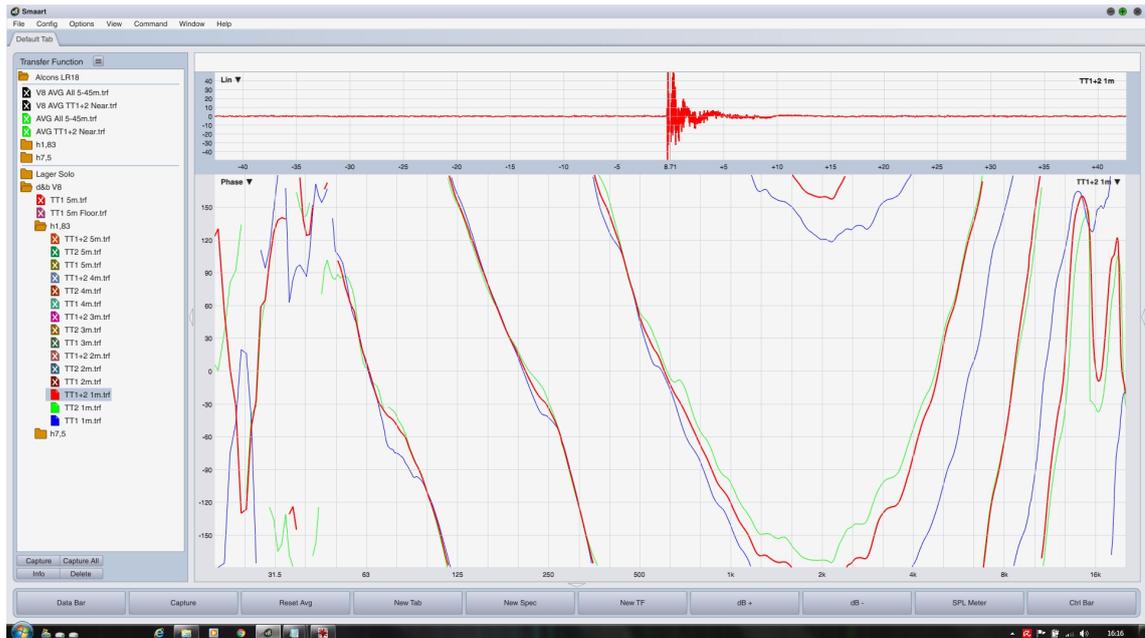


Abbildung 30 Phasenmessung d&b Audiotechnik

In Abbildung 30 sieht man Phasendrehungen bei ca. 60 Hz, dann bei 125 Hz und bei ca. 400 Hz. Ab 2 kHz gibt es noch einmal mehrere Phasendrehungen und die Kurven haben einen Versatz zueinander.

## 4.5 Impulsmessung

Bei der Impulsmessung hingen beide Systeme wie bei der Phasenmessung im zweiten Messdurchgang auf 1,80m Höhe. In einem Meter Abstand wurden beide unteren Topteile mit einem Sinus Sweep gemessen. Die Grafiken sind bei 16 kHz entstanden.

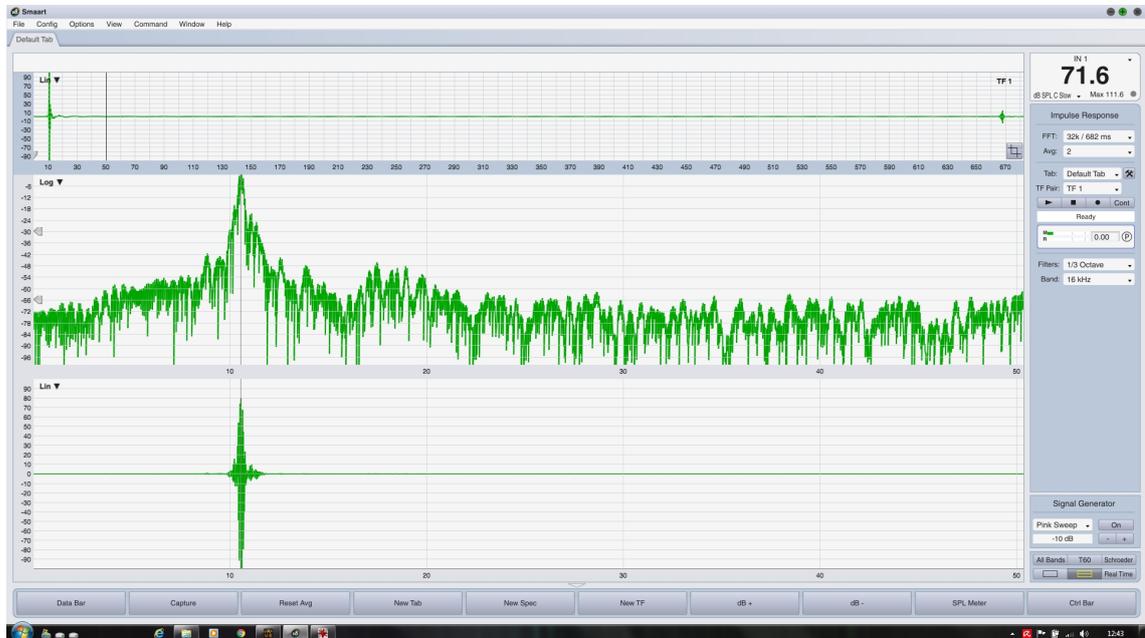


Abbildung 31 Impulsmessung Alcons Audio

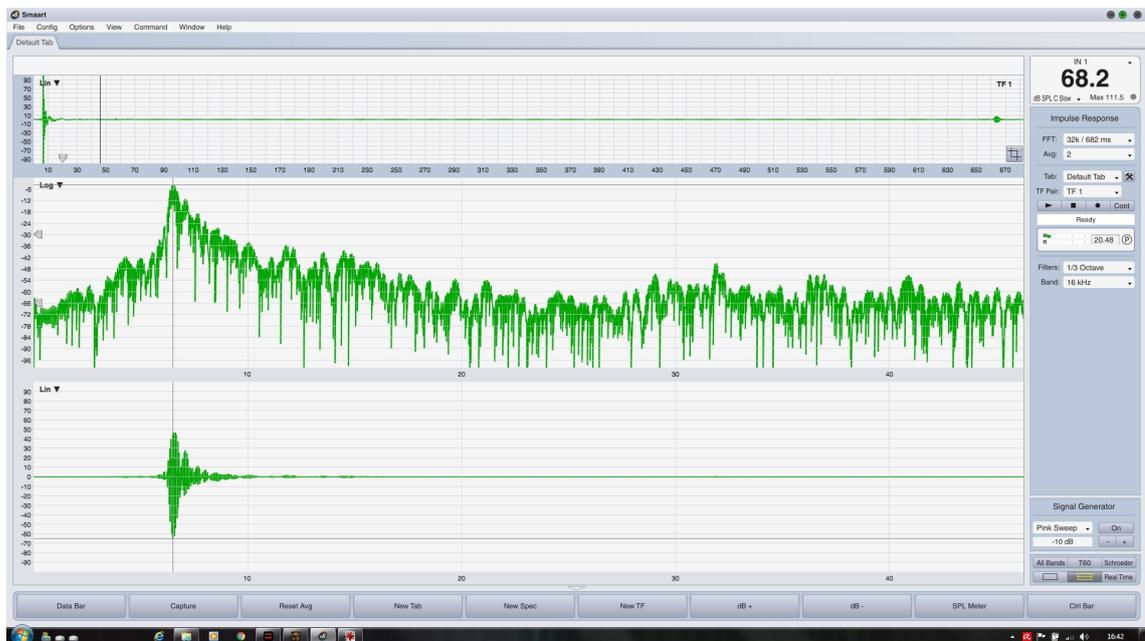


Abbildung 32 Impulsmessung d&b Audiotechnik

Man kann einen deutlichen Unterschied der beiden Kurven erkennen. Bei Alcons Audio ist die Impulsantwort kürzer als bei d&b Audiotechnik. Ein weiterer Unterschied ist, dass d&b Audiotechnik schneller ist als Alcons Audio. In den Abbildungen sieht man in der unteren Grafik, dass d&b deutlich vor 10ms ist und Alcons Audio kurz nach 10ms.

## 5 Diskussion zu den Messungen

### Allgemeine Messungen

Die Messbedingungen entsprachen keinem schallarmen, optimalen Raum. Für die Vergleichsmessung und ein deutliches Ergebnis waren sie jedoch aussagekräftig, da sie einer Open Air Anwendung sehr nahekamen und somit praxisnahe Messplatzbedingungen realisiert wurden.

Die Grafiken dienten der visuellen Unterstützung der gehörten Ergebnisse des Schreibers.

Der Messplatz wurde in seiner Ausdehnung durch die örtlichen Gegebenheiten begrenzt. Bei 50 m Messdistanz konnte man aber genügend Messpunkte finden, um eine aussagekräftige Auswertung zu gestalten. Grünflächen und Autos waren in den Messungen nicht optimal, da sie Reflexionen hervorrufen können. Diese konnten vernachlässigt werden, da es sich um Vergleichsmessungen handelt. Die Wetterverhältnisse waren sehr gut, um eine Messung durchführen zu können. Die Temperatur von 13-14 Grad Celsius änderte sich über die Messdauer nur geringfügig, sodass diese Unterschiede für die Vergleichbarkeit zu vernachlässigen sind. Der leichte Wind am zweiten Tag war problematisch. Da die Systeme immer auf der 0° Achse gemessen wurden, waren die Pendelbewegungen nach rechts und links kein Problem. Der Wind von hinten hat das System vor- und zurückpendeln lassen, was für eine Phasenmessung eher ungünstig ist, da sich der Abstand der Lautsprecher zum Messmikrofon ständig ändert. Lösung war dabei eine zweite Verzerrung, sodass sich das System nicht mehr so stark bewegen konnte.

### Signalführung

Das komplette Messsystem stellte weder ein geeichtes noch lizenziertes System dar, jedoch war es für die Vergleichsmessung ausreichend. Das Messmikrofon – Earthworks M23 - wurde mit seinen spezifischen Kenndaten in die Computersoftware eingepflegt, jedoch konnte keine Pegelabstimmung gemacht werden, da dazu die Kalibriergeräte fehlten. Das begründet auch, dass diese Messungen nicht als Referenzmessung interpretiert werden durften, sondern nur eine Veranschaulichung darstellten.

Die Höhe für das Messmikrofon wurde so gewählt, dass sie ungefähr einer Person im Stehen nahe kam, um realitätsnahe Bedingungen zu schaffen.

## Lautsprecheranordnung

Wenn man beachtet, dass sich diese Arbeit mit Hochtoneinheiten beschäftigt, ist die Anzahl von sechs Lautsprechern für eine Messung eines Line Arrays ausreichend.

Bei dem ersten Aufbau der Arrays sollte es darum gehen wie die Lautsprecher unter Zuhilfenahme der Software mit den errechneten Winkeln über die Fläche klingen. Unterschiede waren hierbei, dass die Software ArrayCalc eine bessere Beschallung der ersten Meter erreichte, jedoch in weiterer Entfernung ein unoptimales Beschallungsfeld hatte. EaseFocus hatte in den ersten Metern keine ausgewogene Beschallung, jedoch beschallte es die Entfernung gut. Ein weiterer großer Unterschied beider Systeme war die Gesamtlänge der Arrays. Bei d&b Audiotechnik hatten die sechs V8 Lautsprecher eine Länge von ca. 1,75 m. Alcons Audio hatte mit sechs LR18 eine Länge von ca. 1,5m. Das sind 25 cm unterschied in der Gesamtlänge.

Bei der Systemseite, also den entsprechenden Systemendstufen, wurden keine optimierenden Einstellungen getroffen. Dabei muss man sagen, dass bei Alcons Audio bei den Couplingfiltern eine Mindestanzahl von drei Lautsprechern gewählt werden musste.

Als zweites Messverfahren sollten die Arrays möglichst gerade hängen um die Übergänge und die Ankopplungen zwischen den Topteilen messen zu können. Das funktionierte bei d&b sehr gut, da sie die 0° Einstellung haben. Bei dem LR18 von Alcons Audio ist nur die 0,5° Einstellung möglich gewesen. Das Messmikrofon wurde immer genau auf die Mitte der beiden Lautsprecher ausgerichtet.

Die Anzahl der Messpunkte war ausreichend, um die Verlaufskurven zu erhalten, jedoch wurden zur Auswertung nur die aussagekräftigsten Grafiken analysiert.

### **Messung der Frequenzverläufe bei 7,50 m**

Die errechneten Werte von ArrayCalc und EaseFocus sind im Anhang eingefügt.

Das Messsignal Pink Noise stellte ein geeignetes Signal dar, da es alle Frequenzanteile des Spektrums enthält. Siehe Dickreiter und Weinzierl.

Um bei beiden Systemen denselben Schalldruckpegel zu erhalten, wurde mit einem VoltCraft SoundLevelMeter der Pegel gemessen. Dieser wurde nicht kalibriert, was für die Messung keine Einschränkung darstellte, da er nur zum Einsatz kam, um beide Systeme auf ein gleiches Level zu bringen und nicht um einen bestimmten Pegel zu erreichen. Dabei fiel auf, dass das Alcons System mehr Pegelausgang am Pult benötigte um den Schalldruck zu erreichen.

Die Messpunkte für die Grafiken wurden so ausgewählt, dass möglichst immer die Entfernungsverdopplung zu sehen war.

Bei der Frequenzmessung auf 5m lag das LR18 ab 800 Hz unter der Kurve vom V8 (Abb. 22). Das ist damit zu erklären, dass das Alcons Audio System die ersten Meter durch seine geringe Winkelung der unteren Lautsprecher nicht ausreichend gut mit Direktschall beschallt hatte und so die Höhen und hohen Mitten nicht ausgewogen waren.

Für die Frequenzmessung auf 10m waren beide Systeme sehr gleich und die Kurven verlaufen annähernd linear.

Auf 20m Entfernung waren beide Systeme immer noch relativ gleich. Das d&b System sank mehr als das LR18. Im 100 Hz – 200Hz-Bereich sanken beide Systeme aufgrund der geringen Stückzahl von sechs Lautsprechern recht stark. Um so länger ein Array, umso tiefere Frequenzen können als ebene Welle abgestrahlt werden.

Auf 40m Entfernung hat sich die orangene Kurve, des d&b V8 Systems, stark verändert. Die hohen Frequenzen ab ca. 10kHz fielen stärker ab als die vom LR18. Dabei war vor allem der sprunghafte Unterschied der orangenen Kurve von 20m auf 40m markant. Dies könnte an den Funktionsunterschieden der Hochtontreiber liegen.

### **Messung des Phasengangs bei 7,50m**

In Abbildung 26 sieht man, dass das d&b Array eine Phasendrehung mehr hat als das Alcons Array. Die ersichtlichen Phasendrehungen entstanden möglicherweise durch die im Lautsprecher verbauten Frequenzweichen. Der V8 Lautsprecher ist ein passiver 3-Wege-Lautsprecher. Das LR18 ist ein 2-Wege-Aktiv-Lautsprecher, daher nur zwei Phasendrehungen. Außerdem hat Alcons Audio mit zwei Allpass-Filtern vierter. Ordnung gearbeitet, um Phasen lagen in der Mittel-Hochton-einheit anzugleichen.

Bei der 20m-Messung (Abb. 27) hatte sich die grüne Kurve vom LR18 nicht großartig verändert. Bei dem V8 Line Array von d&b Audiotechnik jedoch sind im Mitten-Bereich zwischen 500Hz und 1 kHz Phasendrehungen hinzugekommen. Das könnte an der starken Winkelung des Arrays liegen. Durch die Winkelung sind die unteren Lautsprecher hinter den oberen Lautsprechern, welche am 20m-Messpunkt wirken. Dadurch das die hohen Frequenzen gerichteter abstrahlen und die Mitten, bei einer Anzahl von 6 Lautsprechern, weniger stark, kann es zu einer Phasenkollision an dieser Stelle kommen. Die Lautsprecher von d&b hatten zusätzlich noch einen steilen Anstieg in den Höhen.

In Abbildung 28 sieht man, dass in der grünen Kurve auch eine weitere Phasendrehung hinzukam. Diese ist wahrscheinlich auch so ein Problem wie bei d&b bei der 20m-Messung. In den Höhen jedoch, hat sie sich über alle Messpunkte nicht viel geändert. Ab 4kHz war die grüne Kurve nahezu linear, was einem optimalen Phasengang nahekommt.

### **Messungsdurchgang Zwei / Gerade bei 1,80m**

Beim zweiten Messdurchgang wurden die Systeme auf 1,80m zwischen dem ersten und dem zweiten Topteil von unten gefahren. Diese Höhe war gut, um das Messmikrofon immer zwischen diese beiden Lautsprecher auszurichten (Abb. 33).



*Abbildung 33 Messungsdurchgang Zwei*

Bei den Abbildungen 29 und 30 sind die Messungen auf einem-Meter-Abstand entstanden.

In Abbildung 29 sieht man eine deutliche Phasendrehung bei 67Hz. Das ist die Tuningfrequenz, auf die die LR18 Lautsprecher abgestimmt sind. Hier verliefen alle drei Kurven in Phase ohne großen Versatz. Außerdem erkennt man die Trennung der Tieftöner zur Mittel-Hochtoneinheit bei 350 Hz. Ab ca. 1kHz verliefen die Kurven auseinander. Der Grund dafür ist, dass das Line Array im Gesamten noch leicht schräg war. Dadurch entstand wieder eine kleine Differenz im Abstand zum Mikrofon. Das wurde in den hohen Frequenzen immer deutlicher, da mit steigender Frequenz auch die Wellenlängen immer kleiner werden und dann auch schon minimalste Unterschiede deutlich werden.

In Abbildung 30 erkennt man, dass bei dem d&b Audiotechnik System die Kurven bis 1kHz ohne großen Versatz zueinander verliefen. In den Höhen hat der V8 Lautsprecher aber einige Phasendrehungen und sehr steil verlaufende Kurven. Der Versatz der Kurven wurde auch mit zunehmender Frequenz deutlicher. Das sind wahrscheinlich bauliche Differenzen eines Kompressionstreibers in Verbindung mit einem Waveguide.

## **Impulsmessung**

In Abbildung 31 und 32 sieht man zwei Impulsantwortmessungen von jeweils zwei Lautsprechern. Die Frequenz von 16k Hz ist gewählt worden, um nur den Hochtontreiber der Systeme zu bewerten. Man konnte zwei wesentliche Unterschiede ausmachen. Erstens war das DSP von d&b Audiotechnik schneller als das von Alcons Audio. Dieser Unterschied entsteht in den Systemendstufen, die hier in dieser Arbeit aber nicht weiter beachtet werden sollten. Der zweite viel wichtigere Unterschied waren die Ausschwingphasen der Membranen. Diese sah man in den jeweiligen unteren Kurven auf den Abbildungen 31 und 32. Man erkennt deutlich, dass die Membran des Pros Ribbon Treiber viel schneller ist als die vom Kompressionstreiber. Das kann damit erklärt werden, dass die Membran eines Bändchen Lautsprechers, einer wie bei Alcons Audio, eine viel geringere und somit eine weniger träge Masse besitzt. Außerdem erkannte man, dass die Lautsprecher von Alcons Audio einen größeren Ausschlag als die von d&b zeigten.

## 6 Schlussbemerkungen

### Zusammenfassung

In dieser Arbeit sollten die Vor- und Nachteile eines Pro Ribbon Hochtontreibers im Vergleich zu einem Kompressionstreiber mit einer Hornapplikation untersucht werden. Dazu wurden in den Grundlagen, akustische Eigenschaften und Bauprinzipien erklärt (Kapitel 2). Kapitel 3 beschäftigte sich mit den beiden Lautsprechern, die in den Messungen mit einander verglichen wurden. In den Messungen (Kapitel 4) wurde mit Hilfe verschiedener Methoden klanglich hörbare Unterschiede gemessen und visualisiert. Anschließend wurden die Ergebnisse der Messungen diskutiert (Kapitel 5).

### Ergebnisse

In Kapitel 3 wurden beide Hochtontreiber genauer untersucht. Dabei stellte sich heraus, dass ein Kompressionstreiber mehrere Nachteile bautechnisch mit sich bringt. Zum Beispiel das es in den Kompressionskammern zu stehenden Wellen kommen kann. Durch die hohe Kompression entstehen sehr hohe Schalldrücke in der Kompressionskammer und im angebauten Horn/WaveGuide. Dabei wird die Luft nichtlinear und dadurch kommt es zu Strömungsgeräuschen und hohen Verzerrungswerten.

Ein Bändchen Lautsprecher hat folgende Nachteile: Das System ist niederohmig und benötigt einen vorgeschalteten Übertrager, der eine Impedanzanpassung durchführt. Außerdem benötigt ein Bändchen mehr Leistung, im Vergleich zu einem Kompressionstreiber, um gleiche Schalldrücke zu erzielen (Diskussion Kapitel 5).

Vorteil von einem Bändchen ist, dass es über die komplette Länge eine Zylinderwelle abstrahlt. Dies ist wichtig in der Großbeschallungstechnik mit Line-Arrays. Bei einem Kompressionstreiber muss eine physikalische Punktschallquelle mit WaveGuides zu einer Zylinderwelle geformt werden, was viele Hürden mit sich bringt.

Ein weiterer Vorteil eines Bändchens ist die niedrige Verzerrungsrate und die schnelle Impulsantwort (Kapitel 5).

Die Ankopplung der Lautsprecher untereinander gelang in diesem Vergleich Alcons Audio besser. Das sieht man an den Phasenmessungen aus Kapitel 4. Alcons Audio hat in den Höhen einen fast optimalen Phasengang.

Ein Nachteil ist, dass ein Pro Ribbon Treiber relativ große Maße hat. Dies nutzt Alcons Audio aber, um vor dem Mitteltöner eine Art Bandpassgehäuse zu erhalten.

**Fazit****Eingrenzung**

Es sind beide Systeme in verschiedenen Positionen gemessen wurden. Dabei sind hochwertiges Equipment und wissenschaftliche Methoden verwendet wurden. Für eine klare Aussage reicht dies jedoch nicht aus. Dazu müssten weitere Untersuchungen durchgeführt werden. Doch selbst eine große Anzahl an Tests würde noch keine allgemeine Aussage zulassen. Die Entscheidung darüber welches System am Ende besser klingt soll hier nicht getroffen werden und sollte der subjektiven Meinung des Hörers überlassen werden. Die Anwendung sollte auch durch ausreichend geschultes Personal erfolgen, da die einfache Handhabung des Systems allein noch keinen guten Klang garantiert. Hochwertige Komponenten erleichtern die Arbeit bzw. verringern den Aufwand. Erst der richtige Einsatz des Equipments durch gutes Personal lässt jedoch eine Beschallung bei Veranstaltungen gelingen.

**Schlusswort**

Bei dieser Bachelorarbeit wurden viele wichtige Aspekte eines Lautsprechers untersucht. Es sind auch Aussagen getroffen wurden, die Vor- und Nachteile der zwei unterschiedlichen Systeme aufdecken. Jedoch muss gesagt werden, dass beide Lautsprechersysteme sehr gut und hochwertig sind. Der Unterschied der Komponenten ist deutlich herausgearbeitet wurden, jedoch können beide Systeme beschallen. Bei der Planung einer Beschallung sollten die Vor- und Nachteile der Lautsprecher beachtet werden, um deren zielgerichteten Einsatz zu gewährleisten.

---

# Literaturverzeichnis

## Buch

1.1 Pieper, Frank: das P.A. Handbuch, 5. überarbeitete Auflage, 2016 München

1.2 Dickreiter, Michael: Handbuch der Tonstudioteknik, Band 1, 6. Auflage, K.G. Saur München, München 1997

1.3 Dickreiter, Michael: Handbuch der Tonstudioteknik, Band 2, 6. Auflage, K.G. Saur München, München 1997

1.4 Weinzierl, Stefan: Handbuch der Audiotechnik, Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2008

## Hochschulschriften

2.1 Holtmeyer, Volker Dipl.-Ing., IFBOCON, Mysterium Line-Array – Mode oder Trend?, CAVIS 05.03.2003, <http://www.volkerholtmeyer.de/publikationen/CAVIS-2003-VH-Line-Array.pdf> , Datum des Abrufs 07.02.2019

## Fachzeitschriften

3.1 Goertz, Anselm: Production Partner, Artikel aus Ausgabe 04/2016

## Internet

4.1 Alcons Audio, LR18, <https://www.alconsaudio.com/product/lr18/>, Datum des Abrufs 15.12.2018

4.2 d&b Audiotechnik, V8, <https://www.dbaudio.com/global/de/produkte/serien/v-serie/v8/>, Datum des Abrufs 27.03.2019

# Anlagen

## Weitere Bilder von den Messungen

- Anhang 1 VoltCraft SoundLevelMeter
- Anhang 2 Bild zur Veranschaulichung der Signalführung
- Anhang 3 ArrayCalc Berechnung des Line Arrays (d&b Audiotechnik)
- Anhand 4 EaseFocus Berechnung des Line Arrays (Alcons Audio)

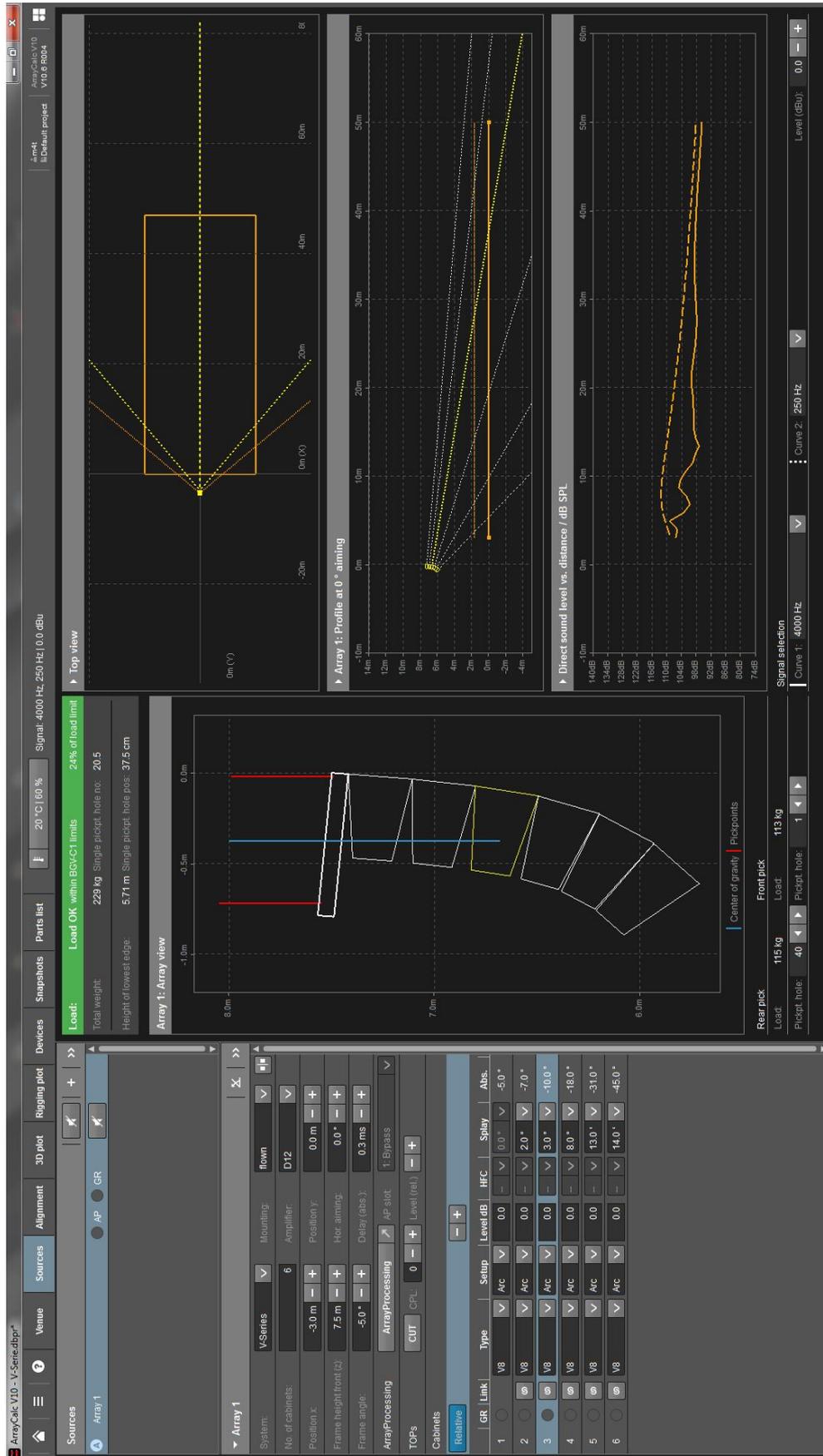
## Anhang 1



Anhang 2



Anhang 3





## Eigenständigkeitserklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und nur unter Verwendung der angegebenen Literatur und Hilfsmittel angefertigt habe. Stellen, die wörtlich oder sinngemäß aus Quellen entnommen wurden, sind als solche kenntlich gemacht. Diese Arbeit wurde in gleicher oder ähnlicher Form noch keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt.

---

Ort, Datum

Vorname Nachname