
VR FREIFELD

Project Work

Saarland University of Applied Sciences
Faculty of Engineering

Submitted by : Dominik Limbach

Matriculation Number : 3662306

Course of Study : Biomedical Engineering

First Supervisor : Prof. Dr. Dr. Daniel J. Strauss

Second Supervisor : Dr. Lars Haab

Homburg, January 4, 2018

Copyright © 2018 Dominik Limbach, some rights reserved.

Permission is hereby granted, free of charge, to anyone obtaining a copy of this material, to freely copy and/or redistribute unchanged copies of this material according to the conditions of the Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives License 4.0 International. Any form of commercial use of this material - excerpt use in particular - requires the prior written consent of the author.



<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

Declaration

I hereby declare that I have authored this work independently, that I have not used other than the declared sources and resources, and that I have explicitly marked all material which has been quoted either literally or by content from the used sources. This work has neither been submitted to any audit institution nor been published in its current form.

Saarbrücken, January 4, 2018

Dominik Limbach

Contents

Declaration	3
1 Introduction	5
2 Problem Analysis and Goals	6
3 Materials and Methods	7
3.1 Versuchsaufbau	7
3.2 Versuchsablauf	10
3.2.1 Vorbereitung der Versuchsperson	10
3.2.2 Ablauf	10
3.3 Code	11
3.3.1 Matlab	11
3.3.2 Unity	14
4 Discussion	22
5 Conclusions and Future Work	23
Bibliography	24

1 Introduction

Der Präzedenzeffekt beschreibt die räumliche Zuordnung einer Schallquelle anhand der ersten Wellenfront die das Ohr erreicht. Dabei werden alle Folgeereignisse, die in einem gewissen Zeitbereich nach der ersten eintreffen ebenfalls der selben Richtung zugeordnet. Der Effekt tritt dann auf wenn zwei gleiche Schallereignisse mit einer Verzögerungszeit von 2-30 ms am Ohr ankommen und ist zudem abhängig vom Pegel der Folgeereignisse.¹² Solche Folgeereignisse sind zum großen Teil Reflexionen, die von den Wänden des Raumes zurückgeworfen werden. Reflexionen, die das Ohr nach einer zu langen Verzögerungszeit erreichen werden als Echo oder separates Schallereignis wahrgenommen.

Aus diesem Grund werden akustische Messungen, die die Lokalisation von Schallquellen betreffen, nicht selten unter Freifeld-Bedingungen durchgeführt. Um diese Bedingungen zu realisieren bedarf es einer umfangreichen Schallisolation des Messraums. Dieser Umstand verursacht zusätzliche Kosten und führt zu einer Beschränkung des Versuchsaufbaus.

Die virtuelle Realität bietet eine kostengünstige Möglichkeit verschiedenste Messbedingungen zu simulieren und damit wissenschaftliche Experimente durchzuführen.

Wie sich nun eine Freifeld-Umgebung zur Durchführung von akustischen Messungen in der virtuellen Realität realisieren lässt ist Thema dieser Projektarbeit.

¹siehe [1],S.140ff

²siehe [2],S.103ff

2 Problem Analysis and Goals

Bei akustischen Experimenten unter Freifeldbedingungen erfolgt die Präsentation der akustischen Signale in der Regel über Lautsprecher. Das Signal wird von der Versuchsperson entsprechend der Position des Lautsprechers im Raum wahrgenommen.

Im virtuellen Setup werden die akustischen Signale von einer virtuellen Quelle erzeugt, deren Position im virtuellen Raum der des realen Lautsprechers entspricht. Die Wiedergabe erfolgt jedoch in der Regel über einen Kopfhörer. Generell scheint ein Ton, der von einem Kopfhörer erzeugt wird, seinen Ursprung im Kopf zu haben.

Durch die Erzeugung eines virtuellen akustischen Raumes lässt sich die Anordnung der realen Schallquellen simulieren und somit eine räumliche Lokalisation der Schallquellen ermöglichen¹.

¹siehe [3]

3 Materials and Methods

3.1 Versuchsaufbau

Die Grundlage des Versuchsaufbaus ist der virtuelle Raum in dem sich die Versuchsperson während der Durchführung aufhalten wird. Die Erzeugung des virtuellen Umfelds wurde mit der Unity Software, Version 5.6 von der Firma Unity Technologies durchgeführt.

Das Grundgerüst des Raumes wird durch einen Würfel, mit drei Metern Kantenlänge und einer Wandstärke von einem Zentimeter gebildet. Sämtliche Raumboflächen wurden mit dem Standard Cube Mesh und einen Neutralen grauen Farbton versehen. Die Umgebung wird mittels vier identischer Lichtquellen beleuchtet. Diese sind vom Typ Spotlight und sind mit einem Winkel von plus neunzig Grad zu der Decke auf den Boden gerichtet. Um eine ausgeglichene Beleuchtung, ohne Überstrahlung, an den Kanten des Raumes zu gewährleisten befinden sich die Lichtquellen in einem Abstand von zwei Metern oberhalb der Raumdecke und ihre Intensität wurde auf achtzig Prozent eingestellt. Für den Benutzer werden die Lichtquellen durch vier Deckenlampen dargestellt.

Die Gestaltung wurde bewusst schlicht gehalten, da die Realitätsnähe nicht im Fokus des Experimentes liegt.

Das Setup für den Freifeldversuch, bestehend aus vier virtuellen Lautsprechern, einem virtuellen Mikrofon, einem visuellen Hinweis und einer zentralen Markierung für den Probanden auf dem Boden wurde im Mittelpunkt des virtuellen Raum implementiert.

Die Audioquellen, wurden in Form spezieller Game Objects innerhalb der Unity Umgebung realisiert. Diese sogenannten Audio Sources sind in der Lage einen beliebigen Audio Clip wiederzugeben¹. Um die Position jeder Audio Source im Raum erkennen zu können wurden diese jeweils mit dem 3D-Modell eines Lautsprechers verknüpft und auf einem kleinen Podest positioniert. Die vier Audioquellen befinden sich auf einer Kreisbahn um die Probanden Markierung mit einem Radius von zwei Metern.

¹siehe [4]

Die Positionen der vier Quellen lauten wie folgt:

- Links Lateral: -90°
- Links Frontal: -30°
- Rechts Frontal: $+30^\circ$
- Rechts Lateral: $+90^\circ$

Der Abstand der virtuellen Lautsprecher zum Boden beträgt 1,20 Meter.

Die Audioquellen sind mithilfe des audio spatializer plugin, welches direkt in Unity implementiert ist, in der Lage die Wiedergabe des Audio Clip so zu beeinflussen, dass dieser seiner Position im virtuellen Raum entsprechend wahrgenommen werden kann. Die Aktivierung dieser Funktion erfolgt über den Unity Audio Manager².

Dieser wurde wie folgt konfiguriert:

- Default Speaker Mode: Stereo
- System Sample Rate: 48000 Hz
- Spatializer Plugin: MS HRTF Spatializer

Die restlichen Einstellmöglichkeiten verbleiben auf den Standardwerten.

Darüber hinaus muss jede der erstellten Audioquellen entsprechend konfiguriert werden.

- Spatialize: On
- Volume: 1
- Stereo Pan: 0
- Spatial Blend: 1
- Spread: 0

An dieser Stelle wird dem Benutzer von Unity mittels der Volume Rolloff Einstellung die Möglichkeit geboten jede der oben genannten Parameter innerhalb des Einflussbereichs der Audioquelle, abhängig von der Entfernung des Hörers zur Quelle, zu beeinflussen.

²siehe [5]

Im Rahmen dieses Aufbaus wurde ein Custom Rolloff gewählt, welcher zu einer Dämpfung des Signals innerhalb eines Radius von acht Metern um die Quelle führt. Dies kann dem Probanden während des Versuch zusätzliche Informationen über seine Entfernung zu der jeweiligen Quelle geben. Die restlichen, der oben genannten Parameter, bleiben innerhalb des gesamten Einflussbereichs der Quelle unverändert.

Der von den Audioquellen abgespielte Audio Clip wird von einem virtuellen Mikrofon aufgezeichnet. Dieses Mikrofon ist in Form des Audio Listeners in der Unity Engine implementiert und ist nicht konfigurierbar. Das Mikrofon wurde als eine Komponente der Kopfkamera, der sogenannten camera(ears), angelegt. Somit wird jede Ausgabe der Audioquellen aus der Sicht des Trägers der VR-Brille wahrgenommen.

Der visuelle Hinweis wurde in Form eines grünen Pfeils implementiert. Dieser befindet sich an der Wand des virtuellen Raumes, welche sich hinter den Audioquellen befindet. Seine Position entspricht 0° auf der Kreisbahn und sein Abstand zum Boden beträgt 1,20 Meter.

Abschließend wurde das HTC Vive kalibriert, der Untersuchungsraum vermessen und ein Stuhl auf der Markierung platziert.

3.2 Versuchsaufbau

3.2.1 Vorbereitung der Versuchsperson

Nachdem die Versuchsperson über den Ablauf informiert wurde wird sie angewiesen sich zur Markierung zu begeben, Platz zu nehmen, die VR-Brille mit dem Kopfhörer aufzusetzen und entsprehen zu fixieren.

3.2.2 Ablauf

Zu Beginn des Experiments werden die Untersuchungsparameter durch den Versuchsleiter eingegeben. Über ein Matlab Programm, welches auch deren Eingabe verwaltet, wird das Wiedergabeprotokoll erstellt, die Untersuchungsdaten gespeichert und an Unity übergeben. Das Wiedergabeprotokoll wird entsprechend der eingegebenen Parameter automatisch erstellt. Für jedes wiederzugebende Signal wird eine zufällige Quelle zur Wiedergabe bestimmt.

Sobald das Protokoll erstellt und an Unity gesendet worden ist kann das Experiment gestartet werden.

Während des Experiments wird der Versuchsperson eine Folge von akustischen Signalen präsentiert. Der/Die Proband/in wird angewiesen nach jeder Signalwiedergabe die Richtung aus der das Signal wahrgenommen wurde anzugeben. Nachdem das Programm gestartet wurde wird der ausgewählte Audio Clip in einem fünf Sekunden Intervall von jeweils einer der vier Audioquellen wiedergegeben. Zu jeder Wiedergabe wird der Versuchsperson ein visueller Hinweis in Form einer Richtungsangabe durch einen grünen Pfeil in ihrem Sichtfeld dargeboten. Das Programm ist beendet, wenn die gewünschte Signalanzahl erreicht wurde.

3.3 Code

3.3.1 Matlab

```
1 % filename: freifeld.m
2 % Saarland University of Applied Sciences
3 % author: Dominik Limbach
4 % date: 01.11.2017
5 % description: program that reads the connection information
6 % from the target pc, establishes a tcp/ip connection, requests
7 % input (user data, exam parameter), creates a exam protokoll
8 % and then saves the data before sending it to the destination
9
10 clc;
11 clear;
12
13 % acquire connection information
14 txt = textread('configFF.txt','%s','delimiter','\n');
15 ipAdress = txt{1,1};
16 portNumber = str2num(['uint32(',txt{2,1},')']);
17
18 % create tcp object, set Port, assign Networkrole Client
19 tcpIpClient = tcpip(ipAdress,portNumber,'NetworkRole','Client')
20 ;
21
22 % input messages
23 lastname_prompt = 'Enter a last name. \n';
24 name_prompt = 'Enter a name. \n';
25 birthdate_prompt = 'Enter a birth date. (DD.MM.YYYY) \n';
26 examdate_prompt = 'Enter a date. (DD.MM.YYYY) \n';
27 arrow_prompt = 'Do you want the signal position and the sign
28 position to match? (yes = true , no = false)\n';
29 signal_prompt = 'How many repetitions would you like to run?
30 Please enter integer value.\n';
31 Error_prompt = 'Wrong input. Please enter a value of the correct
32 type.\n';
33
34 % number of available Speakerpositions
35 speakerPositions = 4;
36
37 % input: user information
38 last_name = input(lastname_prompt, 's');
```

```

36 name = input(name_prompt, 's');
37 date_birth = input(birthdate_prompt, 's');
38 date_exam = input(examdate_prompt, 's');
39
40 % break variable for the input check
41 ok = false;
42
43 while ok == false
44 % linked is the variable which defines the paradigm
45 % linked = true => audio position and sign position match
46 % linked = false => audio position and sign position dont match
47 linked = input(arrow_prompt);
48 if isa(linked, 'logical') == true
49     ok = true;
50 else
51     disp(Error_prompt)
52     disp(' ')
53     ok = false;
54 end
55 end
56
57 % break variable for the input check
58 ok = false;
59
60 while ok == false
61 % number of Signals per Set
62 numberSignals = input(signal_prompt);
63 if isa(numberSignals, 'numeric') && (numberSignals >= 1) == true
64     ok = true;
65 else
66     disp(Error_prompt)
67     disp(' ')
68     ok = false;
69 end
70 end
71
72 % initialize position arrays
73 arrowPosition = zeros(1, numberSignals);
74 audioPosition = zeros(1, numberSignals);
75 counter = 1;
76
77 while counter <= numberSignals
78
79 if linked == true

```

```

80     audioPosition(1,counter) = randi([0,(speakerPositions-1)
      ],1,1);
81     arrowPosition(1,counter) = audioPosition(1,counter);
82     counter = counter+1;
83 else
84     audioPosition(1,counter) = randi([0,(speakerPositions-1)
      ],1,1);
85     arrowPosition(1,counter) = randi([0,(speakerPositions-1)
      ],1,1);
86     counter = counter+1;
87 end
88 end
89
90 %save user_file
91 filename = 'auditoryExam.mat';
92 save(filename, 'last_name', 'name', 'date_birth', 'date_exam', '
      numberSignals', ...
93 'linked', 'audioPosition', 'arrowPosition');
94
95 % prepare data to send
96 data = [numberSignals ,audioPosition ,arrowPosition];
97 % open tcp object, send to target and close tcp object
98 fopen(tcpIpClient);
99 fwrite(tcpIpClient,data)
100 fclose(tcpIpClient);
101 % end of program

```

3.3.2 Unity

```
1 // filename: UnityServer.cs
2 // Saarland University of Applied Sciences
3 // author: Dominik Limbach
4 // date: 01.11.2017
5
6 // description: the program will read data from the stream
   and store crucial information into variables
7
8
9 using System.Collections;
10 using System.Collections.Generic;
11 using System.IO;
12 using System.Net.Sockets;
13 using System.Net.NetworkInformation;
14 using UnityEngine;
15 using System.Net;
16 using System;
17
18 public class UnityServer : MonoBehaviour
19 {
20     // Use this for initialization
21     TcpListener listener;
22     String msg;
23     // determines data size
24     byte[] data = new Byte[256];
25     // intialize exam parameter variables
26     public int numberSignals;
27     public Int32[] audioPositions;
28     public Int32[] arrowPositions;
29
30     private void Awake()
31     {
32         numberSignals = 5;
33         audioPositions = new Int32[numberSignals];
34         arrowPositions = new Int32[numberSignals];
35     }
36
37     void Start()
38     {
39         listener = new TcpListener(8633);
40         listener.Start();
41         print("Server is listening.");
```

```

42
43     }
44
45     // Update is called once per frame
46     void Update()
47     {
48         if (!listener.Pending())
49         {
50         }
51         else
52         {
53             print("Data received.");
54             TcpClient client = listener.AcceptTcpClient();
55             NetworkStream stream = client.GetStream();
56             StreamReader reader = new StreamReader(stream);
57             msg = reader.ReadToEnd();
58
59             // Store the received Data in data array
60             data = System.Text.Encoding.ASCII.GetBytes(msg);
61
62             // extract the number of signals per set
63             numberSignals = Convert.ToInt32(data[0]);
64
65             audioPositions = new Int32[numberSignals];
66             arrowPositions = new Int32[numberSignals];
67
68             // extract data from stream
69             for (int i = 0; i < numberSignals; i++)
70             {
71                 // extract the audio positions
72                 audioPositions[i] = Convert.ToInt32(data[i
73                     + 1]);
74                 // extract the arrow positions
75                 arrowPositions[i] = Convert.ToInt32(data[i
76                     + 1 + numberSignals]);
77             }
78         }
79     }

```

```

1  // filename: ArrayControl.cs
2  // Saarland University of Applied Sciences
3  // author: Dominik Limbach
4  // date: 01.11.2017
5
6  // description: the program controls the activation of
   both arrow and audio sources
7  // it will gather the protokoll information from the
   UnityServer script
8  // and execute the protokoll
9
10 using System;
11 using System.Collections;
12 using System.Collections.Generic;
13 using UnityEngine;
14
15 public class ArrayControl : MonoBehaviour
16 {
17     public AudioSource[] audioSource; // The array to
   contain the audiosources
18     public Vector3 arrowRotation; // Vector3 to control the
   arrow rotation
19     public float rotX; // Float variable which determines
   the angle of rotation on the Y-axis
20     public float[] angles; // Array that holds possible
   angles for the arrow rotation
21     public AudioClip sound; // Variable to hold the
   SoundClip
22     public Int32[] arrayAudio; // Array to import the Audio
   Position order in to
23     public Int32[] arrayArrow; // Array to impoert the
   Arrow Position Order in to
24     public int arraySize; // Defines size of arrayAudio and
   arrayArrow according to the imported numberSignals
25     private bool beeingHandled; // Bool for the subroutine
26     public int numberSpeakers; // Number of speakers
   available
27     public GameObject scriptObject; UnityServer
   getAudioPositions, getArrowPositions,
   getNumberSignals; // Variables for imported Variables
28
29     void Awake()
30     {
31         getAudioPositions =

```



```

        scriptObject.GetComponent<UnityServer>();
32     getArrowPositions =
        scriptObject.GetComponent<UnityServer>();
33     getNumberSignals =
        scriptObject.GetComponent<UnityServer>();
34 }
35
36 void Start()
37 {
38     // Load the five audiosources into the audioSource
        array
39     audioSource =
        GetComponentInChildren<AudioSource>();
40     // Initialize the angles array for arrow positioning
41     angles = new float[5];
42     angles[0] = 90.0f;
43     angles[1] = 45.0f;
44     angles[2] = 0.0f;
45     angles[3] = -45.0f;
46     angles[4] = -90.0f;
47
48     rotX = angles[2];
49     beeingHandled = false;
50 }
51
52 void Update()
53 {
54     arraySize = getNumberSignals.numberSignals;
55     arrayArrow = new Int32[arraySize];
56     arrayAudio = new Int32[arraySize];
57
58     for (int i = 0; i < arraySize; i++)
59     {
60         arrayAudio[i] =
            getAudioPositions.audioPositions[i];
61         arrayArrow[i] =
            getArrowPositions.arrowPositions[i];
62     }
63
64     if (Input.GetKey(KeyCode.Space) && beeingHandled ==
        false)
65     {
66         StartCoroutine(HandleIt());
67     }

```

```

68     }
69
70     private IEnumerator HandleIt()
71     {
72         beeingHandled = true;
73
74         for (int i = 0; i < arraySize; i++)
75         {
76             if (arrayAudio[i] == 0)
77             {
78                 if(arrayArrow[i] == arrayAudio[i])
79                 {
80                     rotX = angles[0];
81                     print("Audio from L90 , Arrow to L90");
82                 }
83                 else
84                 {
85                     int x = arrayArrow[i];
86                     rotX = angles[x];
87                     print("Audio from L90");
88                 }
89                 audioSource[0].PlayOneShot(sound);
90             }
91             if (arrayAudio[i] == 1)
92             {
93                 if (arrayArrow[i] == arrayAudio[i])
94                 {
95                     rotX = angles[1];
96                     print("Audio from L30 , Arrow to L30");
97                 }
98                 else
99                 {
100                     int x = arrayArrow[i];
101                     rotX = angles[x];
102                     print("Audio from L30");
103                 }
104                 audioSource[1].PlayOneShot(sound);
105             }
106             if (arrayAudio[i] == 2)
107             {
108                 if (arrayArrow[i] == arrayAudio[i])
109                 {
110                     rotX = angles[3];
111                     print("Audio from R30 , Arrow to R30");

```

```

112     }
113     else
114     {
115         int x = arrayArrow[i];
116         rotX = angles[x];
117         print("Audio from R30");
118     }
119     audioSource[2].PlayOneShot(sound);
120 }
121 if (arrayAudio[i] == 3)
122 {
123     if (arrayArrow[i] == arrayAudio[i])
124     {
125         rotX = angles[4];
126         print("Audio from R90 , Arrow to R90");
127     }
128     else
129     {
130         int x = arrayArrow[i];
131         rotX = angles[x];
132         print("Audio from R90");
133     }
134     audioSource[3].PlayOneShot(sound);
135 }
136     yield return new WaitForSeconds(5.0f);
137 }
138 beeingHandled = false;
139 print("Routine finished!");
140 }
141 }

```

```

1 // filename: ArrowControl.cs
2 // Saarland University of Applied Sciences
3 // author: Dominik Limbach
4 // date: 01.11.2017
5
6 // description: program will receive rotation information
  and apply it to the arrow
7
8 using System.Collections;
9 using System.Collections.Generic;
10 using UnityEngine;
11
12
13 public class ArrowControl : MonoBehaviour {
14
15     public GameObject scriptObject; ArrayControl
        getArrowRot;
16     public Transform arrowTransform;
17     public float arrowRotX;
18     Quaternion target;
19
20     private void Awake()
21     {
22         getArrowRot =
            scriptObject.GetComponent<ArrayControl>();
23         Quaternion target = Quaternion.Euler(0.0f, 0.0f,
            -90.0f);
24         arrowTransform.rotation = target;
25     }
26     void Start ()
27     {
28         arrowTransform = GetComponent<Transform>();
29     }
30
31     void Update ()
32     {
33         arrowRotX = getArrowRot.rotX;
34         target = Quaternion.Euler(arrowRotX, 0.0f, -90.0f);
35         arrowTransform.rotation = target;
36     }
37 }

```

```

1 // filename: SetHRTF.cs
2 // Saarland University of Applied Sciences
3 // author: Dominik Limbach
4 // date: 01.11.2017
5
6 // description: program defines HRTF parameters
7
8 using System.Collections;
9 using System.Collections.Generic;
10 using UnityEngine;
11
12 public class SetHRTF : MonoBehaviour
13 {
14     public enum ROOMSIZE { Small, Medium, Large, None };
15     public ROOMSIZE room = ROOMSIZE.Small;
16     public AudioSource audiosource;
17
18     void Awake()
19     {
20         audiosource =
21             this.gameObject.GetComponent<AudioSource>();
22         if (audiosource == null)
23         {
24             print("SetHRTFPARAMS needs an audio source to
25                 do anything.");
26             return;
27         }
28         audiosource.spatialize = true; // we DO want
29             spatialized audio
30         audiosource.spread = 0; // we dont want to reduce
31             our angle of hearing
32         audiosource.spatialBlend = 1; // we do want to
33             hear spatialized audio
34         audiosource.SetSpatializerFloat(1, (float)room);
35             // 1 is the roomsize param
36     }
37 }

```

4 Discussion

Da das System nicht an Versuchspersonen getestet wurde lässt sich die Fähigkeit des Systems, die akustischen Eigenschaften eines Freifeldes zu simulieren, nur subjektiv bewerten. Zwar ist die Leistung ausreichend um eine räumliche Lokalisation der Quellen im virtuellen Raum zu ermöglichen, jedoch ist keine Aussage über deren Präzision möglich. Ein direkter Qualitätsvergleich zwischen VR-Setup und einem Freifeld lässt sich mit diesem Versuchsaufbau nicht durchführen und ist folglich nicht untersucht worden.

Ein entsprechender Vergleich wurde jedoch schon von Griffin D. Romigh, Douglas S. Brungart und Brian D. Simpson durchgeführt ¹. Hier wurde ein Versuchsaufbau verwendet der es ermöglicht die Versuchsperson unter beiden Bedingungen zu testen und somit einen objektiven Vergleich zu ziehen.

Während der Entwicklung wurde das Experiment zusätzlich mit unterschiedlichen Audio-Ausgabegeräten durchgeführt. Dies führte zu Verbesserungen in der räumlichen Wahrnehmung. Die folgenden Varianten sind nach ihrer Qualität in steigender Reihenfolge angeordnet.

1. **HyperX Cloud II:** Kopfhörer, Over-Ear Headset, geschlossen
2. **Audio-Technica ATH-AD900X:** High-Fidelity Kopfhörer, offen
3. **FX Audio DAC-X6:** DAC/AMP, in Kombination mit den oben genannten Kopfhörern

Möglichkeit Nummer drei bietet zwar die beste Qualität aufgrund eines höheren Signal-Rausch-Abstandes ($\geq 105dB$) sowie einer besseren Kanalseparierung, bedarf jedoch zusätzlicher Adapter um das HTC-Vive mit einem DAC zu verbinden. Die beschränkte Länge von gängigen Adaptern (3.5mm Klinke auf USB) hat sich in Kombination mit der hier verwendeten Hardware als problematisch erwiesen.

¹siehe [6]

5 Conclusions and Future Work

Abschließend lässt sich sagen, dass mit einem VR-Setup zwar zufriedenstellende Ergebnisse zu erzielen sind. In der Realität ist es jedoch sehr schwer die Qualität eines konventionellen Aufbaus zu erreichen. Bei der Entscheidung für ein VR-Setup spielen vor allem niedrige Kosten, Ortsungebundenheit und Vielseitigkeit eine tragende Rolle.

Bestehen hohe Qualitätsansprüche bezüglich der räumlichen Lokalisation ist nach wie vor ein Freifeld Setup mit entsprechender Hardware zu bevorzugen.

Bibliography

- [1] A. Friesecke. *Die Audio-Enzyklopädie: Ein Nachschlagewerk für Tontechniker*. De Gruyter Reference. De Gruyter, 2014. ISBN 9783110340181. URL <https://books.google.de/books?id=iqboBQAAQBAJ>.
- [2] S. Weinzierl. *Handbuch der Audiotechnik*. VDI-Buch. Springer Berlin Heidelberg, 2009. ISBN 9783540343011. URL <https://books.google.de/books?id=Lf0mBAAAQBAJ>.
- [3] Zhan H. Zhou and Edward S. Rogers. Sound localization and virtual auditory space.
- [4] Unity user manual (2017.2), 2017. URL <https://docs.unity3d.com/Manual/class-AudioSource.html>.
- [5] Spatial sound in unity, 2017. URL https://developer.microsoft.com/en-us/windows/mixed-reality/spatial_sound_in_unity.
- [6] Griffin D. Romigh, Douglas S. Brungart, and Brian D. Simpson. Free-field localization performance with a head-tracked virtual auditory display. *IEEE JOURNAL OF SELECTED TOPICS IN SIGNAL PROCESSING*, 2015.