

Das Hybrid Audio Diffusion System (HADS) als Werkzeug zur Entwicklung des Virtuellen Wiener Akusmoniums

Dokumentation Phase I - Juli 22 bis Dezember 22

Forschende

Thomas Gorbach

Enrique Mendoza Mejia

• • • • T H E
• • A C O U S
• • M A T I C
P R O J E C T

Überblick

Das Ziel dieses künstlerischen Forschungsprojektes ist die Entwicklung des Virtuellen Wiener Akusmoniums. Ein System mit einer spezifischen Konfiguration von Lautsprechern und Kopfhörern in einem kreativen Workflow, sowie die Erstellung eines Testsystems zur Bewertung der Ergebnisse durch externe Anwender:innen. Durch die Entwicklungen während der ersten Arbeitsphase und der Analyse der ersten Testdaten konnten wir die Notwendigkeit einer genauen Definition der Anforderungen, Möglichkeiten und Einschränkungen sowie der Merkmale, Zuordnungen und des Feedbacksystems eines virtuellen Akusmoniums erkennen. Wir sind davon überzeugt, dass damit das räumliche Hör- und Vorstellungsvermögen, verbunden mit den akusmatischen Klangqualitäten signifikant verbessert werden kann. Somit entsteht ein ideales Trainingssystem für das räumliche Hören sowie die Kreation musikalischer Spatialisationskonzepte für akusmatische Musik. Des weitern wird die Möglichkeit der Integration definierter musikalischer Raumparameter in den Kompositionsprozess neuer Werke ermöglicht. Wir stellen dabei auch die Frage zur minimalen Ausführung des virtuellen Akusmoniums für das Homestudio und der maximalen Ausführung für den großen Konzertraum, sowie die Notwendigkeit spezifischer Hardwareentwicklung für das virtuelle Akusmonium.

Folgende Arbeitsschritte haben wir in der ersten Arbeitsphase durchgeführt.

1. Installation und Konfiguration der Forschungsumgebung im Praterstudio, 1020, Kurzbauergasse 6

Das im März 2022 eröffnete Praterstudio – Experimentalstudio für immersiv-multikanal Sound und akusmatische Komposition von The Acousmatic Project, konnten wir im Juli 2022 wie geplant mit zwei Lautsprecherarrays und zwei Subbässen zu einem 16.2 System ausbauen.

Es sind zwei Ringe zu acht Kanälen die übereinander angeordnet sind vorhanden. Ein Ring ist in Ohrhöhe angebracht und der zweite Ring an der Decke. Dazu sind zwei Subbässe im Raum vorne und hinter aufgestellt. Mit dieser Anordnung in Form eines Lautsprecherdomes kann der Klang dreidimensional (horizontal, vertikal, oszillierend, axial, tangential, oblique, circular, spiral und Mischformen dieser Formen) bewegt werden.

Das HADS-System ist mit ‚offenen‘ Kopfhörern ausgestattet. Dies ermöglicht das Hören von Klängen aus den Lautsprechern mit sehr geringer Filterung und als zusätzliche Lautsprecher werden sie in das System integriert. Je nach Konfiguration des gesamten Systems werden die Kopfhörer mit einem eigenem Audiokanal bespielt. Aufgrund ihrer ausgeprägten Transparenz ist diese Art der Kopfhörer für genaues Richtungshören geeignet.

Die Filter- und Amplitudenkalibrierung des Systems durch IR (Impulse Responses) erfolgte mit dem Referenzmikrofon DSP-mini und der REW-Software von John Mulcahy. Das Schallfeld des gesamten Systems soll nach Einstellung der Audiolevel und der Filterungen als ‚ausgeglichen‘ gemessen und wahrgenommen werden können. Alle Lautsprecher inklusive der Kopfhörer stellen nun ein 18.2 Audiosystem mit diskreten Audiokanälen zur Forschung bereit.

Siehe Appendix 1

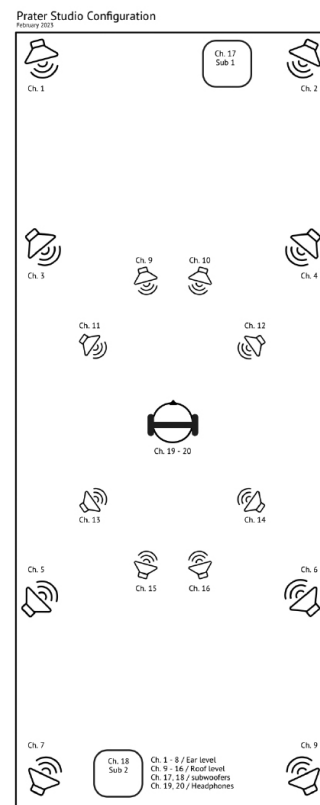


Abb. 1, Konfigurationsdiagramm des Praterstudios 16.2 Channels + Kopfhörer 18.2

2. Kreativer Workflow – diskrete, binaurale und ambisonische Kanalkonfiguration

Die spezielle Konfiguration des Audioroutings in der DAW (Digital Audio Workstation) ermöglicht einen Arbeitsablauf, der während des Komponierens als auch bei der Erstellung eines Spatialisationskonzepts und bei der Vorbereitung der MUSHRA Testfiles ein kohärentes, erweitertes 3D-Klangfeld bereitstellt und auch neu initiiert werden kann.

In einem iterativen Vorgehen kann zwischen der kompositorischen Arbeit und der Verräumlichung alterniert werden. So können Mono-Stereo- Binaurale oder Ambisonische Quellen mit der Modifikation einzelner Volumina der Lautsprecherkanäle oder mit Ambisonic Pannern kombiniert werden. Die Summe wird dann in den Ambisonic Bus der mit dem Speakerarray verbunden ist und in den Binauralen Bus der mit den Kopfhörern verbunden ist, gesendet. In dieser Konfiguration wird das gesamte System integriert. Der letzte Schritt besteht nun darin den Ambisonischen mit dem Binauralen Bus in der Lautstärke abzugleichen.

Der beschriebene kreative Workflow ist eine Schlüsselstelle in der Entwicklung des virtuellen Akusmoniums und muss in der Weiterarbeit noch genauer differenziert und modifiziert werden, um das angestrebte Ziel zu erreichen.

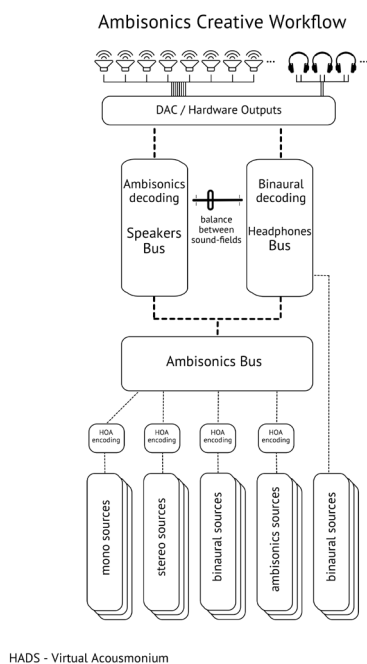


Abb. 2, Ambisonic creative workflow

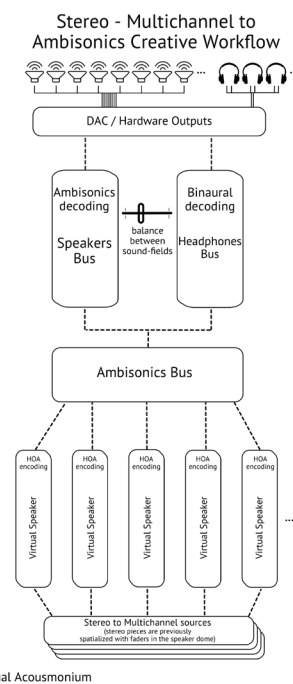


Abb. 3, discrete (stereo and multichannel) to ambisonics creative workflow

3. Die MUSHRA Testumgebung – eine Methode zur Qualifizierung der Testpersonen und des HADS Systems

Bei der MUSHRA Testung handelt es sich um eine Methode zur subjektiven Bewertung der Qualität von Audiosystemen. Es ist ein Multi-Stimulus-Test mit versteckten Referenzen (als Vergleichsdaten) und Anker (zur Testung der Testperson), womit nicht nur das System bewertet wird, sondern auch die Testpersonen als geeignete bzw. ungeeignete Teilnehmer:innen unterschieden werden. Diese Methode wurde von der Internationalen Fernmeldeunion ITU mit Sitz in Genf verifiziert und offiziell freigegeben.

Wir bewerten damit die subjektive Wahrnehmung zwischen dem egozentrischen und allozentrischen Klangfeld in Bezug auf definierte musikalische Verräumlichungsparameter. Damit erhalten wir Daten, die die subjektiven Eigenschaften des erweiterten immersiven Klangerlebnisses der Testpersonen beschreiben.

Ein wesentlicher Arbeitsschritt besteht nun darin, den Test mit spezifischen Klangbeispielen durchzuführen. Diese müssen die musikalisch-räumlichen Parameter besonders deutlich abbilden. Dazu haben wir Werkausschnitte mit einer Dauer zwischen 12 und 30 Sekunden aus dem akusmatischen Repertoire ausgewählt.

3.1 Ablauf einer Testung

Die Testung wurde immer in demselben Ablauf durchgeführt.

1. Die Testperson erhält keine Informationen zum Test oder der Testumgebung im Vorhinein. Sie betritt die Testumgebung.
2. Sie setzt sich an den Platz der Testung und erhält den Kopfhörer.
3. Die Verwendung des Test Tools wird erklärt.
4. Die Testperson hört nun eine Minute akusmatische Musik, wobei das gesamte System zum Einsatz kommt.
5. Bevor die Testung beginnt, wird die Person über die maximale Dauer von 30 Minuten für den gesamten Testdurchlauf informiert.
6. Weiter wird darauf hingewiesen, dass im Falle einer neutralen Bewertung der eingestellte Wert (null) nicht verändert werden soll.
7. Weiters wird die Person darauf hingewiesen, dass es sich um eine subjektive Bewertung handelt und sie deswegen auch keine ‚falsche‘ Bewertung abgeben kann und im Zweifelsfall entweder mit ‚null‘ oder ‚geschätzt‘ bewerten kann.

3.2 Beschreibung des MUSHRA Test Tools

Gemäß der MUSHRA Empfehlung müssen die Testfiles in unterschiedlichen Mehrkanalformaten und in unterschiedlichen Bearbeitungen vorliegen. Zur Durchführung der Tests wurde ein spezielles Computerprogramm geschrieben, welches diese Formate abspielen kann.

Zur Beurteilung wird eine kontinuierliche Qualitätsskala von 0 bis 100 (schlecht bis ausgezeichnet) zum Vergleich zur Verfügung gestellt. Die Datenerhebung kann nun durchgeführt und die Ergebnisse in einem Datensatz zur Auswertung gespeichert werden.



Abb. 4, User Interface zum Testprogramm des MUSHRA Tests



Abb. 5, Konfigurationsfenster für den MUSHRA Test. Hier kann der Name des bewerteten Raumparameters, der Name des Prüfers, die Auswahl und das Laden des Testsignals sowie die Kalibrierung des Amplitudenverhältnisses zwischen dem binauralen und dem Ambisonen Testfile eingestellt werden.

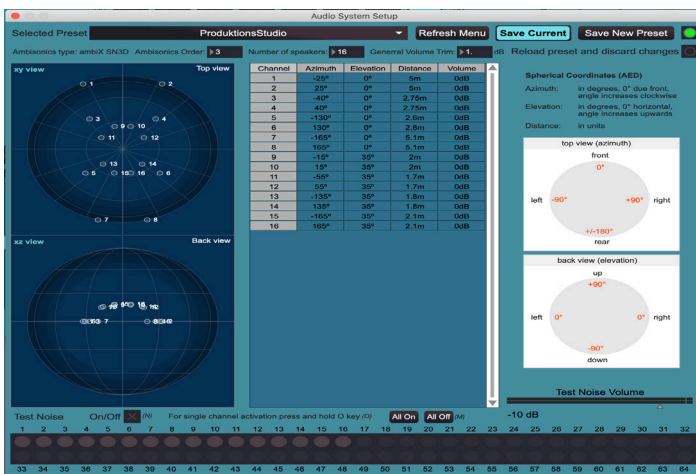


Abb. 6, Fenster zur Konfiguration des Audiosystems. In diesem Fenster wird die Lautsprecherkuppel für die Ambisonic-wiedergabe kalibriert. Mit der programmierten Software können Hörtests mit unterschiedlich konfigurierten Lautsprecherkuppeln durchgeführt werden.

3.3 Die Anzahl und Formate der Testdateien

Für jede Testdatei müssen siebzehn Signale erzeugt werden, die während den Tests verglichen werden. Acht Signale sind Ambisonische Dateien, weitere acht Signale sind Binaurale Dateien und eine nicht erklingende Monodatei dient als visuelles Feedback für die Testpersonen.

Gemäß der MUSRAH Empfehlung werden folgende Signale erstellt, um mit dem Referenzsignal verglichen zu werden.

- Referenzsignal
- drei beeinträchtigte Signale
- ein niedriger Anker
- ein versteckter mittlerer Anker
- eine versteckte Referenz

Die drei beeinträchtigten Signale dienen dazu, systematisch die klanglichen Qualitäten des HADS als Abhörsystem zu testen. Die restlichen Bearbeitungen des Testsignals dienen zur Überprüfung der Eignung der Testpersonen.

Signal	Content	Ambisonics File	Binaural File
Reference	Full bandwidth stimuli	Yes (File 1)	Yes (File 7)
Impaired Signal 1	Only headphones listening with speaker's sound field and room acoustics rendered to the binaural sound field.	No (File 2)	Yes (File 8)
Impaired Signal 2	Only headphones listening without rendering the speaker's sound field and room acoustics.	No (File 3)	Yes (File 9)
Impaired Signal 3	Only speakers without the binaural sound field.	Yes (File 4)	No (File 10)
Hidden low anchor	The Reference files with a low-pass filter. (cut-off frequency at 1.750 Hz. with 24/oct slope)	Yes (File 5)	Yes (File 11)
Hidden mid anchor	The Reference files with a low-pass filter. (cut-off frequency at 3.5 kHz. With 24/oct slope)	Yes (File 6)	Yes (File 12)
Hidden Reference	Full bandwidth stimuli	Yes (same file as Reference)	Yes (same file as Reference)
Graphic (File 13)	Mix collapsed in mono to be only used as graphic.	No	No

Tabelle 1, Beschreibung des Inhalts und der Beeinträchtigungen der einzelnen Testsignale.

Die Analyse der gesammelten Daten erfolgt anhand eines parametrischen statistischen Modells zur Gewinnung der Medianwerte. Diese Informationen geben uns Aufschluss über die räumlichen Qualitäten des Systems.

Das Mushra-Testprogramm generiert aus den eingegebenen Daten der Testpersonen eine Textdatei mit den entsprechenden Werten. Diese werden im Weiteren statistisch ausgewertet.

```

Date: 27-1-2023
Time: 14:45
Test Subject: John Dow
Evaluated Parameter: Inside - Outside the Head
Tested Signal: Miniature_8
Test Results:
    Fader 1: 0
    Fader 2: 28
    Fader 3: 84
    Fader 4: 0
    Fader 5: 14
    Fader 6: 28
    Fader 7: Inactive
    Fader 8: Inactive
Loaded Signals:
    Fader 1: ImpSig2 VDA
    Fader 2: LowAnchor
    Fader 3: Hidden Reference
    Fader 4: ImpSig1 VDA
    Fader 5: ImpSig3 VDB
    Fader 6: MidAnchor
    Fader 7: Inactive
    Fader 8: Inactive
Audio System Preset Name: ProduktionsStudio
Audio System Configuration Data:
    Ambisonics Type: ambiX SN3D
    Ambisonics Order: 3
    Number of Speakers: 16
    General Volume Trim: 1.00dB
    Binaural Volume: -11.41dB
    Ambisonics Volume: -20.61dB
Channel  Azimuth  Elevation  Distance  Volume
1         -25.00°   0.00°     5.00m     0.00dB
2          25.00°   0.00°     5.00m     0.00dB
3        -40.00°   0.00°     2.75m     0.00dB
4          40.00°   0.00°     2.75m     0.00dB
5        -130.00°  0.00°     2.60m     0.00dB
6          130.00°  0.00°     2.60m     0.00dB
7        -165.00°  0.00°     5.10m     0.00dB
8          165.00°  0.00°     5.10m     0.00dB
9         -15.00°  35.00°     2.00m     0.00dB
10         15.00°  35.00°     2.00m     0.00dB
11        -55.00°  35.00°     1.70m     0.00dB
12         55.00°  35.00°     1.70m     0.00dB
13       -135.00°  35.00°     1.80m     0.00dB
14         135.00°  35.00°     1.80m     0.00dB
15       -165.00°  35.00°     2.10m     0.00dB
16         165.00°  35.00°     2.10m     0.00dB
Additional Information:
Speakers dB(c) SPL: 70
Headphones dB(c) SPL: 54
Number of Subs: 2
Binaural Config Patch Level: -5.500 dB
Ambisonics Config Patch Level: -13
    
```

Abb. 7, Beispiel für einen vom MUSHRA Testprogramm erstellte Datensatz einer Testperson und eines Raumparameters

4. Auswahl der drei musikalischen Raumparameter zur Testung

In unterschiedlichen Werken akusmatischer Musik haben wir drei musikalische Raumparameter identifiziert die mit dem HADS System deutlich erkennbare Klangraumbewegungen erzeugen. Dabei haben wir bei der Aufarbeitung der Klangausschnitte als Testfiles, nicht in die schon vorhandene Verräumlichung durch die Komponist:innen eingegriffen.

Dies bedeutet auch, dass wir in der momentanen Phase des Projekts, die dem System inhärenten Möglichkeiten zur Spatialisierung bzw. Interpretation der akusmatischen Werke nicht verwendet haben.

4.1 Immersivität

Dieser Parameter kann mit dem subjektiven Gefühl des Eingebunden-seins in das musikalische Geschehen umschrieben werden.

Dies beinhaltet sowohl die Intensität der Raumrichtungen als auch die Integration der Klangraumbewegungen von den Lautsprechern zu den Kopfhörern. Damit ist die Bewegung eines Klanges durch den eigenen Kopf bzw. eigenen Körper erlebbar. Aber auch die Bewegungen innerhalb des Lautsprecherkreises in Ohrhöhe zum oberen Kreis von Lautsprechern sind erkennbar.

4.2 Nähe / Ferne

Dieser Parameter unterscheidet zwischen Signalen, die entweder über die Lautsprecher oder über die Kopfhörer gespielt werden und/oder zwischen diesen zwei Quellen wechseln und somit den Aspekt Nähe / Ferne deutlich hervorheben.

Die Immersivität ist hier kaum wahrnehmbar und die Klangraumbewegungen sind stabil bis wenig aktiv.

4.3 Horizontal / Vertikal

Dieser Parameter unterscheidet Klänge die entweder auf einer der horizontalen Ebenen (Kreis & Kopfhörer in Ohrhöhe oder Lautsprecherkreis an der Decke) oder von einer zur anderen Ebene sich bewegen und die vertikale Raumachsen betonen. Dabei spielen der Frequenzverlauf und die Art der Granularität im morphologischen Verlauf der Musik eine bedeutende Rolle.

5. Bewertung der Testergebnisse

Mit den Hörtests werden die räumlichen Eigenschaften von 3D-Schallfeldern gemessen, und das Ziel besteht darin, subjektive Daten für die Entwicklung eines Wahrnehmungsmodells zu sammeln.

Die aus der MUSHRA-Empfehlung entwickelte Methodik beinhaltet ein hypothetisch-deduktives Modell, die Definition unabhängiger und abhängiger Variablen, die Definition eines statistischen Modells mit statistischer Analyse und die Schlussfolgerungen und Dokumentation.

Wir haben zehn Testpersonen eingeladen, die die Tests nacheinander durchführten und im Durchschnitt 20 Minuten benötigten. Die Ausnahme war ein Teilnehmer, der nur den ersten Test durchführte. Eine Voraussetzung bei der Wahl der Testpersonen ist, dass sie bereits Mehrkanalerfahrungen gemacht haben mussten und mit den Begriffen und dem Vokabular zur Erklärung der Tests, den räumlichen Attributen und der Verwendung des MUSHRA-Tools vertraut sein mussten.

Nachfolgend stellen wir die Ergebnisse zweier Hörtests vor, bei denen der wahrgenommene räumliche Eindruck der Klangereignisse bewertet wurde.

Die beiden getesteten musikalischen Raumparameter waren Immersivität und Nähe / Ferne.

5.1 Hörtest : Parameter : Immersivität

- Hypothese: Die Kombination von Ambisonischen 3D-Klangfeldern über das Lautsprecherarray und Binauralen 3D-Klangfeldern über offenen Kopfhörern verstärkt den Eindruck eines erweiterten immersiven 3D-Klangfelds.

- Prämisse: Sechs Testsignale mit unterschiedlichen Konfigurationen des Abhörsystems werden mit einer Referenz verglichen und bewertet. Die Ergebnisse sind die statistischen Darstellungen des subjektiv wahrgenommenen Eindrucks von Immersivität.

- Unabhängige Variablen: Testsignal, Abhörsysteme, Konfiguration des Studios, Kalibrierung der Geräte, Signalfluss der gesamten Audiokette (siehe oben).

- Abhängige Variable: zehn Testpersonen

- Kontrollvariable: der MUSHRA Test

- Statistisches Modell: Parametrische Statistische Analyse und Analyse der Varianz

	Hidden Reference	Impaired Signal 1	Impaired Signal 2	Impaired Signal 3	Mid Anchor	Low Anchor
Assessor 1	45	15	0	60	40	11
Assessor 2	45	21	14	50	44	50
Assessor 3	50	26	24	32	69	50
Assessor 4	50	26	21	50	39	33
Assessor 5	59	28	20	25	39	10
Assessor 6	66	29	21	70	50	36
Assessor 7	68	34	25	43	63	45
Assessor 8	71	41	27	69	74	78
Assessor 9	80	52	10	41	37	27
Assessor 10	90	56	41	50	35	16

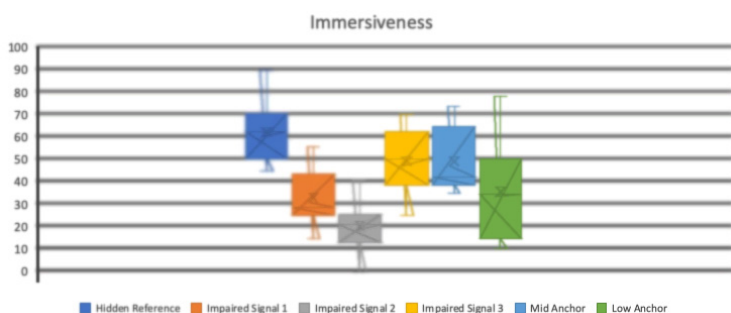
Tab 2, Zusammenfassung der Bewertungen

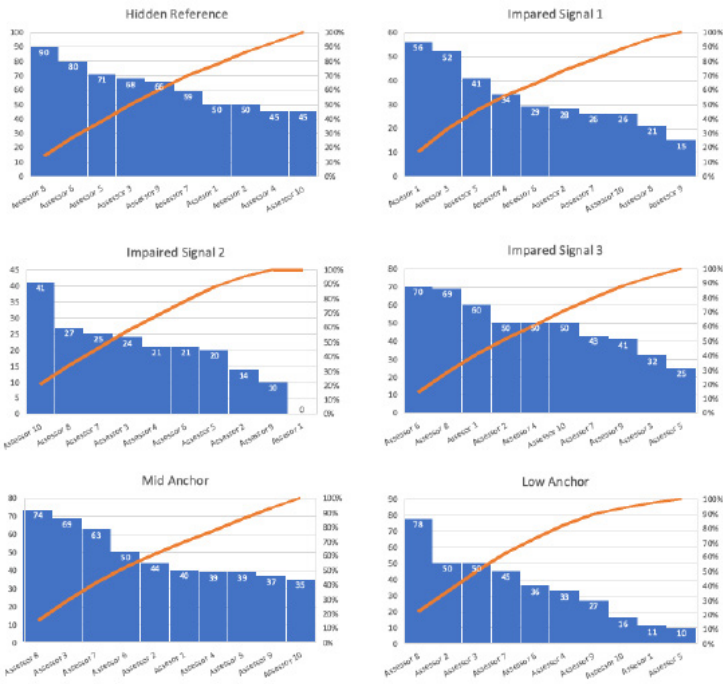
Descriptive Statistics						
	Hidden Reference	Impaired Signal 1	Impaired Signal 2	Impaired Signal 3	Mid Anchor	Low Anchor
Mean	62.4	32.8	20.3	49	49	35.6
Typical Error	4.8470	4.1655	3.4450	4.6308	4.5558	6.6886
Median	62.5	28.5	21	50	42	34.5
Mode	50	26	21	50	39	50
Standard Deviation	15.33	13.17	10.89	14.64	14.41	21.15
Variance	234.93	173.51	118.68	214.44	207.56	447.38
Kurtosis	0.73	0.32	1.38	0.59	0.92	0.32
Skewness	0.50	0.73	0.04	0.04	0.88	0.63
Range	45	41	41	45	39	68
Minimum	45	15	0	25	35	10
Maximum	90	56	41	70	74	78
Sum	624	328	203	490	490	356
Count	10	10	10	10	10	10

Platykurtic Platykurtic Leptokurtic Platykurtic Platykurtic Leptokurtic

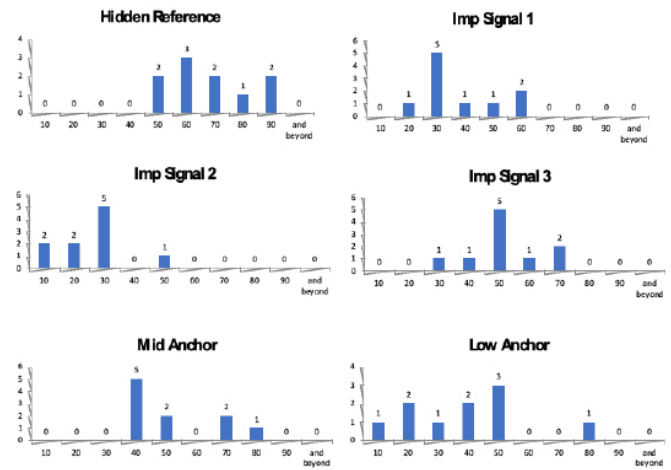
	Assessor 1	Assessor 2	Assessor 3	Assessor 4	Assessor 5	Assessor 6	Assessor 7	Assessor 8	Assessor 9	Assessor 10	Mean	Median	Standard Dev.
Hidden Reference	50	50	68	45	71	80	59	90	66	45	62.4	62.5	15.3
Impaired Signal 1	56	28	52	34	41	29	26	21	15	26	32.8	28.5	13.2
Impaired Signal 2	0	14	24	21	20	21	25	27	10	41	20.3	21.0	10.9
Impaired Signal 3	60	50	32	50	25	70	43	69	41	50	49.0	50.0	14.6
Mid Anchor	40	44	69	39	39	50	63	74	37	35	49.0	42.0	14.4
Low Anchor	11	50	50	33	10	36	45	78	27	16	35.6	34.5	21.2

Mean, median, and standard deviation calculation





Median and Pareto distribution



Class and frequency

SUMMARY	Count	Sum	Mean	Variance
Hidden Reference	10	624	62.40	234.93
Impaired Signal 1	10	328	32.80	173.51
Impaired Signal 2	10	203	20.30	118.68
Impaired Signal 3	10	490	49.00	214.44
Mid Anchor	10	490	49.00	207.56
Low Anchor	10	356	35.60	447.38

ANALYSIS OF VARIANCE

Origin of variance	Sum of the squares	Freedom degrees	Mean of the squares	F	Probability	Critical value for F
Test signals	11092.4833	5	2218.497	12.490	0.000	2.422
Error	7993.01667	45	177.623			
Total	23660.9833	59				

Result of Analysis of variance

Rejects H_0 The means are not equal

Which means that the ratings given to each of the coders are independent and it can be seen that the rating given to the Hidden Reference is higher than the rest.

ANOVA Analysis

5.2 Hörtest : Parameter : Nähe / Ferne

- Hypothese: Die Kombination von Ambisonischen 3D-Klangfeldern über das Lautsprecherarray und Binauralen 3D-Klangfeldern über offenen Kopfhörern verstärkt den Eindruck von Nähe und Ferne.

- Prämisse: Sechs Testsignale mit unterschiedlichen Konfigurationen des Abhörsystems werden mit einer Referenz verglichen und bewertet. Die Ergebnisse sind die statistischen Darstellungen des subjektiv wahrgenommenen Eindrucks von Nähe und Ferne.

- Unabhängige Variablen: Testsignal, Abhörsysteme, Konfiguration des Studios, Kalibrierung der Geräte, Signalfluss der gesamten Audiokette (siehe oben).

- Abhängige Variable: zehn Testpersonen

- Kontrollvariable: der MUSHRA Test

- Statistisches Modell: Parametrische Statistische Analyse und Analyse der Varianz

	Hidden Reference	Impaired Signal 1	Impaired Signal 2	Impaired Signal 3	Mid Anchor	Low Anchor
Assessor 1	58	0	11	60	22	7
Assessor 2	68	0	34	50	68	21
Assessor 3	77	35	50	20	64	50
Assessor 5	84	0	0	14	28	28
Assessor 6	50	70	40	45	60	20
Assessor 7	50	42	9	70	50	25
Assessor 8	82	9	10	71	78	50
Assessor 9	78	37	40	6	28	12
Assessor 10	47	5	0	50	61	54

Tab 2, Zusammenfassung der Bewertungen

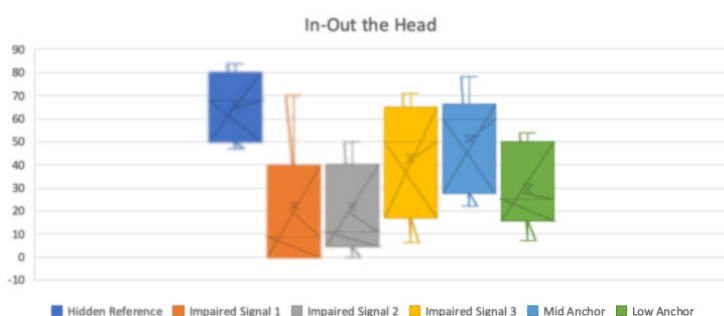
Descriptive Statistics	Hidden Reference	Impaired Signal 1	Impaired Signal 2	Impaired Signal 3	Mid Anchor	Low Anchor
Mean	67	24.75	22.875	40.75	54.625	32.5
Typical Error	5.532	8.928	7.135	8.776	6.439	5.763
Median	72.5	22	22	47.5	60.5	26.5
Mode	50	0	0	50	28	50
Standard Deviation	15.648	25.252	20.181	24.824	18.213	16.301
Variance	244.857	637.643	407.268	616.214	331.696	265.714
Kurtosis	-2.122	-0.449	-2.128	-1.523	-0.705	-1.873
Skewness	-0.358	0.695	0.061	-0.195	-0.676	0.354
Range	37	70	50	65	50	42
Minimum	47	0	0	6	28	12
Maximum	84	70	50	71	78	54
Sum	536	198	183	326	437	260
Count	8	8	8	8	8	8
Confidence Level	13.082	21.111	16.872	20.753	15.226	13.628

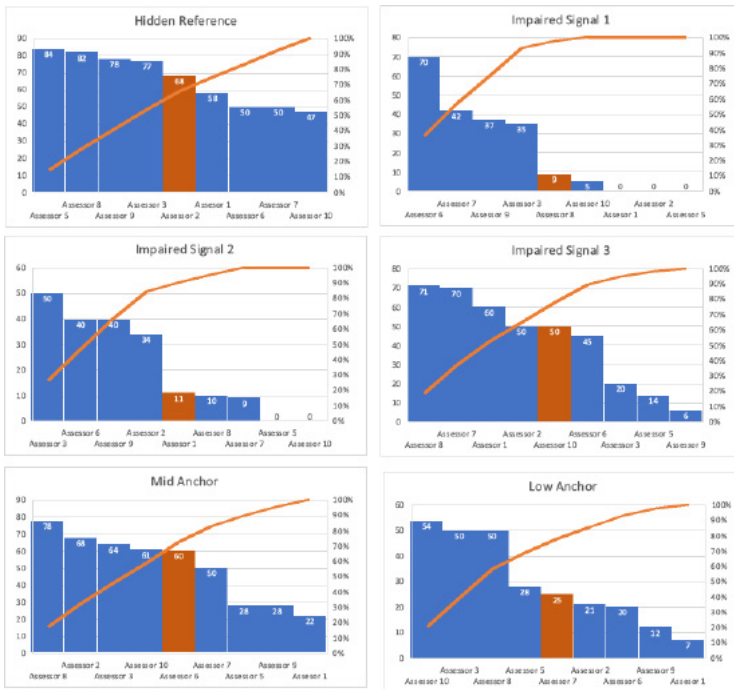
Platykurtic Platykurtic Platykurtic Platykurtic Platykurtic Platykurtic

Variables	Assessor 1	Assessor 2	Assessor 3	Assessor 5	Assessor 6	Assessor 7	Assessor 8	Assessor 9	Assessor 10	Mean	Median	Standard Dev.
Hidden Reference	58	68	77	84	50	50	82	78	47	66	68	14.9
Impaired Signal 1	0	0	35	0	70	42	9	37	5	22	9	25
Impaired Signal 2	11	34	50	0	40	9	10	40	0	22	11	19
Impaired Signal 3	60	50	20	14	45	70	71	6	50	43	50	24
Mid Anchor	22	68	64	28	60	50	78	28	61	51	60	20
Low Anchor	7	21	50	28	20	25	50	12	54	30	25	17

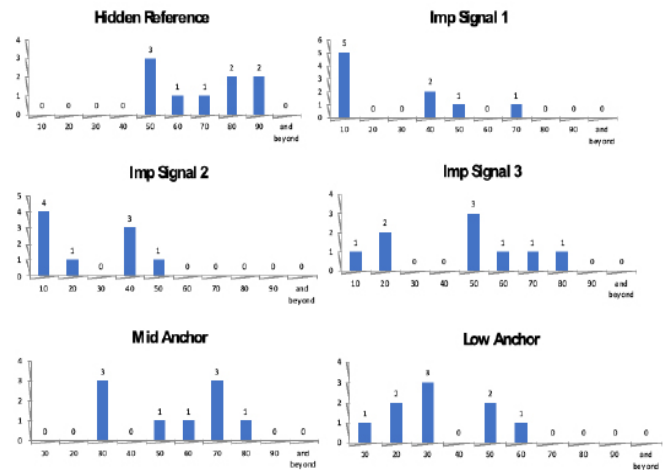
Assessor 4 didn't make the test.

Mean, median, and standard deviation calculation:





Median and Pareto distribution



Class and frequency

SUMMARY	Count	Sum	Mean	Variance
Hidden Reference	9	594	66.00	223.25
Impaired Signal 1	9	198	22.00	626.00
Impaired Signal 2	9	194	21.56	372.03
Impaired Signal 3	9	386	42.89	580.36
Mid Anchor	9	459	51.00	408.50
Low Anchor	9	267	29.67	304.75

ANALYSIS OF VARIANCE

Origin of variance	Sum of the squares	Freedom degrees	Mean of the squares	F	Probability	Critical value for F
Assessors	4090.1481	8	511.268519	1.27586175	0.283263799	2.18017045
Test signals	14115.704	5	2823.14074	7.04509892	8.34939E-05	2.44946643
Error	16028.963	40	400.724074			
Total	34234.815	53				

Result of Analysis of variance

Rejects H_0 The means are not equal

Which means that the ratings given to each of the coders are independent and it can be seen that the rating given to the Hidden Reference is higher than the rest.

ANOVA Analysis

Schlussfolgerung

Anhand des Box-Plots und der Median-Grafiken können wir sehen, dass die verborgene Referenz in beiden Tests fast die gleichen Mittel- und Medianwerte haben was bedeutet, dass es eine bessere Verteilung der Bewertungen der Testpersonen für diese Variable gibt.

Zusammen mit der Anova-Analyse können wir sagen, dass die Ergebnisse statistisch repräsentativ für die Präferenzen der Tester:innen sind, und wir können folgende Schlussfolgerungen ziehen:

Die Verwendung eines Mehrkanal-Lautsprecherarrays zusammen mit offenen Kopfhörern verstärkt den Eindruck der beiden musikalischen Raumparameter ‚Immersion‘ und ‚Nähe / Ferne‘.

Darüber hinaus wurde das HADS im Vergleich zu nur Ambisonischen oder nur Binauralen Schallfeldern sowie auch gegenüber den Ankern (Filterungen) bevorzugt.

Daraus können wir schließen, dass die Ausgangshypothese zutrifft.

6. Aktivitäten

6.9.2022 „Audiomostly 2022
a conference on interaction with sound“ St. Pölten.
Presentation of the abstract “Electroacoustic composition for Hybrid Audio Diffusion System (HADS)” at the All Around Audio Symposium.

9.9.2023 Präsentation & Workshop
Anton Bruckner Universität Linz : Sonic Lab
Digital Music Focus 2022 @ Ars Electronica 2022

“Perceiving augmented sound fields : the Hybrid Audio diffusion System” Immersive Sounds – External Worlds
Research student meeting

26.1.2023 Pilot Test, Praterstudio, 1020 Wien

27.1.2023 Hörtests mit 10 Teilnehmer:innen, Praterstudio, 1020 Wien

27.1.2023

Konzert mit dem HADS System
Praterstudio, Kurbauergasse 6, 1020 Wien
Werke von Annette Vande Gorne, François Bayle, Enrique Mendoza, Thomas Gorbach

28.2.2023 Präsentation & Workshop

Universität für Musik und darstellende Kunst Wien,
Klangtheater

“Perceiving augmented sound fields: the Hybrid Audio diffusion System”

7. Ergebnisse der ersten Arbeitsphase und Ausblick

Die Ergebnisse der ersten Arbeitsphase sind weitreichender als Anfangs gedacht. Viele Aspekte sind aufgetreten die zu einer genaueren Erforschung anregen.

Im Folgenden eine Auflistung der Aktivitäten und Forschungsergebnisse zum aktuellen Zeitpunkt.

- Im Praterstudio von TheAcousticProject konnten wir eine ideale Testumgebung einrichten. Die Räumlichkeiten sind ruhig und schallisoliert sowie akustisch gut optimiert.
- Das 18.2 System in der Kombination von offenen Kopfhörern und zwei Lautsprecherkreisen sowie die Hard- und Softwarekonfiguration erlauben die Durchführung spezifischer Klang- und Raumakustikmessungen sowie exakte Lautstärkenkalibrierung.
- Die Konfigurations- und Wiedergabemöglichkeiten des Systems ermöglichen die Verarbeitung, Kombination und Mischung von diskreten, binauralen und ambisonischen Fileformaten. Dadurch ergibt sich ein kreativer Workflow mit dem auf jeder dieser Ebenen je nach Anwendungsfall moduliert werden kann.
- Der MUSHRA Test konnte nach den ITU Vorgaben adaptiert werden und eine spezielle Software zur Durchführung der Test und zur Speicherung der gewonnenen Daten konnte programmiert werden.
- Der Aufbau und der Ablauf der Hörtest ist kohärent und die Auswertung der Ergebnisse hat die ursprünglich aufgestellte These, der subjektiv empfundenen höheren Qualität des HADS Systems durch zehn Probanden bestätigt.
Durch genaue Analyse unterschiedlicher akusmatischer Werke, haben wir drei Klangraumparameter extrahieren können die durch die Beschaffenheit des Systems besonders hervortreten. Diese sind Immersivität, Nähe und Ferne und Horizontal – Vertikales Hören.

Einige Aufgaben konnten wir nur bedingt durchführen.

- Der Parameter Horizontal-Vertikal konnte bei den Tests nicht beurteilt werden, da das anfänglich ausgewählte akusmatische Werk diesen Parameter zu wenig deutlich abgebildet hat. Dies war schon nach den ersten zwei Testhörer:innen, die sich verwirrt von der Fragestellung gezeigt hatten, sichtbar. Sie hatten damit die Testzeit deutlich überschritten.

- Die Frage bezüglich des minimalen und maximalen Systems konnte aus Zeitgründen nicht getestet und verifiziert werden. Dies benötigt eine neue Konfiguration des Systems und des MUSHRA Tests.

Wir nehmen an, dass bei deutlich-raumbezogener Kompositionsweise weniger Lautsprecher gebraucht werden um den Effekt der Räumlichkeit besser zu bewerten. Im Vergleich des Werks **Déplacement** von François Bayle mit dem Werk **VoxAllia II** von Annette Vande Gorne konnten wir diesen Unterschied bemerken.

Ausblick

Das Virtuelle Wiener Akusmonium war bisher eine Idee die ich, Thomas Gorbach, im Wissen über die Komplexität und der fehlenden Erfahrungen, nicht im ausreichenden Maße definieren konnte.

Mit dieser Arbeit, in der ersten Phase, sind wir in der Kombination mit dem HADS System von Enrique Mendoza einen wichtigen Schritt weiter. Das entwickelte 18.2 HADS System mit der MUSHRA Testmethode hat gezeigt, dass, aufgrund der gemachten Erfahrungen, eine genaue Definition der Anforderungen, der Möglichkeiten und Einschränkungen sowie der Steuerelemente, Zuordnungen und des Feedbacksystems im nächsten iterativen Schritt des Projekts durchgeführt werden kann.

- Bei der Durchführung der Tests wurden wir von den Testpersonen immer wieder nach einer Einschätzung ihrer räumlichen Hörfähigkeiten gefragt, da die räumliche Hörfähigkeit einer Testperson im Test integriert ist. Wir möchten also in der Folge der Frage nachgehen, ob mit dem Test eine qualitative Aussage über die räumliche Hörfähigkeit gemacht werden kann. Sollte diese möglich sein, wäre die Adaption des Tests möglich und es könnte auch eine räumliche Hörschulung konzipiert werden.
- Die Extrahierung der Klangraumparameter aus dem akusmatischen Repertoire möchten wir mit der Analyse weiterer Werke vorantreiben und noch weitere Parameter testen.
- Eine weitere Ausarbeitung des MUSHRA Tests zu einem anwendungsorientierten Design ist notwendig.
- Weitere Testungen zur minimalen und maximalen Größe des Systems sind erforderlich. Dies beinhaltet eine neu adaptierte Konfiguration der Hard- und Software im Studio sowie im kreativen Workflow.
- Im weiteren Verlauf möchten wir die Anzahl der Kopfhörer erhöhen, um die im Studio getesteten Ergebnisse mit einer größeren Anzahl von Konzertbesuchern und dem großen Akusmonium von TheAcousmaticProject zu ermöglichen. Dies bedingt auch die Umstellung der Kopfhörer auf Bluetoothbetrieb.

Appendix 1

Praterstudio calibration

Soundcard calibration: MADiface USB at -12dBFS

Info from REW calibration:

Input device: MADiface USB (23643452)

Input: MADiface USB (23643452)

Channel: Left

Output device: MADiface USB (23643452)

Output: MADiface USB (23643452)

Input RMS target: -12.0 dB

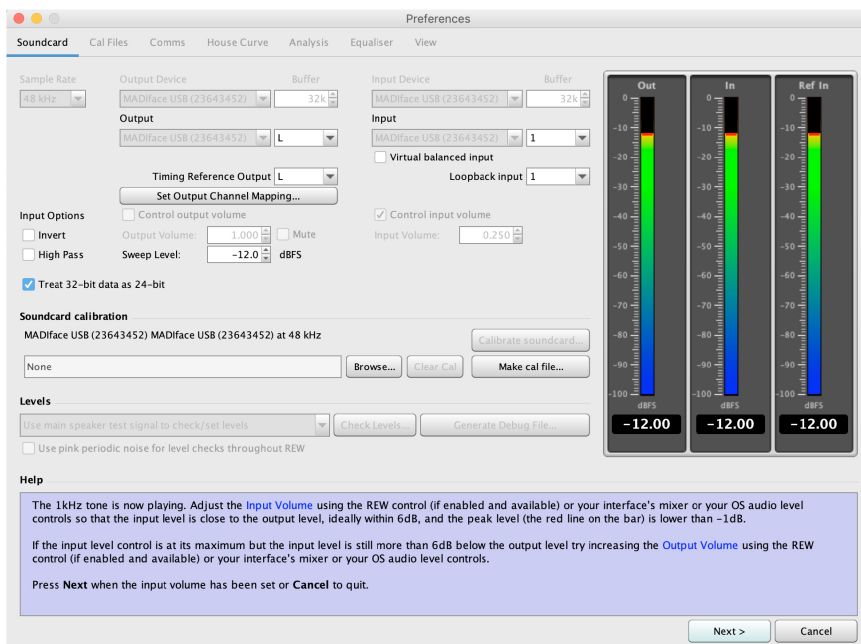
Actual RMS at 1 kHz: -18.0 dB

Sample rate: 48000 Hz

Input volume: no control, Sweep level: -12.0 dB

20 Hz .. 20 kHz flatness: +0.0, -0.2 dB

-3 dB points: 3.7 Hz, 23.457 kHz



Volume Calibration

Made with PinkNoise at -20dBFS to match 80dB SPL on each speaker

Measured with SPL dB(C) / SoundID Reference microphone on the sweet spot.

All calibration was made with the microphone in 90° axis

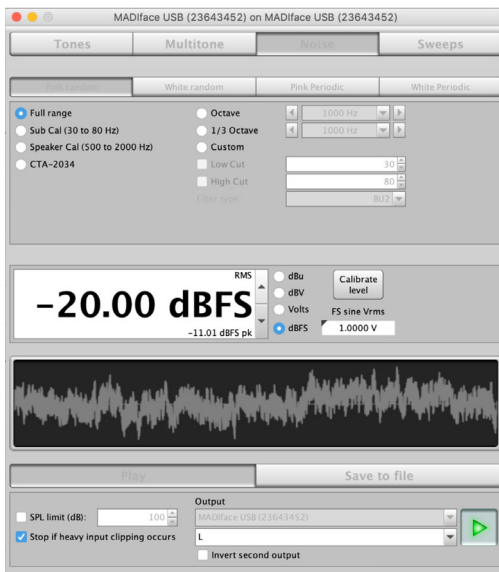
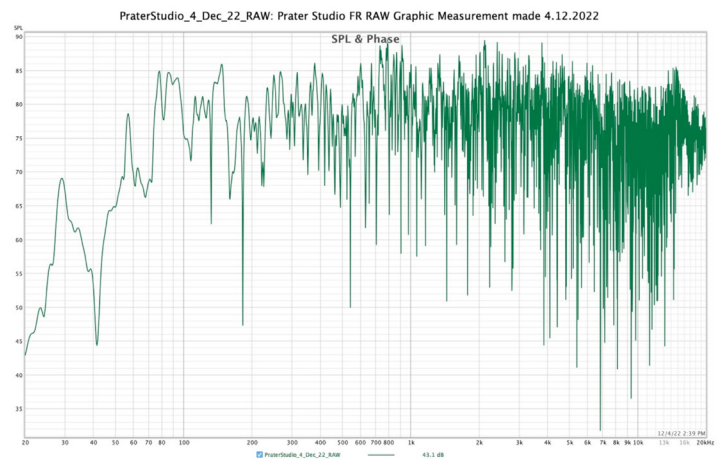
Speaker array measurement and calibration

Levels check at -27.3 dBFS / 82 dB SPL

Sweep at -12 dBFS



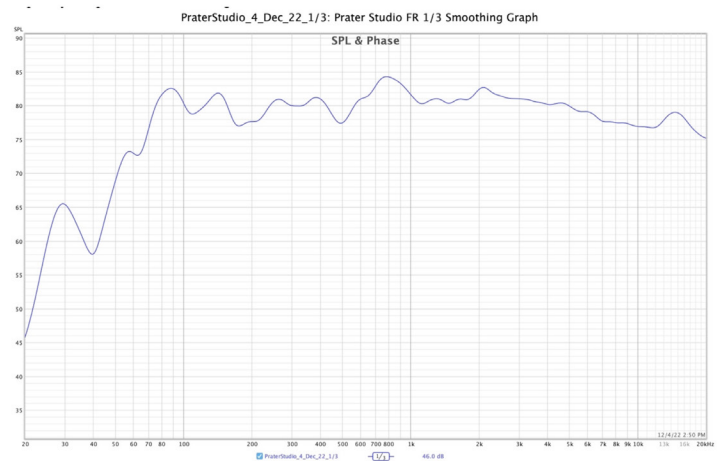
Frequency Response RAW Graph



Speaker array measurement and calibration

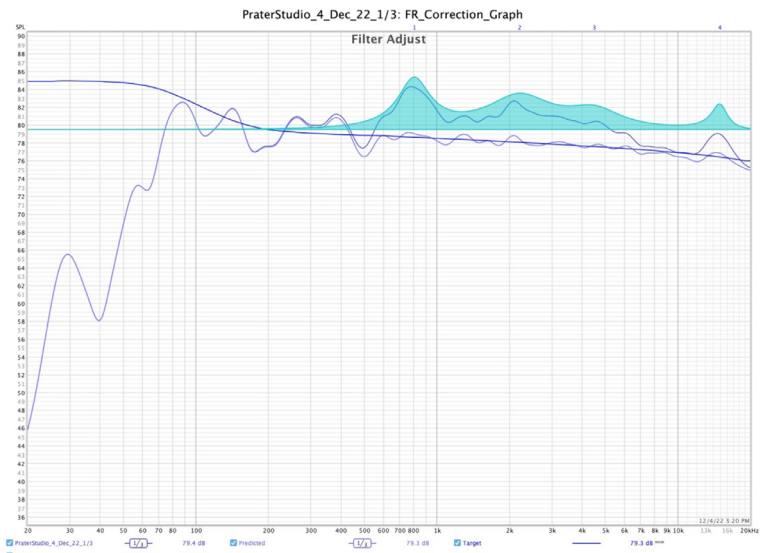
Levels check at -27.3 dBFS / 82 dB SPL

Sweep at -12 dBFS



Frequency Response 1/3 Smoothing

Frequency Response Correction Graph



The correction was made using the Harman graph as target.

Filters Information:

Filter Settings file

Room EQ V5.20.13

Dated: Dec 4, 2022 3:09:52 PM

Notes:FR_EQ_Correction_PraterStudio_4-12-2022

Equaliser: Generic

PraterStudio_4_Dec_22_1/3

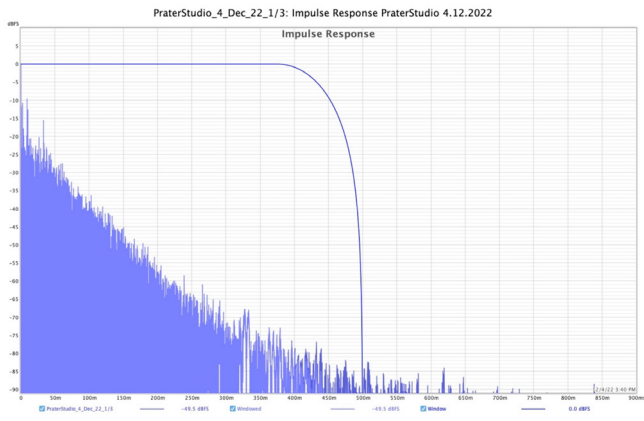
Filter 1: ON PK Fc 802.0 Hz Gain -5.50 dB Q 2.597

Filter 2: ON PK Fc 2192 Hz Gain -3.60 dB Q 1.301

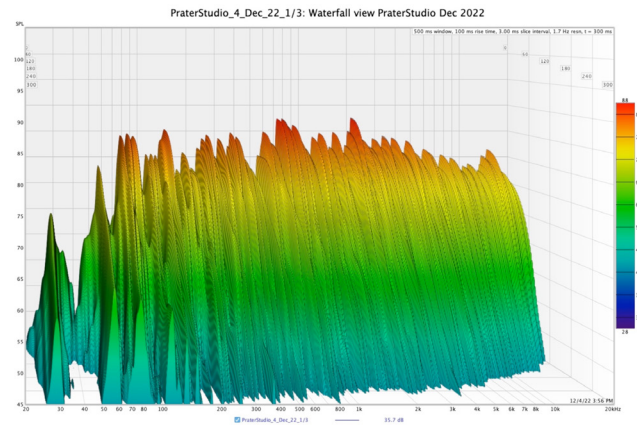
Filter 3: ON PK Fc 4493 Hz Gain -2.00 dB Q 1.488

Filter 4: ON PK Fc 14864 Hz Gain -2.80 dB Q 2.546

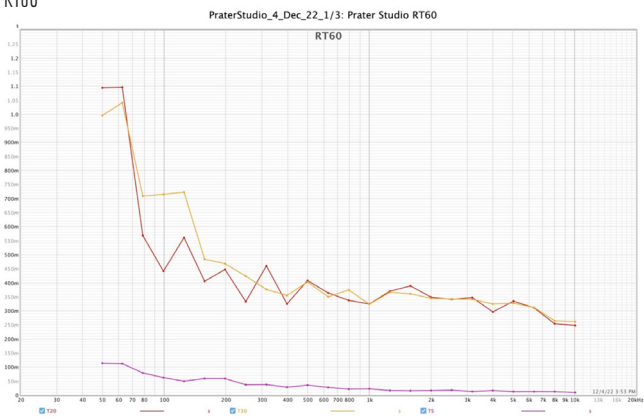
Impulse Response



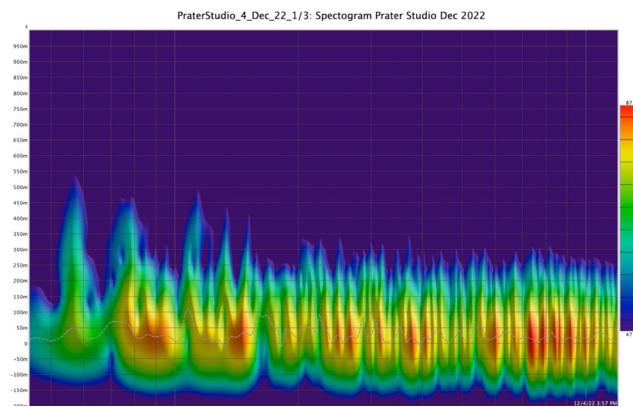
Waterfall



RT60



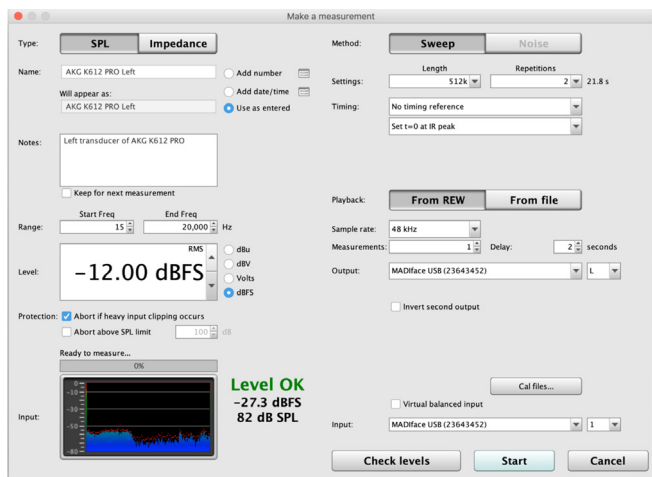
Spectrogram



Headphone's measurement and calibration

Headphones: AKG K612 PRO

Microphone: SoundID Reference / Measured at 0° with Cal file



Measurement

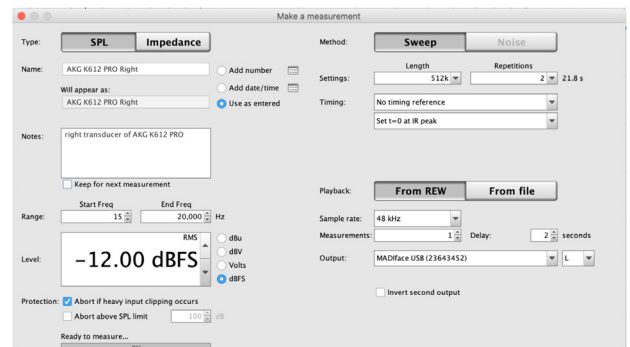
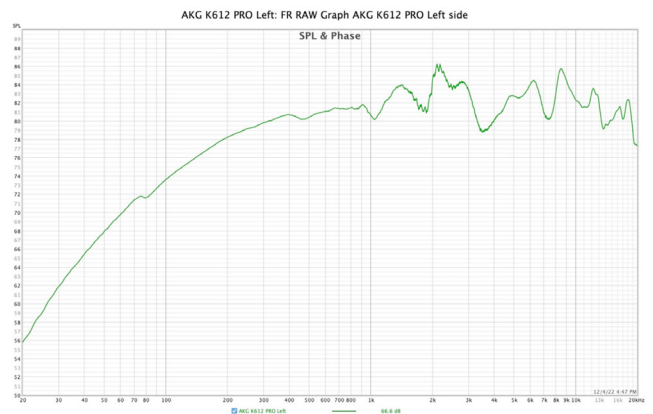
LEFT

Levels check at -27.3 dBFS / 82 dB SPL

Sweep at -12 dBFS

ART Headamp at 5

Frequency Response Left (RAW Graph)



RIGHT

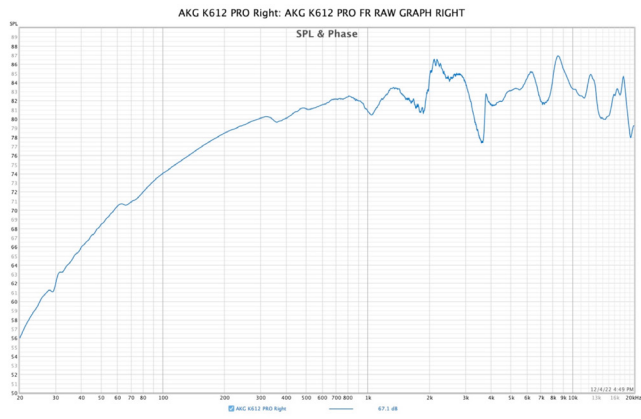
Levels check at -27.3 dBFS /

82 dB SPL

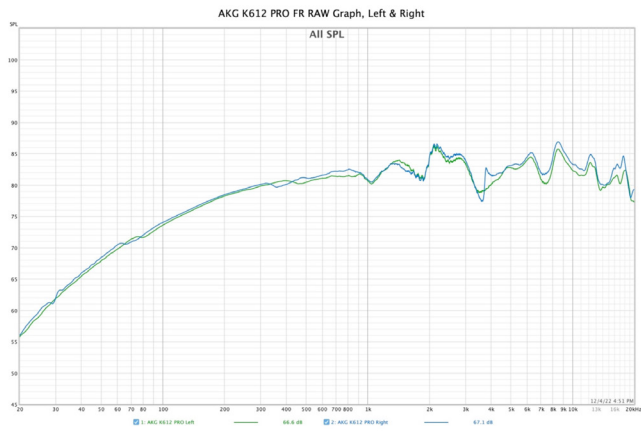
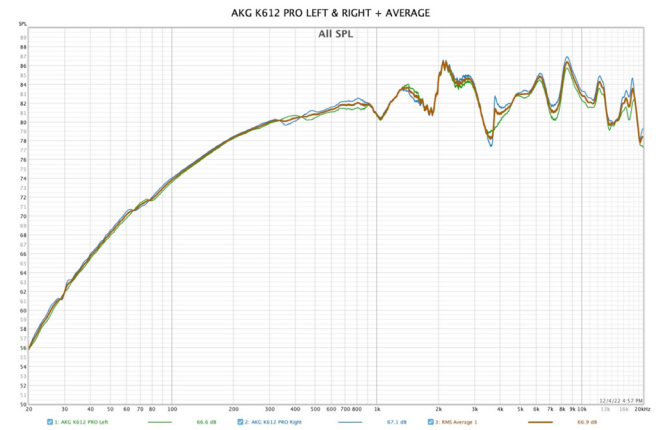
Sweep at -12 dBFS

ART Headamp at 5

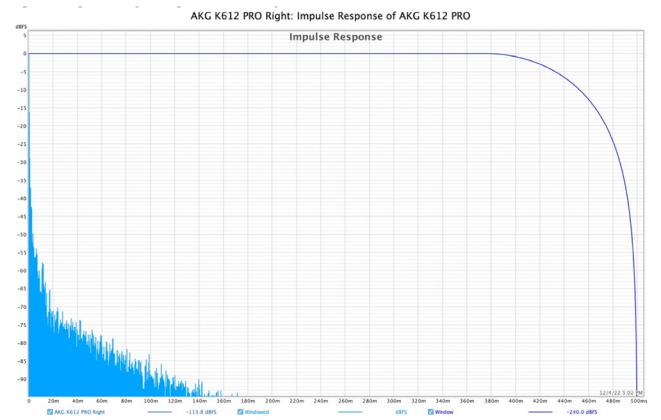
Frequency Response Right (RAW Graph)



Frequency Response Left + Right + Average (RAW Graph)

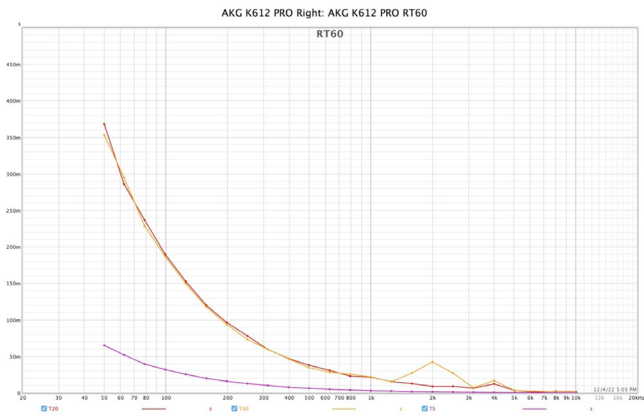


Frequency Response Left & Right (RAW Graph)

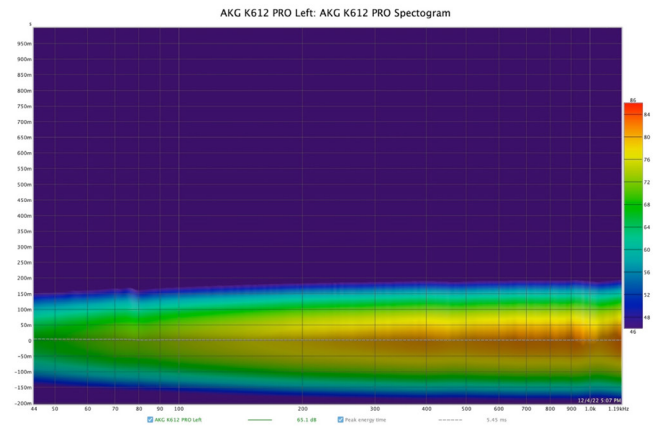


Impulse Response (Right Graph but Left & Right measured the same)

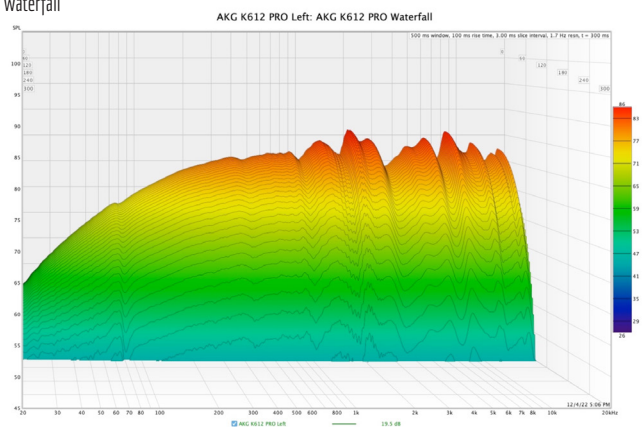
Impulse Response RT60 (Right Graph but Left & Right measured the same)



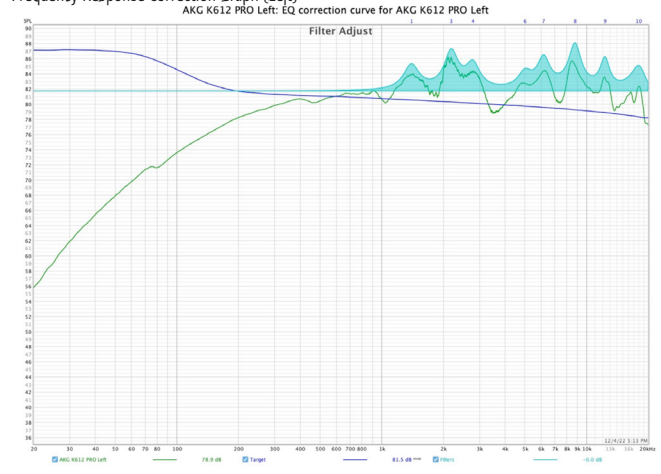
Spectrogram



Waterfall



Frequency Response Correction Graph (Left)



Filter Settings file

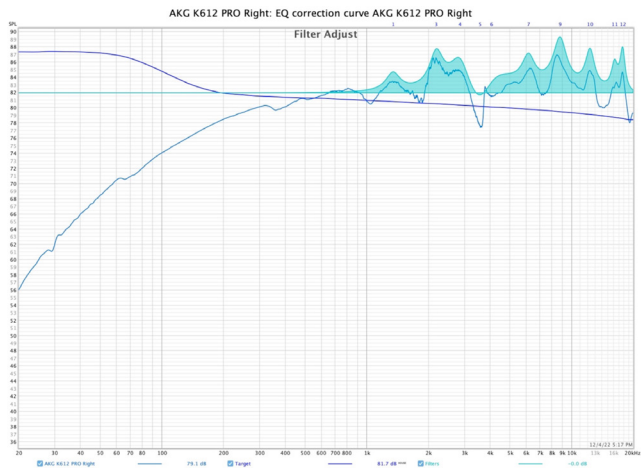
Room EQ V5.20.13
 Dated: Dec 4, 2022 5:10:40 PM

Notes: Correction EQ for AKG K612 PRO

Equaliser: Generic
 AKG K612 PRO Left

- Filter 1: ON PK Fc 1392 Hz Gain -3.30 dB Q 4.527
- Filter 2: ON PK Fc 1843 Hz Gain 0.00 dB Q 4.904
- Filter 3: ON PK Fc 2179 Hz Gain -4.90 dB Q 4.999
- Filter 4: ON PK Fc 2781 Hz Gain -3.20 dB Q 4.996
- Filter 5: ON PK Fc 4175 Hz Gain 0.00 dB Q 4.352
- Filter 6: ON PK Fc 4984 Hz Gain -2.00 dB Q 4.996
- Filter 7: ON PK Fc 6156 Hz Gain -3.90 dB Q 4.998
- Filter 8: ON PK Fc 8752 Hz Gain -5.80 dB Q 4.399
- Filter 9: ON PK Fc 12256 Hz Gain -3.80 dB Q 4.802
- Filter 10: ON PK Fc 17883 Hz Gain -3.30 dB Q 1.523

Frequency Response Correction Graph (Right)



Filter Settings file

Room EQ V5.20.13

Dated: Dec 4, 2022 5:19:20 PM

Notes:EQ correction curve for AKG K612 PRO Right

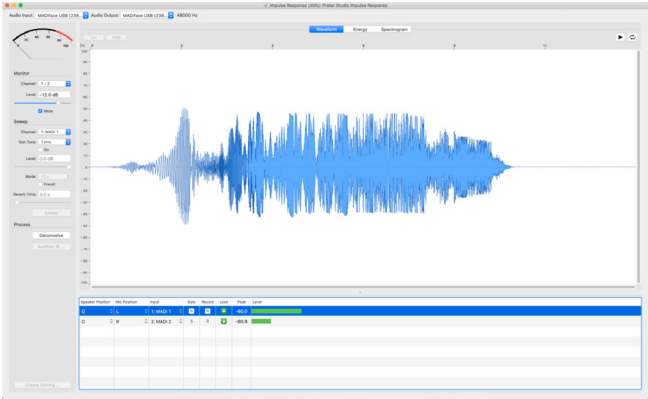
Equaliser: Generic

AKG K612 PRO Right

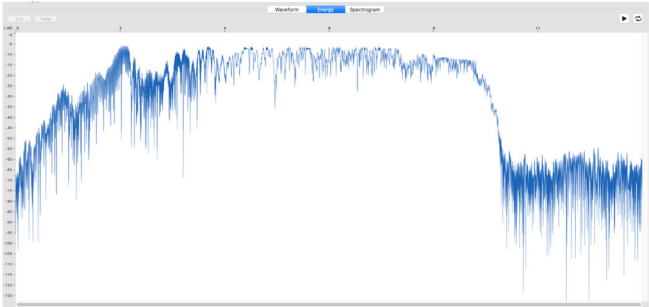
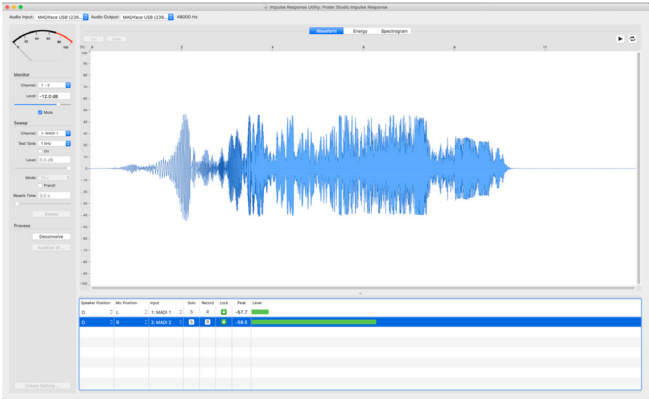
Filter	Type	Fc	Gain	Q
Filter 1:	ON PK	1340 Hz	-2.40 dB	4.921
Filter 2:	ON PK	1630 Hz	0.00 dB	4.905
Filter 3:	ON PK	2181 Hz	-4.70 dB	4.999
Filter 4:	ON PK	2843 Hz	-4.80 dB	3.412
Filter 5:	ON PK	3564 Hz	6.00 dB	2.191
Filter 6:	ON PK	4048 Hz	-4.70 dB	1.592
Filter 7:	ON PK	6145 Hz	-3.70 dB	4.904
Filter 8:	ON PK	7240 Hz	0.00 dB	4.903
Filter 9:	ON PK	8755 Hz	-6.60 dB	3.997
Filter 10:	ON PK	12274 Hz	-5.10 dB	4.702
Filter 11:	ON PK	16149 Hz	-3.20 dB	4.918
Filter 12:	ON PK	17704 Hz	-5.50 dB	4.438

Binaural Impulse Response of room acoustics
Software: Impulse Response Utility, Logic's Space Designer
Microphone: Roland Binaural Microphone CS-10EM

Sine sweep original
Impulse Response Waveform Left channel

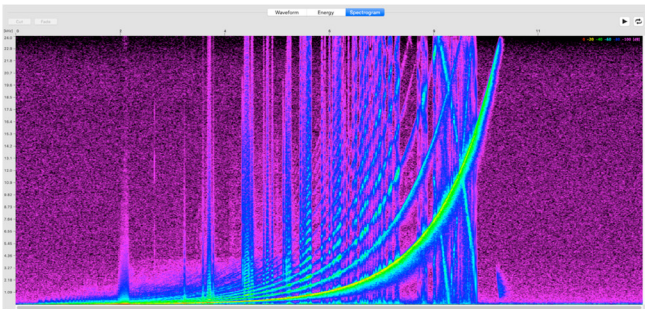


Impulse Response Waveform Right channel

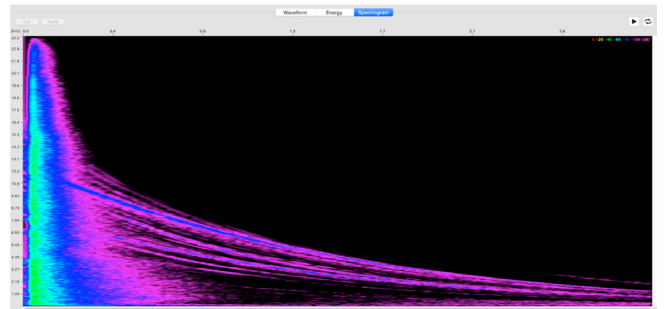


Energy (Left channel)

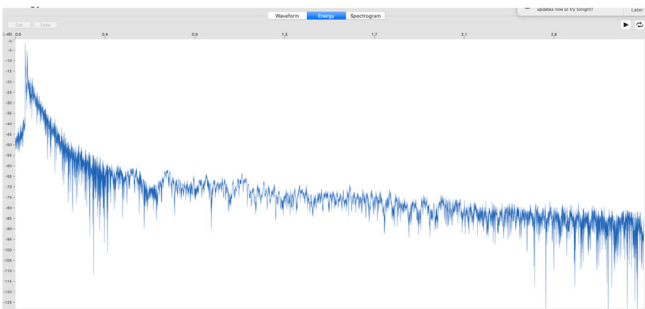
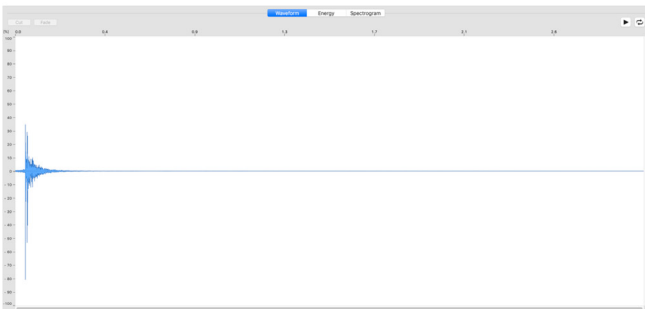
Spectrogram (Left channel)



Spectrogram



Deconvolved Impulse Response (from sine sweep) Waveform



Energy