

Bachelorarbeit im Studiengang Audiovisuelle Medien,
Fakultät Electronic Media, Hochschule der Medien Stuttgart

Granularsynthese

Ein Meilenstein in der Entwicklung von Musiksoftware

Vorgelegt von: Sebastian Specht (Matrikelnummer 20858)

Am: 24. Juli 2013

Erstprüfer: Prof. Oliver Curdt

Zweitprüfer: Prof. Jens-Helge Hergesell

Die Granularsynthese

Meilenstein in der Entwicklung von Musiksoftware

Hiermit versichere ich, Sebastian Specht, an Eides Statt, dass ich die vorliegende Bachelorarbeit mit dem Titel: „Granularsynthese – Ein Meilenstein in der Entwicklung von Musiksoftware“ selbstständig und ohne fremde Hilfe verfasst und keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel benutzt habe. Die Stellen der Arbeit, die dem Wortlaut oder dem Sinn nach anderen Werken entnommen wurden, sind in jedem Fall unter Angabe der Quelle kenntlich gemacht. Die Arbeit ist noch nicht veröffentlicht oder in anderer Form als Prüfungsleistung vorgelegt worden.

Ich habe die Bedeutung der eidesstattlichen Versicherung und die prüfungsrechtlichen Folgen (§26 Abs. 2 Bachelor-SPO (6 Semester), § 23 Abs. 2 Bachelor-SPO (7 Semester) bzw. § 19 Abs. 2 Master- SPO der HdM) sowie die strafrechtlichen Folgen (gem. § 156 StGB) einer unrichtigen oder unvollständigen eidesstattlichen Versicherung zur Kenntnis genommen.

Stuttgart, den 23. Juli 2013

Inhaltsverzeichnis	S.3
---------------------------	-----

A	Kurzfassung	S.6
----------	--------------------	-----

B	Theoretischer und historischer Hintergrund	S.10
----------	---	------

B.I	Die Theorie der Klangquanten	S.10
------------	-------------------------------------	------

B.II	Die frühen Experimente von Curtis Roads	S.12
-------------	--	------

B.II.1	Synchrone Granularsynthese	S.15
--------	----------------------------	------

B.II.2	Quasi-synchrone Granularsynthese	S.20
--------	----------------------------------	------

B.II.3	Asynchrone Granularsynthese	S.21
--------	-----------------------------	------

B.II.4	Granular-Resynthese	S.24
--------	---------------------	------

B.III	Komponisten interpretieren die Granularsynthese	S.24
--------------	--	------

B.IV	Zwischenfazit	S.28
-------------	----------------------	------

C	Anwendung der Granularsynthese heutzutage	S.30
C.I	Überblick: Synthetische Klangsinttheseverfahren	S.30
C.I.1	Subtraktive Klangsintthese	S.30
C.I.2	Additive Klangsintthese	S.33
C.I.3	Physical Modeling	S.36
C.II	Anwendungsfelder der Granularsynthese	S.41
C.II.1	Zur Klangerzeugung	S.42
C.II.2	Granular-Resynthese: Pitch-Shifting und Time-Stretching	S.42
C.II.3	Granular-Resynthese: Klanggestalterischer Einsatz	S.45
D	Granularsynthese in aktuellen Softwareanwendungen	S.47
D.I	Synthesizer	S.47
D.I.1	Steinberg's Padshop	S.47
D.I.2	Native Instrument's Absynth	S.55
D.II	Pitch-Shifting und Timestretching in Ableton Live	S.59

D.III Kreatives Sounddesign durch Granular-Resynthese	S.63
E Anwendungsbeispiel	S.66
F Fazit	S.68
Anhang	S.69
Abbildungsverzeichnis	S.69
Literaturverzeichnis	S.71
CD-Inhalt	S.72
Danksagung	S.73

A Kurzfassung

Erst im Lauf der letzten Dekade hat die Granularsynthese Einzug in professionelle Musikproduktionssoftware gehalten. Sie beruht auf der Annahme, dass jegliches Klangereignis durch die Aneinanderkettung etlicher, nur wenige Millisekunden langer Klangschnipsel, reproduziert werden kann. Doch der theoretische Ansatz hinter ihr ist jedoch wahrlich nichts Neues. Inspiriert von Dennis Gabor, der schon 1944 in seiner Theory of Communication die Idee eines solchen Klangquantums formulierte, machten experimentierfreudige Klangkünstler wie Iannis Xenakis und Curtis Roads in den 70er Jahren erste Versuche mit winzigen Klangfragmenten. Ihre Experimente bestanden daraus, Klangfragmente mit einer Länge zwischen 10 und 30 Millisekunden aneinander zu reihen, und diese Kette dann abzuspielen. Alleinstehend kann so ein Fragment höchsten als Knackser wahrgenommen werden, doch mit einer Abspielrate von mehreren hundert solcher Samples pro Sekunde entstand ein kontinuierlicher Klang. Die Pioniere dieser Klangerzeugungstechnik

waren sich derer Möglichkeiten zwar bewusst, stießen jedoch recht schnell an technische Grenzen. Denn wenn man die Kontrolle über die grundlegenden Parameter dieser Klangkörner wie Wellenform, Lautstärke, Tonhöhe und zeitlichen Versatz jedes einzelnen Grains behalten möchte, fällt eine enorme Menge an zu berechnenden Daten an. Diese Datenmenge war mit den Computern der 70er Jahre nicht zu bewältigen, und so musste Roads bei seinen ersten Experimenten manchmal mehrere Tage auf das akustische Ergebnis eines Versuchs warten. An einen Echtzeiteinsatz, wie er heute in etlichen Software-Plug-ins möglich ist, war nicht zu denken.

Somit verstrichen weitere 30 Jahre bis in der Geschichte der Granularsynthese wieder etwas Nennenswertes geschah. Seit der Jahrtausendwende sind handelsübliche Home-Computer in der Lage, die anfallenden Berechnungen für Hüllkurve, Wellenform und weitere Parameter jedes einzelnen Grains in Echtzeit zu bewältigen. Seit diesem Zeitpunkt sind die Softwareentwickler nicht mehr zu bremsen. Bei Native Instruments aus Berlin ist die Granularsynthese in dem Synthesizer Absynth seit der dritten Version fester Bestandteil

und ausschlaggebendes Element für den spezifischen Klang dieses Programms. In dem ebenfalls aus Berlin stammenden, auf die Produktion elektronischer Musik zugeschnittenen Sequencer Ableton Live liegt die Granularsynthese in mehreren Effektgeräten zur Resynthese vor. Andere, große Softwareanbieter folgten: Steinberg veröffentlichte 2012 den neuen Softwaresynthesizer Padshop, der als Klangquelle ausschließlich sogenannte Grain-Streams besitzt. Der durch Granularsynthese produzierte, vorher nicht da gewesene, organische Klang faszinierte viele Komponisten der elektronischen Musik. Denn im Gegensatz zu den bisher üblichen elektronischen Klangerzeugungsverfahren, der additiven und der subtraktiven Synthese, hat man nun die Möglichkeit den erwünschten Klang aus winzigsten Partikeln zusammenzusetzen. Gleichzeitig behält man jedoch die Kontrolle über jeden einzelnen Klangpartikel. Da die entstehenden Klänge oft eine lebendige Unruhe besitzen und leichte Disharmonien aufweisen, klingen sie nicht so kalt und synthetisch wie gängige Synthesizer. Diese Tatsache könnte eine Brücke zwischen computererstellten Klängen und eher akustischen Musikgenres wie

Folk schlagen, und das klangliche Spektrum der modernen Musik auf diese Weise erweitern.

Neben der Klangerzeugung kann die Granularsynthese auch noch zu sehr nützlichen Zwecken eingesetzt werden. Ihre Technologie steckt hinter den revolutionären Transponierungsalgorithmen, die heutzutage in jedem namhaften Audibearbeitungsprogramm eingebettet sind. Im Genauen ermöglicht Granularsynthese die Veränderung der Tonhöhe eines Audiosignals, ohne es in seiner Länge zu verändern. Eine Möglichkeit, die heutzutage sicherlich kein Musikproduzent mehr missen möchte.

A Abstract

It was just within the course of the last decade, that Granular Synthesis has made its appearance in professional music production software. The concept of Granular Synthesis is based on the assumption that any tonal event can be reproduced by linking together several isolated - just milliseconds long - snippets of sound. The theory behind this, however, is by no means a new discovery. Inspired by Dennis Gabor, who as far back as 1944 formulated the idea of such a sound quantum in his *Theory of Communication*, innovative artists of sound like Iannis Xenakis and Curtis Roads for example, undertook first experiments with minute fragments of sound in the 1970s. Their experiments consisted of linking isolated fragments of sound with a length of 10 to 30 milliseconds each, and afterwards replaying them as a sequence. Heard by itself, such a short fragment can be perceived as a crackling at the most, but when a replay rate of several hundreds of these samples per second is used, the result is a continuous sound. Although the pioneers of this kind of sound production technology were already aware of its

immense potential, they quite soon came up against technical limits. In order to maintain control over some fundamental parameters of each of those sound grains - such as wave form, volume, pitch and time postponement -, an enormous amount of data needs to be calculated. The computers of the 1970s could barely master such an amount of data-processing, which is why Roads, during his first Experiments, was sometimes forced to wait several days for the acoustic outcome of a sound chain. A playback in real time, as a number of Software-Plug-ins make it possible today, was then unthinkable.

Thus another 30 years passed before anything noteworthy happened in the history of Granular Synthesis. By the turn of the millennium, commercial computers were able to master the necessary calculations for envelope, waveform and further parameters of each grain in real time. Since then, the development of music production software was unstoppable. At *Native Instruments* in Berlin, in the third version of the synthesizer *Absynth*, Granular Synthesis has been a fixed component and a decisive element for the specific sound of

that programme. In the Sequencer *Ableton Live* (also originating from Berlin) which was tailored for the production of electronic music, Granular Synthesis is available for re-synthesis in several effect instruments. Other, big software manufacturers followed the lead: in 2012, Steinberg published the new software synthesizer *Padshop* which uses solely so-called Grain-Streams for sources of sound. Many composers of electronic music are fascinated by the organic, never-heard-before sound that is the product of Granular Synthesis. Unlike the conventional sound production methods - (namely the additive and the subtractive Synthesis) – we now have the possibility to assemble the wished-for sound from the most minute particles. At the same time one nonetheless retains control over each single particle of sound. Due to the fact that the thus created sounds often possess a lively unrest and show slight disharmonies, they do not sound as cold and synthetic as conventional synthesizers do. This fact might be used to build a bridge between computer-produced sounds and the predominantly acoustic music genres. Thus it could broaden the tonal sound spectrum of modern music. Besides the production

of sound, Granular Synthesis can also be employed to other useful purposes. It provides the technology for the revolutionary algorithms, which today are embedded in every well-known audio adaption programme. In short, Granular Synthesis makes it possible to adjust the pitch of an audio signal without changing its length. It is a method that nowadays surely no music producer would want to be without.

B.I Die Theorie der Klangquanten

Als Dennis Gabor 1944 in seiner Veröffentlichung „Theory of Communication“ das erste Mal die Idee eines Klangquantums, heutzutage meist „Grain“ genannt, formulierte, wurde der Grundstein für eine der einflussreichsten Technologien der elektronischen Musikproduktion gelegt. Auch wenn Gabor in diesem Moment noch keine musikalischen oder klanggestalterischen Hintergedanken hatte. Denn im Grunde war er auf der Suche nach effizienteren Möglichkeiten, Audiosignale zu übertragen. Er forschte also an Bandbreitenminimierung und Steigerung von Übertragungsgeschwindigkeit, als er auf die Theorie der Klangquanten stieß:

Jeglicher Klang und jegliches Geräusch kann durch eine komplexe, durchdachte und kontrollierte Aneinanderkettung kürzester Klangfragmente reproduziert werden. (Roads, 2001 S.57) Diese Annahme ähnelt einer Tatsache, die man aus der Filmtechnik kennt:

Ab einer bestimmten Abspielgeschwindigkeit einzelner, aufeinanderfolgender und inhaltlich kontinuierlicher Einzelbilder suggeriert uns das Gehirn eine flüssige Bewegung. Hierbei liegt die Schwelle bei ca. 25 Einzelbildern pro Sekunde.

Eine ähnliche Theorie gibt es nun auch für das menschliche Gehör. Als Basiswissen muss erwähnt werden, dass es auch hier eine (Hör)Schwelle in Bezug auf die Dauer eines Schallereignisses gibt. Wir haben also kein unendlich genau auflösendes Gehör, sondern können ab einer gewissen Kürze ein Geräusch nicht mehr wahrnehmen. Diese Dauer ist frequenzabhängig. Ein Klangfragment, das eine Sinuswelle beinhaltet, welche mit 100 Hz schwingt, muss mindestens 45 Millisekunden lang sein um wahrgenommen werden zu können. Schwingt die Sinuswelle mit 500 Hertz, so reichen schon 26 Millisekunden aus um es wahrzunehmen, und bei 5000 Hertz sind es nur noch 18 Millisekunden (vgl. Roads, 2001 S.24). Die durchschnittliche Länge der kleinstmöglichen Klangpartikel liegt also bei 50 Millisekunden.

Die Granularsynthese

Kapitel 2: Theoretischer und historischer Hintergrund

Dennis Gabor nahm an, dass sich komplexe Klänge durch eine Verkettung solcher Grains nachahmen lassen, solange die Abspielgeschwindigkeit der Kette nur hoch genug ist. Bei einer durchschnittlichen Grainlänge von 50 Millisekunden muss diese Geschwindigkeit also bei mindestens 20 Grains pro Sekunde liegen, um einen kontinuierlichen Klang zu erzeugen. Wichtig ist hierbei vor allem, dass die Kontrolle über einige ausschlaggebende Parameter der Grains erhalten bleibt. Diese Parameter waren in der Formel von Gabor; Länge, Hüllkurve und Wellenform. In seiner ursprünglichen Formel wählte er hierfür eine Gaußsche Hüllkurve und eine Sinuswelle (Roads, 2001, S.58).

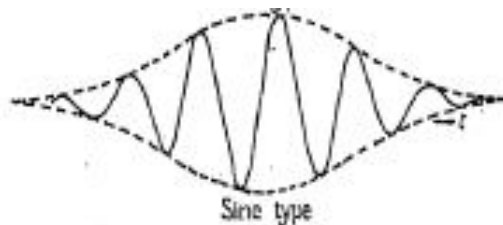


Abb.1) Ein Grain mit konstanter Sinuswelle und Gaußscher Hüllkurve

Das bedeutet, dass die Amplitude des Grains durch eine Gaußsche Funktion sanft angehoben und wieder abgesenkt wird, während die Wellenform sinusförmig bleibt. In Gabors Formel konnte man den Verlauf der Hüllkurve verändern und die Frequenz, sowie die Phasenlage der Sinuswelle bestimmen. Gabor verfeinerte seine Formel noch und fügte die Möglichkeit hinzu, die Frequenz der Sinuswelle über die Zeit zu modulieren. Wie im folgenden Schaubild zu sehen ist, nimmt die Frequenz der Welle zum maximalen Ausschlagpunkt der Amplitude ab und ab diesem Punkt wieder zu (Abb. 2). Er war der Annahme, diese Parameter würden reichen um die einzelnen Grains in der „Grainwolke“ derart zu kontrollieren, dass man jeglichen Klang produzieren könnte.

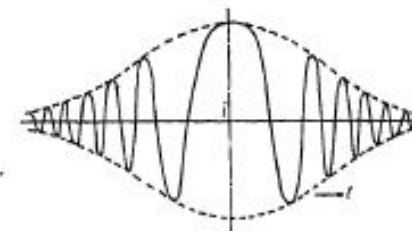


Abb.2) Ein Grain mit modulierter Sinuswelle und Gaußscher Hüllkurve

Die Granularsynthese

Kapitel 2: Theoretischer und historischer Hintergrund

Erstmals umgesetzt wurde diese Theorie in den 70er Jahren durch die Arbeit von Iannis Xenakis und Curtis Roads. Beide waren Komponist und Forscher zugleich und somit an den technischen sowie den ästhetischen Möglichkeiten der Granularsynthese interessiert. Vor allem die Experimente von Roads brachten bald bahnbrechende Erkenntnisse über die klanggestalterischen Möglichkeiten, die sich hier auftaten.

B.II Die frühen Experimente von Curtis Roads

Roads erstellte zuerst einfache, statische Grainstreams, in denen jedes Grain eine feste Länge, eine feste Hüllkurve, eine feste Wellenform und eine feste zeitliche Position hat. Natürlich entstand auf diese Weise zuerst ein uninteressanter, statischer Ton, an dem er aber gut die Auswirkung von Parameteränderungen ablesen

konnte. Die Erstellung der Grainstreams geschah in seinen Versuchen nach dem, in Abb.3 dargestellten Schema.

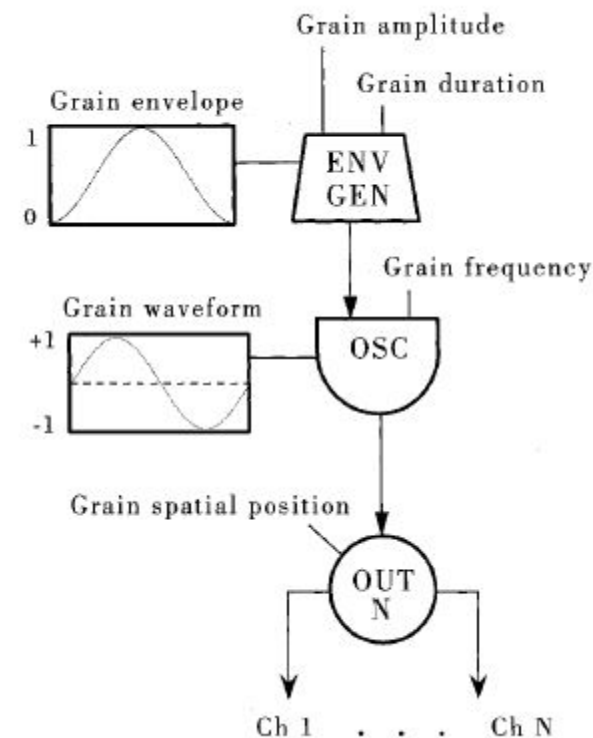


Abb.3) Schema des ersten Grainstream-Generators

Die Granularsynthese

Kapitel 2: Theoretischer und historischer Hintergrund

An erster Stelle dieses Generators (Abb.3) steht ein Hüllkurvengenerator, der über die Amplitude und vor allem auch über die Grain-Länge entscheidet. Die wählbaren Hüllkurven waren noch möglichst simple, mathematisch einfach beschreibbare Kurvenverläufe, wie in Abb. 4 zu sehen ist. Grund dafür war die noch sehr beschränkte Rechenleistung der Computer, mit denen Roads seine Experimente durchführte. Nachdem eine Hüllkurve generiert wurde, erhält das Grain durch einen Oszillator eine Wellenform. In diesem Fall war dies ausschließlich eine Sinuswelle mit einstellbarer Frequenz. Kurz vor dem Ausgang seines Generators baute Roads noch eine weitere, sehr interessante Komponente ein. Er erschuf die Möglichkeit, jedes Grain an einen von N Ausgängen zu schicken, die wiederum zum Beispiel mit einem Surroundsystem verbunden sein können. Es war also möglich, den Grainstream auf das komplette Stereopanorama zu verteilen. Mit diesem Generator erforschte Roads die Eigenschaften der sog. synchronen Granularsynthese, was bedeutet, dass die Grains in gleichbleibenden zeitlichen Abständen aufeinander folgen (Roads, 2001 S.93). Da die Hüllkurve

kontinuierlich gleichblieb, konnte man diese Streams wie eine Sinuswelle betrachten, die durch einen LFO (Low Frequency Oscillator) amplitudenmoduliert wird (Abb.4).

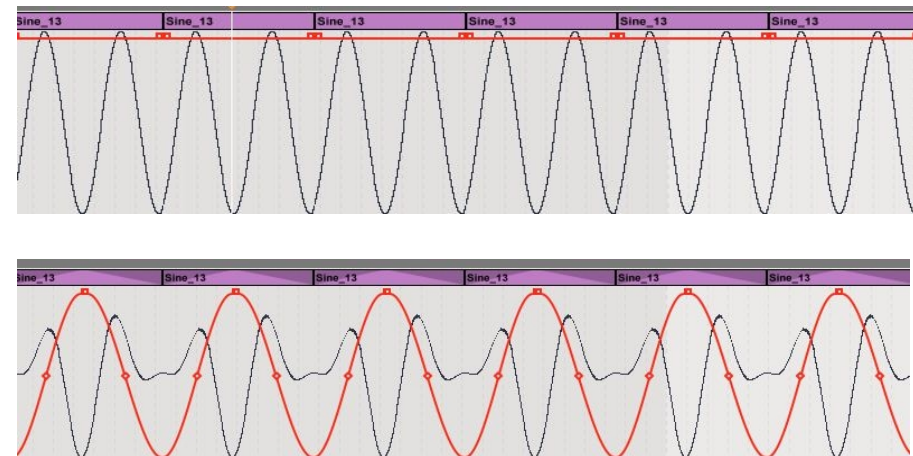


Abb.4) In der oberen Darstellung ist eine Aneinanderreihung einfacher Grains zu sehen, die eine Sinuswelle beinhalten und noch keine Hüllkurve besitzen. In der unteren Darstellung repräsentiert die rote Linie eine Gaußsche Hüllkurve, welche die Amplitude der dahinterliegenden Grains moduliert. Wie zu erkennen ist, formt die Hüllkurve aus der gleichförmigen Sinuswelle ein pulsartiges Signal

Die Granularsynthese

Kapitel 2: Theoretischer und historischer Hintergrund

In Bezug auf die resultierende Tonhöhe des Ausgangssignals stellte Roads fest, dass diese von drei Faktoren abhängt (Roads 2001, S.94):

- der Frequenz der Welle innerhalb des Grains
- der aus den Hüllkurven resultierenden Frequenz der Amplitudenmodulation
- den Abständen zwischen den Grains.

Ändert man also einen dieser Parameter, so hat man eine direkte Auswirkung auf die Tonhöhe des Grainstreams. Auch auf die spektrale Zusammensetzung des Streams wirken sie sich aus. Ähnlich wie bei der subtraktiven Synthese, die in den meisten Synthesizern verwendet wird, führen scharfkantige oder pulsartige Wellenformen zu einer Ausprägung der Seitenbänder. Man erhält also ein harmonisch angereichertes Signal. Zweierlei Parametereinstellungen können in einem Grainstream zu solch einer Anreicherung führen:

- Lücken, also Nullstellen in Bezug auf die Amplitude, zwischen den Grains (Abb.5.1)

- Verwendung scharfkantiger Hüllkurven zur Amplitudenmodulation (Abb.5.2)

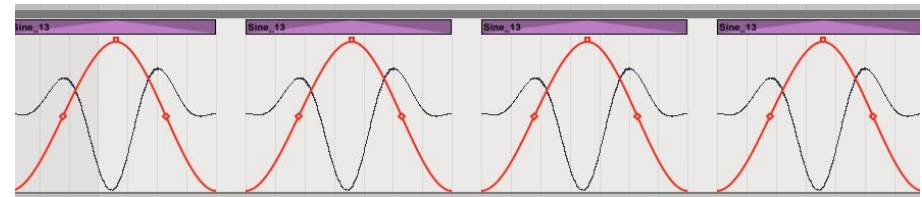


Abb.5.1) Grains mit Lücken

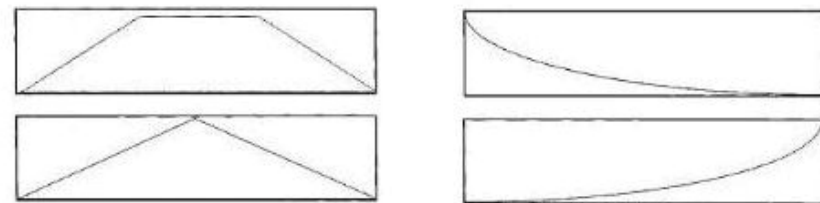


Abb.5.2 Scharfkantige Hüllkurvenvarianten

Vor allem durch die Veränderung der Lückengröße zwischen den Grains, die auch bis hin zu einer Überlappung von zwei Grains

Die Granularsynthese

Kapitel 2: Theoretischer und historischer Hintergrund

möglich ist, kann der Charakter der harmonischen Anreicherung tiefgehend kontrolliert und von scharf zu sanft verändert werden.

Man bekommt also, ähnlich wie bei der subtraktiven oder additiven Klangsynthese, eine tiefgreifende Kontrolle über die klanglichen Eigenschaften des Signals. Die Granularsynthese wird aber vor allem dann interessant, wenn einer oder mehrere der Parameter durch einen Zufallsgenerator gesteuert werden.

Angetrieben vom aufkommenden Interesse anderer Musiker und Forscher führte Roads seine Experimente fort. Ab 1980 forschte er im experimentellen Tonstudio des Massachusetts Institute of Technology (Roads 2001, S.110). Die Computer die er dort verwenden konnte, ermöglichten es ihm, endlich die vermuteten Klanggestaltungsmöglichkeiten der Granularsynthese zu untersuchen. Er verwendete erneut das Prinzip seines Grainstream-Generators (siehe Abb.3). Da nun auch Zufallsgeneratoren für einzelne Parameterwerte ins Spiel kamen, führte er vier

grundlegende Bezeichnungen für Arten der Granularsynthese ein:

1. Die synchrone Granularsynthese
2. Die quasi-synchrone Granularsynthese
3. Die asynchrone Granularsynthese
4. Granular-Resynthese von vorhandenem Audiomaterial

B.II.1 Die synchrone Granularsynthese

Die synchrone Granularsynthese definiert sich dadurch, dass die Abstände zwischen den einzelnen Grains immer gleichgroß sind. Auch die anderen Parameter, wie Wellenform und Graindichte bleiben über die Zeit konstant. Dennoch konnte Roads anhand dieser Variante interessante Erkenntnisse über die Granularsynthese erlangen. In einem Experiment erstellte er einen synchronen Grainstream mit einer Graindichte von fünfzig Grains pro Sekunde

Die Granularsynthese

Kapitel 2: Theoretischer und historischer Hintergrund

(Roads 2001, S.98). Die Grains beinhalteten zwei Perioden einer 200 Hz Sinuswelle und eine gaußsche Hüllkurve. Beim Abspielen dieser Kette entsteht ein kontinuierlicher Klang mit einer Grundfrequenz von ca. 90 Hz (**Hörbeispiel 1.1**). Als Roads nun die Graindichte auf 100 Grains pro Sekunde verdoppelte, entstand ein Grundton von 180 Hertz (**Hörbeispiel 1.2**) mit einer noch komplexeren Seitenbandstruktur (siehe Abb.6.1 und Abb.6.2).

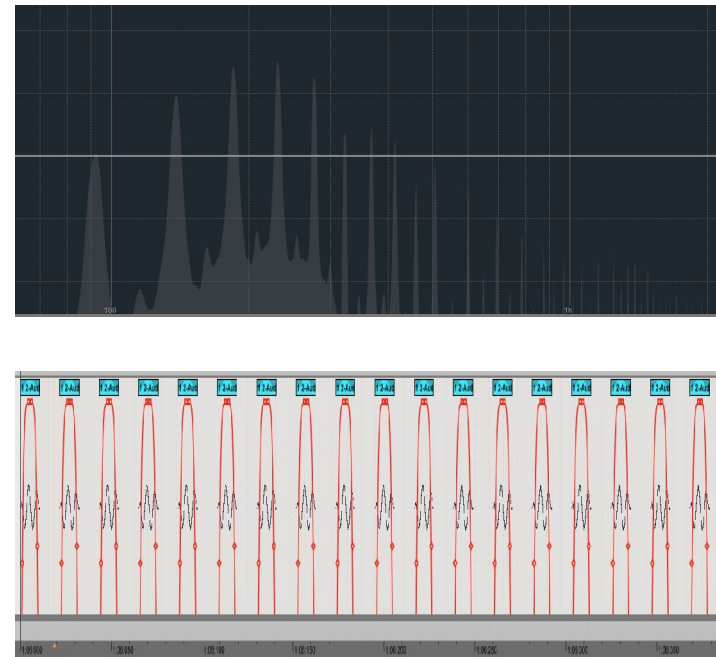
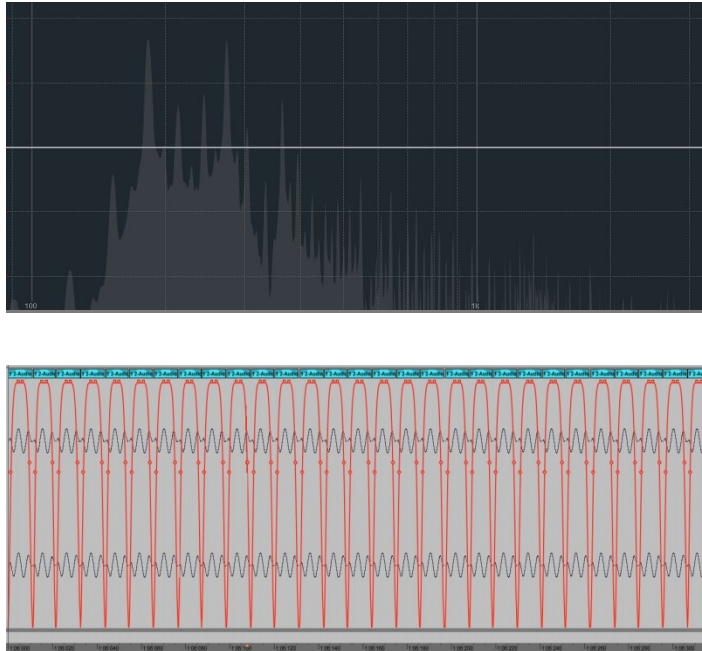


Abb.6.1) Spektrum und Wellenform des Grainstreams mit 50 Grains pro Sekunde

Die Granularsynthese

Kapitel 2: Theoretischer und historischer Hintergrund



*Abb.6.2) Spektrum und Wellenform des Grainstreams mit 100 Grains
pro Sekunde*

Es kann also festgehalten werden, dass mehrere Faktoren für den Grundton des Ausgangssignals verantwortlich sind. Anders als bei herkömmlichen Oszillatoren, wie sie in klassischen Synthesizern verbaut sind und bei denen ausschließlich die Frequenz der produzierten Wellenform den Grundton festlegt, beeinflusst bei der Granularsynthese auch noch die Graindichte den Grundton. Außerdem lässt das soeben angesprochene Experiment auch darauf schließen, dass der Parameter Graindichte einen enormen Einfluss auf die Seitenbänder der komplexen Grainwolken hat. Um diese Annahme genauer zu untersuchen führte ich einen Versuch in Bezug auf die Graindichte eines Grainstreams durch. Wie schon beschrieben entsteht durch das periodische Auftreten der Hüllkurven eine Amplitudenmodulation der eigentlichen Wellenform innerhalb des Grains, die vor allem bei zunehmender Grain-Dichte (Grains pro Sekunde) sehr interessante Effekte in Bezug auf die Bildung von Seitenbändern, in bestimmten Fällen auch Formanten hat. In dem eigens durchgeführten Experiment habe ich einen Grainstream mit folgenden Parametern angelegt:

Die Granularsynthese

Kapitel 2: Theoretischer und historischer Hintergrund

- Wellenform innerhalb des Grains: Sinuswelle mit 200 Hz
- Grainlänge 10 Millisekunden
- Gaußsche Hüllkurve zur Amplitudenmodulation des Grains

In meinem Experiment **(Hörbeispiel 2)** wurde der Parameter Graindichte über die Zeit moduliert. Begonnen wurde mit einer Graindichte von ca. einem Grain pro Sekunde, dieser Wert wird gesteigert bis zu einer Dichte von 350 Grains pro Sekunde. Ich habe zuerst auf den Übergang von erkennbarem, metrischem Rhythmus zu einem kontinuierlichen Klang, später auf die Bildung der Seitenbänder im Frequenzspektrum des resultierenden Signals geachtet.

Nach ca. 30 Sekunden sind die einzelnen Grains nicht mehr als solche zu erkennen, Sie verschmelzen zu einem kontinuierlichen Klang. An dieser Stelle erreichte die Graindichte einen Wert von 100 Grains pro Sekunde, was bei einer Grainlänge von 10 Millisekunden

bedeutet, dass keine Lücken mehr zwischen den Grains vorhanden sind. Ab diesem Zeitpunkt führt eine weitere Steigerung der Graindichte folglich dazu, dass die Wellenform innerhalb des Grains nicht mehr komplett abgespielt wird und bald nicht einmal mehr eine komplette Periode der im Grain enthaltenen Wellen wiedergegeben wird, da zuvor schon das nächste Grain beginnt und das Vorherige somit abschneidet. Diese Untergrenze kann in einer simplen Faustregel festgehalten werden:

Eine Sinuswelle mit 50 Hz hat eine Periodendauer von 20 Millisekunden. Ein Grain mit solch einer Welle muss also mindestens 20 Millisekunden lang sein.

Wenn dieser Wert unterschritten wird, wird die Grainwolke immer Noise-lastiger, und ein klarer Grundton ist immer schwerer zu erkennen. Es entsteht eine sehr komplexe Wellenform (Abb.7) mit vielen Seitenbändern. Die weitere Steigerung der Graindichte führt

Die Granularsynthese

Kapitel 2: Theoretischer und historischer Hintergrund

ab hier nur noch zu drastischen Veränderungen der Formantenstruktur. Es kann somit festgehalten werden, dass die Graindichte und die Grainlänge (welche im Experiment durch die Überlappung auch moduliert wurde) zwei Parameter sind, die entscheidend für die Kontrolle über die Seitenbänder sind, und das schon bei der relativ simplen synchronen Granularsynthese. In Bezug auf die entstehende Überlappung bei zu hoher Graindichte führte Roads einen sogenannten Fill-Faktor ein, der die Dichte einer Grainwolke in Abhängigkeit der Grainlänge beschreibt. Dieser **Faktor** berechnet sich aus dem Produkt der Anzahl der pro Sekunde entstehenden Grains und deren Länge in Sekunden:

Beispiel: Stream mit 20 Grains/Sek., Grainlänge 100ms : $20 \times 0,1 = 2$

Der Fill Faktor für diesen Grainstream beträgt also **2**.

Generell kann gesagt werden, dass Werte über 1 zu einer gedeckten, vollen Klangwolke führen. Wert unterhalb dieser Grenze lassen eher

rhythmische Wolken entstehen, da zwischen den Grains Lücken entstehen.

In späteren Anwendungsbeispielen mit aktueller Granularsynthesoftware werde ich auf die Wichtigkeit dieser Tatsache, vor allem für Sounddesigner, noch genauer zu sprechen kommen.

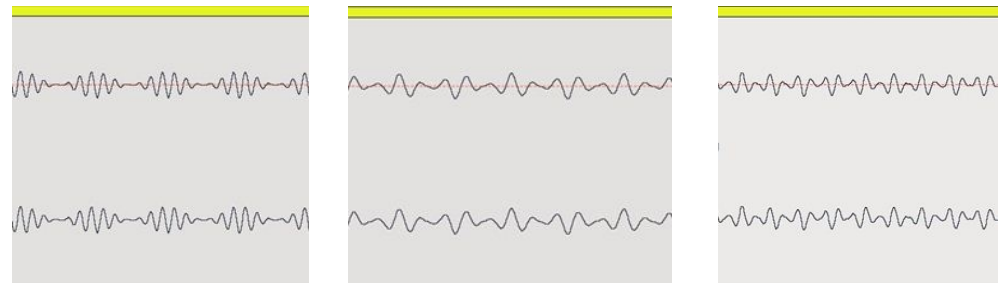


Abb.7) Entwicklung eines Grainstreams von einem metrischen Rhythmus zu einer komplexen Wellenform

Es besteht jedoch die Gefahr, dass innerhalb des entstehenden, komplexen Signals Aliasingartefakte auftreten. Denn die durch die

Die Granularsynthese

Kapitel 2: Theoretischer und historischer Hintergrund

Amplitudenmodulation entstehenden Seitenbänder können zu hohe Frequenzen besitzen, Frequenzen die die durch das Nyquisttheorem festgelegte Obergrenze überschreiten:

Die höchste Frequenzkomponente eines abzutastenden Signals muss kleiner als die halbe Abtastfrequenz sein, da es nur so möglich ist, das Signal fehlerfrei wiederzugeben.

(Hannes Raffaseder: Audiodesign 2010, S.133)

Roads legte also fest, dass die Frequenz der Welle innerhalb des Grains nicht höher als 12KHz sein sollte. Durch diese Einschränkung sollten Aliasingartefakte weitgehend vermieden werden, da die entstehenden Seitenbänder in der Regel nicht höher als die doppelte Grundfrequenz sind. (Roads 2001, S.104)

B.II.2 Die quasi-synchrone Granularsynthese

Roads definierte die quasi-synchrone Granularsynthese dadurch, dass die Abstände zwischen den Grains nicht mehr immer dieselben sind (Roads 2001, S.93). Dieser Zeitabschnitt kann entweder durch

einen Zufallsparameter generiert oder kontinuierlich über die Zeit moduliert werden. Dies hat weitreichende Folgen auf das Spektrum des resultierenden Klangs, da die vorhandenen Obertonstrukturen immer mehr aufgeweicht und durch weitere Seitenbänder angereichert werden. Hierzu habe ich ein Hörbeispiel erstellt (**Hörbeispiel 3**), das mit einem synchronen Grainstream beginnt. Die anfangs gleich großen Abstände zwischen den Grains werden im Laufe des Hörbeispiels immer stärker durch einen Zufallsgenerator verändert. Man kann deutlich erkennen wie die zu Beginn noch klare Formantenstruktur (Abb.8.1 und 8.2) immer mehr zerstört wird.

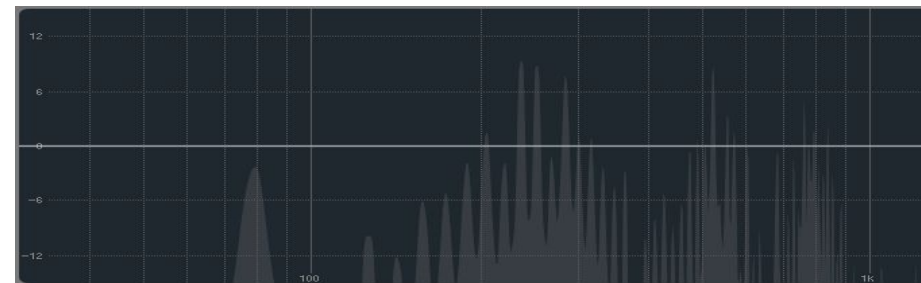


Abb.8.1) Spektrum des noch synchronen Grainstreams



Abb.8.2) Spektrum des quasi synchronen Grainstreams

Ich konnte also in den letzten beiden Experimenten feststellen, dass eine immer höher werdende Graindichte zu einer formantenreichen Klangstruktur führt und eben diese Struktur durch stochastisch gewählte Abstände zwischen den Grains gezielt verändert und zerstört werden kann.

B.II.3 Die asynchrone Granularsynthese

Die asynchrone Granularsynthese definiert sich über die Tatsache, dass jeglicher verfügbarer Parameter des Grainstreams durch einen Zufallsgenerator beeinflusst werden kann. Dies kann zu gewaltigen, schwer vorhersehbaren Klängen führen, die vor allem im experimentellen Bereich der elektronischen Musik Gefallen finden. Die üblichen Parameter, die stochastisch beeinflusst werden, sind:

- Länge des Grains
- Graindichte (Anzahl der Grains pro Sekunde)
- Art der Wellenform innerhalb des Grains
- Art der Hüllkurve, die den Amplitudenverlauf des Grains beeinflusst
- Zeitlicher Abstand zwischen den Grains
- Stereoposition des Grains
- Tonhöhe des Grains

Die Granularsynthese

Kapitel 2: Theoretischer und historischer Hintergrund

- Abspielrichtung des Grains

Manche Software bietet noch weitere, ausgefallene Parameter mit der Möglichkeit einer stochastischen Beeinflussung, doch diese Liste bildet den Grundstock der in allen gängigen, Granularsynthesefähigen Programmen enthaltenen Einstellungsmöglichkeiten. Die Auswirkungen der Zufallsmodulation von den Parametern **Graindichte** und somit auch **Grainlänge** und deren Auswirkungen auf die entstehende Klangwolke, wurden im letzten Kapitel schon eingehend beschrieben. Eine solche Beeinflussung kann auch für die Art der Wellenform innerhalb des Grains erfolgen. Das bedeutet, dass jedes einzelne Grain mit einer anderen Wellenform bestückt wird. In der resultierenden Klangwolke kann in keiner Weise mehr ein eindeutiger Grundton festgestellt werden, da die ständig wechselnden Wellenformen keine periodische Schwingung mehr darstellen. Man erhält also schnell eine rauschlastige, zerstörte Klangstruktur. Curtis Roads führte zur genaueren Bezeichnung von Klangwolken mit unterschiedlichen Wellenformen drei Begriffe ein:

- Monochrome Wolken, bestehend aus Grains mit gleicher Wellenform
- Polychrome Wolken, bestehend aus Grains mit zwei oder mehr Wellenformen
- Transchrome Wolken, bestehend aus einer sich kontinuierlich verändernden Wellenform

(Roads 2001, S. 103)

Wirklich nennenswerte Möglichkeiten tun sich bei der Verwendung eines Zufallsgenerators auf die Parameter „Stereoposition“ und „Tonhöhe“ auf.

Die Verteilung der Grains im Stereoraum führt zu einer enormen Breite des Signals, was vor allem bei der Erstellung von flächigen, atmosphärischen Klängen von elementarer Bedeutung ist. Die Auffächerung des Klanges funktioniert hier so gut, weil jedes einzelne Grain eine andere Position im Stereopanorama zugewiesen

Die Granularsynthese

Kapitel 2: Theoretischer und historischer Hintergrund

bekommen kann. Bei einer durchschnittlichen Grainlänge von 50 Millisekunden bedeutet dies, dass der Klang 20-mal pro Sekunde die Position innerhalb des kompletten Stereopanoramas wechselt. Da diese Bewegung schlichtweg viel zu schnell abläuft, kann das Gehirn sie nicht mehr verfolgen. Man erhält folglich den Eindruck eines Stereosignals mit extremer Breite. Da die Stärke des Einflusses des Zufallsgenerators auf diesen Wert meist einstellbar ist, kann über diesen Parameter die Stereobreite des Signals bequem und präzise festgelegt werden. Im folgenden Klangbeispiel (**Hörbeispiel 4**) habe ich einen Grainstream mit einer Graindichte von 20 Grains pro Sekunde erstellt. Per Automation habe ich langsam die Stereobreite erweitert, indem ich den Einfluss des Zufallsgenerators auf die Stereoposition ab der Mitte des Klangbeispiels stetig erhöht habe. Die anfänglich noch komplett in mono gehaltene Klangwolke entwickelt ab diesem Moment eine enorme Stereobreite. In den meisten Plug-Ins wird diese Modulationsmöglichkeit mit der Bezeichnung „Spread“ oder „Wide“ belegt und gar nicht mehr

konkret darauf hingewiesen, dass sich dahinter ein Zufallsgenerator verbirgt.

Auch die stochastische Manipulation der Tonhöhe jedes einzelnen Grains ist eine sehr mächtige Klanggestaltungsmöglichkeit. Über diese Beeinflussung kann der Klang des Grainstreams an Lebendigkeit gewinnen, da kleinste Abweichungen zur angestrebten Tonhöhe maßgeblich für natürliche, organische Klänge sind. Gleichmaßen wird der Klang durch die entstehende Atonalität mystischer und düsterer. Im folgenden Hörbeispiel (**Hörbeispiel 5**) habe ich, ähnlich wie im Vorherigen, langsam den Einfluss des Zufallsgenerators auf die Tonhöhe jedes Grains gesteigert. Man kann deutlich den Übergang zwischen Tonalität und Atonalität hören. Vor allem für Sounddesigner ist so eine Möglichkeit sehr nützlich, da man auf simpelste Weise eine sehr intensive klangliche Veränderung herbeiführen kann.

B.II.4 Granular-Resynthese

Während für die bisher beschriebenen Granularsynthese-Arten stets mathematisch berechnete Wellenformen zum Füllen der Grains verwendet wurden, geht die Granular-Resynthese gänzlich anders vor. Hierbei wird die Wellenform von vorhandenem Audiomaterial in kleinste Stücke zerteilt, die dann anschließend in sogenannten Wavetables abgespeichert werden. Ein Grainstream kann nun mit den in so einem Wavetable gespeicherten Wellenformen gespeist werden. Vor allem wenn die ursprüngliche Reihenfolge der Wellenformstückchen nicht eingehalten wird, kommt es zu klanglich gänzlich unvorhersehbaren Ergebnissen, da keinerlei Regelmäßigkeit mehr in der resultierenden Wellenform des Grainstreams herrscht. Dennoch birgt diese Art der Granularsynthese enorme Möglichkeiten, für die zu der Zeit, als Roads erstmals mit ihr experimentierte, jedoch noch nicht genügend Rechenleistung verfügbar war. Deshalb werde ich hierauf in späteren Kapiteln noch näher eingehen.

B.III Komponisten interpretieren die Granularsynthese

Wie schon erwähnt war Curtis Roads Forscher und Komponist. Folglich faszinierten ihn die neu entdeckten, klanggestalterischen Möglichkeiten durch die Granularsynthese enorm. Die neu erlangte Fähigkeit, Klänge von ihren kleinsten Bausteinen herauf aufzubauen erweckte in ihm die Vision einer neuen Herangehensweise in Bezug auf die Komposition von Musik. Die bisherig kleinste Komponente innerhalb eines Musikstücks war die Note einer Stimme oder eines tonalen Instruments oder der Schlag eines perkussiven Instruments. Für den Großteil der Komponisten war eine feinere Auflösung der Klänge nicht nötig, da man mit diesen Elementen gänzlich auskam um Musikstücke zu komponieren. Roads sah in der Entdeckung der Granularsynthese die Möglichkeit, die musikbezogene Zeitskalierung zu erweitern (Roads 2001, S.3): Wenn man ein Musikstück als größtmögliche Einheit ansieht, so kann man es zunächst in kleinere Makroeinheiten unterteilen. Solche Makroeinheit wären dann gängige Kompositionselemente wie Vers, Refrain oder auch

Die Granularsynthese

Kapitel 2: Theoretischer und historischer Hintergrund

Ouvertüre oder Arie. Diese Makroeinheiten bestehen wiederum aus einzelnen Klangobjekten, den wie schon vorher beschriebenen einzelnen Noten oder perkussiven Schlägen. Durch die Granularsynthese kann nun eine weitere Ebene hinzugefügt werden: die Mikroebene. Die Bausteine dieser Ebene sind die Grains, die wiederum zu Grainwolken zusammengefasst werden und also solche dann auch in der Ebene der Klangobjekte bezeichnet werden. Roads erkannte also, dass es möglich war Musik von einer ganz anderen, viel detaillierten Position heraus zu komponieren. In ersten, sehr experimentellen Kompositionen verwendete er ausschließlich durch Granularsynthese entstandenes Klangmaterial. Die entstandenen Stücke sind atonale Klangstrukturen, die wohl mehr der Erforschung der musikalischen Möglichkeiten der Granularsynthese dienten, als dem ernsthaften künstlerischen Komponieren. Dennoch sah Roads in dieser neuen, auch als „Bottom-Up“ beschriebenen Herangehensweise durchaus auch Möglichkeiten, ernstgemeinte Kunst zu erschaffen. In einem mit mir geführten Interview antwortete er auf die Frage, aus welchen (emotionalen)

Beweggründen er diese Werke komponiert hat und ob er überhaupt ein Konzept hatte, bevor er mit dem Komponieren dieser Stücke begann:

„...Ich habe keine vorgefasste Idee, mit der ich an ein Werk gehe. Meine Werke entstehen oft aus von mir durchgeführten Experimenten mit Klängen. Dennoch sehe ich eine emotionale Verbindung zu meinen Werken. Dies stellt sich durch die permanent zu treffenden, tausenden Entscheidungen während des Erschaffungsprozesses dar. Man könnte also sagen, dass sich der emotionale Inhalt meiner Werke in einem ständigen Fluss befindet, und auf diese Weise das Abbild von Teilen meiner Gefühlswelt zu Tage bringt.“ (Roads, 2013 Interview per Email)

Es entstand also ein neuer Ansatz, Musik zu komponieren. Dieser wurde vor allem von Komponisten aus dem Bereich der zeitgenössischen Musik umgesetzt, einer der bekanntesten unter ihnen ist der griechische Komponist Iannis Xenakis. Ihm ging es vor

Die Granularsynthese

Kapitel 2: Theoretischer und historischer Hintergrund

allem um die Ästhetik der Klänge, die durch die Granularsynthese entstanden.

Auch Xenakis war Forscher und Komponist zugleich. Er suchte die Verbindungen zwischen Mathematik und Musik und schrieb Stücke in denen er die Erkenntnisse seiner Forschung verarbeitete. In dem 1955 uraufgeführten Orchesterstück „Metastasis“, brach er alle gängigen Konventionen der klassischen Musik. An den dort vorkommenden Geigen lässt sich das sehr gut erkennen, diese spielen gänzlich unharmonische Klangfragmente, die in ihrer Unregelmäßigkeit und Dichte am ehesten als atonale Klangwolke bezeichnet werden können, die teilweise chaotisch, teilweise aber auch ruhig und sortiert spielen. Er spielt in diesem Stück mit der Wirkung von Ordnung und Unordnung und will damit eine ganz eigene musikalische Intensität erzeugen. Xenakis griff beim Komponieren von Metastasis mathematische Elemente wie die Fibonacci-Reihe auf und experimentiert mit der Wirkung solcher Vorgehensweisen. Die Besonderheit dieser Komposition lässt sich gut

an den schematischen Darstellungen seiner eigenen Kompositionen erkennen (Abb.9).

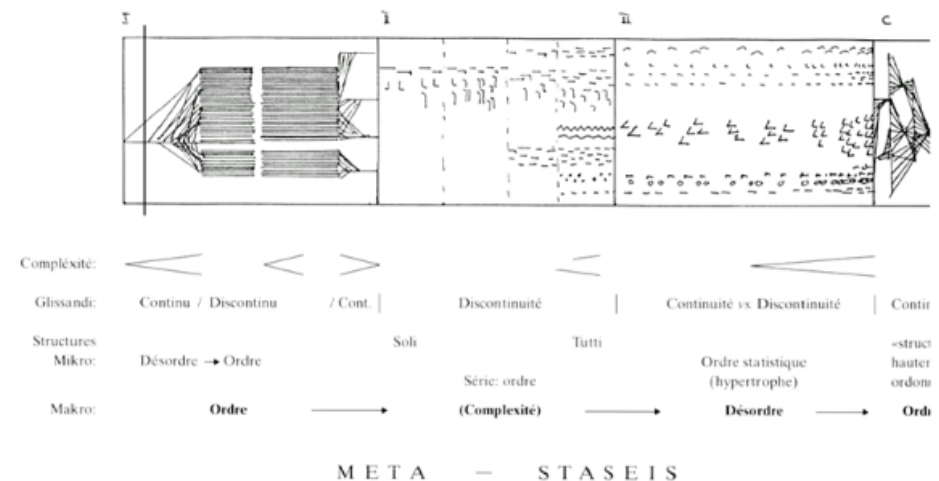


Abb.9) Das Stück „Metastasis“ von Iannis Xenakis

Die Granularsynthese

Kapitel 2: Theoretischer und historischer Hintergrund

Wie in Abb.9 zu sehen ist folgt die Strukturierung des Stücks einem ganz eigenen Prinzip. Anstatt klassischer Noten verwendet er Begriffe, wie „Ordre/Désordre“ (dt.: Ordnung/Unordnung) um den Musikern Anweisungen zu geben. Begriffe, die sich später zur Beschreibung der durch die Granularsynthese entstehenden Klänge wiederfinden werden.

Als auch Xenakis sich schließlich genauer mit der Theorie und der Implementierung der Granularsynthese befasste, hielt auch deren klangliche Ästhetik Einzug in seine Kompositionen. Das erste Stück, das sich klanglich konkret auf die Granularsynthese bezieht, trägt den Titel „Concret PH“. Für das zweieinhalbminütige Stück verwendete Xenakis ausschließlich Tonaufnahmen von knackenden, brechenden und brennenden Ästen. Er verwendete also nicht direkt die Granularsynthese, sondern imitierte nur die Art und Weise, wie diese klingt. Das hat nichts mit fehlender technischer Versiertheit zu tun, Xenakis war ja selbst maßgeblich an der Entwicklung der Granularsynthese beteiligt. Er war schlichtweg fasziniert von den

unnatürlich klingenden und doch so organisch wirkenden Klängen. Ihm ging es hier auch darum, die Bottom-Up-Komponierung zu testen und ihre Daseinsberechtigung in einer gewissen Weise zu bestätigen (Roads 2001, S.64). In einem Interview bestätigte Xenakis dies:

„.....Start with a sound made up of many particles, then see how you can make it change imperceptibly, growing and developing, until an entirely new sound results...I seek extremely rich sounds (many high overtones) that have a long duration, yet with much internal change and variety. Also, I explore the realm of extremely faint sounds highly amplified...“

(Xenakis program notes, Nonesuch recording H-71246)

Zwar ist das Stück Concret PH mehr der experimentellen, als der ernsthaften Musik zuzuordnen. Klar zu erkennen ist aber, wie sich für Xenakis ein klanglich neues Reich auftat. Wie in seinem Zitat erwähnt, begab er sich auch außerhalb der Forschung an der

Granularsynthese auf die Suche nach neuen Klängen. Ein plötzliches Interesse an eigentlich viel zu leisen, durch extreme Verstärkung aber hörbar gemachten Geräuschen entstand.

Roads und Xenakis, die allgemein als die Pioniere der Erforschung und Umsetzung der Granularsynthese angesehen werden, befassten sich also in dieser Phase auf technischer, musikalischer und ästhetischer Ebene mit diesem neuen Phänomen. Diese Verzahnung führte dazu, dass Sie die Welt der Partikel gleichzeitig erforschten und mit ihr komponierten, was sich klanglich durchaus bemerkbar machte. Die frühen Werke beider Komponisten polarisierten die Musikwelt und brachten ihnen auch jede Menge Verspottung ein, da viele Kritiker die Stücke schlichtweg als unnützen Lärm oder technische Spielereien abtaten. Doch Roads und Xenakis sahen mehr in der Granularsynthese, sie glaubten an ihre Kraft, organische Klänge zu entwickeln und waren fasziniert von der tiefgreifenden Klangkontrolle, die man über die wichtigen Parameter hat.

B.IV Zwischenfazit

Die Pionierarbeit von Curtis Roads war ohne jeden Zweifel elementar für den Einzug der Granularsynthese in die digitale Musikproduktion. Der Eifer, mit dem er die Theorie der Klangquanten von Dennis Gabor erforschte und in die Praxis umzusetzen versuchte, machte ihn zum absoluten Vorreiter auf diesem Gebiet, auch wenn ihm anfänglich die mangelnde Rechenleistung der damaligen Computer die Arbeit extrem erschwerte. Angespornt von den Forschungsergebnissen Roads' begannen auch andere Musiker, an einer Echtzeitimplementierung der Granularsynthese zu arbeiten. Es war in den späten achziger Jahren, als wissenschaftliche Computer leistungsstark genug wurden, um die anfallende Rechenanforderung der Granularsynthese ansatzweise zu bewältigen. Einer der ersten, denen eine Implementierung gelang, war der Forscher und Komponist Barry Truax. Er schrieb im Jahre 1986 ein Programm, das kurze Klangschnipsel in Grains zerstückeln konnte (Roads 2001, S.111). Auch Roads selbst gelang zwei Jahre später eine ähnliche

Implementierung. In der Programmiersprache Music 4L schrieb er die Programme „Synthulate“ und „Granulate“, die für die Berechnung von ein paar hundert Grains dennoch mehrere Minuten brauchten (Roads 2001, S.111). Obwohl anfangs noch der Gedanke, Klänge per Granularsynthese herzustellen oder nachzuahmen, das Hauptziel war, wird die Granularsynthese heutzutage meist gänzlich anders eingesetzt. Denn ihr großes Potenzial in Bezug auf die Klangerzeugung und vor allem auf die Klangbearbeitung konnten die Forscher in den achtziger Jahren aufgrund der langsamen Computer noch überhaupt nicht vorhersehen.

C Anwendungsfelder der Granularsynthese

Seit der Jahrtausendwende sind gängige Homecomputer endgültig in der Lage, Granularsynthese und -Resynthese in Echtzeit zu betreiben. Das Verfahren schließt somit zu den bisherigen Klangsyntheseverfahren, die aufgrund ihrer einfacheren Implementierung schon länger als Softwareimplementierungen verfügbar sind, auf. Und geht sogar darüber hinaus. Bevor ich jedoch auf diese Fähigkeiten näher eingehe, möchte ich einen Überblick über die gängigen elektronischen Klangerzeugungsverfahren geben, wobei ich auch deren Handhabung und Einsetzbarkeit in Musikrichtungen außerhalb der elektronischen Musik betrachten werde.

C.I Überblick: Synthetische Klangerzeugungsverfahren

Die synthetische oder auch elektronische Klangerzeugung hat das Ziel, komplexe Klangereignisse mit elektronischen Mitteln zu erzeugen (Raffeseder 2010, S.212). Hierbei geht es sowohl um die

Nachahmung akustischer Instrumente als auch die Erschaffung gänzlich neuer, unbekannter Klänge. Dies kann sowohl über Hardware-, als auch über Softwareimplementierungen erfolgen. Da diese Implementierungen technisch sehr komplex sind aber dennoch musikalisch einfach zu bedienen sein müssen, ist es ausschlaggebend, dem Benutzer die richtige Auswahl an klangbestimmenden Parametern zur Verfügung zu stellen (Raffeseder 2010, S.212). Aus technischer Sicht gab es bisher drei verschiedene Ansätze um Klänge auf synthetischer Basis zu erstellen. Diese möchte ich, zusammen mit der hinzugekommenen Granularsynthese, im Folgenden vorstellen.

C.I.1 Subtraktive Klangsynthese

Die subtraktive Klangsynthese wird als „subtraktiv“ bezeichnet, da man am Beginn der Signalkette ein klanglich sehr reichhaltiges Signal erzeugt, und dieses dann durch Filterung und anderen Klangmanipulationen auf das gewünschte Ergebnis reduziert wird.

Granularsynthese

Kapitel 3: Anwendungsfelder der Granularsynthese

Das Ausgangssignal wird durch einen Oszillator erstellt, der Schwingungen mit unterschiedlichsten Wellenformen erzeugen kann. Diese Wellenform ist in der Regel frei wählbar. Gängige Wellenformen sind Sinus, Sägezahn, Rechteck oder Dreieck (Abb.10), wobei diese sich vor allem in ihrer Obertonreichhaltigkeit stark unterscheiden.



Abb.10) Oszillatoren des Softwaresynthesizers Absynth mit unterschiedlichen Wellenformen

Eine Sinus- oder sinusähnliche Welle erzeugt ein eher schmalbandiges Frequenzspektrum, während Wellenformen wie Dreieck oder Rechteck obertonreiche, breite Frequenzspektren erzeugen. Da ein Synthesizer über eine übliche Midi-Klaviertastatur gesteuert wird, ist die Frequenz des Oszillators an die gesendeten Midiwerte gekoppelt. So ist zum Beispiel das C1, das auf einer Frequenz von 32,7 Hz liegt, mit dem Midiwert 24 verbunden.

Das entstehende Signal wird anschließend mit unterschiedlichen Filtern frequenzmäßig beschnitten. Gängige Filtervarianten sind Bandpassfilter, Hochpassfilter, Tiefpassfilter und Notchfilter. Speziellere Synthesizer haben zusätzlich noch etwas ausgefallene Filtervarianten wie den Allpassfilter, der die Phase des Signals in einer bestimmten Frequenzregion moduliert. Die Amplitude des Signals wird in der Regel durch eine Hüllkurve kontrolliert, die über die Parameter Attack, Decay, Sustain und Release das Simulieren Von Anschwell- und Abklingverhalten realer Instrumente zulässt (Abb.11). Der Attackparameter gibt an wie lange der Klang braucht, um den

Maximalwert seiner Amplitude zu erreichen. Für perkussive Klänge liegt dieser Wert zwischen einer und zehn Millisekunden, bei Streichern können es, je nach Artikulation, bis zu 500 Millisekunden sein. Über den Decay-Wert regelt man den Abfall der Amplitude nach dem Einschwingvorgang – je nach Instrument fällt diese gänzlich oder nur bis auf ein bestimmtes Niveau ab. Dieses Niveau wird als Sustain-Level bezeichnet- der dritte Wert der Hüllkurve. Der letzte Wert, die Release-Zeit, dient zur Simulation des Nachklangs, wie er bei fast allen Instrumenten vorhanden ist. Er gibt an, wie lange das Instrument nach dem Loslassen der Taste noch nachklingt.



Abb.11) ADSR-Hüllkurve

Mit solchen Hüllkurven können neben der Amplitude verschiedenste Parameter des Synthesizers über die Zeit moduliert werden, wie zum Beispiel die Cutoff-Frequenz eines Hochpassfilters. Zur weiteren Modulation stehen in der Regel Low Frequency Oscillators, auch LFOs genannt, zur Verfügung. Diese oszillieren mit Frequenzen weit unter dem hörbaren Bereich. Die von ihnen produzierten Werte dienen deswegen nicht der Klangerzeugung, sondern der Modulation anderer Parameter des Synthesizers. Diese Parameter ändern dann ihren Wert synchron zur Amplitude des LFO, was dabei hilft den Klang lebendiger zu machen. Am Ende der Signalkette durchläuft das Signal meist noch eine Effektsektion, in der ihm künstlicher Nachhall, Delay oder andere, gängige Effekte wie Chorus oder Flanger beigemischt werden können.

Die subtraktive Klangsintese birgt den Vorteil, über eine verhältnismäßig geringe Anzahl an Parametern auszukommen. Zusätzlich ist der Zusammenhang zwischen diesen Parametern und deren klanglicher Auswirkung gut nachvollziehbar, was für den

Sounddesigner oder Komponisten sehr angenehm ist. Dennoch gilt der Klang der subtraktiven Klangsynthese oft als starr, leblos und steril, da die Grundwelle des Oszillators immer die gleiche bleibt (Hannes Raffeseder, Audiodesign, S.221). Diese Eigenschaft hat zur Folge, dass der Einsatz der subtraktiven Klangsynthese in gewissen Musikrichtungen schlecht möglich ist, und sie ihre Bedeutung hauptsächlich in der elektronischen Musik findet. Im **Hörbeispiel 6** ist der typische Klang eines subtraktiven Synthesizers hinterlegt.

C.1.2 Additive Klangsynthese

Grundlage der additiven Klangsynthese ist die Theorie der Fourier-Analyse, die der französische Mathematiker Jean Baptiste Fourier im Jahr 1822 entwarf. Er war der Annahme, dass sich eine komplexe Schwingung f aus einer endlichen Anzahl periodischer Sinus- oder Kosinusfunktionen mit verschiedener Phase und Amplitude und exakt

definierter Frequenz erstellen lässt (wikipedia.org/wiki/Fouriersynthese). Da die Wellenform eines musikalischen Klanges so eine komplexe Schwingung ist, ist es möglich diese durch Fourier's Methode nachzubilden oder neue, musikalische Klänge zu erstellen.

Grob gesagt werden bei der additiven Klangsynthese nicht wie bei der subtraktiven Klangsynthese die unerwünschten Bestandteile aus einem obertonreichen Spektrum herausgefiltert, sondern der erwünschte Klang vielmehr durch das Zusammenführen der gewünschten harmonischen Teiltöne erstellt. Dies funktioniert innerhalb des Synthesizers folgendermaßen:

Am Anfang der Signalkette steht ein Oszillator, der eine einfache Sinuswelle erzeugt. Dieser Oszillator wird oft auch als Operator oder Carrier bezeichnet. Die Amplitude des Operators wird nun von einem zweiten Oszillator moduliert, welcher ebenso eine Sinuswelle erzeugt. In der Regel wird dieser als Modulator bezeichnet (Abb 12). Würde der Modulator mit einer Frequenzen unterhalb des hörbaren

Bereichs, also unterhalb von ca. 20 Hz, oszillieren, so entstünde ein Vibrato im Ausgangssignal. Bei der additiven Klangsynthese, auch Frequenzmodulation genannt, oszillieren diese Modulatoren jedoch mit Frequenzen im hörbaren Bereich, wodurch das Ausgangssignal harmonisch angereichert wird und ein reiches Obertonspektrum erhält. Über den sogenannten Modulationsindex kann auch noch die Stärke der Beeinflussung festgelegt werden. Dieser Modulationsindex kontrolliert im Endeffekt die Amplitude der Obertöne, die durch den jeweiligen Modulator erstellt wurden.

Es entstehen also viele Obertöne und dadurch eine veränderte Klangfarbe, wobei die Art der Obertöne stark vom Frequenzverhältnis zwischen den Oszillatoren abhängt. Ist dieses ganzzahlig, so entstehen harmonische Klangfarben.

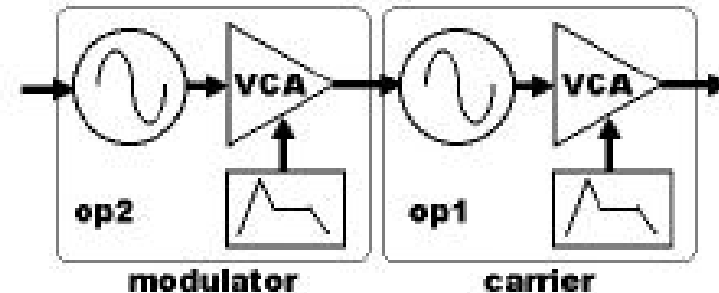


Abb.12)

Schema der Frequenzmodulation: op2 ist der Oszillator des Modulators, der selbst keinen Klang erstellt sondern lediglich die Amplitude des Oszillators op1 moduliert.

Bei „krummen“ Frequenzverhältnissen kommt es dementsprechend zu unharmonischen Klangfarben (Bedienungsanleitung des FM8-Synthesizers von Native Instruments, S.35). Beiderlei Varianten können interessant und vom Sounddesigner gewünscht sein.

Granularsynthese

Kapitel 3: Anwendungsfelder der Granularsynthese

Das Verfahren der Frequenzmodulation wird vor allem dann interessant, wenn das Carrier-Signal von mehr als nur einem Modulator beeinflusst wird und die Oszillatoren anstatt mit Sinuswellen auch mit anderen Wellenformen gespeist werden. Es lassen sich außerdem sehr lebendige Klänge erstellen, wenn die Amplituden der Modulatoren über die Zeit verändert werden, wodurch sich ja die Stärke ihres Einflusses auf das Ausgangssignal verändert (Hannes Raffeseder, Audiodesign S. 220). Die Bewegung, die durch derartige Modulationen im Klang entsteht, hat einen sehr natürlichen und weichen Charakter, da sie sich ausschließlich in der Obertonstruktur abspielt. Klanglich sind FM-Synthesizer vor allem für weiche, sphärische und glockenartige Klänge bekannt und beliebt und können ihren Einsatz deshalb auch in Musikgenres außerhalb der elektronischen Musik finden.



Abb.13) Modulatorpanel des Synthesizers FM 8 von Native Instruments

Ihr großer Nachteil liegt jedoch in der Handhabung. Synthesizer mit additiver Klangsynthese sind leider sehr unzugänglich. Da es eine hohe Anzahl an Einzelschwingungen benötigt, um einen komplexen Klang zu erzeugen, steigt auch die Anzahl an einzustellenden Parametern proportional an. Die Bedienoberfläche ist deshalb meist sehr unübersichtlich (Abb. 13) und erschwert die Arbeit der Sounddesigner und Komponisten sehr. Zusätzlich besteht oft kein anschaulicher, musikalisch leicht erfassbarer Zusammenhang zwischen Parametern wie Modulationsfrequenz- oder index und den resultierenden klanglichen Veränderungen im Ausgangssignal. Im **Hörbeispiel 7** ist der typische Klang eines additiven Synthesizers hinterlegt.

C.1.3 Physical Modeling

Physical Modeling versucht, reale Klangerzeuger in all ihren Eigenschaften nachzuahmen. Das Hauptaugenmerk liegt hierbei auf der Simulation der Klangentstehungsmechanismen. So werden zum Beispiel schwingende Saiten, Membranen oder Luftröhren und deren Verhalten, wenn sie angeblasen oder angestrichen werden, durch Computeralgorithmen simuliert. Selbst musikalisch gesehen fehlerhaftes Verhalten wird bei der Erstellung der Algorithmen berücksichtigt. Denn eine schwingende Saite, deren Schwingung oft durch eine Sinuskurve beschrieben wird, schwingt eigentlich zweidimensional und produziert deshalb schon keinen exakten Sinuston. Selbst die Aufhängung der Saite und das Material des Klangkörpers können noch klangliche Auswirkungen haben. Um all diese Dinge zu berechnen sind jedoch sehr komplexe Programme nötig, die vor allem in Punkto Rechenleistung schlecht abschneiden.

Physical Modeling ist dennoch ein interessantes Feld für Sounddesigner, da zum einen reale Instrumente nachgebildet, zum

Granularsynthese

Kapitel 3: Anwendungsfelder der Granularsynthese

anderen aber auch physikalische Grenzen gesprengt werden können. Oftmals bietet Physical-Modeling-Software die Möglichkeit, Saitenlänge, Klangkörpervolumen oder Bogenlänge einzustellen. Nun ist es theoretisch möglich eine hundert Meter lange Saite, ein Klangkörpervolumen von wenigen Kubikmillimetern oder einen unendlich langen Bogen zu simulieren. Dies kann zu sehr interessanten und überraschenden klanglichen Ergebnissen führen.

Die Art und Weise, in der man mit Physical Modeling Klänge erschafft, unterscheidet sich drastisch von der Vorgehensweise bei der additiven oder subtraktiven Klangsynthese. Sie ist um einiges intuitiver und orientiert sich sehr stark an den realen klangbestimmenden Elementen von echten Instrumenten. Um diese Vorgehensweise genauer zu erläutern, möchte ich ein solches Programm vorstellen.

In Abbildung 14.1 sieht man das Hauptfenster des auf Physical Modeling basierenden Plug-ins „Tension“, das von der Firma Applied

Acoustic Systems entwickelt wurde. Dieses Programm dient ausschließlich dazu, Saiteninstrumente zu emulieren.



Abb.14.1) Hauptpanel des auf Physical Modeling basierenden
Synthesizers Tension von Applied Acoustic Systems

Um die Vorgehensweise dieses Programms zu erläutern, möchte ich nun nacheinander die in Abbildung 14.1 zu sehenden Sektoren **Excitator**, **String/Vibrato**, **Damper**, **Termination** und **Body** behandeln.

Granularsynthese

Kapitel 3: Anwendungsfelder der Granularsynthese



Abb.14.2) Excitator-Segment, über welches die Schwingungserzeugung eingestellt wird

Der Excitator (dt. Erreger) bestimmt die Art und Weise, in der die simulierte Saite in „Tension“ in Schwingung versetzt wird. Hierfür können drei verschiedene Schwingungserzeugertypen ausgewählt werden:

- **Bow**, einem Bogen für Streicherinstrumente,
- **Plectrum**, ein Gitarrenplektrum
- **Hammer** und **Hammer (bouncing)**, einem Pianohammer oder Klöppel

Nachdem man sich für einen Erregertyp entschieden hat, kann man diesen noch auf vielfältige Weise einstellen. Für den in Abbildung 14.2 gewählten Exciter **Bow** sind das die Stärke mit der der Bogen auf die virtuelle Saite gedrückt wird (**Force**), der Grad der Reibung, die zwischen Bogen und Saite herrscht (**Friction**), die Geschwindigkeit, mit der er über sie gezogen wird (**Velocity**) und die relative Stelle, an der er die Saite in Schwingung versetzt (**Position**). Für andere Erregertypen ergeben sich teilweise auch noch andere Parameter, so kann zum Beispiel für einen Hammer noch dessen Masse, Materialbeschaffenheit und Rückfederverhalten eingestellt werden.



Abb.14.3) String-Segment, welches die Eigenschaften der schwingenden Saite beinhaltet

Über das in Abbildung 14.3 zu sehende **String**-Modul wird das Verhalten der schwingenden Saite eingestellt. Im Idealfall erzeugt die Saite eines Musikinstruments harmonische Obertöne, also exakte Vielfache des Grundtons. Das wird in der Realität aber nie zu hundert Prozent erreicht, prägt aber den individuellen Charakter eines Instruments. Im String-Modul können solche Abweichungen in Form von Verstimmung der höheren Teiltöne über den **Inharm**-Parameter beigesteuert werden. Außerdem kann in diesem Modul noch der allgemeine Anteil der Obertöne (**Damping-Parameter**) und die Abklingzeit (**Decay-Parameter**) der Schwingenden Saite festgelegt werden.

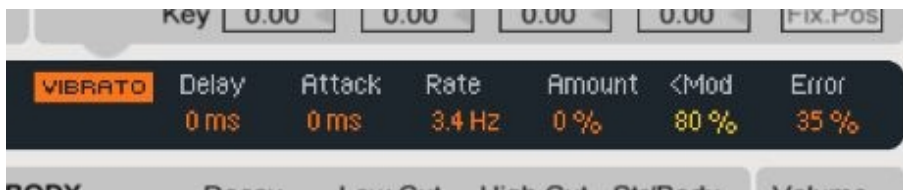


Abb.14.4) Vibrato-Segment

Der in Abbildung 14.4 dargestellte **Vibrato**-Bereich ermöglicht es, dem Klang ein konventionelles Vibrato, also eine periodische

auftretende Abweichung zur gewollten Tonhöhe, hinzuzufügen. Über **Rate** und **Amount** wird die Geschwindigkeit der Tonhöhenvariation und deren Wirkungstiefe eingestellt. In Bezug auf die realistische Artikulation eines Saiteninstruments sind vor allem die Parameter **Delay**, der angibt mit welcher Verzögerung das Vibrato nach dem Anschlagen der Saite zu wirken beginnt, und **Attack**, der angibt wie schnell das Vibrato seine maximale Amplitude erreicht, interessant.

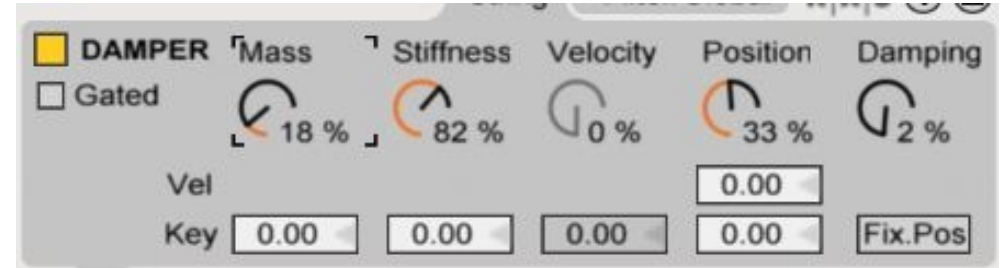


Abb.14.5) Dämpfer-Segment

Viele Saiteninstrumente verwenden einen Dämpfer, der die Schwingung der Saite stoppt.

Granularsynthese

Kapitel 3: Anwendungsfelder der Granularsynthese

Im Piano zum Beispiel sind das die Filzpolster, die nach dem Loslassen der Taste auf die Saite gepresst werden. In Tension können Eigenschaften und Verhalten eines solchen Dämpfers sehr detailliert eingestellt werden (Abb.14.5). Die Masse und materielle Beschaffenheit können über die Parameter **Mass** und **Stiffness** beeinflusst werden. Über Position legt man fest, an welcher Stelle der Dämpfer auf die Saite trifft. Letztendlich kann noch global der Wirkungsgrad des Dämpfers über den Parameter **Damping** eingestellt werden.



Abb.14.6) Termination-Segment

Im Termination-Bereich geht es um die Interaktion von Bund, Finger und Saite. Der Parameter Finger Mass bestimmt die Masse des Fingers, der das Ende des schwingenden Teils der Saite festlegt. Die

Stärke, mit der der Finger die Saite auf den Bund drückt wird über den Parameter **Finger Stiff** eingestellt, die materielle Beschaffenheit des Bundes legt man über **Fret Stiff** fest. Dies sind alles Einstellungsmöglichkeiten, die auf den ersten Blick nichtig erscheinen können. Doch gerade wenn versucht wird, Instrumente so realistisch wie möglich zu simulieren, kommt es auf solche Nuancen an.

Als letztes, für das Physical Modeling wichtiges Modul, gibt es noch den Body-Bereich (Abb.14.7). Der Body stellt hier den Resonanzkörper des Instruments dar und ist somit für den Klang ausschlaggebend.



Abb.14.7) Body-Segment, simuliert den Resonanzkörper des Instruments

Die Haupteinstellung erfolgt hierbei über ein Ausklappmenü, in dem man zwischen Piano, Violine und Gitarre wählen kann. Die Ausklingzeit des Klangkörpers kann über den Parameter **Decay** festgelegt werden, was in gewisser Weise seine Resonanzfähigkeit bestimmt. Nach einer kurzen Filtersektion (**Low Cut** und **High Cut**) kann letztendlich noch das Verhältnis zwischen direktem Saitenklang und vom Resonanzkörper produzierten Klang über den Parameter **Str/Body** eingestellt werden.

Wie man an dieser Einführung in die Vorgehensweise eines üblichen, auf Physical Modeling basierenden Synthesizers sehen kann, erfolgt die elektronische Klangerzeugung hier auf sehr unkonventionelle Weise. Es bedarf jedoch keiner allzu großen Einarbeitungszeit, da die Parameter sehr verständlich mit ihren klanglichen Auswirkungen verknüpft sind und sich die Strukturierung solcher Programme sehr nah an der Beschaffenheit realer Instrumente orientiert. Vor allem für Leute mit Kenntnissen im Bezug auf echte Instrumente und deren Funktionsweisen ist dies von großem Vorteil. Im **Hörbeispiel 8** ist der

typische Klang eines auf Physical Modeling basierenden Synthesizers hinterlegt.

C.II Anwendungsfelder der Granularsynthese

Als vierte große Klangerzeugungstechnologie kann man seit einigen Jahren nun auch die Granularsynthese dazuzählen. Diese Verzögerung hat folgenden Grund:

Im Gegensatz zu klassischen Syntheseverfahren wie additiver und subtraktiver Klangsynthese, die recht einfach und mit verhältnismäßig geringer Rechenleistung zu implementieren sind, benötigt die Granularsynthese ein weitaus höheres Maß an Speicher und Rechenleistung. Dies liegt an der enorm hohen Anzahl an Informationen, die pro Sekunde berechnet werden müssen. Man muss bedenken, dass in extremen Fällen bis zu Tausend Grains in der Sekunde erzeugt werden, und dass für jedes einzelne Grain einige Informationen berechnet werden müssen. Zudem ist es oft nicht

möglich die Berechnungen in mathematische Algorithmen zusammen zu fassen, da in vielen Fällen keinerlei Periodizität in Bezug auf die Beschaffenheit der aufeinanderfolgenden Grains besteht.

Seit die gängigen Homecomputer diese Rechenleistung jedoch bewältigen können, hat sich herausgestellt, dass Granularsynthese, neben der reinen Klangerzeugung noch weitere, sehr interessante Fähigkeiten für Musikproduktionssoftware bereithält.

C.II.1 Klangerzeugung durch Granularsynthese

In Hard- und Softwaresynthesizern steht nun auch die Klangerzeugung durch Granularsynthese zur Verfügung. Das bedeutet, dass die entstehenden Klänge teilweise oder komplett durch das Aneinanderreihen von Grains, also dem Produzieren von Grainstreams, entstehen. Im Gegensatz zu den von Curtis Roads erstellten Grain-Generatoren aus den achtziger Jahren stehen in den modernen Programmen jedoch weitaus mehr Parameter zur

Verfügung, über die die klangliche Beschaffenheit der Grainstreams eingestellt werden kann. Wie genau dies vor sich geht, was der Benutzer für Möglichkeiten hat und vor allem wie und wo die so entstehenden Klänge eingesetzt werden können, wird im nächsten Kapitel bei der Vorstellung eines solchen Programms genau erläutert.

C.II.2 Pitch-Shifting und Time-Stretching durch Granular-Resynthese

Seit langem waren Wissenschaftler und Toningenieure der ganzen Welt auf der Suche nach einer Möglichkeit, die Tonhöhe eines Signals unabhängig von dessen Länge zu verändern. Denn bisher waren diese beiden Parameter untrennbar miteinander Verknüpft. Man kennt diese Gesetzmäßigkeit von dem allgemein als Mickey-Mouse-Effekt bekannten Phänomen: Wird ein Tonband schneller als in seiner Originalgeschwindigkeit abgespielt, so erhöht sich proportional auch die Tonhöhe des darauf befindlichen Audiomaterials. Gleichmaßen verkürzt sich aber auch die Abspielddauer. Die hier auftretende Tonhöhenveränderung resultiert aus dieser verkürzten Abspielddauer, die sich wie eine Stauchung der Frequenz des Audiomaterials

Granularsynthese

Kapitel 3: Anwendungsfelder der Granularsynthese

auswirkt. Im Endeffekt müssen ja gleichviele Schwingungen in kürzerer Zeit geschehen, was zu einer Erhöhung der Frequenz und somit der Tonhöhe führt.

Zur Lösung dieses Problems wurde eine Variante der Granularsynthese angewandt, die sich Granular-Resynthese nennt. Granular-Resynthese bedeutet, dass man vorhandenes Audiomaterial zunächst in Grains zerteilt, diese dann aber wieder in derselben Reihenfolge zusammenfügt. Zwischen diesen zwei Vorgängen kann jedes Grain in Bezug auf die für Granularsynthese üblichen Parameter bearbeitet werden.

Das zu transponierende Audiomaterial muss also in Grains von wenigen Millisekunden zerlegt werden. Jedes einzelne Grain, welches nun einen kleinen Teil des zu transponierenden Signals in sich trägt, wird dann um den gewünschten Wert in seiner Tonhöhe verändert. Natürlich verändert sich dadurch die Länge des Grains, was zu zwei Problemen führen kann:

- bei Tonhöhenenerhöhung: Die Grains werden kürzer, zwischen ihnen entstehen Lücken
- bei Tonhöhenverringern: Die Grains werden länger, sie überschneiden sich

Für jedes dieser beiden Probleme hält die Granularsynthese jedoch eine Lösung bereit:

- bei Tonhöhenenerhöhung werden die entstehenden Lücken zwischen den Grains durch Vervielfachung der Grains aufgefüllt.
- bei Tonhöhenverringern werden die entstehenden Überschneidungen durch Überblendungen und Kürzungen der Grains aufgefangen.

Diese beiden Lösungsansätze funktionieren sehr gut, weil selbst komplexe Wellenformen von Audiosignalen eine gewisse Periodizität aufweisen. Vor allem harmonische und konstante Klänge wie von

Granularsynthese

Kapitel 3: Anwendungsfelder der Granularsynthese

einer Gesangsstimme oder von einem Streicherinstrument bergen im Bereich von fünf bis zwanzig Millisekunden beinahe repetitive Formen in ihrer Wellenform (Abb.15). Diese wiederkehrenden Segmente können dann, wie oben beschrieben, vervielfacht oder gekürzt werden, ohne dass es dem Hörer auffällt.

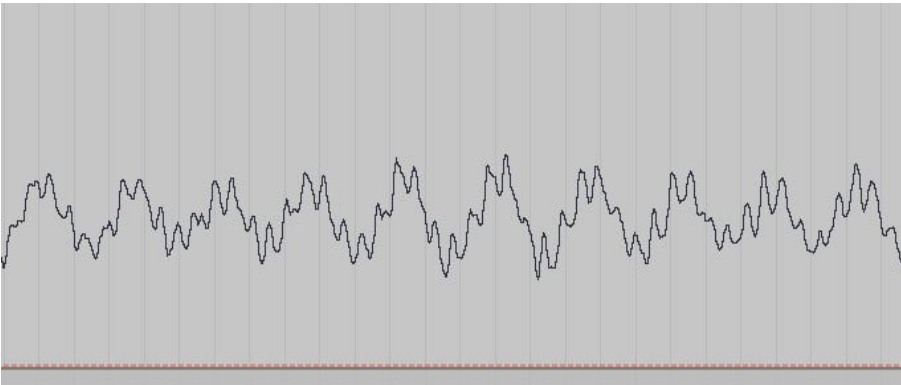


Abb.15) Ausschnitt der Wellenform eines gesungenen Vokals

Durch diese Technologie sind Transponierungen von bis zu fünf Halbtonschritten möglich, ohne dass das Endergebnis zu künstlich klingt. Hierfür gibt es aber keine genauen Werte, da die Grenze stark von der Qualität des Audiomaterials und dem Anspruch des Benutzers abhängt, der entscheidet, ab wann eine Transponierung künstlich klingt oder zu viele Artefakte im Signal auftreten.

Wirklich große Schwierigkeiten entstehen, wenn es sich um transientenreiches Klangmaterial handelt. Transienten sind impulsartige Schwingungen, die zum Beispiel beim Schlag auf eine Trommel entstehen. Ihre Länge bewegt sich im Bereich zwischen 20 und 50 Millisekunden, sie sind in der Regel weder symmetrisch noch periodisch (Abb.16), und lassen sich nicht auf die Summe einzelner Grundschwingungen zurückführen (wikipedia.org/wiki/Transienten).



Abb.16) Ausschnitt der Wellenform eines Drumloops

Sie können von Transponierungsalgorithmen schlecht oder gar nicht bearbeitet werden, da die für eine erfolgreiche Transponierung des Klangmaterials nötige Wiederholung oder Verkürzung einzelner Grains in diesem Fall hörbar wird. Die Software umgeht dieses Problem, indem sie das Audiomaterial im Vorhinein auf Transienten untersucht, und diese dann von der Bearbeitung ausschließt. Das bedeutet, dass der Transient selbst nicht transponiert wird, sondern nur das Klangmaterial unmittelbar vor und nach ihm. Gute Software

bietet für diese Vorgehensweise oft sehr genaue Einstellungsmöglichkeiten, mit denen man auf die Beschaffenheit des Klangmaterials eingehen kann.

2.II.3 Klanggestalterischer Einsatz der Granular-Resynthese

Wie schon im vorherigen Abschnitt erklärt zertrennt die Granular-Resynthese Audiomaterial in Grains, bearbeitet diese und fügt sie danach wieder zusammen. Da dieser Vorgang in Echtzeit möglich ist, hat sich die Granular-Resynthese auch als Insert-Effekt etabliert. Solche Programme können in die Effektkette eines Kanals innerhalb eines Audiosequencers oder in die Signalkette eines Synthesizers eingefügt werden, und fügen so dem ursprünglichen Signal eine „granulierte“ Version seiner selbst zurück. Die klanglichen Einstellungsmöglichkeiten variieren hier stark von Programm zu Programm, doch bekannte Parameter der Granularsynthese wie **Grain Size**, **Grain Pitch** oder **Random Stereo Spread** werden wiederholt verwendet. Eine Wellenform kann für die Grains natürlich

nicht ausgesucht werden, da das eingehende Audiosignal ja die Wellenform für die Grains liefert. Oftmals kann das granulierte Signal dem Ursprungssignal zeitversetzt zurückgeführt werden, wobei der zeitliche Versatz wie in einem gängigen Delay-Effekt in Teilnoten oder Millisekunden angegeben werden kann. In solchen Fällen wird besonders die Feedback-Funktion interessant, die das bearbeitete Signal wieder an den Eingang des Effektgerätes führt. Dort durchläuft es die Granular-Resynthese erneut, wodurch sehr fremdartige Klänge entstehen können. Doch auch ein dezenter Einsatz solcher Geräte ist möglich und nützlich, es kann zum Beispiel in geringem Maße die Stereobreite eines Signals vergrößert werden.

D Granularsynthese in aktueller Software

Das vorherige Kapitel hat dargelegt, dass die Granularsynthese eine Klangmanipulationstechnik ist, die in verschiedenen Bereichen der Musikproduktionssoftware zum Einsatz kommt. Um die Fähigkeiten und Handhabung dieser Programme zu erläutern, werde ich im Folgenden verschiedene Programme aus den einzelnen Einsatzgebieten der Granularsynthese vorstellen.

D.1 Synthesizer

Die Granularsynthese kann in Synthesizern auf verschiedene Art und Weise vorkommen. Entweder wird sie als alleiniger Klangerzeuger verwendet, oder sie wird mit anderen Syntheseverfahren kombiniert. Die beiden Softwaresynthesizer Absynth von der Firma Native Instruments und Padshop von der Firma Steinberg sind hierfür zwei gute Beispiele. Absynth verwendet die Granularsynthese kombiniert mit anderen Verfahren, und bietet innerhalb seiner Signalkette sogar

die Möglichkeit zur Granular-Resynthese. Padshop beinhaltet sie hingegen als alleinigen Klangerzeuger.

D.1.1 Padshop



Abb.17) Mainpanel des Granularsynthesizers Padshop von Steinberg

Padshop arbeitet mit bis zu acht Grainstreams gleichzeitig. Um die einzelnen Grains mit einer Wellenform zu bestücken wird hier das Prinzip des Wavetables angewandt. Dieses Wavetable wird aus der Wellenform eines vom Benutzer ausgewählten Samples entnommen: Bei der Erzeugung eines einzelnen Grains wird eine bestimmte Position in der Wellenform des geladenen Samples festgelegt. Ab dieser Position wird dann ein Segment mit derselben Länge wie der eingestellten Graindauer aus der Wellenform herausgeschnitten und in das Grain eingefügt. Zur Visualisierung dieses Abschnitts bietet das Programm eine visuelle Darstellung (Abb.18).

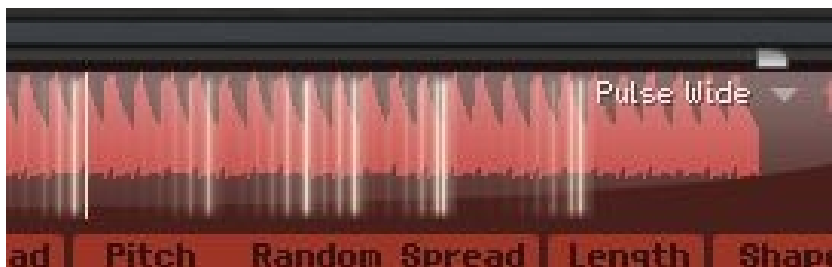


Abb.18) Wellenformanzeige

In dieser Visualisierung wird die Wellenform des vom Benutzer geladenen Samples angezeigt. Zusätzlich sind als weiße, vertikale Linien die jeweiligen Auslesepositionen der einzelnen Grains dargestellt. Selbst der Auslesevorgang kann, bei etwas längerer eingestellter Graindauer, beobachtet werden. Die weißen Linien bewegen sich nämlich für eben diese Dauer in Abspielrichtung über die im Hintergrund dargestellte Wellenform.

Die für die Einstellung der Grainstreams verfügbaren Parameter sind zu einem Teil dieselben, die schon Curtis Roads in den siebziger Jahren verwendete:

- Graindauer in Millisekunden
- Graindichte in Grains pro Sekunde
- Auswahl zwischen sechs verschiedenen Hüllkurven zur Amplitudenmodulation
- Auswahl der Wellenform des Grains
- Stochastische Verteilung der Grains im Stereopanorama

Granularsynthese

Kapitel 4: Granularsynthese in aktueller Software

Dennoch klingen die in diesem Synthesizer erzeugten Klänge gänzlich anders als in den von Roads erstellten Grainstreams. Dies liegt zum einen an den etlichen Möglichkeiten, einzelne Parameter durch Zufallsgeneratoren zu beeinflussen:

Der Parameter **Pitch** (Abb. 19) legt die generelle Tonhöhe aller Grains fest. Zusätzlich sind aber noch die Parameter **Random** und **Spread** verfügbar. **Random** legt fest, jedes wievielte Grain per Zufall in seiner Tonhöhe verändert wird, **Spread** bestimmt im Folgenden wie weit diese zufällige Tonhöhe vom Ausgangswert entfernt ist.



Abb.19) Parameter des Grainstreams

Eine an dieser Stelle noch erwähnenswerte Besonderheit ist die Möglichkeit in Padshop, die Formanten unabhängig von der Tonhöhe des Grainstreams zu beeinflussen. Dies erfolgt in der Pitch-Sektion, in der man die generelle Tonhöhe des Grainstreams einstellt. Neben gängigen Tonhöhenparametern findet sich dort auch der Parameter **Formant** (Abb.20).



Abb.20) Tonhöhen- und Formanteneinstellungen

Funktion und Funktionsweise des Parameters Formant können folgendermaßen erklärt werden:

Wie schon im ersten Kapitel angesprochen, ist die Tonhöhe eines Grainstreams, der aus sehr kurzen Grains besteht, nicht von der

Frequenz der Welle innerhalb des Grains, sondern von der Länge der Grains abhängig. Verändert man jedoch Frequenz und somit Tonhöhe der inneren Wellenform, so entsteht im Grainstream ein Effekt der einer Formantenverschiebung sehr nahe kommt (Padshop-Handbuch, S.37). In **Hörbeispiel 9** hört man einen mit Padshop erstellten, simplen Grainstream, dessen Grains 40 Millisekunden lang sind und eine Sinuswelle in sich tragen. Im Verlauf des Hörbeispiels wurde nun der Parameter **Formant** langsam erhöht. Es lässt sich klar vernehmen, wie die Obertöne des Grainstreams immer mehr betont werden und die Grundfrequenz immer leiser wird. In den Abbildungen 21.1, 21.2 und 21.3 lässt sich diese Formantenverschiebung gut ablesen. Die drei Schaubilder wurden durch einen Spektrumanalysator erstellt und dem **Hörbeispiel 9** am Anfang, in der Mitte und am Ende entnommen. Sie zeigen deutlich, dass zu Beginn das Frequenzband um den Grundton noch die höchste Amplitude hat. Im Verlauf der Parameterveränderung haben dann aber immer höher gelegene Formanten die höchsten Amplituden.



Abb.21.1-21.3) Formantenverschiebung

Granularsynthese

Kapitel 4: Granularsynthese in aktueller Software

Legt man nun eine Modulationsquelle wie einen LFO oder eine Hüllkurve auf eben diesen **Formant**-Parameter, so lässt sich auf sehr angenehme und sanfte Weise Lebendigkeit in den Klang bringen.

Eine weitere Möglichkeit, den Klang neuartig klingen und sich bewegen zu lassen, ist über die Parameter der Grainlänge (Abb. 22) möglich.



Abb.22) Parameter des Grainstreams

Duration legt die Grainlänge in Millisekunden fest. Über den Parameter **Random** kann dann eingestellt werden, bei jedem

wievielten Grain die Länge zufällig generiert wird. **Spread** stellt ein, wie stark diese errechnete Länge von der Originallänge abweicht. Und in diesem Fall gibt es sogar noch eine weitere Möglichkeit, die Grainlänge zu modulieren: Über den Parameter **Key F** kann eine Abhängigkeit zwischen Midiwert und Grainlänge geschaffen werden. Das bedeutet, dass beim Spielen der Note C1 auf dem Keyboard Grains mit einer Länge von zum Beispiel 10 Millisekunden erschaffen werden, bei der Note C2 sich die Grainlänge auf 20 Millisekunden vergrößert, und so weiter. Diese Möglichkeit ist vor allem in Bezug auf den musikalischen Einsatz von Granularsynthese sehr interessant, da sich nie da gewesene Artikulationsmöglichkeit entfalten.

Ein weiterer Grund für den enormen Unterschied zwischen den von Padshop produzierten Klängen, und den ersten, noch wissenschaftlich analytischen Grainstreams von Curtis Roads ist die Möglichkeit, auch Grains mit Längen von bis zu einer Sekunde zu erschaffen. Verknüpft mit der Möglichkeit, Audiomaterial in der Länge von mehreren Sekunden als Wellenformquelle zu verwenden,

entsteht dadurch eine gänzlich neue Gesetzmäßigkeit, unter anderem auch in Bezug auf die Tonhöhe des Ausgangssignals:

Wenn sich die Grainlänge im Bereich über einer viertel Sekunde befindet, hört man zunehmend die Tonhöhe der Wellenformquelle, und nicht mehr die des Grainstreams selbst. Verwendet man also zum Beispiel eine einsekündige Aufnahme einer Geige als Wellenformquelle, so wird ab einer Grainlänge von ca. 250 Millisekunden die Tonhöhe dieses Samples konkret hörbar.

Genau hier liegt das große Potenzial der Granularsynthese in Bezug auf die Erzeugung musikalischer Klänge. Komplexe Synthesizer wie Padshop lassen es zu, Klänge aus kürzesten und aus sehr langen Grains gleichzeitig zu erzeugen, da sie mehrere Grainstreams mit separaten Einstellungen erzeugen können.

Ein Granularsynthesizer wie Padshop beinhaltet folglich zwei sehr unterschiedliche Konzepte zur Klanggestaltung:

Zum einen kann ein Grainstream A im klassischen Sinne erstellt werden, mit Klangschnipseln in einer Länge zwischen zehn und zweihundert Millisekunden. Hierbei können die tiefgreifenden Möglichkeiten zur Beeinflussung des Obertongehalts der resultierenden Klangwolke ausgenutzt werden, die in der Auswahl der Amplitudenhüllkurven der Grains, in der stochastischen Berechnung der Abstände zwischen den Grains, und in der Auswahl der Wellenform innerhalb des Grains liegen. Gleichmaßen kann dem Ausgangssignal aber ein Grainstream B beigemischt werden, der Grains mit Längen von bis zu einer Sekunde beinhaltet und seine Wellenform aus einer echten musikalischen Audioaufnahme entnimmt. Der flächige und weiche Klang eines solchen Streams hat mit dem ursprünglichen Ansatz der Granularsynthese nicht mehr viel gemein, eröffnet dem Sounddesigner aber neue Klanggestaltungsmöglichkeiten. Dieselben Parameter die auch in Grainstream A verwendet werden, erhalten hier gänzlich neue Bedeutungen:

- **Auswahl der Hüllkurve:** Ursprünglich hat die Hüllkurvenform maßgeblich das Frequenzspektrum des Grainstreams beeinflusst, die durch ihr (annähernd) periodisches Auftreten die Frequenz der Wellenform innerhalb des Grains modulierte. Da nun aber einzelne Grains durch ihre große Länge als solche auch wahrgenommen werden können, bestimmt die Hüllkurve nun dessen An- und Abschwelcharacteristik. Dies ist vergleichbar mit den gängigen Fade-In und Fade-Out Kurven, die üblicherweise für sanftes Ein- und Ausklingen von Audiomaterial eingesetzt werden.
- **Graindichte:** Über die Graindichte konnte ursprünglich die Tonhöhe des Grainstreams beeinflusst werden. Da bei langen Grains aber die Tonhöhe der Wellenform innerhalb des Grains hörbar und somit ausschlaggebend ist, legt die Graindichte nun fest, ob ein lückenhaftes oder flächendeckendes Signal entsteht.
- **Abstand zwischen den Grains:** Über eine Zufallsmodulierung der Abstände zwischen den Grains, die ursprünglich noch zu einer Zerstörung des Grundtons und einer „Verrauschung“ des Signals führte, kann nun festgelegt werden, ob die Grains eher rhythmisch, oder eher chaotisch auftreten. Hierüber kann dem Klang sehr viel Lebendigkeit und Dynamik verschafft werden
- **Zufallsverteilung im Stereopanorama:** Curtis Roads experimentierte schon sehr früh mit Multi-Channel-Granularsynthese (Roads, 2001, S.107). Das bedeutet, dass jedes einzelne Grain an verschiedene Ausgangskanäle geschickt werden kann. Es kann auch, jeweils mit unterschiedlicher Lautstärke, an mehrere Kanäle gleichzeitig geschickt werden. Dadurch ist für das Grain jede Position im Stereopanorama einnehmbar. Wird nun zum Beispiel in einem Grainstream mit einer Dichte von 30 Grains pro Sekunde und einer Grainlänge von 30 Millisekunden für jedes Grain eine andere

Stereoposition berechnet, so erhält das resultierende Signal eine sehr weite und stabile Stereobreite. Dies liegt daran, dass einzelne Grains wegen ihrer extremen Kürze vom Gehör nicht lokalisiert werden können. Es entsteht im Folgenden der Eindruck, der Grainstream würde von überall her kommen. Verwendet man jedoch sehr lange Grains, eine geringe Graindichte aber dieselbe stochastische Stereoverteilung, ist die resultierende Stereobreite weitaus weniger konstant. Es kann vielmehr jedes Grain auch konkret im Stereopanorama lokalisiert werden. Über den Parameter, der nun diese Zufallsverteilung steuert, kann der Sounddesigner sehr weiche Bewegungen und somit viel Lebendigkeit in den Klang bringen.

Die große Stärke von Synthesizern wie Padshop liegt in der Kombination dieser beiden Herangehensweisen. Durch diese Zusammenführung entsteht eine Lebendigkeit, die in dieser Form mit

anderen Klangerzeugungstechnologien nur schwer zu erreichen ist. Denn trotz der enormen Komplexität der Klänge sind Programme wie Padshop relativ einfach zu bedienen, sie besitzen neben den für die Granularsynthese zuständigen Parameter in der Regel dieselben Funktionen wie gängige Synthesizer. So hat auch Padshop eine ADSR-Sektion, in der der allgemeine Amplitudenverlauf durch eine Hüllkurve gesteuert werden kann. Des Weiteren ist eine FX-Sektion vorhanden, in der dem Signal künstlicher Hall und ein Delay beigemischt werden können. Auch eine Filtersektion ist vorhanden, die die üblichen Filter wie Hochpass-, Tiefpass- oder Bandpassfilter enthält. Zuletzt steht noch eine Modulationssektion zur Verfügung, in der man jegliche Parameter des Synthesizers mit LFOs modulieren kann.

All diese Möglichkeiten und gleichermaßen die einfache Bedienbarkeit machen auf Granularsynthese basierende Synthesizer zu elektronischen Klangerzeugern, die auch über die Grenzen der elektronischen Musik einsetzbar sind.

D.1.2 Absynth

Absynth bietet die Granularsynthese zwar als Klangerzeugungsverfahren an, ist aber bei weitem nicht so auf sie fixiert wie der im vorherigen Abschnitt vorgestellte Padshop. Hier geht es vielmehr um die Kombination verschiedener Syntheseverfahren, denn Absynth bietet alle gängigen Klangerzeugungsverfahren an und lässt die Verwendung von drei Klangerzeugern gleichzeitig zu (Abb.23).



Abb.23) Oszillatormodule von Absynth

Ein Klang aus diesem Synthesizer kann also gleichzeitig additive, subtraktive und Granularsynthese verwenden und somit die jeweiligen Vorteile kombinieren. Dadurch sind die Einstellungsmöglichkeiten der hier durchgeführten Granularsynthese auch nicht so tiefgreifend und detailliert wie bei Padshop. Wählt man innerhalb eines Oszillatormoduls die Granularsynthese zur Klangerzeugung aus, so kann man zunächst einmal die Wellenform für die Grains im entstehenden Grainstream auswählen. Hierfür bietet der Synthesizer eine üppige Auswahl an gängigen Wellenformen wie der Sinuskurve oder der Sägezahnwelle, aber auch ausgefallene Formen wie Noise oder Puls an. Zusätzlich hat der Benutzer noch die Möglichkeit, in einem Wellenformeditor (Abb.24) eigene Wellenformen zu kreieren und somit sehr tief in die Granularsynthese einzutauchen.

Granularsynthese

Kapitel 4: Granularsynthese in aktueller Software



Abb.24) Wellenformeditor von Absynth

Für die Einstellung des Grainstreams stehen dafür relativ wenige Parameter zur Verfügung.



Abb.25) Parameter des Grainstreams

Die in Abb.25 zu sehenden Parameter haben folgende Funktion:

- **Balance** regelt das Verhältnis zwischen Granularsynthese und normalem Oszillator. Steht **Balance** auf null, wird die ausgewählte Wellenform lediglich durch einen Oszillator wiedergegeben. Auf eins wird jedoch ausschließlich ein Grainstream produziert, in dessen Grains dieselbe Wellenform eingesetzt wird. Man hat also die Möglichkeit, dem Ausgangssignal den klanglichen Charakter der Granularsynthese dosiert beizusteuern
- **Dens** steuert grob die Dichte des Grainstreams. Niedrige Werte führen dazu, dass der Grainstream lückenhaft und leicht perkussiv wird, höhere Werte führen zu Überschneidungen der Grains und glätten dadurch den Klang
- **Scat** stellt einen Zufallsgenerator dar. Erhöht man diesen Wert, so werden die Grainlänge, Graindichte, Tonhöhe und

Verteilung im Stereopanorama zunehmend durch einen Zufallsgenerator beeinflusst.

Hier kann also in vereinfachter Form Granularsynthese zur Klangerzeugung betrieben werden. Doch Absynth bietet des Weiteren noch die Möglichkeit, das eigene Signal in der Effektsektion einer Granular-Resynthese zu unterziehen, und dem Ausgangssignal wieder beizumischen. Dieses Effektmodul trägt den Namen **Aetherizer** und bietet im Vergleich zu den für die Klangerzeugung verfügbaren Parametern weitaus tiefere Eingriffsmöglichkeiten.

Der Aetherizer zerstückelt das von den Oszillatoren kommende Signal in Grains und fügt diese dem Ausgangssignal wieder zu. Die Grains können innerhalb des Aethrizers einer intensiven Bearbeitung unterzogen werden, die sich in zwei Hauptgebiete aufteilt:

1. Der Grain Bereich

Grain		Random
Predelay	ms 0.10	0.00
Rate	Hz 166.855	0.00
Feedback	% 0.00	0.00
Grain Dur	% 0.00	0.00

Abb.26) Parameter des Grainbereichs

In diesem Bereich geht es um die globale Einstellung des Grainstreams. Die linke Spalte der in Abb.26 zu sehenden Tabelle beinhaltet die Namen der verfügbaren Parameter. **Predelay** steht hierbei für den Abstand zwischen den einzelnen Grains, **Rate** für die Anzahl an Grains pro Sekunde und **Grain Duration** für die Länge der Grains. In der zweiten Spalte von links werden die Werte eingegeben, die je nach Parameter unterschiedliche Einheiten haben. In der dritten Spalte von links kann der Anteil der Zufallssteuerung für den jeweiligen Parameter festgelegt werden.

2. Der Tone Bereich



Abb.27) Parameter des Tonebereichs

In diesem Bereich kann die tonale und spektrale Beschaffenheit der Grains eingestellt werden. Hierfür sind die beiden in Abb.27 zu sehenden Parameter **Transpose** und **Filter** verfügbar. Transpose legt fest, um wie viele Halbtöne die Tonhöhe jedes Grains verschoben wird. Ist der Wert des zugehörigen Random-Parameters null, so wird jedes Grain um den eingestellten Wert transponiert. Erhöht man jedoch den Random-Wert, so können die Grains alle Werte zwischen der Originaltonhöhe und dem eingestellten

Transpose-Wert einnehmen. Ist der Parameter **Filter** aktiviert, so durchlaufen die Grains einen Bandpassfilter. Resonanz und Frequenz dieses Filters können in der zweiten Spalte von links eingestellt werden. Wenn man nun diese Werte per Zufall generieren lässt, springt der Bandpassfilter bei der Erstellung jedes neuen Grains an eine andere Stelle des Frequenzspektrums. Auf diese Art und Weise kann dem Synthesizer eine organische Atonalität zugefügt werden, wie in **Hörbeispiel 11** zu erkennen ist. Der dort zu hörenden, recht statischen Synthesizer-Fläche wird langsam das vom Aetherizer bearbeitete Signal zugeführt.

Der Aetherizer bietet des Weiteren noch eine schematische Visualisierung des Grainstreams an. Dies kann sehr hilfreich sein, um sich schnell einen Überblick über die Beschaffenheit des von ihm erstellten Klangs zu machen.



Abb.28.1 - 28.2) Zwei verschiedene Zustände des Grainstreams

Jedes der in den Abb.28.1-2 zu sehenden Dreiecke repräsentiert ein einzelnes Grain. Die vertikale Position stellt die Tonhöhe des Grains dar. Befindet es sich genau in der Mitte, auf der durchgehenden Linie, so hat es auch seine ursprüngliche Tonhöhe. Die vor allem in Abb.28.2 zu sehenden, langen Linien an den Dreiecken geben die Länge des Grains an. Über diese Darstellung lässt sich gut ablesen, ab welcher Länge es zu einer Überschneidung der Grains kommt. Die Farbe der Grains gibt Auskunft über die spektrale Beschaffenheit des Grains, was vor allem bei der Verwendung und vor allem

Modulierung des Bandpassfilters sehr nützlich ist. Hierbei stehen dunkle Farbtöne für niedrige Frequenzen, und helle für hohe.

D.II Pitch-Shifting und Timestretching in Ableton Live

Wie schon angesprochen kann die Granularsynthese neben der Klanggestaltung auch zu sehr nützlichen Zwecken eingesetzt werden. Dies ist die unabhängige Tonhöhenverschiebung von der zeitlichen Dehnung oder Stauchung von Audiomaterial. Jeder namhafte Sequenzer bietet diese Möglichkeiten auch an. Da es sich hierbei jedoch um einen sehr komplexen Vorgang handelt, der stark von der Beschaffenheit des Audiomaterials abhängt, bieten die Programme die Möglichkeit auf diese Beschaffenheit einzugehen. Ich möchte diese Vorgehensweise nun an dem Softwaresequenzer Ableton Live genauer erläutern.

Öffnet man in diesem Programm eine Audiodatei, so erscheint zunächst ein Kontextmenü, in dem man die Art des Audiomaterials auswählen kann.

Granularsynthese

Kapitel 4: Granularsynthese in aktueller Software

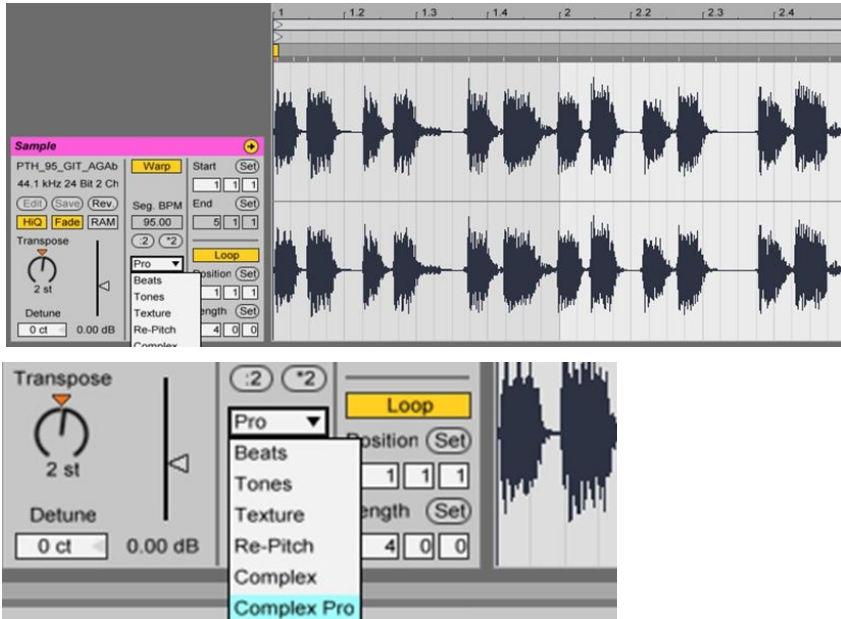


Abb.29) Transponierungsmenü in Ableton Live

Wie in Abb.29 zu sehen ist, hat man die Wahl zwischen den Kategorien **Beats**, **Tones**, **Texture**, **Re-Pitch** und **Complex**. Diese verschiedenen Modi stellen unterschiedliche Varianten einer granularen Resynthese dar, denn bevor in Ableton Audiomaterial transponiert oder in seiner Länge geändert wird, unterteilt es das

Programm in Grains mit einer Länge zwischen 30 und 500 Millisekunden. Diese Grains werden nach der gewünschten Bearbeitung wieder zusammengesetzt und ergeben das fertige Ausgangsmaterial.

1. Beats passt sich an transientenreiches Material an. Dies sind vor allem Perkussionsaufnahmen oder einzelne Drumsamples. Dieser Modus ist darauf spezialisiert, die Transienten von der Transponierung auszuschließen. Wie schon im vorherigen Kapitel erklärt, lassen sich Transienten mit der hier angewandten Technologie nicht transponieren. Diese werden deshalb von der Bearbeitung ausgeschlossen, wobei sich dieser Vorgang wiederum an das Audiomaterial anpassen lässt. In Abb.30 sind die hierfür verfügbaren Optionen zu sehen.



Abb.30) Untermenü der Transponierungsoption **Beats**

Wird in dem Ausklappmenü **Preserve** die Option **Transients** gewählt, so bearbeitet der Algorithmus ausschließlich die Regionen vor und nach den Transienten. Die in Abb.30 zu sehenden Pfeile geben an, wie mit dem Material zwischen den Transienten umgegangen wird. Wird zum Beispiel ein Drumloop um fünf Halbtöne nach oben transponiert, so würden sich die Abschnitte zwischen den Transienten verkürzen, und somit Lücken entstehen. In diesem Fall müssen deshalb die diesem Abschnitt entnommenen Grains bis zum nächsten Transienten wiederholt werden. Die in Abb.30 zu sehenden Pfeile geben an, ob diese Wiederholung immer vorwärts, abwechselnd vorwärts und rückwärts oder nur rückwärts geschieht. Auf diese Weise kann das Ausgangssignal klanglich geglättet und

Artefakte vermieden werden. Als letzte Option bietet das Programm noch die Möglichkeit, die Hüllkurve der Grains grob einzustellen. Die in Abb.30 zu sehende Zahl unten rechts gibt an, wie weich diese Hüllkurve arbeitet. Beim Wert 100 wird keinerlei Fade angewandt, ein Wert von null kommt einer Gaußschen Hüllkurve nah.

2. Tones eignet sich für harmonisches Audiomaterial mit klar erkennbarer Tonhöhe. Solche Signale zeichnen sich durch eine hohe Periodizität innerhalb ihrer Wellenform aus und lassen sich deshalb gut von diesem Algorithmus transponieren oder längenmäßig verändern. Als Anpassungsoption kann noch die grobe Grainlänge eingestellt werden (Abb.31).



Abb.31) Untermenü der Transponierungsoption **Tones**

Die Grainlänge kann zwischen 12 und 100 Millisekunden betragen. Es ist sinnvoll diesen Parameter an das Material anzupassen, da sich, je nach Frequenz des Audiomaterials, eine andere optimale Grainlänge zur Wiederholung einzelner Segmente ergibt. Audiosignale mit tiefen Frequenzen benötigen zum Beispiel eine größere Grainlänge, um die wiederholbaren Segmente der Wellenform möglichst genau zu treffen. Der hier eingestellte Wert wird vom Programm jedoch nur als Richtwert benutzt, die letztendlich verwendete Grainlänge errechnet der Algorithmus dann in Abhängigkeit des Audiomaterials.

3. Texture ist auf polyphones oder mehrschichtiges Material ausgelegt. Dies können sowohl orchestrale Musik wie auch atmosphärische Flächenklänge sein.



Abb.32) Untermenü der Transponierungsoption **Texture**

Wie in Abb.32 zu sehen ist hat man auch in diesem Modus die Möglichkeit, die Grainlänge anzupassen. In diesem Fall wird der vom Benutzer eingestellte Wert jedoch zu hundert Prozent übernommen. Der Parameter **Flux** erstellt Zufallsabweichungen in Bezug auf eben diese Grainlänge. Dies kann dem Problem entgegenwirken, dass bei starker Bearbeitung die einzelnen Grains hörbar werden, was durch variierende Grainlängen kompensiert werden kann.

4. Re-Pitch ist ein Modus, der ausschließlich zu gestalterischen Zwecken angelegt wurde. In diesem Modus sind Tonhöhe und Abspielgeschwindigkeit wieder miteinander verknüpft. Transponiert man zum Beispiel ein Signal nach unten, verlängert sich auch seine Abspieldauer wieder. Dieser Modus dient zum Beispiel zur Simulation einer langsamer werdenden Schallplatte oder einem schnell vorspulenden Kassettenspielers.

5. Complex muss angewendet werden, wenn es sich um gemischtes Audiomaterial handelt oder eine sehr genaue und hochqualitative Bearbeitung gewünscht ist. Dieser Modus benötigt im Vergleich zu

den bisher genannten Modi die zehnfache Rechenleistung. (Ableton Live Benutzerhandbuch, S.143). Das Signal darf folglich sowohl perkussive als auch harmonische Klänge enthalten. Die Granularsynthese wird hier so genau und effizient durchgeführt, dass der Benutzer einstellen kann wie stark sich die Klangmanipulation auf die Formantenstruktur des Ausgangssignals auswirkt. Dies geschieht über den in Abb.33 zu sehenden Parameter **Formants**.

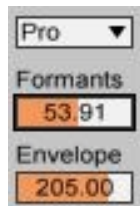


Abb.33) Untermenü der Transponierungsoption **Complex**

Je höher die Werte dieses Parameters eingestellt werden, desto mehr bleiben die ursprünglichen Formanten erhalten. Dies ermöglicht eine Transposition in größerem Umfang, da die oberen Bänder in der Formantenstruktur sonst ab einem gewissen Punkt überbetont werden würden. Dies würde zu einem unnatürlichen

Klang führen. Diese Problematik kann im **Hörbeispiel 11** gut erkannt werden. Zu Hören ist eine um vier Halbtöne nach oben transponierte Frauenstimme. Über die Dauer des Hörbeispiels wird der Wert des Parameters **Formant** von seinem Maximum auf sein Minimum gesenkt. Man vernimmt also zunächst die absichtlich erhaltenen, ursprünglichen Formanten, dann aber mehr und mehr die durch die Transponierung entstandene Formantenstruktur, in der die Betonung zunehmend auf den oberen Formanten liegt.

D.III Kreatives Sounddesign mit Granular-Resynthese

Die Möglichkeit, ein Audiosignal in Echtzeit einer Granularsynthese zu unterziehen, es auf vielfältigste Weise zu verändern, und neu zusammengesetzt wieder auszugeben, ist vor allem für experimentierfreudige Sounddesigner ein interessantes Feld. Die Unvorhersehbarkeit der klanglichen Ergebnisse fördert die Kreativität und lässt vorher nie da gewesene Klänge entstehen. Die enormen Gestaltungsmöglichkeiten vieler solcher Programme basieren vor

Granularsynthese

Kapitel 4: Granularsynthese in aktueller Software

alles auf der Verknüpfung einzelner Parameter. Das Programm **Grain Delay** von Ableton bietet zur Parameterverknüpfung eine frei zuweisbare X-Y-Matrix an (Abb.34).

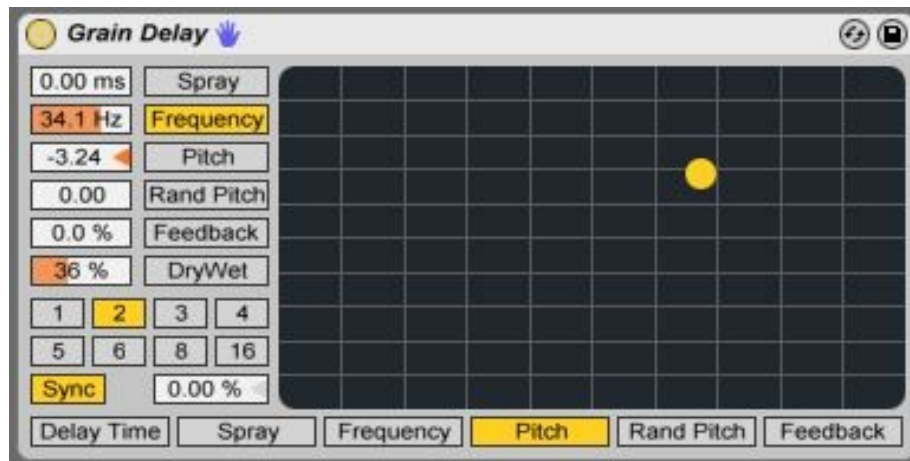


Abb.34) Oberfläche des Insert-Effekts Grain Delay

In der durch das schwarze Rechteck dargestellten Matrix kann durch den frei bewegbaren gelben Punkt der Wert von zwei verschiedenen Parametern gleichzeitig moduliert werden. Die hier verfügbaren Parameter sind:

- **Spray** fügt dem Wert der Delay-Zeit Zufallsvariationen hinzu. Grain Delay ist in erster Linie eine Delay-Effekt, es fügt also dem Ursprungssignal eine einstellbare Anzahl Wiederholungen seiner selbst zu. In diesem Fall werden diese Wiederholungen aber noch in Grains zerlegt. Die über **Spray** eingestellte Abweichung stellt ein, in wie weit einzelne Grains zeitlich von ihrem Soll-Wert abweichen werden. Diese kann von einem Bruchteil einer Millisekunde bis zu einer halben Sekunde sein.
- **Frequency** ist der Parameter, über den die Graindichte gesteuert wird. Er gibt in Hertz an, in wieviel Grains pro Sekunde das Material zerstückelt wird. Von diesem Parameter hängt stark ab, wie gut die über Grain Delay vornehmbare Tonhöhenveränderung ist
- **Pitch** stellt die Tonhöhe des vom Effekt bearbeiteten Signals ein.

- **RandomPitch** streut Zufallswerte in den Parameter **Pitch**
- **Feedback** steht für den bekannten Feedback-Parameter aus Delay-Effektgeräten und steuert eine Rückführungsschleife innerhalb des Geräts, die das bearbeitete Ausgangssignal erneut an den Eingang führt.

Wählt man nun aus den Listen links und unterhalb der X-Y-Matrix zwei dieser Parameter aus, so werden diese gleichzeitig durch Bewegung des gelben Punktes verändert. Da die Parameter für die Granularsynthese eine sehr starke Veränderung im Signal durchführen, ist diese Modulationsmöglichkeit eine gänzlich unvorhersehbare und sehr interessante Klang- und Inspirationsquelle.

E Anwendungsbeispiel

Wie in den letzten Kapiteln klar wurde hat die Granularsynthese verschiedene Anwendungsfelder. Sie kann zur Klangerzeugung, als klangveränderndes Effektgerät oder als nützliches Werkzeug in der Postproduktion verwendet werden.

Vor allem die Transponierungsmöglichkeiten, die sich durch Granularsynthese ergeben, werden in den professionellen Musikproduktionen angewandt. Ihr Einfluss auf die Arbeitsweise von Musikproduzenten ist in dieser Hinsicht enorm. Doch auch die von Granular-Synthesizern erzeugten Klänge erschaffen in Bezug auf elektronische Musikproduktion neue Möglichkeiten. Vielen Musikrichtungen war es bisher verwehrt, elektronische Instrumente zu verwenden. So ist es zum Beispiel schwer denkbar, einen Folk-Song mit einem Synthesizer auszukleiden. Dies liegt an der Art und Weise, wie gängige Synthesizer bisher klangen. Der typische Klang vieler Synthesizer war Musikern solcher Musikrichtungen oftmals zu

kühl, synthetisch und starr. Dies kann sich durch Granularsynthese ändern, denn die durch sie entstehenden Klänge haben eben jene Lebendigkeit und organische Unschärfe, die bei klassischen Synthesizern oft vermisst wird. Um diese Anwendungsmöglichkeit zu untersuchen, habe ich ein kurzes Hörbeispiel (**Hörbeispiel 12.2**) produziert. Dieses Hörbeispiel besteht aus einer Strophe und einem Refrain eines rein akustisch produzierten Folksongs, dem durch Granularsynthese erstellte Klänge zugefügt wurden. Diese entspringen zwei verschiedenen Synthesizern, die in **Hörbeispiel 12.1** getrennt vom akustischen Teil des Hörbeispiels zu hören sind.

Einer der beiden Synthesizer produziert einen glöckchenartigen, hohen Klang. Hierfür habe ich eine Grainlänge von 400 Millisekunden eingestellt, wobei diese durch einen Zufallsgenerator beeinflusst wird und die resultierende Grainlänge zwischen 250 und 600 Millisekunden liegt. Die Wellenform innerhalb der Grains wurde einer zweisekündigen Audioaufnahme eines Glockenspiels entnommen, wobei jedes Grain die Wellenform an einer anderen Stelle des Samples entnimmt. Die Amplitudenhüllkurve für jedes

Grain ist eine scharf an- und absteigende Kurve, sodass die Grains nicht glatt ineinander übergehen sondern eher impulsartig und schnell nacheinander zu hören sind. Auch die Stereoposition jedes Grains wird durch einen Zufallsgenerator beeinflusst, wodurch ein diffuser Eindruck in Bezug auf die Lokalität des Klanges erweckt wird. Letztendlich ist der resultierende Klang mit einem zitterigen Schimmern vergleichbar, das sich durch seine Unstetigkeit aber gut mit dem sehr dynamischen akustischen Teil des Songs verbindet und ihn in den oberen Mitten und Höhen anreichert.

Der zweite, tiefer klingende Synthesizer, ist etwas klassischer eingestellt. Die Grainlänge beträgt hier 40 Millisekunden und als Wellenform dient eine Sinuswelle mit einer Frequenz von 500 Hertz. Die Tonhöhe der Grains wird währenddessen dezent durch einen Zufallsgenerator beeinflusst, wodurch der resultierende Klang immer leicht um die gespielte Tonhöhe schwingt und somit eine leichte Dissonanz in sich trägt. Der entstehende Klang kommt dem eines großen Chores gleich und fügt sich deshalb gut in den Hintergrund des Songs.

Möglicherweise hätte man solche Klänge auch auf andere Weise, mit anderen Klangsyntheseverfahren herstellen können. Doch da die Technik der Granularsynthese hierfür sehr geeignet ist, war es sehr unkompliziert und direkt, für diesen akustischen Song eine passende Auskleidung zu komponieren.

Fazit

Während andere Syntheseverfahren aufgrund ihrer technisch einfachen Implementierung schon längst zu einem festen Bestandteil der Musikwelt wurden, lag die Granularsynthese wegen ihrer aufwändigen Realisierung noch auf Eis. Erst als die Computer leistungsstark genug wurden, um ihre Möglichkeiten zu erforschen, hielt auch sie Einzug in die Produktionsstudios. Dies geschah mit großem Erfolg, vor allem ihre Verwendung in Timestretching- und Pitchshifting-Algorithmen hat den Musikproduktionsalltag bereichert, vereinfacht und verbessert. Neben dieser Komponente kann mit ihr die Brücke zwischen elektronischer Klangerzeugung und akustischen Musikgenres geschlagen werden, denn mit Granularsynthese ist es möglich, Klänge zu produzieren, die nicht zu synthetisch klingen um in solchen Musikrichtungen angewendet zu werden. In Zukunft können diese zwei Welten also weiter verschmelzen, was zu einer künstlerischen und klanglichen Bereicherung der Musikwelt führt.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Dennis Gabor „Theory Of Communication“, S.454

Abbildung 2: Dennis Gabor „Theory Of Communication“, S.454

Abbildung 3: Curtis Roads „Microsounds“, S.91

Abbildung 4: Screenshot aus Ableton Live

Abbildung 5: Curtis Roads „Microsounds“, S.89

Abbildung 6: Screenshot aus Ableton Live

Abbildung 7: Screenshot aus Ableton Live

Abbildung 8: Screenshot aus Ableton Live

Abbildung 9: www.iannis-xenakis.org

Abbildung 10: Screenshot aus Native Instruments' Absynth

Abbildung 11: Screenshot aus Native Instruments' Absynth

Abbildung 12: Native Instruments' FM8 Handbuch, S.34

Abbildung 13: Screenshot Native Instruments' FM8

Abbildung 14: Screenshot aus Ableton Live

Abbildung 15: Screenshot aus Ableton Live

Abbildung 16: Screenshot aus Ableton Live

Abbildung 17: Screenshot aus Steinberg's Padshop

Abbildung 18: Screenshot aus Steinberg's Padshop

Abbildung 19: Screenshot aus Steinberg's Padshop

Abbildung 20: Screenshot aus Steinberg's Padshop

Abbildung 21: Screenshot aus Ableton Live

Abbildung 22: Screenshot aus Steinberg's Padshop

Abbildung 23: Screenshot aus Native Instruments' Absynth

Abbildung 24: Screenshot aus Native Instruments' Absynth

Abbildung 25: Screenshot aus Native Instruments' Absynth

Abbildung 26: Screenshot aus Native Instruments' Absynth

Abbildung 27: Screenshot aus Native Instruments' Absynth

Abbildung 28: Screenshot aus Native Instruments' Absynth

Abbildung 29: Screenshot aus Ableton Live

Abbildung 30: Screenshot aus Ableton Live

Abbildung 31: Screenshot aus Ableton Live

Abbildung 32: Screenshot aus Ableton Live

Abbildung 33 Screenshot aus Ableton Live

Abbildung 34 Screenshot aus Ableton Live

Literaturverzeichnis

Dennis Gabor

Theory of Communication

1944, M.I.T Press

Curtis Roads

Microsounds

2001, M.I.T Press

Hannes Raffaseder

Audiodesign

2010, Carl Hanser Verlag München

Benutzerhandbuch der Synthesizer Absynth und FM8

2006, Native Instruments

Benutzerhandbuch des Synthesizers Padshop

2012, Steinberg

Benutzerhandbuch des Sequenzers Ableton Live

2013, Ableton

Michael Dickreiter

Handbuch der Tonstudientechnik

1990, Saur Verlag

Martin Neukomm

Signale, Systeme und Klangsynthese: Grundlagen der Computermusik

2005, Peter Lang Verlag

CD

Hörbeispiel 1.1	Grainstream 50 Grains/Sekunde	Hörbeispiel 11	Formantenerhaltung
Hörbeispiel 1.2	Grainstream 100 Grains/Sekunde	Hörbeispiel 12.1	Song: Nur Synthesizerspuren
Hörbeispiel 2	Grainstream mit ansteigender Dichte	Hörbeispiel 12.2	Song: Alle Spuren
Hörbeispiel 3	Quasi-synchroner Grainstream		
Hörbeispiel 4	Entstehende Stereobreite		
Hörbeispiel 5	Subtraktive Klangsynthese		
Hörbeispiel 6	Additive Klangsynthese		
Hörbeispiel 7	Physical Modelling		
Hörbeispiel 8	Granularsynthese		
Hörbeispiel 9	Modulierte Formantenbetonung		
Hörbeispiel 10	Absynth Aetherizer		

Danksagung

Ich danke meiner Familie, meiner Freundin und meinen Freunden dafür, dass sie mich bei der Erstellung dieser Arbeit unterstützt haben. Besonderer Dank gilt meinem Bruder Severin Specht, der den in dieser Arbeit verwendeten Beispielsong komponiert und eingespielt hat.