

Bitte deutlich leserlich ausfüllen!

Deckblatt einer wissenschaftlichen Bachelorarbeit

Vor- und Familienname	Matrikelnummer
Studienrichtung	Studienkennzahl

Thema der Arbeit:

.....
.....

Angefertigt in der Lehrveranstaltung:
(Name der Lehrveranstaltung)

Vorgelegt am:
(Datum)

Beurteilt durch:
(LeiterIn der Lehrveranstaltung)



Erklärung

Hiermit bestätige ich, dass mir der *Leitfaden für schriftliche Arbeiten an der KUG* bekannt ist und ich diese Richtlinien eingehalten habe.

Graz, den

.....
Unterschrift der Verfasserin / des Verfassers

Ambisonics Streambox

Bachelor Thesis

Patrick
Heidegger

Supervisor: Ao. Univ. Prof. DI Winfried Ritsch

Graz, October 29, 2019



institut für elektronische musik und akustik



Abstract

Capturing soundscapes has been gaining popularity in artworks as well as scientific studies during the past years. Streamboxes are used for recording off the grid and live monitoring of soundscapes. A Streambox is an autonomous device capable of capturing audio and streaming it to a server.

Present Streamboxes, however, are mostly designed for mono- or stereo-recording and hence incapable of capturing spatial audio. Thus, a 3D audio Streambox would increase the number of possible usecases in both scientific and artworks. Ambisonics is, because of its flexible recording- and playback setups, a suitable format to realize a 3D audio Streambox.

This thesis forms the groundwork for the design of an Ambisonics-Streambox. It describes the basic Ambisonics theory and provides assistance in selecting the hardware, scaling the power supply and designing the software.

Die Aufzeichnung von klanglichen Umgebungen (Klanglandschaften) erfreut sich sowohl in künstlerischen, als auch in wissenschaftlichen Gebieten immer größerer Beliebtheit. Zum Zweck des live - Monitorings, Tötigung von Aufzeichnungen über einen längeren Zeitraum und auch für den Einsatz abseits von Stromnetz und Zivilisation kommen dabei oftmals Streamboxen, autonome Geräte zur Aufzeichnung und Upstream von Audiosignalen, zum Einsatz.

Bisherige Streamboxen sind allerdings zumeist für Mono- oder Stereomikrofonierung ausgelegt. Eine 3D-Audio fähige Streambox würde sowohl in einigen künstlerischen, als auch wissenschaftlichen Einsatzgebieten eine Erweiterung der möglichen Einsatzgebiete mit sich bringen. Durch die Möglichkeit der Trennung von Aufnahme- und Wiedergabekonstellation und der damit einhergehenden Flexibilität stellt Ambisonics ein geeignetes Format zur Umsetzung dar.

Diese Arbeit soll durch Recherche den Grundstein für den Bau einer Ambisonics-Streambox legen. Dazu wird anhand der Theorie von Ambisonics die Vorteile und Einsatzgebiete erläutert und Hilfestellung zur Wahl von Hardware, Software und Stromversorgung geleistet.

Contents

1	Einleitung	5
2	Stand der Technik	6
3	Ambisonics	7
3.1	Ambisonics B-Format	7
3.2	Das Ambisonics A-Format Mikrofon	8
3.3	Dekodierung des B-Formates	9
3.3.1	Dekodierung für ein Lautsprecher Setup	9
3.3.2	Dekodierung für Kopfhörer	9
4	Benötigte Komponenten	10
5	Wetterfestigkeit	11
5.1	Schutzart	11
5.2	Temperatur	11
6	Hardware	13
6.1	Computer	13
6.2	Externe Audio Interfaces	13
6.3	Internetanbindung und GPS-Empfänger	14
6.4	Mikrofon	14
7	Stromversorgung	16
7.1	Maximum Power Point	16
7.2	Bestrahlungsstärke	16
7.3	Temperaturabhängigkeit	17
7.4	Ausrichtung des PV-Panels	18
7.5	Wahl von PV-Paneel und Controller	19

	4
7.6 Wahl der Batterie	19
7.7 Spannungswandler und Batteriewächter	20
7.8 Dimensionierung	20
8 Realisierung der Software	22
8.1 Betriebssystem	22
8.2 Pure Data	23
8.3 GStreamer	23
8.4 JACK Audio Connection Kit	25
9 Zusammenfassung und Ausblick	28
10 Literaturverzeichnis	29

1 Einleitung

Als Streambox wird ein Gerät bezeichnet, das der Aufnahme von Klangumgebungen als “Feldaufnahmen” (Fieldrecording) und der Übertragung und Speicherung dieser dient. Einsatzgebiete reichen von Kunstprojekten bis hin zu wissenschaftlichen Forschungsarbeiten, wie beispielsweise der akustischen Überwachung von Wäldern und Städten. Um einen Einsatz auch in abgelegeneren Orten zu ermöglichen sollten Streamboxen wetterfest sein und autonom betrieben werden können. Dazu werden diese mit einer eigenen Energieversorgung und der Möglichkeit der Internetanbindung realisiert.

Um den Audiostream einer Streambox zu veröffentlichen wird dieser häufig in eine Soundmap eingebunden. Soundmaps sind digitale Landkarten, bei denen der Fokus auf der Klangumgebung des jeweiligen Ortes liegt. Sie bieten dem Nutzer die Möglichkeit, zu ausgewählten Wegpunkten die zugehörige Klanglandschaft abzuhören.

Bislang sind Streamboxen häufig auf Mikrofonierung für Mono- oder Stereofonie ausgelegt, wodurch ein akkurates Abbilden der Klangumgebung nur sehr begrenzt möglich ist. Die Aufnahme und Übertragung in einem 3D-Audioformat erweitert diese zusätzlich um spatiale Informationen. So würden sich beispielsweise für die Einbindung in Projekte mit “Spatial Audio” anbieten und auch die Lokalisation der Schallquellen in der Klangumgebung ermöglichen.

In dieser Arbeit wird der Grundstein für den Bau einer Streambox mit Ambisonics als 3D-Audioformat gelegt. Es wird auf den Stand der Technik eingegangen und das Prinzip von Ambisonics beschrieben. Anschließend werden als Implementationsbeispiel benötigte Hardwarekomponenten und deren Anforderungen aufgelistet. Die Dimensionierung der Stromversorgung wird erörtert und Hilfestellung zur Wahl der Software geleistet. Beispielprogramme werden erstellt und getestet.

2 Stand der Technik

Es wurde eine Online-Recherche nach bereits existierenden Ambisonics-Streamboxen und Soundmaps zur Einbindung des Streams durchgeführt. Nach Abschlussarbeiten und Publikationen wurde auf den Webseiten der TU-Graz und der KUG, sowie in den Onlinebibliotheken der AES und IEEE gesucht. Auch wurden die Suchmaschinen Google Scholar, Google und DuckDuckGo herangezogen. Mehrere Personen und Institutionen wurden kontaktiert.

Es konnte keine existierende 3D-Audio Streambox und keine Ambisonics-Soundmap gefunden werden. Alle nennenswerten Ergebnisse der Suche sind in Folge aufgelistet.

Soundcamp

Neben mehreren Veranstaltungen und Workshops wird auf der Homepage eine Anleitung zum Selbstbau einer herkömmlichen Streambox mit vorgefertigter Software angeboten. Außerdem existiert eine Soundmap, welche in Zusammenarbeit mit dem Anbieter Locus Sonus betrieben wird. [29] [20]

Glasgow 3D Sound Map

Glasgow 3D Sound Map ist ein Ph.D Projekt der Glasgow Caledonian Universität und untersucht den Einsatz von binauralen Aufnahmen für die Aufnahme von Umgebungsräuschen. [10]

Radio Aporee

Radio Aporee stellt, die derzeit weltgrößte und mit am meisten technischen Features ausgestattete Soundmap dar. [28]

Weitere Soundmaps

Es existiert eine Vielzahl weiterer Soundmaps die hier nicht explizit angeführt werden. Eine Auflistung von Soundmaps ist in [1] zu finden.

3 Ambisonics

Ambisonics stellt einen geeigneten Ansatz für die Einbindung von 3D-Audio in eine Streambox dar und wird mittlerweile auch von Plattformen wie Google/YouTube und Facebook 360° unterstützt [34].

Die anschließende Wiedergabe ist mit Hilfe entsprechender Dekodierung sowohl auf unterschiedlichen Lautsprecherkonstellationen, als auch mittels Binaural-Kodierung auf Kopfhörern möglich.

3.1 Ambisonics B-Format

Ein Schallfeld, bestehend aus mehreren Schallquellen $s_i(t)$ kann, unter der Annahme einer ebenen Wellenausbreitung, durch seine sphärischen Harmonischen ausgedrückt werden [14]. Dies wird als Ambisonics B-Format bezeichnet. Die Ordnung bestimmt die Anzahl der sphärischen Harmonischen und damit die Kanalanzahl des Ambisonicssignals.

In erster Ordnung sind die Richtungsinformationen des Schallfeldes in vier Kanäle, mit folgenden sphärischen Harmonischen erster Ordnung zusammen beschrieben: [14]

$$W(t) = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k \frac{s_i(t)}{\sqrt{2}} \quad (3.1)$$

$$X(t) = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k s_i(t) \cos(\phi_i) \cos(\theta_i) \quad (3.2)$$

$$Y(t) = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k s_i(t) \sin(\phi_i) \cos(\theta_i) \quad (3.3)$$

$$Z(t) = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k s_i(t) \sin(\theta_i) \quad (3.4)$$

$W(t)$ stellt dabei die omnidirektionale Komponente dar. Die Gewichtung mit $\frac{1}{\sqrt{2}}$ wurde von Gerzon zur gleichmäßigen Lautstärkeverteilung innerhalb der Ambisonics Kanäle eingeführt und wird als SN3D bezeichnet[15]. $X(t)$, $Y(t)$ und $Z(t)$ beinhalten die Richtungsinformationen der jeweiligen Achsen. Der Winkel ϕ bezieht sich auf das Azimut, θ beschreibt den Elevationswinkel der Schallquelle. Die Wertebereiche sind:

$$-\pi \leq \phi \leq \pi \quad (3.5)$$

$$-\frac{\pi}{2} \leq \theta \leq \frac{\pi}{2} \quad (3.6)$$

Die Anordnung ist offensichtlich so gewählt, dass der 0° Punkt der Azimutebene im Nullpunkt der Y -Achse liegt. Ein positiver Winkel ϕ liegt in der positiven Y -Achse. Ein negativer Winkel ϕ in der negativen Y -Achse. Der Nullpunkt der Z -Achse ist bei 0° des Winkels θ zu finden.

Die Kanäle des B-Formates stellen mathematisch die zeitgleiche Aufnahme vierer Mikrofone am selben Ort, eines mit Kugelcharakteristik für W und dreier in die jeweilige Achse gerichteter mit Achtercharakteristik für X , Y und Z dar [34]. Abbildung 1 veranschaulicht die beschriebenen Richtcharakteristiken.

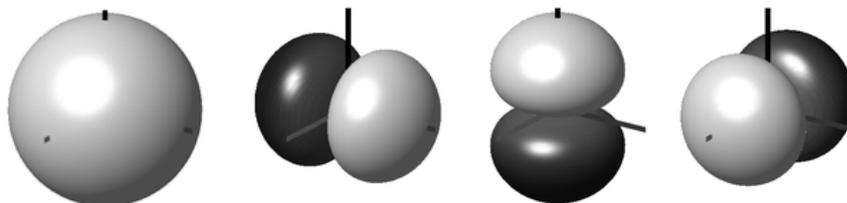


Abbildung 1 – Richtcharakteristiken für W , X , Y und Z .

3.2 Das Ambisonics A-Format Mikrofon

Neben der oben genannten Mikrofonierungstechnik ist es möglich, ein dreidimensionales Schallfeld mit vier Nierenmikrofonen, angeordnet an den Eckpunkten eines Tetraeders, aufzuzeichnen. Das so genannte Ambisonics A-Format beinhaltet die Kanäle dieser vier Mikrofonkapseln. Tabelle 1 zeigt eine mögliche Anordnung [15].

Kapsel	Azimutwinkel ϕ	Elevationswinkel θ
LFU (left-front-up)	45°	$35,3^\circ$
LBD (left-back-down)	135°	$-35,3^\circ$
RFD (right-front-down)	-45°	$-35,3^\circ$
RBU (right-back-up)	-135°	$35,3^\circ$

Tabelle 1 – Orientierung der vier Kapseln eines Ambisonics A-Format Mikrofones in Grad

Um die Aufnahmen in das B-Format zu überführen werden die in die jeweilige Richtung zeigenden Kanäle vorzeichenrichtig zusammengefasst[15] [34]:

$$\begin{pmatrix} W' \\ X' \\ Y' \\ Z' \end{pmatrix} = \frac{1}{2} \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & 1 & -1 \\ 1 & 1 & -1 & -1 \\ 1 & -1 & -1 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} LFU \\ LBD \\ RFD \\ RBU \end{pmatrix} \quad (3.7)$$

Für höhere Frequenzen können die an den Mikrofonen eintreffenden Schallwellen nicht mehr als koinzident angenommen werden [34]. Um die Qualität der Abbildung des

Schallfeldes zu erhöhen sollte daher eine anschließende Filterung der Signale durchgeführt werden. Es existieren mehrere Filtermethoden um den Phasen- und Amplitudenunterschied auszugleichen. Da dieses Thema den Rahmen der Arbeit sprengen würde sei hier auf [2], [3] und [34] verwiesen.

3.3 Dekodierung des B-Formates

Für die Wiedergabe von Ambisonics auf Lautsprechern oder Kopfhörern ist es notwendig eine entsprechende Dekodierung durchzuführen.

3.3.1 Dekodierung für ein Lautsprecher Setup

Die Dekodierung des B-Formates für ein Lautsprecher Setup mit äquidistanten, im Fernfeld befindlichen Lautsprechern kann ebenso durch simple Matrix-Multiplikation durchgeführt werden [34]. ϕ_i beschreibt auch hier den Azimut- und θ_i den Elevationswinkel der Lautsprecher.

$$\begin{pmatrix} L_1 \\ \vdots \\ L_N \end{pmatrix} = \frac{1}{2} \begin{pmatrix} 1 & \cos(\phi_1)\cos(\theta_1) & \sin(\phi_1)\cos(\theta_1) & \sin(\theta_1) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 1 & \cos(\phi_N)\cos(\theta_N) & \sin(\phi_N)\cos(\theta_N) & \sin(\theta_N) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} W \\ X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} \quad (3.8)$$

3.3.2 Dekodierung für Kopfhörer

Zur Wiedergabe über Kopfhörer werden zuerst die Signale für eine fiktive Konstellation von Lautsprechern berechnet und anschließend mit den HRIR (Head Related Impulse Responses) der jeweiligen Schalleinfallswinkel gefaltet. [34]

$$\begin{pmatrix} L \\ R \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} h_L^{\phi_1, \theta_1}(t)^* & \dots & h_L^{\phi_N, \theta_N}(t)^* \\ h_R^{\phi_1, \theta_1}(t)^* & \dots & h_R^{\phi_N, \theta_N}(t)^* \end{pmatrix} \begin{pmatrix} L_1 \\ \vdots \\ L_N \end{pmatrix} \quad (3.9)$$

4 Benötigte Komponenten

Für die Realisierung einer Ambisonics-Streambox werden folgende Komponenten benötigt:

- Eine eigene Stromversorgung mit PV-Panel, Batterie, Ladegerät, Batteriewächter und Spannungswandlern
- Ein Computer zur Aufzeichnung, Verarbeitung und Upload der Daten
- Internetanbindung
- Ein 3D-Mikrofon
- Ein Audio Interface zum Anschluss des Mikrofones
- GPS-Empfänger zur Ortung des Gerätes (optional)

Abbildung 2 veranschaulicht den prinzipiellen Aufbau einer Ambisonics-Streambox.

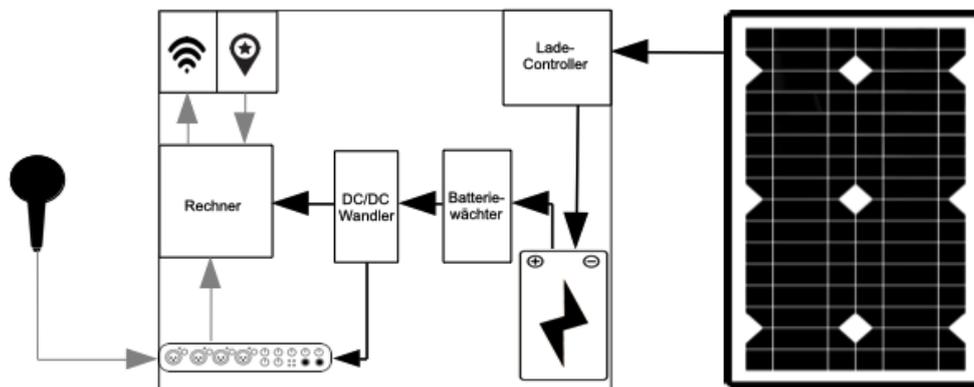


Abbildung 2 – Prinzipieller Aufbau einer Ambisonics-Streambox. Schwarze Linien zeigen Stromleitungen, graue Linien Datenleitungen

5 Wetterfestigkeit

Da eine Streambox zumeist im Freien ihren Einsatz findet, sollte sie möglichst wetterfest konzipiert sein. Es sollten also die Auswirkungen von Temperatur, Feuchtigkeit und Schmutz am Aufstellungsort bei der Planung berücksichtigt werden. Dieses Kapitel soll eine Übersicht für die richtige Auswahl der Komponenten bieten.

5.1 Schutzart

Die Schutzart gibt an, wie gut ein Betriebsmittel gegen äußere Einflüsse geschützt ist. Sie ist in den Normen

- DIN EN 60529
- ISO 20653

definiert. Die erste Ziffer beschreibt den Schutz gegen Berührung und Staub, die zweite den Schutz gegen Wasser. Soll oder muss eine Ziffer nicht angegeben sein, so wird diese durch den Buchstaben X ersetzt. Tabelle 3 zeigt die die Bedeutungen der einzelnen Ziffern [33].

5.2 Temperatur

Der Dauerbetriebstemperaturbereich definiert jenen Temperaturbereich, in dem ein elektronisches Gerät dauerhaft, ohne Schaden zu nehmen, betrieben werden kann. Er kann meist auf der Hersteller-Homepage eingesehen werden. Einige Hersteller unterteilen die Temperaturbereiche in Klassen, wobei diese teilweise unterschiedlich definiert sind. Gängige und weitgehend akzeptierte Klassen sind in Tabelle 2 ersichtlich. [32]

Bezeichnung	Temperaturbereich in °C
Commercial	0°-70°
Industrial	-40°-85°
Military	-55-125°

Tabelle 2 – Gängige Klassen für den Dauerbetriebstemperaturbereich elektronischer Geräte

1. Kennziffer

ISO 20653	DIN EN 60529	Schutz gegen Fremdkörper und Staub:
0	0	kein Schutz
1	1	feste Fremdkörper mit Durchmesser ≥ 50 mm
2	2	feste Fremdkörper mit Durchmesser $\geq 12,5$ mm
3	3	feste Fremdkörper mit Durchmesser $\geq 2,5$ mm
4	4	feste Fremdkörper mit Durchmesser $\geq 1,0$ mm
5K	5	Staub in schädigender Menge
6K	6	staubdicht

ISO 20653	DIN EN 60529	Schutz gegen Berührung:
0	0	kein Schutz
1	1	mit dem Handrücken
2	2	mit einem Finger
3	3	mit einem Werkzeug
4	4	mit einem Draht
5K, 6K	5, 6	vollständiger Schutz gegen Berührung

2. Kennziffer

ISO 20653	DIN EN 60529	Schutz gegen Wasser
0	0	kein Schutz
1	1	Tropfwasser
2	2	fallendes Tropfwasser, bei bis zu 15° Neigung
3	3	fallendes Sprühwasser bis 60° gegen die Senkrechte
4	4	allseitiges Spritzwasser
5	5	Strahlwasser aus beliebigem Winkel
6	6	starkes Strahlwasser
7	7	zeitweiliges Untertauchen
8	8	dauerhaftes Untertauchen
9K	9	Hochdruck-Dampfeinstrahlung

Tabelle 3 – Bedeutung der Schutzart -Kennziffern

6 Hardware

6.1 Computer

Als Herzstück der Streambox eignet sich ein Einplatinencomputer mit einem SoC (System on Chip). Ein SoC enthält alle Komponenten eines Computers oder elektronischen Systems auf nur einem Chip und ist daher kostengünstig herstellbar, besitzt einen geringen Stromverbrauch und kann platzsparend realisiert werden. Beim Kauf sollte unbedingt auf ausreichend Rechenleistung und RAM-Speicher geachtet werden.

Die Firma Olimex verfügt über mehrere Modelle die auf "Industrial" (siehe Tabelle 2) ausgelegt sind. Ein in Frage kommendes Modell ist der Olimex A20. Dieser ist in mehreren verschiedenen Ausführungen verfügbar und preiswert erhältlich. [23]

6.2 Externe Audio Interfaces

Ein Nachteil der A20/A64/T-2 embedded Computer, welche sowohl Olimex verbaut als auch in verschiedensten Versionen des Rasperry Pi-4 verfügbar sind, ist das fehlende Multikanal Audiointerface. Ein Stereo CODEC ist allerdings bereits in der verwendeten CPU, der A-20 oder T-2 ("Industrial"-Version von A20) von der Firma Allwinner, implementiert. Dieses müsste über zusätzliche Baugruppen zum Beispiel über USB-Schnittstelle, erweitert werden.

Aufgrund des höheren Stromverbrauches und der geringen Verfügbarkeit an temperaturresistenten externen Audio Interfaces ist grundsätzlich eine Anbindung des Mikrofones ohne ein solches wünschenswert. Dies ist jedoch nicht immer möglich, da oft keine Treiber für digitale Mikrofone verfügbar sind und im Falle von Kondensator-Kapseln eine Phantomspeisung benötigt wird. Kompatibilität zum Computer ist im Normalfall gewährleistet, wenn das Audio Interface über einen Class Driver verfügt. Es muss gegebenenfalls in einen Class-Compliant-Mode umgeschaltet werden.

Embedded Computer mit SoC beherbergen Audio Interfaces entweder im CPU-Chip meist nur Stereo Versionen oder I2S Schnittstellen, welche den Anschluss von externen AD/DA ICs ermöglichen. Zuerst von Philips nur für Stereo vorgesehen wurde I2S später auch als TDM (Time Division Multiplex) bezeichnet für Multikanal erweitert. Allwinner CPUs besitzen nur CODECs für den Anschluss von Standard-Audioanlagen und besitzen daher meist nur Stereo Eingänge und Stereo oder Surround Ausgänge (5.1, 7.1). Diese sind für Monitoring geeignet, jedoch nicht für Mehrkanal-Mikrofone.

Beaglebone als Voreiter verwendete AM-335X CPUs von Texas Instruments welche, mit ARM-Architektur ausgestattet, das I2S/TDM Format mit bis zu 32 Kanal Audioeingängen bietet. Mittlerweile bieten Firmen wie Olimex Module mit dieser Hardware auch in "Industrial" Versionen an, wie das AM-335X von Olimex [24].

An diese können entsprechende Analog-Digital Konverter mittels Zusatzplatine angeschlossen werden, oder auch neuerdings kaskadierbare Digital-Mikrofone (MEMS, siehe Unterabschnitt 6.4).

6.3 Internetanbindung und GPS-Empfänger

Für die Internetanbindung kann ein USB-LTE-Stick verwendet werden. Um die reibungslose Funktion des Streams zu gewährleisten ist auf einen ausreichend hohen Uplink, sowie auf unlimitiertes Datenvolumen zu achten. Auch ist ein angemessener Headroom mit einzurechnen, da die tatsächlich übertragbare Datenrate in der Regel unter den Angaben des Netzbetreibers liegt. Befindet sich die Streambox in der Reichweite eines lokalen WLAN Netzes so kann auch über dieses die Übertragung erfolgen.

Als GPS-Empfänger bietet sich nahezu jedes handelsübliche GPS-Modul mit geeigneten Anschlussmöglichkeiten und ausreichender Wetterfestigkeit an. Eine Option ist das Olimex MOD-GPS, welches einen geringen Stromverbrauch besitzt und für "Industrial" (siehe Tabelle 2) ausgelegt ist. Auch sind entsprechende Treiber für die Anbindung an einen Olimex A20 verfügbar. [25]

Eine Komplettlösung für LTE und GPS Anbindung ist beispielsweise das "AAEON-mPCIE LTE Modul Set". Dieses enthält eine LTE Vollband- und GPS-Antenne und ist für einen Dauerbetriebstemperaturbereich von -40° bis $+80^{\circ}$ ausgelegt. Es besteht die Möglichkeit der Verbindung via USB und UART. Treiber sind auch für Linux erhältlich, wobei diese möglicherweise noch abgeändert werden müssen [21].

6.4 Mikrofon

Obwohl sich bereits wetterfeste Mikrofone am Markt etabliert haben sind wetterfeste 3D-Mikrofone relativ teuer und rar gesät. Versuche, Mikrofone durch zusätzliche Schutzmembranen vor Feuchtigkeit zu schützen wurden in [17] untersucht und der Effekt als unvorhersehbar eingestuft. Auch eine Überdachung, zum Beispiel durch das PV-Paneel, würde zumindest die Aufnahme der Höheninformationen negativ beeinflussen. Das Mikrofon stellt somit ein entscheidendes Bauelement der Ambisonics-Streambox dar und es muss ein Kompromiss zwischen Tonqualität und Wetterresistenz gefunden werden.

In diesem Abschnitt werden MEMS-Kapseln vorgestellt, welche sich durch ihre Eigenschaften zum Selbstbau eines stromsparenden Do-It-Yourself Ambisonics-Mikrofones eignen. Weiters sind einige im Handel erhältliche 3D-Mikrofone aufgelistet.

MEMS-Kapseln

MEMS (Microelectromechanical System)- Mikrofonkapseln sind preiswert erhältlich und bieten die Vorteile einer kleinen Bauart und eines geringen Stromverbrauchs. Weiters sind sie aufgrund der Bauweise sehr robust. Sie sind auch mit integriertem A/D Wandler und TDM- oder I2S-Bus erhältlich, wodurch die Notwendigkeit eines externen Audio Interfaces weg fallen kann, vorausgesetzt sie werden vom CODEC unterstützt (siehe Unterabschnitt 6.2). Ein Nachteil von MEMS-Mikrofonen ist die durch kleine Membranabmessungen bedingte geringe Sensitivität. Abbildung 3 zeigt das Schaltbild einer MEMS-Kapsel der Firma Ivensense. [16]

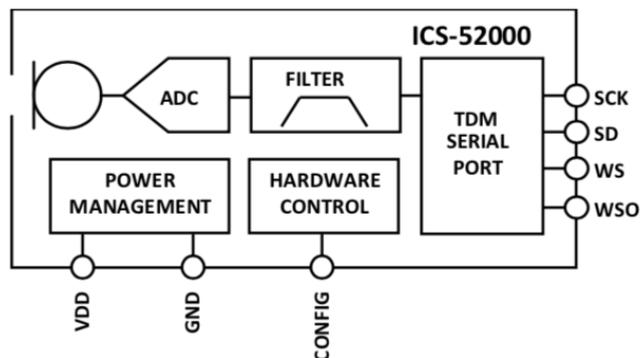


Abbildung 3 – Schematischer Aufbau eines MEMS-Digitalmikrofones der Firma InvenSense [16]

3D-Mikrofone

Gängige Ambisonics A-Format Mikrofone werden von den Firmen SoundField, Rode, CoreSound, Audeze und Oktava vertrieben.

Das wohl bekannteste, und auch teuerste HOA (Higher Order Ambisonics) Mikrofon ist das Eigenmike der Firma mhacoustics [8], welches eine Aufnahme von Ambisonics bis zu vierter Ordnung erlaubt.

Eine weiteres HOA Mikrofon, ausgestattet mit 19 MEMS-Kapseln bietet die Firma Zylia mit dem ZM-1, welches für Ambisonics bis zu dritter Ordnung eingesetzt werden kann [35]. Ein Ambisonics En- und Decoder sind separat erhältlich. Treiber auch für Linux verfügbar, wobei auch diese gegebenenfalls abgeändert werden müssen.

7 Stromversorgung

Die Streambox sollte autonom, also ohne externe Stromversorgung betrieben werden können. Hierfür wird ein Photovoltaik-Paneel (PV-Paneel) mit geeignetem Ladecontroller vorgeschlagen. Eine zusätzliche Batterie dient als Pufferspeicher zur Überbrückung der sonnenarmen Zeiten. Des Weiteren sind die Betriebsspannungen von Computer, Router, Audiointerface und Akku zu beachten und gegebenenfalls Spannungswandler einzubringen. Die Stromversorgung sollte ausreichend groß dimensioniert werden, um auch mehrtägige Schlechtwetterperioden zu überstehen.

7.1 Maximum Power Point

Die Effizienz einer PV-Zelle ist abhängig von Bestrahlungsstärke und Einfallrichtung der Sonne sowie der Temperatur im Inneren der Zelle. Die vom Hersteller angegebene Leistungsspezifikation ist stets auf Laborbedingungen, meist bei einer Temperatur $\vartheta = 25^\circ\text{C}$, einem Einfallswinkel $\Theta = 0^\circ$ (normal auf die Zellenfläche) und einer Bestrahlungsstärke $E = 1000 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$ bezogen. [31]

Dabei variieren ausgegebene Spannung und Strom mit dem angeschlossenen Ausgangswiderstand. Um den Maximum Power Point (*MPP*) zu ermitteln wird der Strom- und Spannungsverlauf der Zelle bei variablem Lastwiderstand gemessen und in ein Diagramm aufgetragen. Der *MPP* ist jener Punkt, an dem die Leistungsausbeute $P_{el} = U \cdot I$ maximal wird. Abbildung 4 veranschaulicht dies.

7.2 Bestrahlungsstärke

Es besteht ein linearer Zusammenhang zwischen Kurzschlussstrom I_k der Zelle und der eintreffenden Bestrahlungsstärke E . [11] Um einen definierten Arbeitspunkt kann auch für den *MPP* ein linearer Zusammenhang angenommen werden (siehe Gleichung 7.3). Die Bestrahlungsstärke setzt sich zusammen aus einem direkten und einem diffusen Anteil. Die Gesamtbestrahlungsstärke wird Globalstrahlung genannt [6].

$$E_{glob} = E_{dir} + E_{diff} \quad (7.1)$$

Um die globale und diffuse Bestrahlungsstärke einer beliebigen Zeit, für einen beliebigen Ort herauszufinden eignet sich die Homepage des von der EU-Kommission betriebenen "Photovoltaic Geographical Information System"[26]. Abbildung 4 zeigt den Zusammenhang zwischen Bestrahlungsstärke, Kurzschlussstrom und *MPP*.

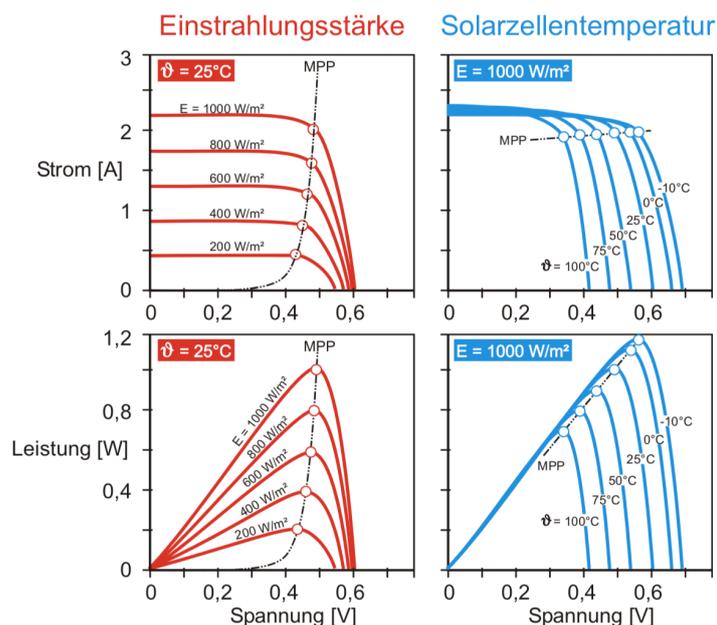


Abbildung 4 – Kennlinie einer Solarzelle bei unterschiedlichen Bestrahlungsstärken und Temperaturen [11]

7.3 Temperaturabhängigkeit

Die Leerlaufspannung U_L der Zelle nimmt proportional zur steigenden Temperatur ab. Dadurch entsteht eine kleinere Leistungsausbeute [11]. Für die Streambox ist dies insofern kein Problem, da die im Sommer überschüssig erzeugte Energie ohnehin nicht verwendet werden kann. In Abbildung 4, rechts ist dieser Zusammenhang zu sehen.

Es ist allerdings zu beachten, dass sich tiefe Temperaturen negativ auf Speicherkapazität und Selbstentladung einer Batterie auswirken [18]. Abbildung 5 zeigt einen beispielhaften Kapazitätsabfall in einer VRLA-Batterie in %, bei unterschiedlichen Temperaturen.

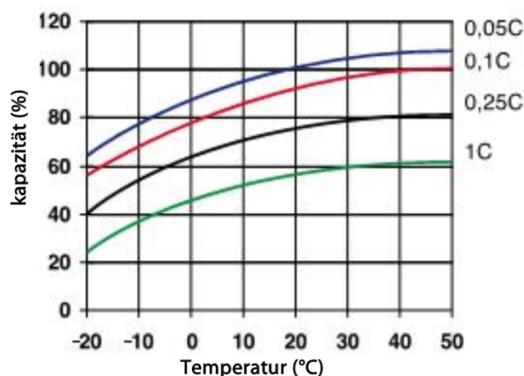


Abbildung 5 – Abfall der Speicherkapazität einer VRLA-Batterie bei fallenden Temperaturen, angegeben in % [9]

7.4 Ausrichtung des PV-Paneels

Die abgegebene elektrische Leistung P_{el} einer PV-Zelle ergibt sich aus dem durch die Oberflächengröße der Zelle tretenden Strahlungsfluss (oder Strahlungsleistung) Φ , welcher mit dem Wirkungsgrad η_P umgesetzt wird [30].

$$P_{el} = \Phi \cdot \eta_P \quad (7.2)$$

Der Strahlungsfluss für eine ebene Fläche, bei homogen verteilter Bestrahlungsstärke E , mit Einfallswinkel Θ ergibt sich aus:

$$\Phi = E \cdot A \cdot \cos(\Theta) \quad (7.3)$$

Der Einfallswinkel ist der Winkel zwischen Flächennormale und Strahlrichtung der Sonne (siehe Abbildung 7). Das Ertragsmaximum der PV-Zelle wird laut obiger Gleichung bei senkrechtem Sonneneinfall erreicht.

Die Ausrichtung im Azimuth sollte in Richtung Süden erfolgen. Für einen ganzjährigen Einsatz kann davon ausgegangen werden, dass während der wärmeren Jahreszeiten dank Überdimensionierung ohnehin ausreichend Strom zur Verfügung steht. Das Paneel solle also seine höchste Effektivität im Winter besitzen. Um eine passende Neigung zu bestimmen kann ein Sonnenstandsdiagramm herangezogen werden. Dieses lässt sich mithilfe eines von zahlreich verfügbaren Tools im Internet erstellen. Abbildung 6 zeigt ein beispielhaftes Sonnenstandsdiagramm, erstellt mit [5].

Um den Neigungswinkel des Paneels zu ermitteln wird der Höhenwinkel h zur Mittagszeit aus dem Sonnenstandsdiagramm ausgelesen. Der Neigungswinkel wird dann mit

$$s = 90^\circ - h \quad (7.4)$$

bestimmt. Abbildung 7 veranschaulicht die Winkelrelation.

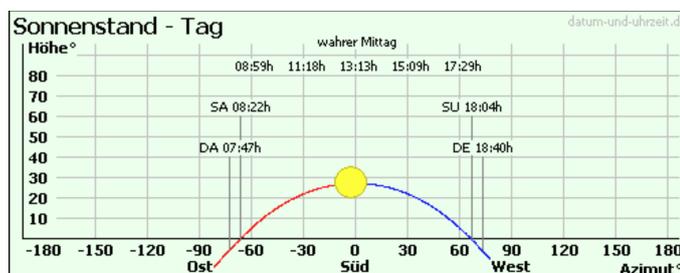


Abbildung 6 – Sonnenstandsdiagramm für Graz am 31.12.2018, 12:00 MESZ [5]

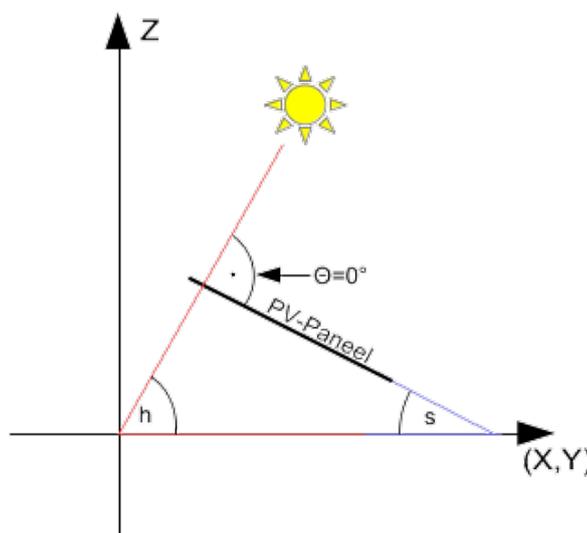


Abbildung 7 – Veranschaulichung von Höhenwinkel und Einfallswinkel der Sonne und Neigungswinkel des Paneels

7.5 Wahl von PV-Paneel und Controller

Als Photovoltaik-Paneel eignen sich Mono- oder Polykristalline Systeme, da diese einen relativ hohen Wirkungsgrad bei Direkteinstrahlung besitzen.

Aufgrund der sich ständig ändernden Temperaturen ist bei der Wahl des Ladecontrollers unbedingt auf eine *MPP*-Tracking Funktion zu achten. Außerdem muss der Controller über die richtige Ladefunktion für die gewählte Batterie verfügen.

Dünnschichtmodule besitzen pro Fläche zwar weniger Wirkungsgrad, sind jedoch kostengünstiger und umwelttechnisch unbedenklicher, da sie praktische keine problematischen Stoffe enthalten und bei der Entsorgung wie Altglas handzuhaben sind. Zusätzlich beuten sie mehr Licht der Diffusstrahlung im Vergleich zur Direkt-Strahlung aus. Die Ausrichtung ist daher weniger kritisch [7].

7.6 Wahl der Batterie

Als Batterie eignen sich Blei-Säure-Batterien, da diese hohe Speicherkapazitäten und eine geringe Selbstentladung besitzen. Um eine lange Lebensdauer zu gewährleisten könnte es sich lohnen auf eine VRLA Gel-Batterie zu setzen. Diese sind für eine lange Lebensdauer bei zyklischer Belastung ausgelegt [9]. Zusätzlich sollte auf einen geeigneten Tiefentladungsschutz geachtet werden.

LiIonen Batterien sind meist Temperaturempfindlicher, teurer und besitzen zusätzliche Umweltgifte. Eine stabilere Variante ist der Lithium Titanat Akkumulator, welcher zusätzlich zur besseren Temperaturstabilität absolute Wartungsfreiheit und ein vielfaches der Lebensdauer des LiIonen Akku besitzt [12].

Eine umweltfreundliche Alternative wäre auch ein Nickel Eisen Akkumulator, den es schon seit mehr als 100 Jahren gibt und der in den letzten Jahren modernisiert worden ist. Er ist extrem langlebig, robust gegenüber Überladen oder Tiefentladen, umweltfreundlich und günstig [13].

7.7 Spannungswandler und Batteriewächter

Auch für die Auswahl von Spannungswandlern und Batteriewächter gelten die Kriterien der Wetterfestigkeit. Die Firma Rohm bietet mit dem BD49101AEFS-M einen IC mit Mehrkanal-Spannungswandler für Audioanwendungen in Autos an. Dieser ist für Betriebstemperaturen von -40° bis $+85^\circ$ ausgelegt. Die Ausgangsspannungen, sowie auch ein Entladeschutz für die Batterie sind einstellbar [22].

7.8 Dimensionierung

Zur Dimensionierung der Stromversorgung sollte die sonnenärmste Zeit des Einsatzzeitraumes herangezogen werden. Der Tagesschnitt an Sonnenstunden kann bei lokalen Wetterdiensten erfragt werden.

Der Stromverbrauch I_C des Computers, des Routers I_R und des Audiointerfaces I_A wird bestenfalls im laufenden Betrieb der sonst fertiggestellten Streambox gemessen. Die Betriebsspannungen U_C, U_R, U_A , Wirkungsgrade der Spannungswandler $\eta_{SW,C}, \eta_{SW,R}, \eta_{SW,A}$ sowie Ladespannung U_B und Ladestrom I_B der Batterie sind in den jeweiligen Herstellerangaben zu finden. Auch der maximale Stromverbrauch des Ladecontrollers I_{LC} bei gegebener Spannung U_{LC} ist dem Datenblatt zu entnehmen. Es gelten die bekannten Relationen:

$$P = U \cdot I \quad (7.5)$$

$$W = P \cdot t \quad (7.6)$$

$$Q = I \cdot t = \frac{W}{U} \quad (7.7)$$

$$\eta = \frac{P_e}{P_a} \quad (7.8)$$

Die benötigte elektrische Energie der Streambox für einen Tag $W_{S,24}$ ergibt sich unter Vernachlässigung der Leitungsverluste zu:

$$P_S = U_C \cdot I_C \cdot (2 - \eta_{SW,C}) + U_R \cdot I_R \cdot (2 - \eta_{SW,R}) + U_A \cdot I_A \cdot (2 - \eta_{SW,A}) \quad (7.9)$$

$$W_{S,24} = P_S \cdot 24h \quad (7.10)$$

Es ergibt sich eine täglich benötigte Ladung von

$$Q_{S,24} = \frac{W_{S,24}}{U_B} \quad (7.11)$$

Das Paneel sollte in der Lage sein, während Zeiten der Sonneneinstrahlung sowohl die Batterie, als auch die Streambox selbst mit ausreichend Energie zu versorgen. Es sollte also für möglichst viele Tagesstunden mit Gleichung 7.3 gelten, dass:

$$P_{el} \geq P_B + P_S + P_{LC} \quad (7.12)$$

Um auch bei schräg einfallender Strahlung eine ausreichende Leistungsausbeute zu erreichen muss die Fläche des Paneels A entsprechend groß ausgelegt sein. Der Wirkungsgrad η_P ist von der Bauart der PV-Zellen bestimmt und kann beim Hersteller erfragt werden. Die Bestrahlungsstärke für einen bestimmten Zeitraum und Ort können zum Beispiel auf der Homepage des PVGIS [26] erfragt werden. Hier wird die Ausrichtung des Paneels direkt mit eingerechnet und eine Vielzahl an Daten anschaulich dargestellt. Abbildung 8 zeigt ein damit erstelltes Diagramm der Bestrahlungsstärke für Graz im Monat Dezember.

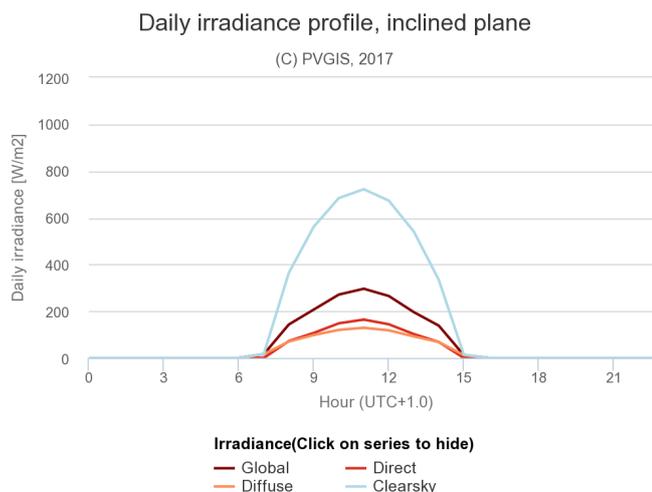


Abbildung 8 – Monatsmittel der Bestrahlungsstärke im Dezember, 8010 Graz [26]

Um Tiefentladung zu verhindern darf die Batterie nur bis zu einer unteren Spannungsgrenze U_{B_L} entladen werden. f beschreibt den Faktor zwischen Nennspannung U_{B_N} und U_{B_L} .

$$f = \frac{U_{B_N}}{U_{B_L}} \quad (7.13)$$

Um eine Dauer von d sonnen losen Tagen ohne Ausfall zu überstehen, benötigt die Batterie eine Kapazität von:

$$Q_B > \frac{Q_{S,24} \cdot d}{f} \quad (7.14)$$

In der Praxis ist selbstverständlich auch an stark bewölkten Tagen immer noch diffuse Strahlung vorhanden. Daher entsteht mit Gleichung 7.14 eine erwünschte Überdimensionierung, die etwaige Ungenauigkeiten vorheriger Berechnungen kompensieren kann.

8 Realisierung der Software

Für die Streambox wird natürlich auch geeignete Software benötigt. Aufgaben der Software sind:

- Aufnahme der Audiodaten
- Kodierung in das Ambisonics B-Format
- Komprimierung der Daten
- Upstream
- Signalrouting innerhalb des Computers

Es wurde beispielhafte Software auf einem BeagleBone Green implementiert. Dabei findet die Aufnahme und die B-Format Konversion mit einem eigens erstellten Pure Data Patch statt (Unterabschnitt 8.2). Für die Komprimierung und den Upstream der Daten wurde versucht eine funktionierende Pipeline mit dem Gstreamer - Commandline Tool `gst-launch-1.0` zu erstellen (Unterabschnitt 8.3). Das interne Routing übernimmt die Softwareschnittstelle Jack (Unterabschnitt 8.4). Der Zugriff auf den BeagleBone erfolgt über zwei Wege, einerseits über SSH und andererseits über VNC um grafische Benutzeroberflächen zu nutzen. Alle verwendeten Programme sind frei und Open Source erhältlich und wurden ausschließlich über das Paketverwaltungssystem `apt-get` installiert. Die verwendeten Installationsformeln sind in Abbildung 9 zu sehen.

8.1 Betriebssystem

Für die meisten heute gängigen Einplatinencomputer existieren passende Linux Versionen. Informationen über Download und Installation dieser sind auf den Homepages der jeweiligen Hersteller zu finden. Auf dem BeagleBone Green wurde das zu dem Zeitpunkt aktuelle LXQT Debian-Image auf einer 32Gb SD-Karte installiert. Um den vollen Speicher der Karte nutzen zu können musste anschließend die Partition der SD Karte expandiert werden. Eine Anleitung hierfür ist in [4] zu finden. Die Version des Betriebssystems ist in Abbildung 10 ersichtlich.

```

# Jack
sudo apt-get install jack-tools ant openjdk-6-jdk fftw3 qjackctl

# GStreamer
sudo apt-get install libgstreamer1.0-0
sudo apt-get install gstreamer1.0-plugins-base gstreamer1.0-plugins-good
sudo apt-get install gstreamer1.0-plugins-bad gstreamer1.0-plugins-ugly
sudo apt-get install gstreamer1.0-libav gstreamer1.0-doc gstreamer1.0-tools

# Pure Data
sudo apt-get install puredata
sudo apt-get install pd-iemmatrix

# VNC Server
sudo apt-get install tightvncserver

```

Abbildung 9 – Installationsformeln für die benötigte Software

```

debian@beaglebone:~$ cat /proc/version
Linux version 4.14.71-ti-r80 (root@b2-am57xx-beagle-x15-2gb)
(gcc version 6.3.0 20170516 (Debian 6.3.0-18+deb9u1)) #1 SMP
PREEMPT Fri Oct 5 23:50:11 UTC 2018

```

Abbildung 10 – Abgerufene (Debian-) Linux Version des BeagleBone Green

8.2 Pure Data

Für die Aufnahme und B-Format Konversion wurde ein Patch mit der grafischen Programmiersprache Pure Data erstellt. Die Kodierung erfolgt nach Gleichung 3.7, mithilfe der Toolbox IEM-Matrix [27]. Auf Filterung der Signale wurde verzichtet, da die Filter in der Praxis je nach eingesetztem Mikrofon variieren. Abbildung 11 zeigt den erstellten Patch. Bei der Konfiguration von Pure Data ist darauf zu achten, dass die Audioeinstellungen mit jenen von QJackCtl übereinstimmen (siehe Unterabschnitt 8.4) und Jack als Treiber ausgewählt ist.

8.3 GStreamer

Die Komprimierung der Audiodaten und der Upstream sollte mithilfe des Frameworks GStreamer erfolgen. Dieses stellt mit `gst-launch-1.0` ein Commandlinetool zum einfachen Aufbau einer Streaming-Pipeline zur Verfügung. Mit `gst-inspect-1.0` können Eigenschaften installierter Plugins eingesehen werden.

Der Upstream erfolgt über RTP / UDP, da für UDP keine Verbindung zum Empfänger benötigt wird. Es kann dadurch zuerst die Upstream-Pipeline erstellt und diese dann zu beliebiger Zeit von der Empfängerseite abgegriffen werden.

Die Komprimierung der Daten erfolgt direkt in der erstellten Pipeline. Zu Beginn wurde versucht, den Stream mit dem OPUS-Audiocodec zu Komprimieren. Dies ist allerdings

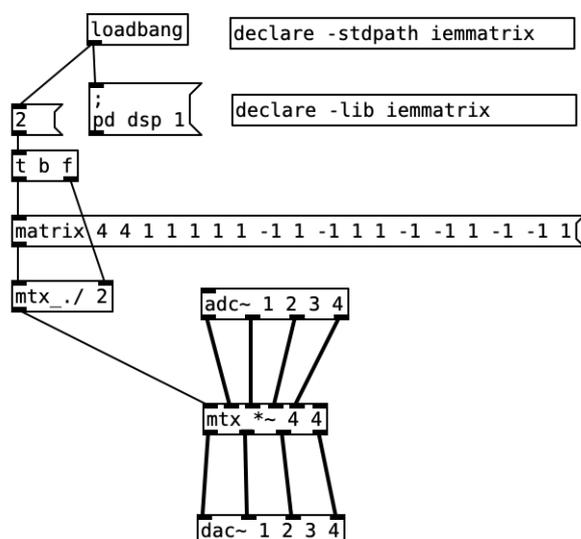


Abbildung 11 – Pure Data Patch zur Aufnahme und Konversion in das Ambisonics B-Format

nicht möglich, da das Plugin `rtpvorbispay` nur für maximal zwei Audiokanäle ausgelegt ist. Daher wurde als alternatives Format der Vorbis Codec eingesetzt. Für diesen sind die benötigten Plugins auch für sehr hohe Kanalanzahlen ausgelegt. Eine Komplikation stellt jedoch die Dekodierung des Streams auf der Empfängerseite dar. Um einen mit Vorbis komprimierten Audiostream zu dekodieren müssen die bei der Kodierung eingestellten Parameter bekannt sein. Diese müssten also in der Pipeline mit übergeben werden, sind jedoch in der Regel nicht statisch. Dieses Problem kann, unter dem Verlust einer optimalen Datenkomprimierung, umgangen werden indem zuerst die Upstream Pipeline im “Verbose“ Modus gestartet und der angezeigte Configuration-String in zu den Eigenschaften des RTP-Payloaders kopiert wird. Dadurch sind die Kodierparameter als statisch gesetzt und es kann der selbe Configuration-String bei der Dekodierung verwendet werden.

Abbildung 12 zeigt eine mit `gst-launch-1.0` erstellte Upstream-Pipeline. Diese liest die Audiodaten aus einer zuvor erstellten vierkanaligen WAV-Datei. Anschließend wird der Stream komprimiert, in eine RTP-Payload verpackt und via UDP auf eine IP-Adresse im Lokalen Netzwerk gehostet.

Abbildung 13 zeigt eine zum Testen erstellte Download-Pipeline. Diese greift die über UDP gesendeten Daten ab, dekodiert sie und speichert sie erneut in eine Mehrkanalige WAV-Audiodatei.

Um die Audiodateien über Jack in die GStreamer-Pipeline zu leiten stellt `gst-launch-1.0` das Plugin `jackaudiosrc` zur Verfügung. Dieses ist laut Beschreibung in `gst-inspect-1.0` auch für eine hohe Anzahl von Kanälen ausgelegt. Leider war es im Zuge der Arbeit jedoch nicht möglich, `jackaudiosrc` in `gst-launch-1.0` mit mehr als zwei Eingangskanälen zu betreiben. Laut einem gefundenem Foreneintrag sei dies scheinbar nicht möglich und es müsse ein eigenes Programm in C oder Python mit dem GStreamer Framework erstellt

werden. Da dies allerdings den Rahmen sprengen würde, sei es zukünftigen Projekten überlassen.

```

1  #!/bin/bash
2
3  gst-launch-1.0 \
4  filesrc location=<location_of_multichannel_wav_file> \
5  ! wavparse \
6  ! queue \
7  ! audioconvert \
8  ! audioresample \
9  ! "audio/x-raw, channels=4" \
10 ! vorbisenc \
11 ! rtpvorbispay \
12 ! "application/x-rtp, media=audio, encoding-name=VORBIS, \
13    clock-rate=44100, channels=4, payload=100, configuration=<configuration_string>" \
14 ! queue \
15 ! udpsink host=234.5.5.5 auto-multicast=true port=3000 buffer-size=524288

```

Abbildung 12 – Shell Script zur Erstellung einer Upstream-Pipeline

```

1  #!/bin/bash
2
3  gst-launch-1.0 \
4  udpsrc address=234.5.5.5 port=3000 buffer-size=524288 \
5  ! "application/x-rtp, media=audio, encoding-name=VORBIS, \
6    clock-rate=44100, channels=4, payload=100, \
7    configuration=<configuration_string>" \
8  ! queue \
9  ! rtpvorbisdepay \
10 ! vorbisdec \
11 ! queue \
12 ! audioconvert \
13 ! audioresample \
14 ! wavenc \
15 ! filesink location=<testfile_location>

```

Abbildung 13 – Shell Script zur Erstellung einer Downstream-Pipeline

8.4 JACK Audio Connection Kit

Das Routing zwischen physikalischen Eingängen, PureData und GStreamer geschieht durch die Softwareschnittstelle JACK Audio Connection Kit, mithilfe der Grafischen Benutzeroberfläche QJackCtl.

Beim Setup von QJackCtl ist darauf zu achten, dass alle Parameter möglichst genau eingestellt werden. Viele Audio Interfaces besitzen verschiedene Modi, beispielsweise einen Stereo und einen Mehrkanal-Modus. Um ein Audio Interface in QjackCtl im Mehrkanalmodus zu betreiben, ist es notwendig die exakte Kanalanzahl des Modus anzugeben. Die Modi eines Audio Interfaces können in Debian mit ALSA aus einer Datei ausgelesen werden. Abbildung 14 zeigt den Dateipfad und die Ausgabe für ein RME Fireface UCX. Um via QJackCtl den Mehrkanalmodus zu aktivieren müssten hier sowohl Eingangs- als auch Ausgangskanalanzahl auf 18 gesetzt sein.

Weiters ist es wichtig, die Werte Sample Rate, Frames/Period, Periods/Buffer und Latency auf einander abzustimmen, um X-Runs zu vermeiden. Dabei gilt:

$$\frac{Frames}{SampleRate} \cdot Periods = Latency$$

Die dadurch errechnete Latenzzeit in *ms* sollte ganzzahlig sein. Eine Liste an erprobten Kombinationen ist in [19] zu finden.

Abbildung 16 zeigt den Screenshot einer möglichen Konfiguration in QJackCtl. Abbildung 15 zeigt die aktivierte Patchbay für die Streambox. Die Sockets `in_jackaudiosrc0_3` und `in_jackaudiosrc0_4` wurden manuell, durch Bearbeitung der gespeicherten XML-Datei des Patches hinzugefügt. Es konnte jedoch trotzdem nur eine Stereo-Verbindung für Jackaudiosrc erstellt werden (siehe Unterabschnitt 8.3).

```

debian@beaglebone:~$ cat /proc/asound/card1/stream0
RME Fireface UCX (23590637) at usb-musb-hdrc.1-1, high speed : USB Audio

Playback:
  Status: Stop
  Interface 1
    Altset 1
    Format: S32_LE
    Channels: 2
    Endpoint: 1 OUT (ASYNC)
    Rates: 44100, 48000, 88200, 96000
    Data packet interval: 125 us
  Interface 1
    Altset 2
    Format: S32_LE
    Channels: 18
    Endpoint: 1 OUT (ASYNC)
    Rates: 44100, 48000, 88200, 96000
    Data packet interval: 125 us

Capture:
  Status: Stop
  Interface 2
    Altset 1
    Format: S32_LE
    Channels: 18
    Endpoint: 2 IN (ASYNC)
    Rates: 44100, 48000, 88200, 96000
    Data packet interval: 125 us
  Interface 2
    Altset 2
    Format: S32_LE
    Channels: 2
    Endpoint: 2 IN (ASYNC)
    Rates: 44100, 48000, 88200, 96000
    Data packet interval: 125 us

```

Abbildung 14 – Inhalt der stream0-Datei eines im Common Compliant Mode betriebenen RME Fireface UCX

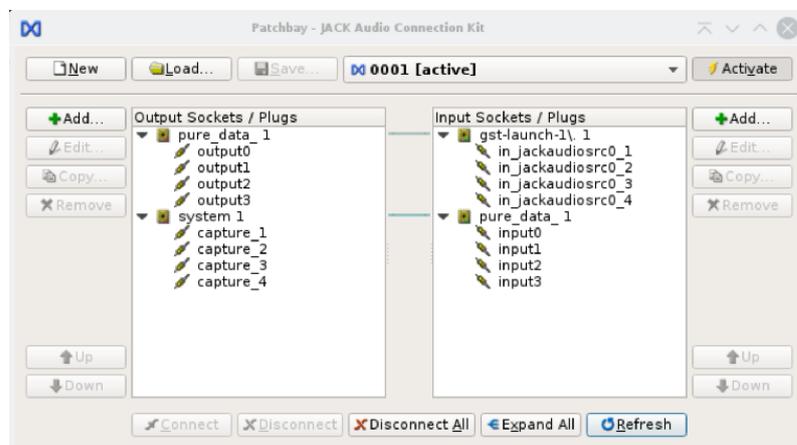


Abbildung 15 – Konfiguration der Patchbay in QJackCtl

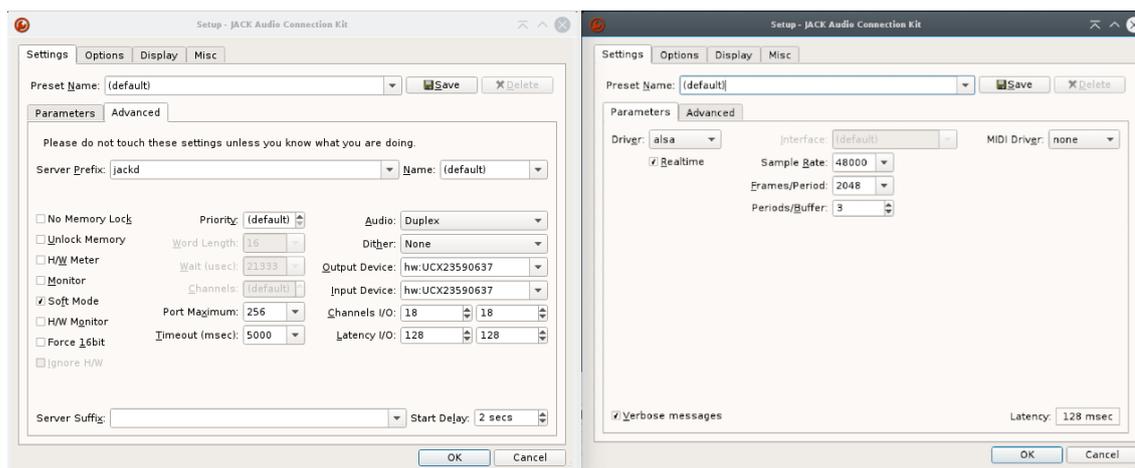


Abbildung 16 – Screenshot des Setups in QJackCtl

9 Zusammenfassung und Ausblick

Ziel war es einen Grundstein für den Entwurf einer Ambisonics-Streambox zu legen. Hierfür wurde zunächst eine Recherche nach dem Stand der Technik durchgeführt und nach bereits existierenden Ambisonics-Streamboxen und Soundmaps gesucht. Nach einer anschließenden Einführung in das Ambisonics Format wurde auf die für eine Streambox benötigten Komponenten und deren Anforderungen wie Wetterfestigkeit, Dauerbetriebstemperatur und Kompatibilität eingegangen. Die Dimensionierung einer Stromversorgung mit Photovoltaik und Batterie wurde beschrieben. Zuletzt wurde das Thema Software behandelt und frei erhältliche Open Source Software für die benötigten Aufgaben, sowie auch deren Konfiguration, vorgestellt.

Die Tatsache, dass die Recherche keinerlei Hinweise auf bereits existierende Ambisonics-Streamboxen ergab, erhöht die künstlerische und wissenschaftliche Relevanz der Arbeit. Zukünftige Projekte können auf dem erworbenen Wissen dieser Arbeit aufbauen. Durch Auswahl passender Komponenten und richtiger Konfiguration der Software wird es möglich sein, mit absehbarem Aufwand eine funktionierende, wetterfeste und autonome Ambisonics-Streambox zu entwickeln. Auch eine Erweiterung auf Ambisonics höherer Ordnung und die Erstellung von Ambisonics-Soundmaps sind denkbar.

10 Literaturverzeichnis

- [1] *A selection of sound maps over the world*. URL: <https://soundcartography.wordpress.com> (besucht am 27. 10. 2019).
- [2] Fons Adriaensen. “A Tetrahedral Microphone Processor for Ambisonic Recording”. In: (2007).
- [3] *A-format to B-Format conversion*. URL: <http://pcfarina.eng.unipr.it/Public/B-format/A2B-conversion/A2B.htm> (besucht am 28. 09. 2019).
- [4] *Beagleboard: Expanding File System Partition On A microSD*. 2019. URL: https://elinux.org/Beagleboard:Expanding_File_System_Partition_On_A_microSD (besucht am 18. 10. 2019).
- [5] *Das aktuelle Datum und Uhrzeit, Sonnenaufgang, Sonnenuntergang, Dämmerung und Sonnenstand*. URL: <http://www.datum-und-uhrzeit.de/> (besucht am 28. 09. 2019).
- [6] Harald Drück. *Manuskript zur Vorlesung Solarthermie I*. 2012.
- [7] *Dünnschichtmodule*. URL: <https://www.photovoltaik.org/wissen/duennschichtmodule> (besucht am 24. 10. 2019).
- [8] *Eigenmike Microphone*. URL: <https://mhacoustics.com/products> (besucht am 28. 09. 2019).
- [9] *Gel und AGM Batterien*. URL: <https://www.victronenergy.de/upload/documents/Datasheet-GEL-and-AGM-Batteries-DE.pdf> (besucht am 19. 10. 2019).
- [10] *Glasgow 3D Sound Map*. URL: <http://www.glasgow3dsoundmap.co.uk/> (besucht am 28. 09. 2019).
- [11] SMA Regelsysteme GmbH. “Die optimale Auslegung einer netzgekoppelten PV-Anlage”. In: (2003), S. 37.
- [12] Gerald Harbusch. *Lithium Titanat Akkumulator*. 2018. URL: <http://zukunftswerkstatt-verkehr.at/akku-lithium-titanat.html> (besucht am 24. 10. 2019).
- [13] Gerald Harbusch. *Nickel Eisen Akkumulator*. 2017. URL: <http://zukunftswerkstatt-verkehr.at/akku-nickel-eisen.html> (besucht am 24. 10. 2019).
- [14] Florian Hollerweger. “An Introduction to Higher Order Ambisonic”. In: (2008).
- [15] K. Hostniker. “Analysis and Re-Synthesis of Directional Spatial Impulse Responses”. Magisterarb. 2011.
- [16] InvenSense. *Low-Noise Microphone with TDM Digital Output*. 2016.
- [17] David H. Kaye. “Sound attenuation by commonly available membranes used for moisture protection of microphones”. In: *The Journal of the Acoustical Society of America* 6 (1975), S. 1328–1329. ISSN: 0001-4966. DOI: [10.1121/1.380786](https://doi.org/10.1121/1.380786). (Besucht am 28. 09. 2019).
- [18] David Linden und Thomas B. Reddy, Hrsg. *Handbook of batteries*. 3rd ed. New York, 2002. ISBN: 978-0-07-135978-8.

- [19] *List of JACK Frame and Period settings ideal for USB interface*. 2013. URL: https://wiki.linuxaudio.org/wiki/list_of_jack_frame_period_settings_ideal_for_usb_interface (besucht am 18. 10. 2019).
- [20] *Locus Sonus*. URL: <http://locusonus.org/wiki/index.php?page=Home.en> (besucht am 28. 09. 2019).
- [21] *mPCIe LTE-Modul-Set, 15 cm Kabel, LTE/GPS-Antenne | AAEMON | Varia-Store*. URL: <https://www.varia-store.com/de/produkt/34247-mpcie-lte-modul-set-15-cm-kabel-lte-gps-antenne.html> (besucht am 28. 09. 2019).
- [22] *Multi-channel Power Supply IC for Car Audio Systems*. URL: <https://www.rohm.com/products/power-management/power-management-ic-for-system/car-audio-systems/bd49101aefs-m-product> (besucht am 28. 09. 2019).
- [23] *Olimex: A20*. URL: <https://www.olimex.com/Products/OLinuxino/A20/open-source-hardware> (besucht am 28. 09. 2019).
- [24] *Olimex AM-335X*. URL: <https://www.olimex.com/Products/SOM/AM335X/> (besucht am 24. 10. 2019).
- [25] *Olimex: MOD-GPS*. URL: <https://www.olimex.com/Products/Modules/GPS/MOD-GPS/> (besucht am 28. 09. 2019).
- [26] *Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS) - European Commission*. URL: <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis.html> (besucht am 28. 09. 2019).
- [27] *Pure Data libraries / iemmatrix*. URL: <https://git.iem.at/pd/iemmatrix> (besucht am 28. 09. 2019).
- [28] *Radio Aporee*. URL: <https://www.aporee.org/> (besucht am 28. 09. 2019).
- [29] *Soundcamp*. URL: <http://soundtent.org/index.html> (besucht am 28. 09. 2019).
- [30] Andreas Wagner. *Photovoltaik Engineering: Handbuch für Planung, Entwicklung und Anwendung*. 2., bearb. Aufl. VDI. Berlin: Springer, 2006. ISBN: 978-3-540-30732-7.
- [31] *Which solar charge controller: PWM or MPPT*. 2014. URL: <https://www.victronenergy.com/upload/documents/White-paper-Which-solar-charge-controller-PWM-or-MPPT.pdf> (besucht am 19. 10. 2019).
- [32] *Wikipedia: Operating Temperature*. Page Version ID: 917297652. URL: https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Operating_temperature&oldid=917297652 (besucht am 28. 09. 2019).
- [33] *Wikipedia: Schutzart*. Page Version ID: 192300997. URL: <https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Schutzart&oldid=192300997> (besucht am 28. 09. 2019).
- [34] Franz Zotter und Matthias Frank. *Ambisonics: a practical 3D audio theory for recording, studio production, sound reinforcement, and virtual reality*. OCLC: 1099687338. 2019. ISBN: 978-3-030-17207-7.
- [35] *Zylia ZM-1*. URL: <https://www.zylia.co/products.html> (besucht am 28. 09. 2019).