



Bitte deutlich leserlich ausfüllen!

Deckblatt einer wissenschaftlichen Bachelorarbeit

Vor- und Familienname Peter Stiegler	Matrikelnummer 11834797
Studienrichtung Computermusik	Studienkennzahl UV 033 104

Thema der Arbeit:

Mirrorline – Erzeugung von Spektren durch Aliasing

Angefertigt in der Lehrveranstaltung: **ZKF**

(Name der Lehrveranstaltung)

Vorgelegt am: **13. 06. 2022**

(Datum)

Beurteilt durch: **Daniel Mayer**

(Leiter/-in der Lehrveranstaltung)



PETER STIEGLER
(Name in Blockbuchstaben)

11834797
(Matrikelnummer)

Erklärung

Hiermit bestätige ich, dass mir der *Leitfaden für schriftliche Arbeiten an der KUG* bekannt ist und ich die darin enthaltenen Bestimmungen eingehalten habe. Ich erkläre ehrenwörtlich, dass ich die vorliegende Arbeit selbständig und ohne fremde Hilfe verfasst habe, andere als die angegebenen Quellen nicht verwendet habe und die den benutzten Quellen wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Graz, den 13.06.2022.....

.....
Unterschrift der Verfasserin/des Verfassers

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung.....	2
2. Grundlagen der digitalen Signalverarbeitung und technische Erklärung von Aliasing.....	3
3. Exkursion: Glitch.....	4
3.1 Ästhetik und Geschichte der Glitch-Musik.....	4
3.2 Aliasing als Glitch.....	5
4. Erzeugung von Aliasing.....	7
5. Analyse: Mirrorline.....	10
5.1 Der Klangerzeuger.....	10
5.2 Der Hall-Effekt.....	13
5.3 Improvisation und Strukturierung.....	14
6. Konklusion und Ausblick.....	17
7. Quellenverzeichnis.....	18
7.1 Literaturquellen.....	18
7.2 Internetquellen.....	18

1. Einleitung

Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit dem künstlerischen Zugang zum Phänomen Aliasing, welches in der digitalen Signalverarbeitung auftritt. Im Zentrum dieser Auseinandersetzung liegt mein Stück *Mirrorline* und die zur Komposition des Stücks verwendeten Methoden in der musikalischen Programmiersprache SuperCollider. Zu Beginn werden die Grundlagen zum Verständnis von Aliasing besprochen. Darauf folgt ein Exkurs in die Geschichte des kreativen Arbeitens mit digitalen Fehlern, sogenannten Glitches, sowie eine Beobachtung der Verhältnisse zwischen Glitch-Kunst und der Arbeit mit Aliasing. Dann beschreibe ich verschiedene Methoden, gezielt Aliasing zu erzeugen und dabei Wege zur kreativen Arbeit zu erhalten. Abschließend folgt die genaue Analyse der Umsetzung dieses Materials in der Komposition *Mirrorline*.

2. Grundlagen der digitalen Signalverarbeitung und technische Erklärung von Aliasing

Das Phänomen Aliasing entsteht bei der Abtastung eines Signals. Um ein Signal originalgetreu wiederzugeben, muss pro Signalperiode mindestens zwei Mal abgetastet werden. Das bedeutet, dass die Abtastrate mindestens doppelt so hoch sein sollte wie die höchste vorkommende Frequenz im abzutastenden Signal. Als minimaler Standardwert für die Abtastrate hat sich 44.1 kHz durchgesetzt. So können Frequenzen bis zu 22.05 kHz ohne Aliasing verarbeitet werden. Diese höchste fehlerfrei reproduzierbare Frequenz, gleich der halben Abtastrate, wird in der Regel nach dem Wissenschaftler Harry Nyquist die Nyquistfrequenz genannt. Der Effekt von Aliasing bei Audiosignalen ist, dass alle Frequenzen über der Nyquistfrequenz als andere Frequenzen wiedergegeben werden. Hier gilt, dass während die zu reproduzierende Frequenz ansteigt, die wiedergegebene Frequenz tiefer wird, bis sie unter 0 Hertz fällt. Danach steigt sie wieder, bis sie erneut die Nyquistfrequenz erreicht und wieder zu fallen beginnt. Das Sampling Theorem nach Nyquist lässt sich vereinfacht zusammenfassen als: *Abtastfrequenz – Originalfrequenz = Neue Frequenz.*¹

Aliasing zeichnet sich in der Regel als störende Unklarheit in den hohen Bereichen des Klangspektrums ab. Kern dieser Arbeit und meiner Komposition *Mirrorline* war, gezielt Frequenzen zu verwenden, welche weit über der Nyquistfrequenz liegen, um durch diese Fehlabbildungen mehrere Faltungen im Klangspektrum zu erhalten und somit eine eigene Klangästhetik zu erzielen.

1 Curtis Roads, *The Computer Music Tutorial*. Massachusetts: Massachusetts Institute of Technology 1996, S. 30. Übersetzt vom Autor.

3. Exkursion: Glitch

In der traditionellen digitalen Aufnahmetechnik gilt Aliasing als technische Limitation. Es wird als eine Grenze gesehen, die durch bessere Wandler und Software verschoben werden kann, aber dessen Überschreitung vermieden werden soll. Da sich diese Arbeit mit genau dieser Überschreitung beschäftigt wird es notwendig, besonderen Fokus auf ein Genre zu legen, welches sich vorwiegend mit der Aufdeckung von Fehlern und Grenzen im digitalen Raum und dessen Ästhetik beschäftigt: Glitch.

3.1 Ästhetik und Geschichte der Glitch-Musik

Die Denkweise im Kern der Glitch-Kunst ist das Interesse an der „Imperfektion“ eines gegebenen Mediums: Was ein Medium ausmacht ist nicht seine Transparenz – wie akkurat es seine Informationen reproduziert – sondern die Art wie es versagt zu verschwinden. Die Auseinandersetzung mit medium-spezifischen Artefakten ist das Interesse an genau diesem Versagen.² Für Glitch-Musiker*innen sind das Klänge, die unter anderem aus Systemcrashes, Clipping, Quantisierungsrauschen und auch Aliasing entstehen. Dieser Stil gewann vor allem in den späten 1990er und frühen 2000er Jahren an Popularität und ging mit der freien Erhältlichkeit moderner Audiosoftware Hand in Hand.³

In „The Aesthetic of Failure“ benennt Kim Cascone dieses Interesse an fehlerhaften Prozessen. Unausweichliches technisches Versagen wird in dieser „post-digitalen“ Ästhetik nicht unterschwellig versteckt: Neue Werkzeuge werden benutzt um die Fehler zu vergrößern, sie zum Zentrum einer Arbeit zu machen und zu zeigen, dass unsere digitalen Werkzeuge nur so perfekt und präzise sind wie die Menschen die sie bauten.⁴

Glitch-Kunst, ob musikalisch oder visuell, wird vor allem in nicht-akademischen Kontexten betrieben. Die verwendeten Werkzeuge sind oft frei erhältlich, die Methoden sind simpel und werden offen erklärt. Glitch-Künstler*innen geben bewusst die Kontrolle über ihr Material auf. Manon und Temkin beschreiben Glitch als ein nicht-wissenschaftliches Handwerk: Die Rolle der Künstler*innen liegt nicht in der Kausalität, sondern darin, Umstände zu generieren (und auf Umstände zu reagieren) in denen die Kunst von sich aus passieren kann, ähnlich wie bei

2 Rosa Menkman, *The Glitch Moment(um)*. Amsterdam: Network Notebooks 2011, S. 14. Übersetzt vom Autor.

3 Kim Cascone, *The Aesthetics of Failure. „Post-Digital“ Tendencies in Contemporary Computer Music*, Cambridge: MIT Press 2000. Übersetzt vom Autor

4 ebenda

Straßenphotographie.⁵ Glitch-Musik wird überwiegend in nicht-akademischen Kontexten praktiziert, oft verbunden mit einer Form von Dance-Musik von einer einzelnen Person an einem Heimcomputer. Durch den freien Austausch des Internets konnte sich diese Ästhetik rasant verbreiten. Künstler, die zum Beispiel mit dem prominenten britischen Independent-Label Warp Records, dem deutschen Mille Plateaux oder dem österreichischen Mego assoziiert waren, wurden zu den Vorreitern dieser Bewegung. Noch heute werden die prominentesten (Heim-)Computermusikgenres dieser Zeit wie IDM, Breakcore und eben Glitch neu definiert, fusioniert, reproduziert und über das Internet rasant vervielfältigt.

3.2 Aliasing als Glitch

Bei genauerer Betrachtung der Verfahren, durch die Glitches hervorgerufen werden wird klar, dass ein Glitch meist nicht eine rein interne Angelegenheit des Computers ist. Der Glitch passiert meist in der Kreuzung der digitalen Welt zur analogen Welt.⁶ Somit passt Aliasing genau in das Gerüst der Glitch-Kunst. Aliasing, in der Form die es durch unzureichende Wandler und DSP-Chips nimmt, zeigt auch eine Parallele zwischen Glitch und der frühen Lo-Fi Bewegung auf. Es handelt sich in beiden Bewegungen um die Eigenheiten des verwendeten Mediums und um den Kontrast gegen die populäre Neigung zu polierten, hochauflösenden Medien.⁷ Zusätzlich herrscht in beiden Bewegungen unter anderem der „Do-It-Yourself“ Gedanke vor sowie der Wunsch, das Chaos des Mediums wieder sichtbar, beziehungsweise hörbar, zu machen. Auch in *Mirrorline* vertrete ich diesen Gedanken; nicht etwa durch die absichtliche Verwendung von veraltetem oder fehlerhaftem Equipment, sondern durch die bewusste Überschreitung einer Limitation des Mediums. Die Nutzung eines Computers wird gemeinhin als Selbstverständlichkeit wahrgenommen und Aliasing von mir bewusst als zentrales Mittel der Synthese verstanden: Kein Fehler, der dem Computer eigen ist, sondern als ständig präsente Möglichkeit. Die Philosophie des post-digitalen und des Glitch führe ich so weiter, dass in *Mirrorline* Klänge verwendet werden, die nur mit digitalen Mitteln erreichbar sind, welche aber den Trends und Zielen kommerzieller Software entgegenwirken.⁸

5 Hugh S. Manon & Daniel Temkin, „Notes on Glitch“, World Picture Journal 2011, http://www.worldpicturejournal.com/WP_6/Manon.html, zugegriffen am 28.04.2022. Übersetzt vom Autor

6 ebenda

7 ebenda

8 Ian Andrews, „Post-digital Aesthetics and the return to Modernism“, <https://ian-andrews.org/texts/postdig.html> zugegriffen am 28.04.2022. Übersetzt vom Autor

„Music technology in some ways appears to have been on a trajectory in which the end result is that it will destroy and devalue itself. It will succeed completely when it self-destructs.“

-David Byrne⁹

In *Mirrorline* gibt es allerdings große Unterschiede zur üblichen Ästhetik von Glitch: Glitch präsentiert sich überwiegend als fragmentiert, tendierend zu scharfen und ruckartigen Schnitten. *Mirrorline* bevorzugt eine eher statische Erscheinung, Klangobjekte in der Form lang anhaltender Cluster gehen ineinander über. Der Glitch ist keine momentane Erscheinung sondern eine ständige Präsenz.

Die in *Mirrorline* angewandte Kompositionsphilosophie bevorzugt fließende Übergänge von Tonclustern, die als die grundlegenden Klangobjekte der Komposition dienen. Sie zeigt in diesem Sinn auf, dass die Arbeit mit „Abfallprodukten“ in der Tat ein gemeinsames Thema zwischen der *Musique Concrète* und Glitch-Musik ist. Drew Daniel beschreibt Rolle des „Müll“ in der *Musique Concrète*: Es werde nie möglich sein, einen Klang von seiner materiellen Realität zu trennen. Ein konkretes Klangobjekt wird durch eine bemerkbare materielle Basis nicht entwertet, sondern in seiner eigenen Realität geerdet.¹⁰

Es lässt sich behaupten, dass die Fehler des Digitalen die selbe unverneinbare Realität darstellen wie die Materialität der konkreten Klänge. Es wird in der digitalen Welt immer Fehler geben. Genau so wird es im Prozess der Komposition immer eine mentale Unterscheidung zwischen Brauchbarem und Müll geben. Die Arbeit mit Aliasing versucht unter anderem, die Beziehung zum Müll in der digitalen Klangwelt zu überdenken.

9 David Byrne, *How Music Works*. Edinburgh: Canongate 2012, S. 143

10 Drew Daniel, „Towards a Heterology of Sound: On Bataille and *Musique Concrète*“, in: *Spectres. Composing Listening*. Shelter Press 2019, S. 44. Übersetzt vom Autor

4. Erzeugung von Aliasing

Um einen Klang mithilfe von Aliasing zu synthetisieren oder zu transformieren, gibt es zahlreiche Möglichkeiten. Das folgende Kapitel beschäftigt sich mit den naheliegendsten und effektivsten dieser Möglichkeiten, sollte aber nicht als definitive Liste aller Methoden gesehen werden. Es gilt hier zusätzlich die Unterscheidung, ob Aliasing auf der Ebene der Klangsynthese oder auf der Ebene der Klangverarbeitung auftritt.

1. Synthese – Additive Synthese:

Eine der einfachsten Methoden der gezielten Erzeugung von Aliasing, sowie die einzige Synthesemethode, die ich in *Mirrorline* anwende, ist die additive Synthese. Darunter versteht man die Erzeugung einer Obertonreihe durch (in diesem Fall) Sinuswellen. Wenn eine hohe Anzahl an Sinuswellen vorhanden ist und der erste Teilton dieser Reihe hoch genug angesetzt wird, kommt es schnell zu einer Überschreitung der Nyquistfrequenz und somit zu Aliasing. Für die in *Mirrorline* bevorzugte Methode, harmonische Klänge über die Nyquistfrequenz zu bringen und diese dann zu modulieren, ist die additive Synthese ideal. In SuperCollider lassen sich alle Sinuswellen in der Obertonreihe unabhängig voneinander modulieren.

Hier ist die spezifische Softwareimplementation von Sinuswellen und von Anti-Aliasing-Verfahren relevant: In Programmen wie SuperCollider und PureData lassen sich Sinuswellen sehr einfach spiegeln. SuperCollider erlaubt eine bis zu 8-fache Spiegelung, PureData erlaubt theoretisch unendlich viele Spiegelungen (bei extremen Frequenzen von über 750 Kilohertz beginnen sich hier neue Glitches abzubilden, ein „Glitch im Glitch“). In vielen modernen DAWs und/oder VST-Instrumenten werden jedoch Töne über der Nyquistfrequenz entweder einfach nicht abgespielt oder es wird durch „Oversampling“ intern die Abtastrate erhöht, so dass es gar nicht zu Aliasing kommt.

2. Synthese – Nicht-bandlimitierte Wellenformen:

Eine einfachere Methode als additive Synthese ist die Nutzung von Wellenformen wie Puls- oder Sägezahnwellen auf hohen Frequenzen. Dadurch lassen sich schnell ähnliche Artefakte erzielen wie durch additive Synthese, allerdings sind durch die fixierte Natur der Wellenformen die Möglichkeiten der Modulation geringer.

3. Synthese – FM-Synthese:

Mithilfe einer hohen Carrier-Frequenz und/oder eines hohen Modulationsindex ist es in der FM-Synthese einfach, Aliasing zu erzeugen. Da die FM-Synthese sich allerdings ohnehin sehr gut für inharmonische Spektren und Cluster eignet, ist es schwieriger die Wirkung des Aliasing bemerkbar zu machen.

4. Klangverarbeitung – Downsampling:

Durch die manuelle Reduktion der Abtastfrequenz kann jeder erdenkliche Klang Aliasing auslösen. Obwohl Downsampling eine offensichtliche Methode ist Aliasing zu erreichen, habe ich in *Mirrorline* auf die Nutzung von Downsampling gänzlich verzichtet: Das ganze Stück wurde mit einer fixierten Abtastrate komponiert. Der Gedanke den Glitch kommen zu lassen wird gegenüber dem Gedanken den Glitch herbeizuholen bevorzugt. *Mirrorline* dreht sich zentral um die ständig präsente Grenze der Nyquistfrequenz. Ein Werkzeug zu nutzen um diese Grenze zu verschieben, wäre die Instrumentalisierung dieser Grenze, während das Ziel meiner Komposition die Instrumentalisierung der Überschreitung dieser Grenze ist. Downsampling ist eine Art der Klangtransformation, während ich in *Mirrorline* eine Erzeugung von Aliasing gänzlich auf Ebene der Synthese bevorzugte.

Eine zusätzliche interessante Perspektive wäre, durch Downsampling die Nyquistfrequenz zwischen 16 und 18 Kilohertz zu setzen. Somit wäre die technische Grenze nicht die des Computers, sondern die des menschlichen Gehörs. Dazu würden bei dieser Methode auch weniger klangliche Information „verloren gehen“: In der Methode die ich bei *Mirrorline* verwendet habe befinden sich zwischen 16 Kilohertz und der Nyquistfrequenz von 24 Kilohertz spektrale Inhalte, die das menschliche Ohr nicht wahrnehmen kann.

Weiters ist es durch Downsampling auch möglich, die Nyquistfrequenz dynamisch zu verändern. So lassen sich zum Beispiel identische Klangobjekte mit unterschiedlichem Einfluss von Aliasing abspielen. Weiters ist es möglich die Samplingfrequenz mit einem oder mehreren beliebigen anderen Parametern zu synchronisieren. Es lassen sich auch verschiedene Samplingfrequenzen für verschiedene Elemente einer Komposition setzen. So lässt sich zum Beispiel die eigene interne Samplingfrequenz eines Klangerzeugers an dessen Grundfrequenz binden, wodurch ein konstanter Einfluss von Aliasing, anstatt eines steigenden Einflusses bei steigender Frequenz, entsteht. Um ein möglichst eindeutiges und überzeugendes Ergebnis zu erreichen sollte beim Downsampling mit sehr harmonischen Spektren gearbeitet werden. Komplexere Spektren resultieren meist in stark rauschenden, verzerrten Signalen bekannt aus typischen Bitcrushing-Effekten. Trotz seiner Einfachheit ist das Downsampling – vor allem das eben beschriebene

dynamische Downsampling – eine sehr inspirierende und effektive Methode der Erzeugung von Aliasing.

4. Klangverarbeitung – Pitch-Shifting:

Als Gegenstück zum Downsampling kann beim Pitch-Shifting jeder erdenkliche Klang spektral in seiner Tonhöhe verschoben werden. So ist es zum Beispiel leicht, das Spektrum eines vorher determiniertes Samples zum Teil oder zur Gänze zu spiegeln. Hierbei ist die Art des Pitch-Shifting wichtig. Je nach der gewählten Methode sind die Resultate mehr oder weniger überzeugend.

5. Klangverarbeitung – Verzerrung/Waveshaping:

Verfahren des Waveshaping sowie der Verzerrung bilden nicht-lineare spektrale Komponenten. Diese sind oft hochfrequent genug, um sogar ohne Absicht Aliasing zu erzielen. Kommerzielle Verzerrungseffekte, etwa in VST-Plugins, erhöhen oft intern die Abtastrate um das zu verhindern. Somit liegt eine Art des Waveshaping die speziell darauf ausgelegt ist, die Nyquistfrequenz zu überschreiten, nahe. Hier gilt es wieder besondere Vorsicht auf das Spektrum des Input-Signals zu legen: Komplexere Signale führen schnell zu generischem Rauschen.

Jede dieser Möglichkeiten zu Aliasing zu kommen beinhaltet die Chance auf eine andere klangliche sowie philosophische Auseinandersetzung mit dem Thema. In *Mirrorline* konzentrierte ich mich auf nur eine dieser Methoden, um den für eine gründliche Erkundung notwendigen Tiefgang zu erreichen.

5. Analyse: *Mirrorline*

Mein Stück *Mirrorline*, entstanden im Herbst 2020, beinhaltet ausschließlich die zuvor genannte Methode des Aliasing durch additive Synthese¹¹, programmiert in SuperCollider. Dazu habe ich noch ein Feedback-Delay-Netzwerk verwendet, um einen Hall-Effekt zu erzeugen und das Stereobild zu erweitern.

In diesem Kapitel tut sich die typische Frage der Zugänglichkeit in der experimentellen Musik auf: Ist es ohne technisches Verständnis der verwendeten Methoden überhaupt möglich, das Thema des jeweiligen Stücks zu verstehen? Und die natürliche Gegenfrage: Ist so ein Verständnis überhaupt notwendig um den musikalischen Wert des Stücks zu empfinden?

Natürlich wird für Hörer*innen ohne Kenntnis digitaler Signalverarbeitung das technische Konzept von *Mirrorline* verloren gehen, das klangliche und kompositorische Resultat bleibt jedoch gleich. Die subjektiv wahrgenommene Qualität eines Stücks wird durch eine Vielzahl von Faktoren bestimmt, technisches Verständnis der Klangerzeugung ist nur einer davon. Jedes Musikstück hat universelle Qualitäten die auch ohne besonderes Training hörbar sind.¹² Auch auf kompositorischer Ebene wurden in *Mirrorline* meine rhythmischen und strukturellen Entscheidungen nicht direkt durch das Konzept der Klangerzeugung, sondern eher durch den resultierenden Klang beeinflusst.

5.1 Der Klangerzeuger

Der Klangerzeuger besteht aus 200 Sinuswellen, die – wie für die additive Synthese typisch – in ihren Frequenzen der Obertonreihe entsprechen. Die tiefste Sinuswelle in dieser Reihung hat eine Frequenz von 400 Hertz. So wird in der Grundstellung des Klangerzeugers eine theoretische Höchstfrequenz von 80.000 Hertz erreicht. Ich arbeitete mit einer Abtastrate von 48.000 Hertz, somit wurde jeder Sinuston über 24.000 Hertz (der 60. Teilton in dieser Konfiguration) durch Aliasing tiefer gespiegelt. Ein Ton über 48.000 Hertz (der 120. Teilton in dieser Konfiguration) wird erneut nach oben gespiegelt. In SuperCollider lässt sich die Nyquistfrequenz bis zu acht Mal überschreiten, höhere Frequenzen werden nicht mehr abgebildet. Das ergibt bei einer Abtastrate

11 Download: <https://peterstiegler.bandcamp.com/album/mirrorline>

12 Curtis Roads, *Composing Electronic Music. A New Aesthetic*, New York: Oxford University Press 2015, S. 218.
Übersetzt vom Autor

von 48 Kilohertz eine Maximalfrequenz von 192 Kilohertz. Bei den Modulationen des Klangerzeugers kommt es durchaus zu höheren Frequenzen, die somit nicht abgespielt werden. Trotzdem stellte sich ein großzügiger Umgang mit der Anzahl der Sinuswellen und deren Modulationen während der Entstehung des Stücks als überzeugend heraus.

Die folgenden Parameter des Klangerzeugers habe ich durch ein grafisches Interface bei der Aufnahme des Stücks live und frei improvisiert:

1. Verschiebung der gesamten Reihe durch Veränderung der Grundfrequenz mithilfe einer Multiplikation jener Frequenz variabel von 1.0 bis 4.0:

So wird die Tonhöhe der einzelnen Elementen des Stücks verändert. Veränderungen dieses Parameters werden innerhalb des Patches um 4 Sekunden verlangsamt, dadurch entsteht ein Glissando.

2. Zufällige Modulation der Amplitude einzelner Teiltöne mit einer Modulationsfrequenz von 0.0 bis 2.0 Hertz:

Die ständige Verformung der Magnituden der einzelnen Teiltöne sorgt für unberechenbare, subtile Veränderungen in der Klangfarbe.

3. Geometrische Dehnung oder Zusammenziehung der Obertonreihe:

Der Abstand zwischen den Teiltönen wird variabel mit einem Faktor von 0.9 bis 1.1 größer oder kleiner. (Fig. 1)

Durch eine maximale Dehnung der Obertonreihe und eine Grundfrequenz von 1600 (400 mit maximaler Multiplikation 4) wird eine theoretische Höchstfrequenz weit über der achtfachen Faltung erreicht. Das Spektrum wird so um mehrere Teiltöne dünner. (Fig. 2)

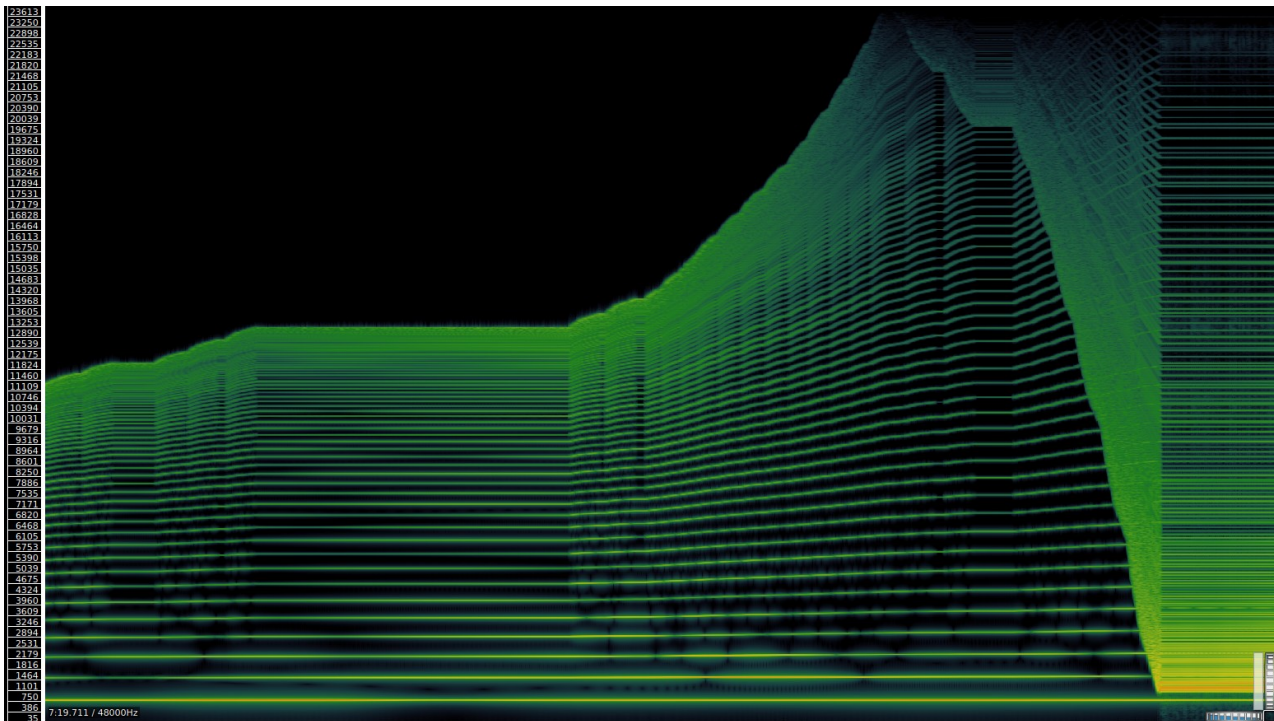


Fig 1: Spektrogramm der geometrischen Dehnung des Spektrums in der ersten Minute von Mirrorline, dargestellt durch die Sonic Visualiser Software. Im äußerst rechten Viertel des Bildes wird bereits Aliasing verursacht.

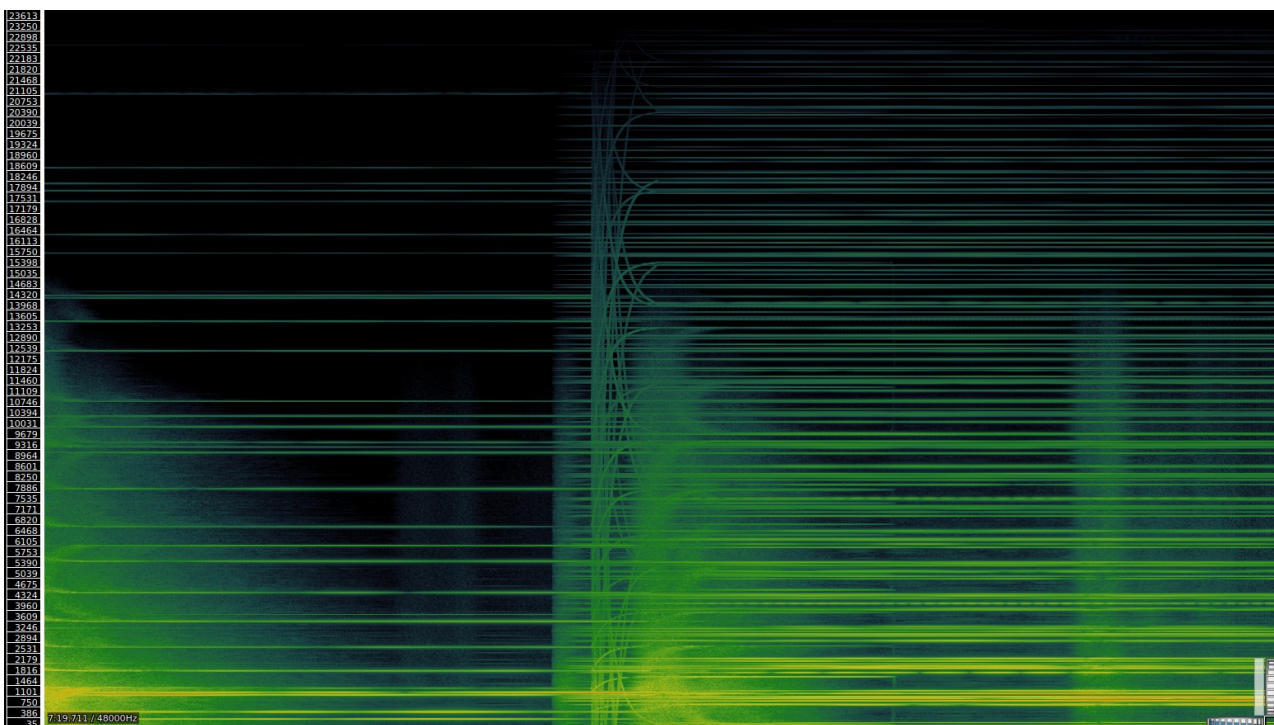


Fig 2: Ein dünnes, stark gedehntes Spektrum geht in ein dichteres, zusammengezogenes Spektrum über.

4. Tiefpassfilter und dessen Modulationsfrequenz:

Ein resonanter Tiefpassfilter dämpft die oft sehr hohen Frequenzen des Signals. Der Kontrollbereich der Cutoff-Frequenz dieses Filters liegt zwischen 200 und 800 Hertz. Dieser Wert wird durch einen Sinus-LFO zwischen 1.0 und 2.0 Mal multipliziert, effektiv arbeitet der Filter also zwischen 200 und 1600 Hertz. Die Frequenz des LFOs lässt sich zwischen 0.0 und 2.0 Hertz steuern.

5. Amplitude:

Die Ausgangslautstärke des Klangerzeugers.

5.2 Der Hall-Effekt

Der Hall-Effekt ist eine Feedbackschleife, bestehend aus 16 Allpass-Filtern mit zufälliger Delay-Zeit und einem variablen Tiefpassfilter. Ein Hochpassfilter am Ende der Schleife mit einer Cutoff-Frequenz von 40 Hertz verhindert übermäßige Ansammlung von Energie im tieferen Register. Die folgenden Parameter des Hall-Effektes wurden durch ein ebenfalls grafisches Interface bei der Aufnahme live und frei improvisiert:

1. Dry/Wet Mix:

Stärke des Effekts.

2. Feedback:

Mit welcher Amplitude das Signal zurück zum Beginn der Schleife gesendet wird. Durch den Feedback-Wert wird das Signal variabel von 0.0 bis 1.1 multipliziert.

3. Gain:

Die Outputlautstärke der Allpass-Filter, variabel von 0.0 bis 1.1.

4. Decay:

Die Zeit, die ein Allpass-Filter braucht, um ein Echo um 60 dB zu verringern. Variabel von 0.0 bis 10.0 Sekunden. Ein niedriger Wert hat einen klareren Delay Effekt zur Folge.

5. Tiefpassfilter:

Innerhalb der Feedbackschleife können Frequenzen mit einer Cutoff-Frequenz zwischen 500 und 20000 Hertz gefiltert werden.

In dieser Ausführung verläuft der gesamte zuvor genannte Signalfluss in Mono. Um ein Stereobild zu erreichen wird das Signal darüber hinaus in zwei verschiedene Delays geleitet, welche beide unabhängig voneinander eine zufällige Delayzeit erhalten. Eines dieser Delays bildet das Outputsignal des linken Kanals, das andere bildet das Outputsignal des rechten Kanals.

5.3 Improvisation und Strukturierung

Die improvisatorische Erkundung des Klangmaterials ist ein wesentlicher Bestandteil der Entstehung des Stücks *Mirrorline*. Improvisation stellt einen gewissen Grad des Kontrollverlusts dar. Dieser Kontrollverlust ist nicht nur in der Glitch-Kunst vertreten, er ist auch eine ästhetische Entscheidung, verbunden mit der Nutzung der additiven Synthese: In der für Glitch typischen Arbeitsweise liegt wilde Experimentation nahe, da viele Glitches in ihrer Berechenbarkeit limitiert sind – auch Aliasing bringt einen wesentlichen Grad der Unberechenbarkeit mit sich. Die additive Synthese wird oft mit der seriellen Ästhetik der frühen Kölner Schule in Verbindung gebracht. Weiters wird sie heutzutage oft für präzise kontrollierte Resyntheseverfahren verwendet. Improvisatorische Arbeit mit additiver Synthese ist ein Weg, einen Kontrast zu den stark kontrollierten typischen Nutzungsbereichen der additiven Synthese zu bieten. Die Natur der stark modulierten additiven Synthese in Verbindung mit den relativ unberechenbaren harmonischen Folgen des Aliasing legte einen Fokus auf die Arbeit mit inharmonischen Tonclustern oder Klangfeldern nahe.

Anschließend an die Aufnahme der Improvisationen habe ich in einer DAW die daraus entstandenen Materialien intuitiv zu einer Makrostruktur verbunden.

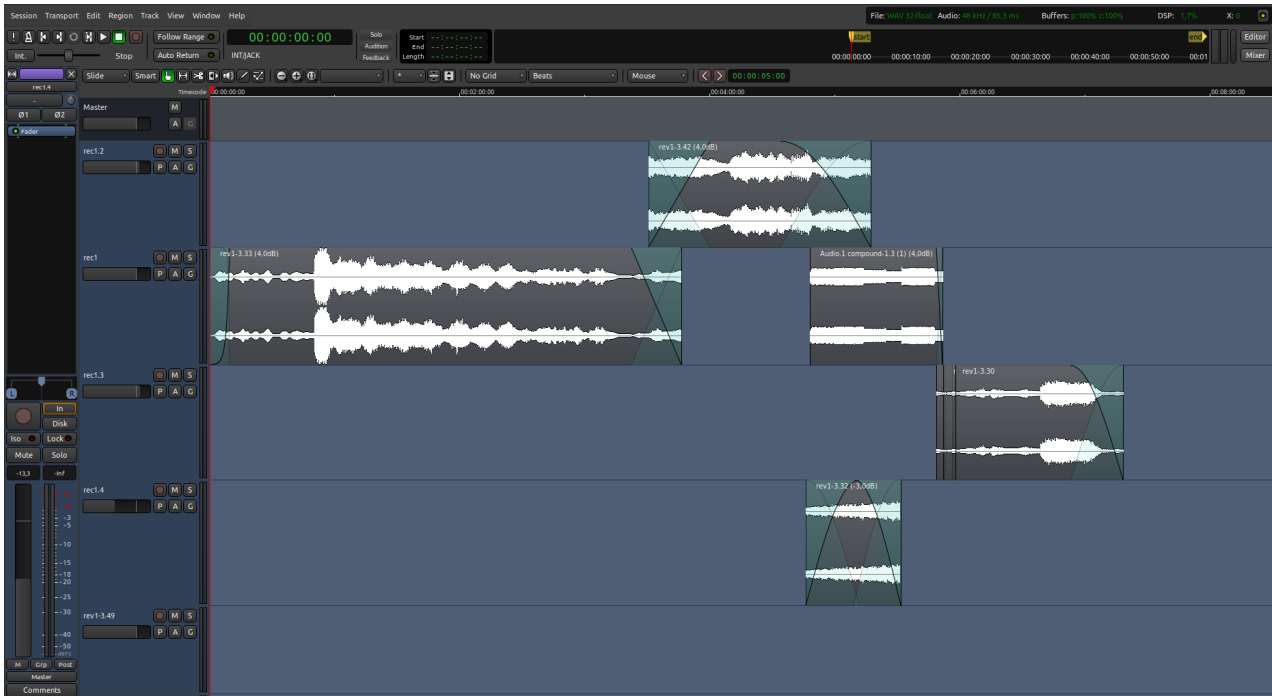


Fig 3: DAW-Timeline von Mirrorline

Mirrorline beginnt mit einer 55 Sekunden lang fortschreitenden, spektralen Dehnung auf einem gleichbleibenden Fundament, die dem Stück einen Eindruck von Spannung verleiht. Diese Dehnung wird bei Sekunde 48 so stark, dass zum ersten Mal Aliasing auftritt und der Klang förmlich in sich zusammenbricht. Ab diesem Zeitpunkt beginnen Modulationen der Grundfrequenz in verschiedenen Abständen. Durch die Verzögerung der jeweiligen Parameter in der GUI in SuperCollider kommt es bei jeder Veränderung der Grundfrequenz zu einem chaotischen Übergang der einzelnen Teiltöne. Es entsteht eine Folge von variierenden Klangfeldern, die sich in ungleichen Abständen neu anordnen. Dazu kommt die langsame aber konstante Veränderung der Amplituden der einzelnen Frequenzen sowie des Tiefpassfilters, welche jedem diese Klangfelder eine zeitliche Entwicklung verleiht. Bei Minute 1:30 tritt der Hall-Effekt im Klangbild stärker auf. Die chaotischen Übergänge zwischen den Klangfeldern werden so spektral und zeitlich verwischt, sie machen beinahe den Eindruck, rückwärts in der Zeit zu laufen. Gleichzeitig verringert sich über die nächsten zwei Minuten die Gesamtlautstärke des Stücks. Das Ohr gewöhnt sich an die dissonante Natur der Komposition und das Stück bekommt Zeit, von dem dramatischen Beginn aufzuatmen. Über die nächste Minute erhalten die Veränderungen einen fast fließenden Charakter, sie werden häufiger, bleiben durch den Hall auch länger im Klang vertreten und erhalten langsam eine größere Wichtigkeit in der Zeit als die eigentlichen Toncluster. Bei Minute 3:10 findet das Stück seinen energetischen Tiefpunkt. Das Klangbild fließt in einen

weiteren Cluster und verbleibt dort für über 20 Sekunden. Auch die durch den Lauf der letzten Minuten stets verringerte Lautstärke wird hier statisch tief gehalten.

Es folgt eine weitere, gewohnt verwischte Verschiebung des Klangfeldes in einen stärker dissonanten und dichterem Bereich bei Minute 3:32, welcher langsam wieder Spannung in das Stück bringt. Dieser Cluster wird für eine volle Minute ausgehalten, in welcher der Eindruck von Spannung durch ein stetiges Crescendo und durch Verringerung des Hall-Effektes in die Komposition zurückkehrt. Am Höhepunkt der Spannung treten zu diesem Zeitpunkt bereits ungewohnt schnelle Verschiebungen der Klangfelder auf. Hier beginnt der ereignisreichste Teil der Komposition: Die rhythmisch variierenden Verschiebungen finden Kontrast durch eine regelmäßige Modulation der Cutoff-Frequenz des Tiefpassfilters. Zeitgleich mit einer dieser Veränderungen wird schlagartig eine neue Klangschicht eingeführt, die das Spektrum der ersten Schicht komplementiert. Während dieser Zeit wird die erste Schicht langsam ausgeblendet, eine dritte Rausch-ähnliche Schicht langsam eingeblendet und nach kurzer Zeit wieder ausgeblendet. Die Rolle dieser dritten Schicht ist es, mit ihrem Verschwinden einen Eindruck von Klarheit zu schaffen. Während ihrer Laufzeit verdichtet sie das bereits sehr komplexe Spektrum weiter, um den Effekt der Auflösung zu vergrößern, wenn nur noch eine der Klangschichten übrig bleibt. Diese übrig gebliebene Klangschicht wird anschließend für etwas mehr als 15 Sekunden gehalten, einmal verändert, und dann plötzlich in den Hall-Effekt geleitet. Es resultiert ein 20 Sekunden langer Abschnitt, in dem der extrem helle Klangcharakter dieser Kombination ein fast melodisches Element bildet, bevor das Spektrum wieder langsam gedehnt wird und in einer ähnlichen Bewegung wie am Anfang des Stücks einmal mehr Spannung in die Komposition kommt. Ebenfalls wie am Anfang, geht die Dehnung langsam weiter bis starkes Aliasing auftritt; in diesem Fall ist das Klangfeld stark mit dem Hall vermischt, wodurch die spektrale Veränderung etwas chaotischer ausfällt. Durch Modulation des Filters wird ein weiterer Akzent gesetzt, danach der Klangerzeuger stumm geschaltet und die letzten Sekunden des Stücks dem Ausklang des Halls überlassen.

Die Makrostruktur von *Mirrorline* besteht also aus drei intuitiven, in der Länge abnehmenden Bewegungen der Spannung und Entspannung. Sie ist eine Emergenz der improvisatorischen Prozesse deren Ergebnisse zwar von Hand platziert, aber stark von den vorher unbekanntem und unberechenbaren Qualitäten jener Improvisationen informiert wurden.

6. Konklusion und Ausblick

Die Arbeit mit Aliasing stellte sich im Lauf meiner Arbeit an *Mirrorline* als ein inspirierendes und subversives Mittel der Klangerzeugung, weit über den Ersteindruck als „eines von vielen Glitches“ heraus. Es macht durchaus Sinn, Aliasing als Glitch zu definieren und somit Musik, die mithilfe von Aliasing komponiert wurde, diesem Genre zuzuschreiben. Doch die typischen stilistischen Eigenschaften von Glitch-Musik sind keineswegs Voraussetzungen oder gar besonders sinnvoll bei der Arbeit mit Aliasing.

Die Methode der additiven Synthese – die ich in *Mirrorline* als einzige Art der Beschaffung klanglicher Materialien verwendet habe – reicht vollkommen aus, um ein vollständiges Stück zu komponieren. Sie ist aber nur eine von zahlreichen Methoden, mit denen es noch zu experimentieren gilt. Besonderes Interesse liegt dabei in dem Aspekt, Aliasing nicht nur als nebensächlichen Effekt, sondern als gezieltes kompositorisches Werkzeug zu verwenden. Es handelt sich um eine sehr effektive Methode, atonale und Cluster-ähnliche Spektren zu erzeugen. Die Arbeit mit Aliasing in einem tonalen Kontext könnte sich allerdings als schwierig erweisen. In meiner persönlichen künstlerischen Arbeit werde ich mich künftig verstärkt auf die Verwendung von Klangtransformationen, wie dynamisches Downsampling und Waveshaping, sowie auf die Kombination mehrerer Methoden der Erzeugung von Aliasing konzentrieren. Auch andere Programme und deren Umgang mit Aliasing sind für mich von Interesse, vor allem der „Glitch-im-Glitch“ bei extremen Frequenzen in PureData.

Die Arbeit mit Aliasing fordert – je nach verwendeter Methode – bestimmte konzeptuelle Voraussetzungen; eine tiefgehende Auseinandersetzung mit Aliasing als künstlerisches Potential wird jedoch mit vielseitigen und musikalisch anregenden Arten der Klangerzeugung und Klangmanipulation belohnt.

7. Quellenverzeichnis

7.1 Literaturquellen

Roads, Curtis: *The Computer Music Tutorial*, Massachusetts: Massachusetts Institute of Technology 1996.

Menkman, Rosa: *The Glitch Moment(um)*, Amsterdam: Network Notebooks 2011.

Cascone, Kim: *The Aesthetics of Failure. „Post-Digital“ Tendencies in Contemporary Computer Music*, Cambridge: MIT Press 2000.

Byrne, David: *How Music Works*, Edinburgh: Canongate 2012.

Daniel, Drew: „Towards a Heterology of Sound: On Bataille and Musique Concrète“, in: *Spectres. Composing Listening*. hg. v. Shelter Press, Frankreich: Shelter Press 2019.

Roads, Curtis: *Composing Electronic Music. A New Aesthetic*, New York: Oxford University Press 2015

7.2 Internetquellen

Andrews, Ian: „Post-digital Aesthetics and the return to Modernism“, zugegriffen am 28.04.2022
<https://ian-andrews.org/texts/postdig.html>

Manon, Hugh S. and Daniel Temkin: „Notes on Glitch“, World Picture Journal 2011, zugegriffen am 28.04.2022 http://www.worldpicturejournal.com/WP_6/Manon.html