

Variations over a Sawtooth Sequence

Konzept und Partitur

Autor

Markus Lorber

Dipl. Ing. Markus Lorber
Geblergasse 22/30, 1170 Wien
Tel.: 0699-19523594
Email: markus@lorber.info
Homepage: <http://www.lorber.info/>

Wien, 5. Juni 2020

Für meinen Vater

und

die Mitarbeiter vom IEM-Graz

Markus Lorber, im Mai 2020

Inhaltsverzeichnis

1 Konzept	7
1.1 Funktionsweise des implementierten Synthesizers	7
1.2 Implementierung des Synthesizers	8
1.3 Optionale Graphikerweiterung des Konzepts	8
1.4 Weitere Abbildungen	10
2 Partitur	13
Vorbemerkung	13
Thema. Sägezahnsequenz staccato, legato. Hüllkurvenspielerei.	14
Variation #1. Sägezahnobertonmelodie, Filterspielerei.	14
Variation #2. Berauschte Perkussion, LFO-Spielerei.	14
Variation #3. Inharmonische Teiltonmelodie.	15
Variation #4. Vom Quietschen zum Tonhöhenschieben. LFO-Spielerei.	15
Variation #5. Gestrichene Saiten. Hüllkurven-LFO-Filter-Spielerei.	15
Variation #6. Quietschvergnügt in den finalen Perkussionsgesang. LFO-Filter-Spielerei.	16
Nachbemerkung	16
Optionale Variation #X.5. Raumzeitklänge.	16
Anhang	17
A Technical Rider	17
Literatur	18

1 Konzept

Das vorliegende Stück *Variations over a Sawtooth Sequence* für einen speziell dafür entwickelten monophonen digitalen Synthesizer mit Sägezahn-generator und subtraktiver Synthese (siehe [2]) ist angelehnt an Konzepte, wie sie in der Seriellen Musik und vielmehr in der *Minimal Music* (siehe [4]) verwendet werden.

Ausgangspunkt ist eine zweitaktige, in vorwiegend übermäßigen und verminderten Quinten steigende und wieder fallende Tonsequenz, die vom Sägezahnoszillator des Synthesizers ununterbrochen gespielt wird. Durch Variation verschiedener Syntheseparameter werden Klangfarbe, Dynamik, Tonhöhe, Ein- und Ausschwingverhalten der einzelnen Töne der Sequenz laufend geändert, sodass so gut wie keine Wiederholung mit exakt gleichen Parametern mehrmalig vorkommt. So etwas wie kontrapunktische Gegenstimmen zur Grundsequenz werden durch Hervorheben unterschiedlicher Obertöne des aktuellen Signalspektrums mittels Resonanzfilter mit hoher Güte und laufend veränderter Resonanzfrequenz (siehe [2] und [3]) realisiert, ähnlich wie es Sänger beim Obertongesang tun (siehe [7]).

Das zugrundeliegende Sägezahnsignal des Stücks und das zugehörige Frequenzspektrum sind in Abbildung 1 zu sehen. Im harmonischen Spektrum der Sägezahnschwingung mit der Grundfrequenz f_0 kommen Obertöne mit allen ganzzahligen Vielfachen der Grundfrequenz vor ($f_0, 2f_0, 3f_0, \dots, nf_0$). Dabei nimmt die Amplitude der Obertöne mit dem Kehrwert der Obertonordnungszahl $\frac{1}{n}$ ab.

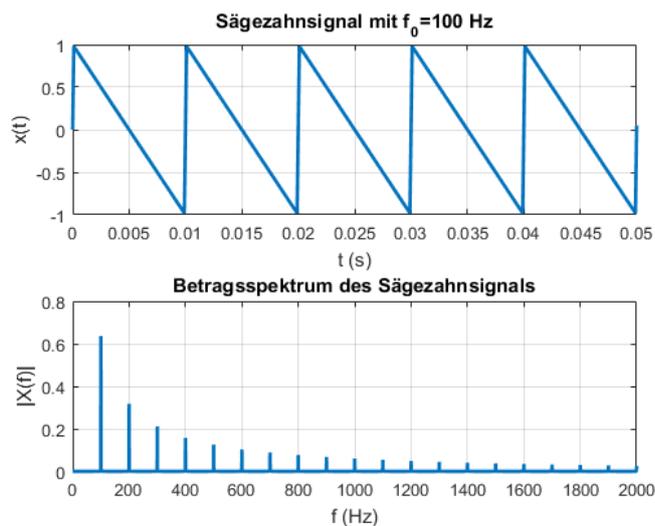


Abbildung 1: Sägezahnsignal und Betrag des zugehörigen Frequenzspektrums.

1.1 Funktionsweise des implementierten Synthesizers

Das Blockschaltbild des speziell entwickelten Synthesizers ist in Abbildung 2 dargestellt. Über einen Sequenzer wird der Sägezahnoszillator laufend mit der Tonsequenz angesteuert. Dabei kann mit einem *Low Frequency Oscillator* (LFO) die Frequenz f_0 des Sägezahnoszillators frequenzmoduliert werden. Die Frequenzmodulation (FM, siehe [2]) verändert die Sägezahngrundfrequenz nach Gleichung (1).

$$\begin{aligned} f &= f_0(1 + A_{LFO} \cdot \cos(2\pi f_{LFO} \cdot t)) \\ f &= f_0 + f_0 \cdot A_{LFO} \cdot \cos(2\pi f_{LFO} \cdot t) \end{aligned} \quad (1)$$

Das entspricht einer FM mit dem Modulationsindex ($f_0 \cdot A_{LFO}$) und der Modulatorfrequenz f_{LFO} . Für kleine LFO-Frequenzen (im 1Hz-Bereich) und kleine LFO-Amplituden ergibt sich ein Vibrato. Für höhere LFO-Frequenzen (über ca. 10Hz) entstehen rund um jeden Sägezahnteilton Frequenzkomponenten mit den Frequenzen $f = f_0 \pm k \cdot f_{LFO}$ (mit $k = 0, 1, 2, \dots, \infty$), wobei die Bandbreite relevanter zusätzlicher Teiltöne von der Höhe des Modulationsindex $f_0 \cdot A_{LFO}$ abhängt. Da diese FM-Frequenzkomponenten keine ganzzahligen Vielfachen der Sägezahngrundfrequenz sind, wird aus dem ursprünglich harmonischen Spektrum ein inharmonisches. Bei hohem Modulationsindex werden die Teiltöne so dicht, dass ein rauschähnliches Spektrum entsteht. Durch digitales *Aliasing* (siehe [5]) bei hohem Modulationsindex werden bei der FM zusätzliche "zufällige" Frequenzkomponenten, deren Frequenzen über der halben Abtastfrequenz (die Abtastfrequenz beträgt $f_S = 44100\text{Hz}$) liegen, durch Zurückspiegeln ins digitale Nutzband hinzugefügt.

Für $f_{LFO} = 0\text{Hz}$ kann man die Sägezahnoszillatorgrundfrequenz laut Gleichung (1) mit A_{LFO} stufenlos in der Tonhöhe variieren, da ja $\cos(0) = 1$ ist. Somit kann man die Tonlage der Notensequenz stufenlos über A_{LFO} ändern.

Das Sägezahnoszillatorausgangssignal wird mittels vier paralleler digitaler Filter (Tiefpass, Hochpass, Bandpass, Bandsperre) gefiltert. Diese vier Filter sind als ein digitales *State Variable Filter* (siehe [3]) realisiert. Die vier Filterausgangssignale werden aufaddiert. Das Summensignal wird mit dem Ausgangssignal eines ADSR-Hüllkurvengenerators (*Attack-Time*, *Decay-Time*, *Sustain-Amplitude*, *Release-Time*, siehe [2]) multipliziert, wodurch das Ein- und Ausschwingverhalten des Synthesizerausgangssignals bestimmt wird. Gesteuert wird der Hüllkurvengenerator von den vom steuernden *Keyboard* kommenden Noten (Notenstart, Tonhöhe, Anschlagsstärke, Notenende).

Auf Anwendung von räumlichen Audioeffekten wie Hall oder *Delay* oder Dynamikeffekte wie Kompressor soll bewusst verzichtet werden, damit die Klangereignisse zeitlich nicht verschmiert werden und somit für den Zuhörer die Auswirkungen der einzelnen Syntheseparameter auf den Klang deutlicher wahrnehmbar sind. Als natürlicher Hall dient somit nur der jeweilige Aufführungsraum. Von dieser Vorgabe ausgenommen ist die optionale Variation #X.5 S. 16.

1.2 Implementierung des Synthesizers

Der Synthesizer wurde in *Pure Data* (Pd, siehe [1]), einer graphischen Programmierumgebung für digitale Audio- und Videosignale, implementiert. Die Synthesizer-Software läuft auf Windows- oder Linux-Plattformen auf Laptop-Rechnern oder einer *Raspberry-Pi*-Plattform ([8]).

Der Synthesizer wird mittels eines AKAI-MIDI-Controller-Keyboards (siehe [6]) angesteuert, wie Abbildung 3 zeigt. Die Zuordnung der Synthesizer-Parameter zu den Controller-Elementen ist in Abbildung 4 zu sehen.

Prinzipiell könnte das Stück auf anderen digitalen und analogen Synthesizern mit subtraktiver Synthese, die ähnliche Komponenten (Sägezahnoszillator, LP-, HP-, BP-, BS-Filter, ADSR-Hüllkurve) und Parameterbereiche (siehe Abbildung 2 und 4) wie der hier vorgestellte Synthesizer aufweisen, gespielt werden.

1.3 Optionale Graphikerweiterung des Konzepts

Optional kann das Konzept bei der Aufführung durch eine Beamer-Projektion erweitert werden. Im einfachsten Fall wird einfach das Pd-Patch-File projiziert. Dort wird neben der Synthesizer-Schaltung samt Parameterwerten auch die aktuelle Wellenform und das zugehörige Frequenzspektrum dynamisch angezeigt (siehe Abbildung 3). Außer dass diese Anzeige dem ausführenden Spieler eine Hilfe bei der jeweiligen Parameterwahl und deren Auswirkung auf die Synthese ist, wird so dem Zuhörer auch optisch nähergebracht, bei welchem akustischen Entwicklungsschritt der aktuelle Evolutionsprozess der Signalform und des zugehörigen Frequenzspektrums steht.

Eine aufwendigere Graphikvariante könnte mit dem Pd-Graphikpaket *GEM* ([1]) realisiert werden. Damit könnte ein Echtzeitvideo erstellt werden, dessen Muster, Farben, Objektformen und Bewegungen vom aktuellen Synthesizeraudiosignal gesteuert werden, um so den momentanen Klangevolutionsschritt sichtbar zu machen.

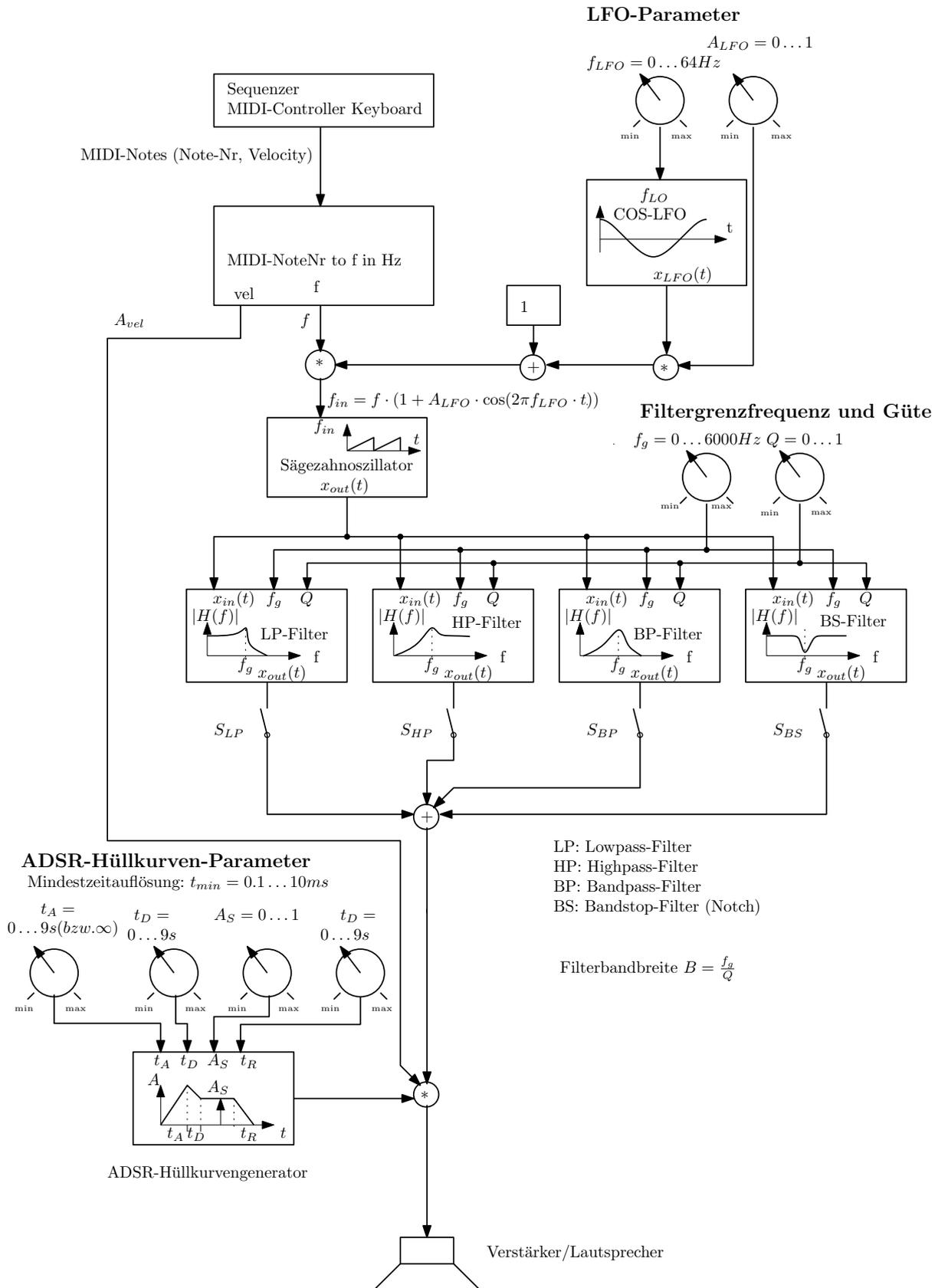


Abbildung 2: Blockschaltbild des Synthesizers basierend auf subtraktiver Synthese.

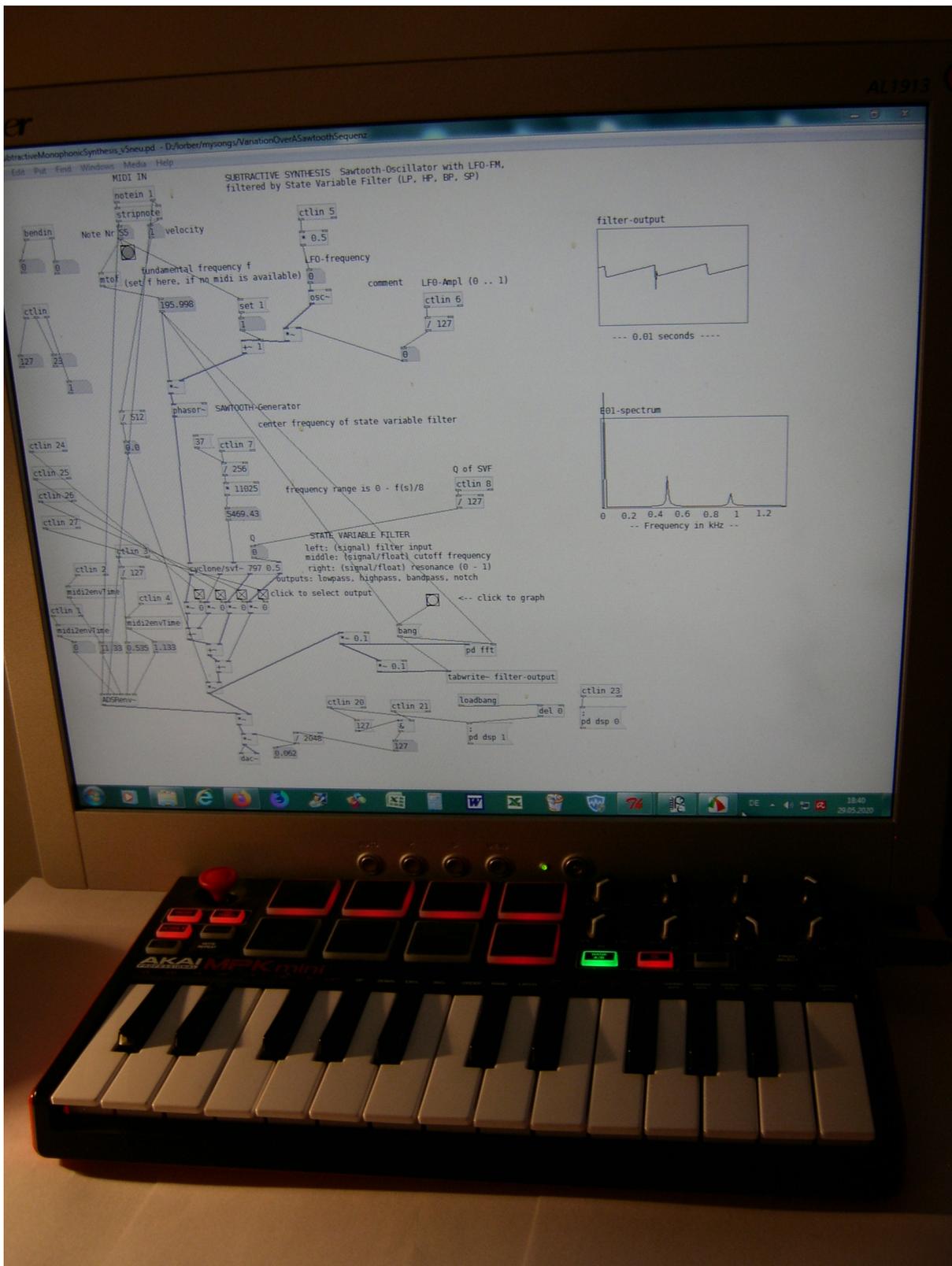


Abbildung 3: Der in Pd (siehe [1]) implementierte Synthesizer wird mit einem Akai MPKmini-MIDI-Controller/Sequencer gesteuert.



Abbildung 4: Zuweisung der Synthesizer-Parameter zu den Bedienelementen des Akai MPKmini-MIDI-Controllers/Sequencers.

2 Partitur

Variations over a Sawtooth Sequence

(Markus Lorber, 2018)

Vorbemerkung

Das Stück beginnt mit dem Thema. Dabei wird die angegebene zweitaktige Tonsequenz gestartet und fortwährend vom Sequencer abgespielt. Das Thema und die einzelnen Variationen werden dann nacheinander ohne Pause dazwischen gespielt. Der ausführende Spieler folgt den Spielanweisungen durch Einstellen und Variieren der Synthesizer-Parameter wie im Thema und in den Variationen angegeben. Der zeitliche Abstand zwischen Spielanweisungen wird in *Anzahl an zweitaktigen Tonsequenzwiederholungen* angegeben, z. B.:

”Nach 2 WH: $t_S = 100ms$ (ca. 9 Uhr)“

Es sei betont, dass die vorliegende Partitur nur als grobe Vorgabe dienen soll. Der Ausführende soll die Spielanweisungen nur mehr oder weniger genau (was Ausführungszeitpunkt, Ausführungslänge, Exaktheit der Parameterwerte betrifft) einhalten. Die insgesamt Aufführungsdauer soll dabei zwischen ca. 5 und 7 Minuten liegen. Der Ausführende soll auch bei jeder Aufführung mutig neue Parameterkombinationen ausprobieren, sodass das Stück von Mal zu Mal einem Evolutionsprozess unterworfen ist, in dem neue Variationen der Sägezahnsequenz entstehen.

Die Starteinstellungen der Synthesizer-Parameter sind wie folgt:

ADSR-Hüllkurvenparameter:

- $t_A = 0$ (0-Position des Drehreglers auf 7 Uhr)
- $t_D = 0$
- $A_S = 0.5$ (Mittenposition des Drehregler auf 12 Uhr)
- $t_R = 0$

Filterparameter:

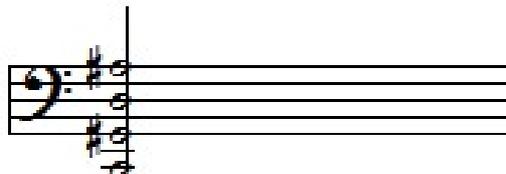
- $S_{LP} = EIN$, $S_{HP} = AUS$, $S_{BP} = AUS$, $S_{BS} = AUS$
- $f_g = 6000Hz$ (Drehregler auf Maximum bei 5 Uhr)
- $Q = 0$ (0-Position des Drehreglers auf 7 Uhr)

LFO-Parameter:

- $f_{LFO} = 0Hz$ (0-Position des Drehreglers auf 7 Uhr)
- $A_{LFO} = 0$ (0-Position des Drehreglers auf 7 Uhr)

Programmierung der Sequenz:

Der Sequencer/Arpeggiator des AKAI MPKmini-MIDI-Controllers kann über den nebenan gezeigten Akkord auf die Notensequenz des Stücks programmiert werden, wobei eine *UP-Down-Incl-Latch-Sequence* über zwei Oktaven eingestellt sein muss.



Thema. Sägezahnsequenz staccato, legato. Hüllkurvenspielerei.

Dauer: ca. 50s.



- Starte Sequenzer (Sequenz wird mit Starteinstellungen staccato gespielt)
- Nach ca. 4 WH: Stelle $t_R = 60ms$ (9 Uhr). Sequenz ist jetzt mehr legato gespielt.
- Nach ca. 2 WH: Stelle $t_S = 30ms$ (8.8 Uhr)
- Nach ca. 2 WH: $A_S = 0.75$ (2 Uhr)
- Nach ca. 2 WH: Stelle $Q = 0.5$ (12 Uhr) (leichte Resonanzüberhöhung)
- Nach ca. 2 WH: innerhalb einer WH: $f_g = 3200Hz$ (12.5 Uhr)
- Für ca. 6 WH: Variiere f_g langsam zwischen $3000Hz$ und $1000Hz$ (zw. 12.5 und 10 Uhr). Bleibe auf $f_g = 1800Hz$ (11 Uhr) stehen.

Variation #1. Sägezahnobertonmelodie, Filterspielerei.

Dauer: ca. 30s.

- $S_{BP} = EIN$, $Q = 0.8$ (3 Uhr) (stärkere Resonanz)
- Für ca. 8 WH: Improvisiere Obertonmelodie mit f_g im Bereich von 500 bis 2500 Hz (9 bis 12 Uhr),
- Stelle $Q = 0.5$ (12 Uhr), $f_g = 1000Hz$ (10 Uhr)

Variation #2. Berausende Perkussion, LFO-Spielerei.

Dauer: ca. 30s.

- $S_{HP} = EIN$, $S_{BS} = EIN$, $Q = 0.5$ (12 Uhr) (mittlere Resonanz)
- $f_{LFO} = 32Hz$ (12 Uhr)
- Nach ca. 4 WH: Drehe innerhalb von 3WH A_{LFO} von 0 auf 0.5 (12 Uhr) (inharmonisches Spektrum).
- Stelle innerhalb von ca. 4 WH alle Hüllkurvenzeiten in den 0 bis $10ms$ -Bereich (7 bis 12 Uhr), damit sich ein perkussiver Klang ergibt.
- Innerhalb der nächsten 10 WH: Variiere den perkussiven Klang mittels Variieren von f_g , f_{LFO} und A_{LFO} .
- Setze $f_g = 2500Hz$ (12 Uhr), $Q = 0.75$ (2 Uhr).

Variation #3. Inharmonische Teiltonmelodie.

Dauer: ca. 60s.

- Setze $Q = 0.9$ (3 Uhr) (hohe Resonanz)
- Für die nächsten ca. 20 WH: Improvisiere eine Teiltonmelodie über dem gesamten Frequenzbereich von f_g . Variiere auch Q , sodass sich die Melodie abwechselnd mehr und weniger von der perkussiven Grundsequenz abhebt.
- Innerhalb von 10 WH: Drehe langsam $f_{LFO} = 32Hz$ (12 Uhr), $A_{LFO} = 0.5$ (12 Uhr), $f_g = 2500Hz$ (12 Uhr), $Q = 0.5$ (12 Uhr).

Variation #4. Vom Quietschen zum Tonhöhenschieben. LFO-Spielerei.

Dauer: ca. 50s.

- Innerhalb von 12 WH: Drehe gleichzeitig f_{LFO} und A_{LFO} langsam von 12 Uhr-Position in die 7 Uhr Position. Suche bei f_{LFO} im $1Hz$ -Bereich mit entsprechenden A_{LFO} -Werten den *Sweet Spot* für Quietschgeräusche (Sequenzmelodie soll teilweise wegbrechen).
- $f_{LFO} = 0$, $A_{LFO} = 0$. (Jetzt ist wieder ein harmonischer Klang erreicht.)
- Innerhalb von 12 WH: Spiele jede WH mit unterschiedlichen, konstanten Werten für A_{LFO} (funktionierte jetzt als Tonhöhenverstärker), sodass die Sequenz jedes Mal in einer anderen Tonhöhe gespielt wird.
- Finde eine dir angenehme Tothöhe für die wieder erreichte Sägezahnsequenz mit kurzem Einschwingverhalten und spiele sie für ca. 2 WH.

Variation #5. Gestrichene Saiten. Hüllkurven-LFO-Filter-Spielerei.

Dauer: ca. 40s.

- Innerhalb von 2 WH. Finde Hüllkurveneinstellungen, sodass die Sequenz wie von einem gestrichen gespielten Cello klingt (z.B. $t_A = t_D = 80ms$ (1 Uhr), $t_R = 13ms$ (12 Uhr), $A_S = 0.75$ (2 Uhr)).
- Für ca. 4 WH. Lass die "gestrichene" Sägezahnsequenz wie sie ist. Dann erhöhe $t_R = 80ms$ (1 Uhr) (mehr Legato).
- Für ca. 4 WH variiere f_g .
- Setze $Q = 0.8$ (2.5 Uhr). Für 4 WH spiele durch langsames Ändern von f_g in einer höheren Lage eine zur "gestrichenen" Sequenz kontrapunktische Obertonmelodie.
- Setze $Q = 0.5$ (12 Uhr).
- Innerhalb von 2 WH stelle $f_g = 1800Hz$ (11 Uhr).

Variation #6. Quietschvergnügt in den finalen Perkussionsgesang. LFO-Filter-Spielerei.

Dauer: ca. 80s.

- Innerhalb 2 WH verstelle f_{LFO} und A_{LFO} gleichzeitig von 7 Uhr nach 9 Uhr.
- Innerhalb von ca. 5 WH vergrößere A_{LFO} bis 5 Uhr (bei $f_{LFO} = 7Hz = const$ (9 Uhr)).
- Innerhalb 4 WH vergrößere f_{LFO} bis $62Hz$ (5 Uhr). (Nun wieder stark inharmonisches, fast rauschartiges Spektrum).
- Innerhalb von 4 WH verkleinere Hüllkurvenzeiten auf Werte zw. 0ms und 40 ms (5 Uhr bis 11 Uhr), sodass sich ein perkussiver Klang ergibt.
- Innerhalb 8 WH fahre langsam auf $f_g = 3500Hz$ (1 Uhr) hinauf und auf $f_g = 1000Hz$ (10 Uhr) hinunter.
- Erhöhe auf $Q = 0.8$ (2.5 Uhr).
- Für die letzten ca. 24 WH spiele mit f_g (im gesamten Reglerbereich zw. 7 und 5 Uhr) eine wilde Melodie auf den inharmonischen Teiltönen. Variiere dabei Q auch kurzzeitig immer wieder bis zum Maximum (extreme Resonanzüberhöhung).
- Stoppe die Tonsequenz kurz nach einem schnellen Frequenz-*Sweep* von mittleren zu hohen Frequenzen.

ENDE

Nachbemerkung

Sollte der ausführende Spieler das Gefühl haben, er habe auf seine Lieblingsraumeffektpedale oder Geräte wie Hall und/oder *Delay* verzichten müssen, kann und soll er bei seiner Aufführung den Synthesizer über diese Pedale an die PA-Anlage oder das Mischpult anschließen und die hier angegebene optional zu spielende Variation #X.5 irgendwo zwischen den Variationen #1 und #6 einfügen.

Optionale Variation #X.5. Raumzeit.

Dauer: ca. 60s.

- Spiele diese Variation optional nach der Variation #X ($X = 1 \dots 5$)
- Stelle Hall und *Delay* auf deine Lieblingseinstellungen und aktiviere sie.
- Suche selbst Synthesizerparameter, die den Raumzeiteinstellungen deiner Effektgeräte gerecht werden.
- Variiere Raumzeit- und Synthesizerparameter nach deinen Vorstellungen.
- Deaktiviere die Raumzeiteffekte.
- Übernimm die Synthesizerparameter vom Ende von Variation #X.
- Spiele bei Variation #(X + 1) weiter.

Anhang

A Technical Rider

1. Was macht Markus Lorber überhaupt?

- Der Singer-Songwriter, Komponist, elektronische Musiker und Elektrotechniker/Toningenieur Markus Lorber tritt beim *phonoECHOES*-Wettbewerb solo mit einer elektronischen Komposition für seinen selbst dafür gebauten digitalen Synthesizer auf.

2. Was braucht er dafür?

- Eine kleine Bühne mit Platz für einen kleinen Tisch mit Stuhl (optional einen Stehtisch ohne Stuhl) mit Platz für ein Laptop und ein kleines Keyboard (in der Größe eines Laptops).
- Eventuell dezente Beleuchtung für den Tisch.
- Am Tisch sollen folgende Anschlüsse vorhanden sein:
 - 230V/50Hz-Stromanschluss
 - Falls Projektor und Projektionsfläche im Aufführungsraum vorhanden, ein VGA-Anschluss
 - Bei großem Aufführungsraum 2 mal LINE-Klinkensteckeranschluss mono 6.3mm (für linken und rechten Synthesizerausgangskanal) an PA-Anlage. Bitte keine Audioeffekte hinzufügen!
 - Bei kleinem Aufführungsraum spielt Markus Lorber über selbst mitgebrachten Verstärker.
- Bei großem Aufführungsraum ein Mikrofon am Tisch zum verbalen Erläutern seiner Komposition.
- Bei kleinem Aufführungsraum erfolgt die Erläuterung *unplugged* ohne Mikrofon.

3. Was bringt Markus Lorber mit?

- Synthesizer (Keyboard und Laptop)
- Bei kleinem Aufführungsraum: Aktivbox

4. Anordnung auf der Bühne

- Tisch in Bühnenmitte
- Falls (Decken-) Projektor vorhanden: Projektionsfläche hinter oder seitlich neben Tisch.

Literatur

- [1] Miller Puckette. Pure Data (Pd). Graphische Programmierumgebung zur digitalen Audio- und Bildsignalverarbeitung in Echtzeit: Online: <http://msp.ucsd.edu/index.htm>, <https://puredata.info/downloads/gem/documentation/tutorial> (Zugriff am 28.5.2020). Department of Music University of California San Diego.
- [2] Dodge und Jerse. Computer Music: Synthesis, Composition and Performance. ISBN-10: 0-02-864682-7. WADSWORTH INC FULFILLMENT, 1997.
- [3] U. Zölzer. DAFX: Digital Audio Effects. ISBN-13: 978-0-470-66599-2. Wiley, 2011.
- [4] Ulrich Michels. dtv-Atlas zur Musik, Historischer Teil: Vom Barock bis zur Gegenwart, Band 2. ISBN 3-423-03023-2 (dtv). München. 9. Auflage Juli 1996.
- [5] Alan V. Oppenheim, Ronald W. Schaffer. Discrete-Time Signal Processing: Pearson New International Edition. ISBN-10: 1292025727. Pearson Education Limited. Auflage: 3 ed., 23. Juli 2013.
- [6] AKAI. MPK Mini mkII. Compact Keyboard and Pad Controller. Online: <https://www.akaipro.com/mpk-mini-mkii> (Zugriff am 30.5.2020).
- [7] Wolfgang Saus. Was ist Obertongesang. Online: <https://www.oberton.org/obertongesang/was-ist-obertongesang/> (Zugriff am 30.5.2020).
- [8] Raspberry Pi-Dokumentation. Online: <https://www.raspberrypi.org/documentation/> (Zugriff am 30. Mai 2020).