



**Modular-Synthesizer**  
**Eine Einführung zur Funktionsweise und praktischen**  
**Anwendung**

Vorgelegt von:

Sebastian Menno

Matrikelnummer 32229

sm171@hdm-stuttgar.de

Vorgelegt am:

23.02.2018

Betreuung:

Herr Prof. Oliver Curdt

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>EINFÜHRUNG</b> .....	<b>3</b>
1.1	THEMA DER AUSARBEITUNG .....	3
1.2	ZIEL DER AUSARBEITUNG .....	4
<b>2</b>	<b>BEGRIFFE</b> .....	<b>5</b>
2.1	WAS IST EIN SYNTHESIZER .....	5
2.2	MODULAR-SYSTEM .....	6
2.3	PATCH.....	6
2.4	SPANNUNGSVERSORGUNG.....	6
2.5	STEUERSpannung CV (CONTROL-VOLTAGE) .....	7
<b>3</b>	<b>GESCHICHTLICHE ENTWICKLUNG</b> .....	<b>8</b>
3.1	ERSTES ELEKTROMAGNETISCHES INSTRUMENT: TELHARMONIUM .....	8
3.2	THEREMIN .....	8
3.3	TRAUTONIUM .....	8
3.4	ERSTE MODULARE SYSTEME .....	9
<b>4</b>	<b>EURORACK</b> .....	<b>10</b>
4.1	EURORACK-STANDARD.....	10
<b>5</b>	<b>MODULE</b> .....	<b>11</b>
5.1	VCO .....	11
5.2	LFO .....	11
5.3	VCF.....	12
5.4	VCA.....	13
5.5	HÜLLKURVENGENERATOR/ ADSR .....	13
5.6	WEITERE MODULE.....	13
<b>6</b>	<b>SYNTHESEFORMEN</b> .....	<b>15</b>
6.1	SUBTRAKTIVE SYNTHESE .....	15
6.2	ADDITIVE SYNTHESE .....	16
6.3	FM-SYNTHESE .....	16
6.4	RINGMODULATION.....	17
6.5	CROSSMODULATION .....	17
6.6	WEITERE SYNTHESEFORMEN:.....	18
<b>7</b>	<b>BEISPIELE PATCHES</b> .....	<b>19</b>
7.1	BEISPIEL 1 – ERSTE SCHRITTE .....	19
7.2	BEISPIEL 2 – SUBTRAKTIVE SYNTHESE .....	20
7.3	BEISPIEL 2.2 – VIBRATO UND TREMOLO .....	21
7.4	(BEISPIEL 3 – ADDITIVE SYNTHESE) .....	22

7.5	BEISPIEL 4 – FM SYNTHESE .....	23
7.6	BEISPIEL 5 – KICK-DRUMS .....	24
7.7	KICK 1 .....	24
7.8	KICK 2 .....	25
7.9	BEISPIEL 6 – SNARE-DRUM .....	26
7.10	BEISPIEL 7 – HI-HAT .....	27
<b>8</b>	<b>FAZIT.....</b>	<b>28</b>
	<b>QUELLENVERZEICHNIS.....</b>	<b>29</b>

# 1 Einführung

## 1.1 Thema der Ausarbeitung

Diese Seminararbeit beschäftigt sich mit modular aufgebauten Synthesizern und mit der Einführung in das Thema der Synthese und der Programmierung von Klängen mit Hilfe eines Modular-Systems. Aufgrund der hohen Flexibilität in Bezug auf die verschiedenen Programmiermöglichkeiten von Klängen wurde das Thema der modular aufgebaute Synthesizer gewählt. Modulare Synthesizer, auch Modular-System oder Modular-Synthesizer genannt, erfreuen sich deshalb in den letzten Jahren höchster Beliebtheit. Zunächst wird die Entwicklung der elektronischen Klangerzeuger bis hin zu Synthesizern beleuchtet. Um in das Thema einzuführen, werden die nötigen Begriffe definiert, auch wird der so genannte Eurorack-Standard erklärt, welcher als der gängigste Standard zur Kompatibilität unter verschiedenster Module unterschiedlichster Hersteller gilt. Sowohl die grundlegenden Module, als auch die gängigen Synthesiformen werden erörtert. Im weiteren Verlauf werden Schaltungsbeispiele mit Bildern gegeben, welche zum tieferen Verständnis praktisch nachvollzogen werden können. Dies kann mit Hilfe der in dem Kapitel 7 genannten Software-Emulation eines Modular-Systems (Freeware) erfolgen, wenn kein Modular-System zur Verfügung steht.

## 1.2 Ziel der Ausarbeitung

Der Leser soll mit Hilfe dieses Skripts fähig sein, die Funktionsweise eines Modular-Systems zu verstehen und Klänge kontrolliert selbständig programmieren können. Anlass dieser Seminararbeit ist das Modular-System A-100, welches von der Firma DOEPFER dem Tonstudio und den AM-Studenten der Hochschule der Medien freundlicherweise zur Verfügung gestellt wurde (Stand Februar 2018). Das erlangte Wissen über die praktische Anwendung mithilfe eines Modular-Systems möchte hiermit ausgearbeitet und weitervermittelt werden.

Aufgrund des komplexen und umfangreichen Themenfeldes beschränkt sich diese Arbeit lediglich mit der Einführung in das Thema der Synthese mittels Modular-System. Auch werden nur gängige Grundmodule näher beschrieben, da die Vielfalt aller erhältlichen Modularten den Rahmen dieser Arbeit sprengen würde. Des Weiteren werden im Kapitel „Syntheseformen“ nur jene näher beschrieben, welche in der analogen Klangerzeugung Verwendung finden. In dem Kapitel „Patch-Beispiele“ sind Abbildungen zu sehen, welche mit Hilfe der Free-ware VCV-Rack erzeugt wurden. Diese Software-Emulation wurde gewählt, da es ein Open-Source-Projekt ist, welches kostenlos verfügbar ist und somit die Nachvollziehbarkeit der Beispiele gegeben ist.

## 2 Begriffe

Um die Funktionsweise von Modular-Synthesizern und die Programmierung von Klängen zu verstehen und nachvollziehen zu können, ist es nötig, einige Begrifflichkeiten zuvor zu klären. Allerdings werden Grundlagen der Akustik vorausgesetzt.

### 2.1 Was ist ein Synthesizer

Ein Synthesizer ist ein Instrument, welches mittels elektrischer Spannung Töne und Klänge synthetisch erzeugt. Bei der Verwendung eines Synthesizers kann man Klänge von anderen Instrumenten nachbilden, oder zuvor unbekannte Klänge erschaffen.

Bei der Klangsynthese haben sich verschiedene Herangehensweisen herauskristallisiert, man nennt diese Syntheseformen, auf welche unten weiter eingegangen wird. Die ersten synthetischen Klangerzeuger waren analog, die Klangerzeugung basierte auf elektrischen Schaltungen wie beispielsweise eines Schwingkreises. Anfang der Siebzigerjahre wurden die ersten Digitalsynthesizer gebaut, die Klangerzeugung basierte auf digitalen Prozessoren. Und durch Zuwachs von Rechenleistung von Computern gibt es heute eine Vielzahl von Softwaresynthesizern, welche das Spektrum an Syntheseformen nochmals erweitert haben. Dies wird im Kapitel Syntheseformen ausführlich beschrieben. Hardwaresynthesizer gibt es heute in folgenden Ausführungen:

- Mit Klaviatur
- In 19“-Ausführung für den Einbau in ein Rack
- Expander, welcher nur die Klangerzeugung beinhaltet. Dieser muss für die Klangerzeugung von einem externen Gerät angesteuert werden, beispielsweise via MIDI
- Als Workstation, in welchem ein Sequenzer integriert ist, welcher ganze Arrangements erlaubt

## 2.3 Modular-System

Nichtmodulare Hardwaresynthesizer haben einen vorgegebenen Signalfluss. Vereinfacht gesagt sind darin elektrische Baugruppen enthalten, die Klänge erzeugen, welche die den Klang verändern und Baugruppen, die Audiosignal ausgeben und das Audiosignal geht durch eine vorgegebene Signalkette. Wohingegen bei Modular-Synthesizern die einzelnen Baugruppen, auch genannt Module, frei miteinander verbunden werden können. Ursprünglich haben diese Module analoge Schaltungen, allerdings wird das Spektrum durch immer mehr digitale Module erweitert. Auch genießen softwarebasierte Modular-Systeme große Beliebtheit, welche analoge Modular-Systeme nachbilden und auch stark erweitern. Die Vorzüge sind hierbei beispielsweise die theoretisch fehlende Limitation in der Anzahl der verwendeten Module, oder der günstige Anschaffungspreis. Ein Nachteil besteht für Viele in der Anwendung, das Fehlen von echter Haptik und der Klangqualität. Allerdings lässt sich darüber streiten (was durchaus ausführlich getan wird).

## 2.4 Patch

Modular-Synthesizer sind so konzipiert, dass der Benutzer die Signalkette selbst festlegt und diese beeinflussen kann. Die Verbindung von Modulen nennt man einen „Patch“. Auch ganze Programmierungen eines oder mehrerer Klänge werden „Patch“ oder „Patches“ genannt. Diese erfolgen in den meisten Fällen und in den gängigen verfügbaren Modular-Systemen im Eurorack-Standard mittels Mono-Klinke-Kabel in 3,5 mm.

## 2.5 Spannungsversorgung

Es gibt Module, die entweder passiv oder aktiv konzipiert sind. Aktive Module, benötigen eine Spannungsversorgung, welche die Funktion der elektrischen Bauteile ermöglicht.

## 2.6 Steuerspannung CV (Control-Voltage)

Die Steuerspannung, zu englisch Control-Voltage, kurz CV oder auch CV/ Gate, dient der Kontrolle von Klangparametern. Folgende Signale werden bei Modular-Systemen mittels CV/ Gate übermittelt:

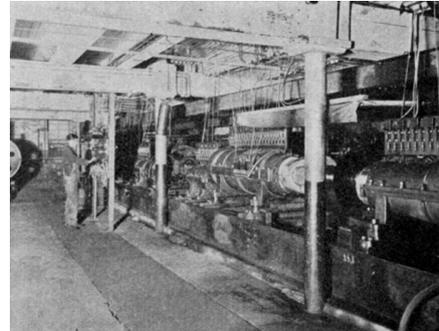
- An/ Aus (was einem Gate entspricht)
- Tonhöhe
- Ton länge
- Lautstärke

Durchgesetzt hat sich diese analoge Technologie in den 1960ern, wurde allerdings in den 1980ern von dem digitalen Protokoll MIDI weitestgehend verdrängt. CV/ Gate hat allerdings einen Vorteil gegenüber MIDI. MIDI ist mit 7 Bit beschränkt auf 128 Abtastwerte, wohingegen CV/ Gate eine kontinuierliche Auflösung hat, da es sich um ein analoges Signal handelt. Ein weiterer Vorteil liegt darin, dass Steuerspannung keinen Unterschied zwischen Audiosignal und Steuersignal kennt. Dies ermöglicht beim Experimentieren mit einem Modular-System das Zweckentfremden der jeweiligen Signale. Dadurch entsteht eine schier unendliche Vielfalt an Möglichkeiten in der Modulation von Klängen. Anfangs sollte man allerdings Steuersignal und Audiosignal getrennt betrachten. Um zu verstehen, wie Module konzipiert sind und um die Grundlagen eines Patches nachvollziehen zu können.

### 3 Geschichtliche Entwicklung

#### 3.1 Erstes elektromagnetisches Instrument: Telharmonium

Das erste elektromagnetische Instrument war das Telharmonium, welches um 1900 entwickelt wurde. Es hatte seinerzeit ein Transportgewicht von 200 Tonnen und musste auf 30 Güterwaggons verteilt transportiert werden. Grund dafür waren eine Vielzahl an Tongeneratoren, für jeden zu erzeugenden Ton war je ein Wechselstromgenerator nötig, da Verstärkerschaltungen zu dieser Zeit noch nicht entwickelt waren.



#### 3.2 Theremin

Weitere bekannte erste elektronische Instrumente waren das Theremin und das Trautonium. Das Theremin ist auch dafür bekannt, dass es berührungslos gespielt wird. Durch Veränderung des elektromagnetischen Feldes durch die elektrische Kapazität des menschlichen Körpers ist dies möglich. Es wurde mit zwei Elektroden - in diesem Sinne Antennen - ausgestattet und so konzipiert, dass eine Hand die Tonhöhe und die andere Hand die Lautstärke kontrolliert. Die Klangerzeugung erfolgte über drei Oszillatoren. Von Robert Moog wurde das Theremin weiterentwickelt und auch heute wird dieses Instrument noch von der Firma Moog hergestellt.

#### 3.3 Trautonium

Das Trautonium, benannt nach Friedrich Trautwein, gilt als Vorläufer der heutigen Synthesizer. Gespielt wird es wie ein stufenloses Piano. Realisiert wird die Spielweise durch einen Widerstandsdraht, der beim Spielen auf eine Metallschiene gedrückt wird. Der Draht ist Teil eines Spannungsteilers, welcher einen Kondensator lädt. Die Klangerzeugung erfolgt ebenfalls über einen Schwingkreis, welcher ausgelöst wird durch eine parallel geschaltete Glühlampe. Die Berührung an unterschiedlicher Stellen bestimmt die Frequenz des erzeugten Tons.

### 3.4 Erste modulare Systeme

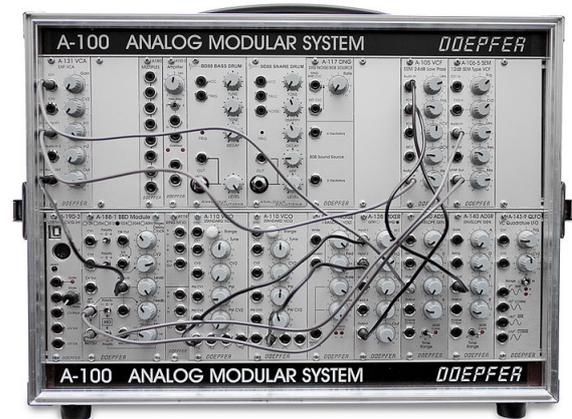
Erste kommerzielle Modular-Systeme wurden von Don Buchla und von Robert Moog entwickelt. Wobei Don Buchla 1963 den Buchla Series 100 vorstellen konnte. Die Bedienung stellte sich allerdings als umständlich heraus, was den kommerziellen Erfolg verhinderte, bedient wurde das System mit Touchpads und Reglern. Robert Moog allerdings konnte mit seinem entwickelten

Modular-System 1964 großen kommerziellen Erfolg erzielen. Als Bedieninterface war eine Klaviatur verbaut, was es Musikern einfacher machte, das Instrument zu bedienen. Moog's Modular-System glich einem Schrank mit Klaviatur, siehe rechts. Dieses Modular-System war der erste verbreitete Synthesizer, was den Startschuss war für die Popularität dieser Instrumente. Ganze Alben wurden auf diesen ersten Synthesizern produziert. Eines der bekanntesten Beispiele ist „Switched on Bach“ von Wendy Carlos.



## 4 Eurorack

Wie die 19“-Rack-Norm, stammt auch das sogenannte Eurorack ursprünglich aus der Industrie, oder dem Laborbetrieb. Eurorack beschreibt eine bestimmte Normung für Baugruppenträger, in welcher die Einbaumaße und deren Spannungsversorgung geregelt sind. Dieser Standard wurde erstmals von Doepfer im Jahre 1996 für das A-100 Modular-



System verwendet. Somit konnte eine Kompatibilität zwischen der zuvor von Doepfer entwickelten Synthesizer-Modulen hergestellt werden. Der Begriff Eurorack hat sich umgangssprachlich etabliert und bezeichnet einen Modular-Synthesizer mit Modulen in besagtem Format. Die Norm hat sich ebenso bei vielen anderen Herstellern durchgesetzt und ist weltweit als Standard anerkannt, sodass es möglich ist, alle in dem Format hergestellten Module zu verbinden und in ein vorgesehene Gehäuse einzubauen. Die Spannungsversorgung der Module in dem Gehäuse erfolgt über eine Busplatine im Inneren. Der eigentliche Boom des Modular-Systems hat allerdings erst um das Jahr 2005 begonnen und hat die Renaissance der Analogsynthesizer eingeläutet, welche zwischen 1985 und 2005 kaum hergestellt wurden und in dieser Zeit von Digitalsynthesizern verdrängt wurden. Mittlerweile werden viele Synthesizer-Klassiker geklont oder von deren Herstellern weiterentwickelt und modifiziert produziert. Sämtliche dieser Klassiker sind auch als Module im Eurorack-Format erhältlich.

### 4.1 Eurorack-Standard

- 3HE (Höheneinheiten), wobei eine Höheneinheit  $1,75'' = 44,45$  mm beträgt
- Fest definierte Breitenmaße in TE (Teileinheiten), wobei eine Teileinheit  $0,2'' = 5,08$  mm beträgt
- 3,5 mm Klinkenbuchsen für Patchkabel
- Anschluss an ein Bussystem mit Spannungsversorgung  $\pm 12$  V, GND, +5V, CV, Gate

## 5 Module

Die hier beschriebenen Module stellen im Modular-System die Grundausstattung zur Klangerzeugung dar. Da momentan Modular-Systeme im Eurorack-Format Hochkonjunktur haben, gibt es hunderte Hersteller und kleine Manufakturen weltweit, welche tausende verschiedene Module herstellen und weiterentwickeln. Das hat zur Folge, dass es immer mehr Neuentwicklungen gibt und immer weitere Möglichkeiten, Klänge zu erzeugen und zu „verbiegen“. Alle Modularten können hier deshalb nicht ausführlich behandelt werden.

### 5.1 VCO

Bei einem voltage-controlled Oscillator, kurz VCO genannt, handelt es sich um einen spannungsgesteuerten Oszillator. Die anliegende Spannung steuert die Frequenz, die der Oszillator ausgibt. Gängige Oszillatormodule können verschiedene Wellenformen ausgeben wie die reine Sinuswelle, Sägezahn-, Triangel- und Rechteckwellen. Die Oszillatorschaltungen der jeweiligen Module sind meist in ihren Bauteilen so konzipiert, dass die verschiedenen Wellenformen wahlweise ausgegeben werden können.

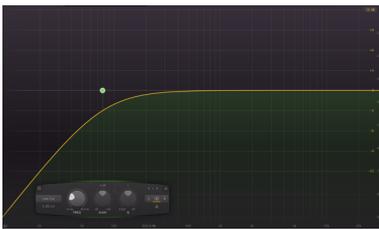
### 5.2 LFO

Bei einem LFO handelt es sich um einen Low Frequency Oscillator, einem Oszillator, welcher niederfrequente Wellenformen erzeugt. Es gibt verschiedene Definitionen eines LFOs, ab welcher Frequenz die Schwingung als niederfrequent gilt. Eine einfache Einteilung wäre, man nennt einen Oszillator LFO, wenn sein Schwingungsbereich sich unterhalb von 20 Hz befindet, da das menschliche Gehör Frequenzen unterhalb von 20 Hz nicht mehr wahrnimmt. Eingesetzt wird der LFO zur Modulation von Klängen. Tremolo, Vibrato können mithilfe eines LFOs realisiert werden. Hierbei kann das Ausgangssignal eines LFOs als Steuersignal für andere Module wie Filter oder VCAs (s.u.) eingesetzt werden.

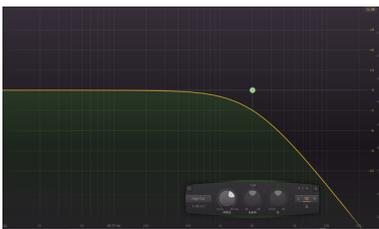
### 5.3 VCF

Der voltage-controlled Filter ist ein spannungsgesteuerter Filter, dessen Kennfrequenz (cutoff) mit einer Steuerspannung beeinflusst werden kann. Ein Filter ist eigentlich ein fehl-konstruierter Verstärker, bei welchem eine im Frequenzspektrum lineare Verstärkung das Ziel ist. Bei einem Filter werden verschiedene Frequenzen im Signal unterschiedlich verstärkt. Die verschiedenen Filtertypen lassen sich in vier relevante Gruppen einteilen:

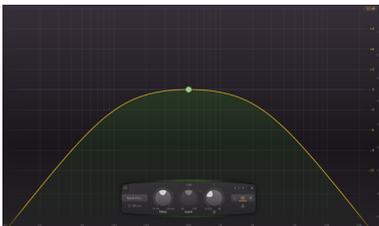
- Hochpass, hierbei werden hohe Frequenzen des Signals verstärkt



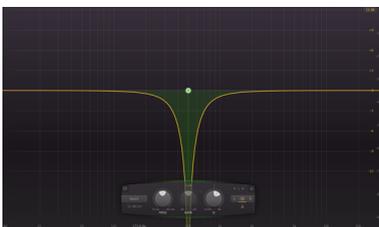
- Tiefpass, hierbei werden tiefe Frequenzen verstärkt



- Bandpass, das Signal um die Kennfrequenz wird verstärkt



- Kerb-Filter, hier werden die Frequenzen um die Kennfrequenz herausgefiltert



Neben der Kennfrequenz ist die Resonanz ein weiterer relevanter Parameter eines Filters, welcher ebenfalls zur Klangfärbung eingesetzt werden kann. Die Resonanz ist technisch gesehen eine Rückkopplung im Bereich der Kennfrequenz und führt zu einer Anhebung des Pegels.

## 5.4 VCA

Bei diesen Modulen handelt es sich um voltage-controlled Amplifier, also spannungsgesteuerten Verstärkern. Der Verstärkungsfaktor wird von einer Steuerspannung beeinflusst, die an dem VCA anliegt. VCAs können linear oder logarithmisch Signal verstärken. Der in VCA-Modulen übliche Verstärkungsfaktor liegt bei 1, was zu Verwirrung führt, da es maximal das anliegende Signal wieder ausgeben kann. Deshalb wird auch oft der Begriff voltage-controlled Attenuator gebraucht, also ein Dämpfungsglied. In der Praxis wird ein VCA auch als ein Gate-Modul verwendet, da kein Audiosignal weitergeleitet wird, wenn keine Steuerspannung an dem VCA anliegt.

## 5.5 Hüllkurvengenerator/ ADSR

ADSR steht für Attack, Decay, Sustain, Release und beschreibt die vier Phasen einer Hüllkurve. Ein Hüllkurvengenerator wird verwendet, um ein Steuersignal in seinem zeitlichen Ablauf zu beeinflussen. Synthesizer werden erst durch Hüllkurven klanglich interessant, da diese für den Verlauf von Lautstärke und Klangfarbe von Tönen verwendet werden. Die Veränderungen werden – wie soll es anders sein – via Steuerspannungen hervorgerufen.

## 5.6 Weitere Module

Die Palette an Modulen ist enorm, weitere Module sollten aber noch kurz erklärt werden, da sie auch für Grundsaltungen im Modular-Synthesizer von Belang sind.

- **Mixer** ein Modul zur Summierung von Signalen, also zur Mischung, wie an einem Mischpult, an dem verschiedene Audiosignale zusammengeführt werden
- **Multiplier** - hierbei handelt es sich um ein passives Bauteil, welches aus einem Signal mehrere weitere Signale erzeugt, welche abgegriffen werden können
- **S&H** - ein Sample& Hold-Modul ist ein analoger Speicher, welcher über drei Anschlüsse verfügt. Einer dient als Trigger, welcher kurzzeitig vom zweiten Eingang Audiosignal abgreift, welches dann bis zu einem nächsten Trigger-Signal in der Frequenz gehalten wird und am Ausgang abgegriffen werden kann

- **Noisegenerator** - ist ein Rauschgenerator, welcher verschiedene Rauschsignale erzeugt
- **Sequencer** – hierbei handelt es sich um ein Modul, welches Sequenzen, also Abfolgen erzeugt, welche als Steuersignale abgegriffen werden können
- **MIDI-CV-Sync-Interfaces** – Diese Module dienen als Schnittstelle zwischen MIDI-Keyboards oder Computern, um digitale Steuersignale aus den genannten Quellen für das Modular-System in CV/Gate-Signale zu wandeln

## 6 Syntheseformen

Führt man sich noch einmal vor Augen, wie der Mensch Schall wahrnimmt und betrachtet die Frequenzen, die von unserem Ohr verarbeitet werden können. Dieses Spektrum bewegt sich im Bereich zwischen ca. 20 Hz und 20 kHz. Schallwellen sind Schwingungen von Luftmolekülen um einen Ruhepunkt, nämlich dem atmosphärischen Druck (um die 1000hPa). Überträgt man diese Schwingung um eine Ruhelage auf die elektronische Welt, wie man es ganz einfach durch die Aufnahme über ein Mikrofon macht, entsteht Wechselspannung. Für das Verständnis von synthetischer elektronischer Klangerzeugung ist dieser Umstand von großem Wert, da dies die Rahmenbedingungen setzt. Es bedeutet, dass jede Wechselspannung in sämtlichen Ausprägungen und Wellenformen in einem Frequenzbereich zwischen 20 Hz und 20 kHz somit zu einem hörbaren Ereignis führen. Nochmals wiederholt, alle Formen von Wechselspannung im hörbaren Frequenzspektrum sind somit erlaubt. Zur Erzeugung verschiedenartiger Wechselspannungen führen unterschiedliche Wege, nämlich Syntheseformen oder auch Modulationsarten genannt. Im Folgenden werden grundlegenden Syntheseformen erklärt, welche innerhalb von modularen Synthesizern Anwendung finden. Der Vollständigkeit halber werden noch weitere genannt und besprochen.

### 6.1 Subtraktive Synthese

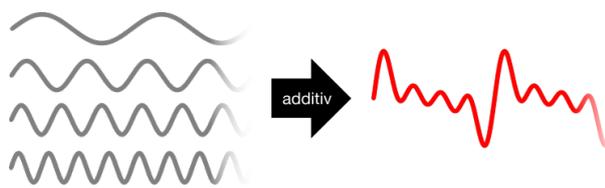
Ein erzeugter Klang wird durch Subtrahieren von Frequenzen durch Filterung geformt.



Das ist die immer noch am weitesten verbreitete Syntheseform. Vereinfacht dargestellt wird in den meisten Fällen durch einen Tongenerator, einem VCO, eine obertonreiche Sägezahnwelle oder Rechteckwelle erzeugt und diese wird im weiteren Signalverlauf gefiltert und verstärkt. Dies bedeutet, dass durch eine Tiefpassfilterung Obertöne von dem Signal abgezogen werden, die Klangfarbe ändert sich in diesem Fall. Und durch einen Hüllkurvengenerator, welcher den VCA steuert, wird der zeitliche Verlauf des zuvor durchgängigen Signals geformt, es werden somit auch wieder Klanganteile in der zeitlichen Komponente subtrahiert. In einem Synthesizer oder Modular-System ist dies einfach nachzuvollziehen. Ein von einem Oszillator (VCO) erzeugter Klang wird durch einen Filter (VCF) geschleift und Frequenzanteile des Ursprungssignals werden subtrahiert. Hinzu kommt, dass die Charakteristik des Filters den Klang zusätzlich färbt. Man spricht auch davon, dass ein Filter für die Klangfarbe zuständig ist.

## 6.2 Additive Synthese

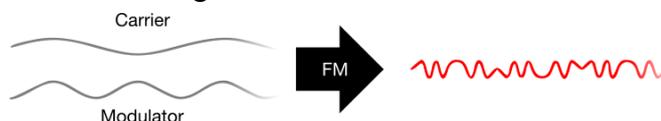
Bei der Additiven Synthese wird im Vergleich zur Subtraktiven Synthese genau der umgekehrte Weg gegangen. Hier wird ein gewünschter Klang durch das Zusammen-



führen von einzelnen Teilklingen erzeugt. Die Additive Synthese beruht auf dem Theorem von Fourier, welches besagt, dass man jedes beliebige Klangereignis aus Sinuswellen mit verschiedener Amplitude, Phase und Frequenz zusammensetzen kann. Die Umsetzung dieser Syntheseform in Instrumenten, welche gezielt Klänge erzeugen sollen, ist sehr komplex. Durch Additive Synthese kann man theoretisch jeden Klang erzeugen, allerdings ist der Programmieraufwand enorm. Es erfordert eine Vielzahl an Oszillatoren und Hüllkurvengeneratoren, was die geringe Verbreitung rechtfertigt. Beispielsweise der Additive Synthesizer KAWAI K5000 verwendet 128 Oszillatoren und 128 Hüllkurvengeneratoren, welche bis zu 500 Hüllkurvenpunkte besitzen können, um reale Instrumente nachzubilden. Um dies nachvollziehen zu können, und um auf ein gutes Klangergebnis zu kommen, ist viel Erfahrung und ein gutes akustisches Verständnis unabdingbar. Jedoch, um das Prinzip dieser Syntheseform nachvollziehen zu können, gibt es vereinfachte Schaltungen, welche in dem Kapitel Patches erklärt werden.

## 6.3 FM-Synthese

Bei der Frequenzmodulations-Synthese wird eine erzeugte Wellenform über eine andere moduliert. Anhand zweier Oszillatoren, welche Töne mit unterschiedlicher



Frequenz erzeugen, lässt sich die FM-Synthese leicht darstellen. Das erzeugte Signal des ersten Oszillators, des sogenannten Modulators, wird als Steuerspannung an den zweiten Oszillator angelegt und somit gibt der zweite Oszillator ein moduliertes Signal aus, welches entstanden ist durch die Schwingung des zweiten VCOs, mit Beeinflussung durch den ersten VCO.

## 6.5 Ringmodulation

Bei der Ringmodulation werden zwei Signale miteinander multipliziert und wieder ausgegeben. Ergebnis zweier ringmodulierter Signale, ist ein Signal mit der Differenz und der Summe der Ausgangssignale. Angenommen die zwei zu modulierenden Signale bestehen aus reinen Sinuswellen. Ein Signal mit der Frequenz 300 Hz, eines mit 600 Hz, so würde das Ergebnis ein moduliertes Signal mit den Frequenzen 300 Hz (der Differenz) und von 900 Hz (der Summe) ausgegeben werden.

## 6.6 Crossmodulation

Der Begriff Crossmodulation entstand durch den Umstand, dass wenn man zwei Oszillatoren so verbindet, dass sie sich gegenseitig modulieren, bilden die Patchkabel ein Kreuz. Verbindet man nun die Ausgänge der Oszillatoren mit den CV-Eingängen des jeweils anderen Oszillators und greift man am Ende die Signale an anderen Ausgängen der VCOs ab, so hat man crossmodulierte Signale. Bei genauerer Betrachtung wird das Audiosignal als Steuersignal für den jeweils anderen VCO verwendet. Auf der Platte „Switched on Bach“ von Wendy Carlos aus dem Jahr 1966 findet diese Modulationsform häufig Anwendung.



## 6.8 Weitere Syntheseformen:

Im Lauf der Zeit kamen durch technische Neuerungen und durch digitale neuentwickelte Synthesizer-Module weitere Syntheseformen dazu. Auch dem enormen Zuwachs der Rechenleistung von Computern ist zu verdanken, dass zuvor unmögliche Synthesen nun berechnet werden können und die Entwicklung von Softwaresynthesizern zu weiteren Syntheseformen geführt haben. Folgende Syntheseformen gilt es deshalb zu nennen. Allerdings spielen sie in einem Modular-System, welches mit Grundmodulen ausgestattet ist, keine Rolle. Manche dieser Syntheseformen sind nur mit Hilfe von Softwaresynthesizern realisierbar.

- Pulsweitenmodulation
- Sample and Hold
- Virtuell-Analog-Synthese
- Granularsynthese
- Physical Modeling
- Wavetable-Synthese
- Phase-Distortion-Synthese
- Sampling-Synthese
- Resynthesis

## 7 Beispiele Patches

In diesem Kapitel werden grundlegende Patches vorgestellt, mit deren Hilfe man sowohl die Grundmodule und deren Funktion, als auch einige der Syntheseformen nachbilden und verstehen kann. Die Abbildungen wurden mithilfe des virtuellen Open-Source-Modular-Synthesizers VCV-Rack erstellt. Dieser ist unter [vcvrack.com](http://vcvrack.com) frei erhältlich und herunterzuladen, auch wird eine Vielzahl von Modulen auch von namhaften Herstellern als Emulationen angeboten, welche in VCV-Rack verwendet werden können.

### 7.1 Beispiel 1 – Erste Schritte

Die erste Schaltung soll einen ersten Ton erzeugen, welcher permanent hörbar ist und gefiltert werden kann, um somit die Klangfarbe zu verändern. Dafür verwenden wir folgende Module

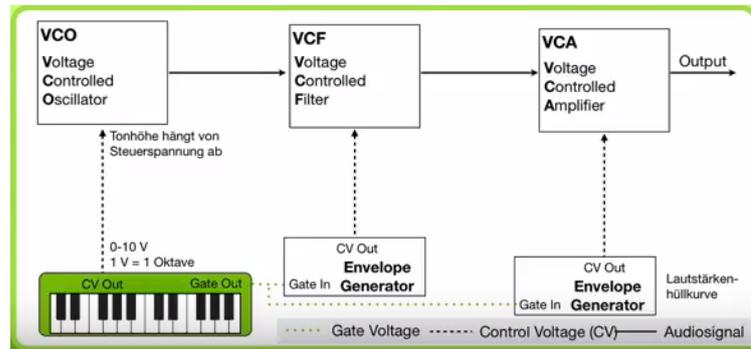
- VCO (Oszillator als Klangerzeuger)
- VCF (Filter, hierbei ist dieser zuständig für die Klangfärbung)
- VCA – dient hier der Lautstärkeregelung des Ausgangssignals
- Audio-Interface als Ausgabegerät an die Computer-Soundkarte



Über den VCO-Frequenz-Regler lässt sich die Tonhöhe verändern. Die Wellenform wählt man über die Ausgänge des VCOs. Hier wurde eine Rechteckwellenform gewählt, die ober-tonreich ist und deshalb gut hörbar gefiltert werden kann. Über FREQ am VCF-Modul lässt sich die Kennfrequenz des Filters ändern. Alle weiteren Parameter sollten jetzt nach Belieben getestet werden, um ein Gefühl für deren Funktion zu bekommen. Auch bietet dieser Patch eine gute Ausgangslage, um die weiteren verfügbaren Module zu testen und einzubinden.

## 7.2 Beispiel 2 – Subtraktive Synthese

In dem zweiten Beispiel möchten wir ein erstes monophones Instrument patchen, welches mit der Subtraktiven Synthese Klänge erzeugt. Ein monophoner Synthesizer kann nur eine Note gleichzeitig spielen. Zur Vereinfachung fi-

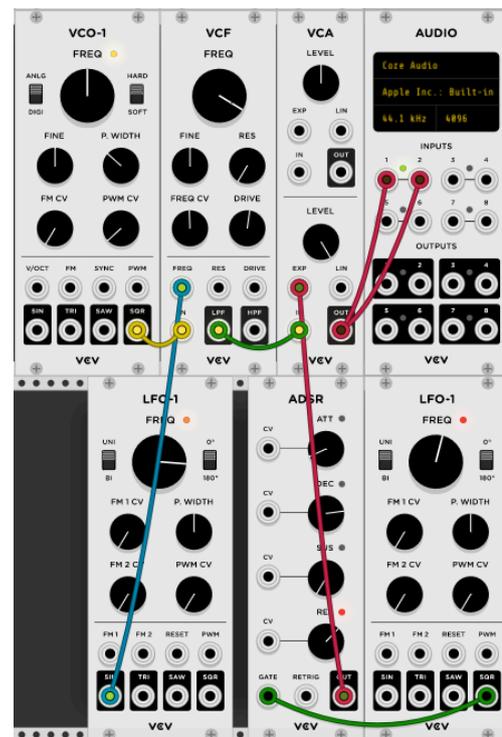


xieren wir hierzu ein paar Parameter, um ohne eine Klaviatur auszukommen:

- Tonhöhe
- Tonlänge
- Anschlag

Der Patch kann gerne später um eine Klaviatur erweitert werden. Anstatt dessen verwenden wir einen LFO, um einen rhythmischen Anschlag zu simulieren (Der LFO rechts unten im Bild ist hier gemeint). Für den Patch benötigen wir:

- VCO
- VCF
- VCA
- ADSR Hüllkurvengenerator
- Zwei LFOs



Der Grundaufbau dieser Klangerzeugung ist wie in dem ersten Beispiel. Der Output der Sägezahnwelle wird abgegriffen und wird mit dem Input des Filters verbunden, hier wiederum wird das Low-Pass-Filter-Signal abgegriffen und mit dem Audio-Input des VCAs gepatcht, dort wird das Signal auf die Outputs des Interfaces gelegt (die zwei roten Kabel). Nun wird von dem LFO rechts unten im Bild ein Gate-Signal auf den Gate-Eingang des ADSR-Moduls gepatched. Die Hüllkurve, also das Output-Signal steuert den VCA (über CV-In). Und um noch ein bisschen Leben in diesen erzeugten Klang zu bringen, lassen wir durch einen zweiten LFO die Filterfrequenz des VCFs leicht oszillieren. Dieses Beispiel soll zu weiteren Experimenten einladen. Man kann hierbei jeden einzelnen Parameter ausprobieren und dessen Funktion verinnerlichen.

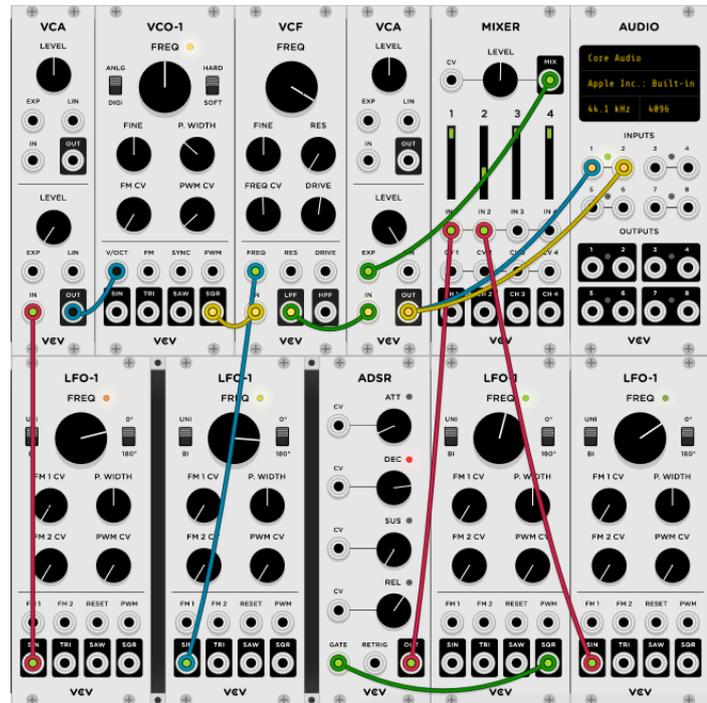
### 7.3 Beispiel 2.2 – Vibrato und Tremolo

Möchte man den vorherigen Patch um ein Tremolo und ein Vibrato erweitern, benötigt man dafür:

- Einen VCA
- 2 LFOs
- Einen Mixer

Das Steuersignal eines LFOs wird über einen VCA (beide links im Bild) nur leicht verstärkt, sodass er den VCO (CV in) dezent steuert, somit wird die Tonhöhe leicht moduliert und man erzeugt ein Vibrato, wie es

beispielsweise mit einer Violine gespielt werden kann. Ein Tremolo ist möglich, wenn man das Steuersignal des Hüllkurvengenerators mit dem Signal eines weiteren LFOs (rechts im Bild) über einen Mixer mischt. Stellt man eine etwas höhere Frequenz in dem hinzugefügten LFO ein, entsteht ein Tremolo.



## 7.4 (Beispiel 3 – Additive Synthese)

Wie im Kapitel Additive Synthese oben beschrieben, wird hier eine stark vereinfachte Form der Additiven Synthese in einem Patch dargestellt. Durch ausprobieren, verändern der Parameter der Module, durch das Weglassen mancher Signale und durch beliebige Erweiterung der Oszillatoren und Hüllkurven, kann im späteren Verlauf ein Verständnis dieser Syntheseform spielerisch erlangt werden. Unser



beispiel setzt sich aus Drei Oszillatoren zusammen, deren Signale durch Hüllkurvengeneratoren geformt und in einem Mischer zusammengeführt werden. Das addierte Signal wird noch klassisch durch einen VCF und einen VCA geschleift, um Einfluss auf Klangfarbe und zeitlichen Verlauf zu bekommen (wie in den oberen Beispielen beschrieben).

Man nehme:

- 3 Oszillatoren – als Klangerzeuger
- 3 ADSR Hüllkurvengeneratoren, um das ausgegebene Signal der Oszillatoren zu steuern
- Ein weiteres ADSR-Modul, welches das addierte Audiosignal im Zeitverlauf über den VCA (s.u.) steuert
- LFO – um den Anschlag einer Taste zu simulieren und das Gate-Signal für die Hüllkurvengeneratoren zu generieren
- VCA – Verstärkt das Audiosignal
- VCF – Zur Färbung des Klangs

Tipp: Um einen wohlklingenden Klang zu erzeugen, kann man die Oszillatoren zuerst stimmen und erst dann die ADSR-Module patchen.

## 7.5 Beispiel 4 – FM Synthese

Dieses Beispiel soll auf einfachste Weise die FM Synthese darstellen. Dazu werden folgende Module benötigt:

- 2 VCOs
- VCF
- VCA



Bei der FM-Synthese stellt VCO1 (rechter VCO) den Carrier dar, welcher ein hörbares Signal ausgibt (20 Hz – 20 kHz). VCO2 nimmt die Rolle des Modulators ein, welcher die Frequenz von VCO1 moduliert. Stellt man nun VCO1 auf die Frequenz 1 kHz ein und liegt die Frequenz von VCO2 bei 0 Herz, so nimmt man eine Frequenz von 1 kHz wahr, also der eingestellten Frequenz des VCO1 (nicht moduliert). Liegt die Frequenz von VCO2 zwischen 0 und 20 Hz, so nimmt man eine Tonhöenschwankung um 1 kHz wahr. Ab der Frequenz von über 20 Hz an VCO2, moduliert dieser den ersten VCO und somit das Audiosignal im hörbaren Frequenzbereich. Das ist die klassische FM-Synthese. Ursprünglich wurden Sinuswellen bei der FM-Synthese verwendet, selbstverständlich kann man die Oszillatoren auch andere Wellenformen generieren lassen. Dieser Patch lässt sich beliebig um Module erweitern und das Experimentieren mit den Parametern der Module vertieft das erlangte Verständnis wie in oben genannten Beispielen. Es ist jedoch zu beachten, dass kleinste Unterschiede der Parameter enorme Klangunterschiede in dem Audiosignal zur Folge haben können, Klänge sind deshalb oft schwer vorhersehbar.

## 7.6 Beispiel 5 – Kick-Drums

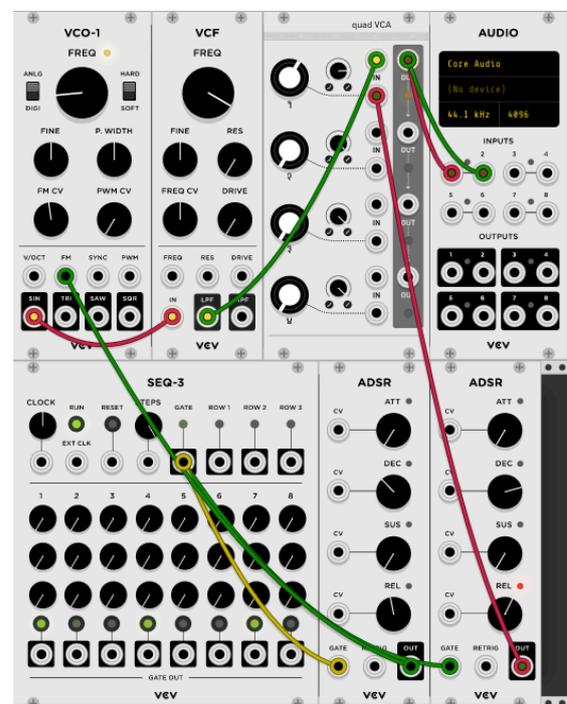
Die folgenden beiden Beispiele sollen je eine Bass-Drum erzeugen, so genannte Kicks, wie sie ursprünglich in den berühmten Drum-Synthesizern der 80er Jahre zu finden sind und auch heute noch in vielen Songs nicht nur der elektronischen Musik verwendet werden. Diese beiden Patches können als Ausgangspunkte betrachtet werden und sollen dazu anregen, Kick-Drums zu programmieren, wie sie dem eigenen Geschmack entsprechen.

### 7.7 Kick 1

Diese Kick hat einen härteren Anschlag und wird mittels eines Oszillators generiert, welcher durch zwei Hüllkurvengeneratoren moduliert wird.

Folgende Bauteile werden verwendet:

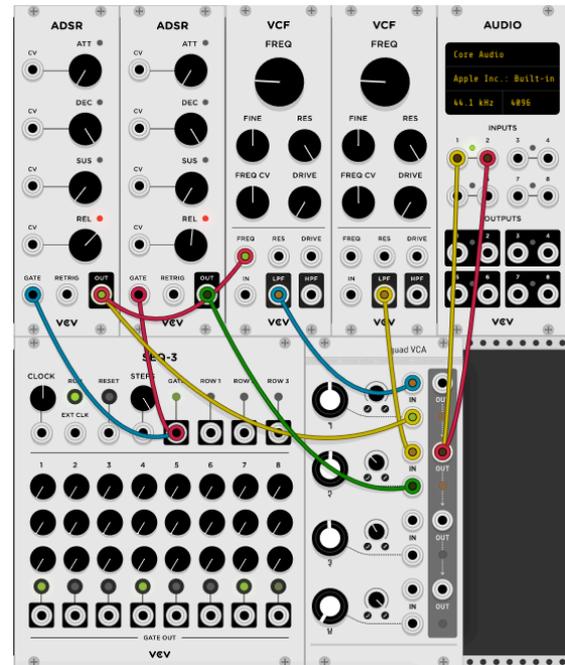
- Sequenzer, um die Kick zu triggern
- VCO
- VCF
- VCA - hier ein Quad-VCA mit einer weiteren Einstellungsmöglichkeit
- 2 ADSR Hüllkurvengeneratoren



## 7.8 Kick 2

Diese Kick hat einen etwas weicheren Anschlagcharakter und wird mittels der Resonanzen zweier Filter generiert. Folgende Bauteile werden hierbei verwendet:

- Sequenzer, um die Kick zu triggern
- 2 VCFs
- VCA - hier ein Quad-VCA mit einer weiteren Einstellungsmöglichkeit (alternativ kann man zwei VCAs und einen Mixer verwenden)
- 2 ADSR Hüllkurvengeneratoren



Der Klang wird hier rein über die Filterresonanzen erzeugt, die Hüllkurvengeneratoren bestimmen hierbei die Anschlaghärte und den Klangverlauf.

## 7.9 Beispiel 6 – Snare-Drum

In folgendem Beispiel soll eine Snare-Drum erzeugt werden. Folgende Module sind nötig:

- VCO
- Rauschgenerator (Noise Generator)
- Zwei VCF Hochpassfilter
- Zwei ADSR Hüllkurvengeneratoren
- Ein Sequenzer
- Ein Quad-VCA (alternativ kann man drei VCAs und einen Mixer verwenden)



Den Klang einer Snare-Drum setzen wir aus drei Komponenten zusammen. Zum einen wird durch den Resonanzkörper der Snare-Drum der Körper des Klangs erzeugt. Diesen erzeugen wir durch den Sinus eines VCOs, welcher leicht Hochpassgefiltert wird. Der Anschlag des Schlegels auf das Trommelfell wird durch die Resonanz eines Filters erzeugt (unten rechts). Das charakteristische scheppernde Geräusch der Snare-Drum wird durch einen Rauschgenerator erzeugt. Um die Kontrolle über den zeitlichen Verlauf der Einzelkomponenten zu bekommen, werden die zwei Hüllkurvengeneratoren durch das Gate-Signal eines Sequenzers getriggert, das ADSR-Signal triggert dann die VCAs. Optional kann man über den FM-CV-in das ADSR-Steuersignal einschleifen (im Bild unten, gelbes Kabel).

In dem Quad-VCA werden Audiosignale und Steuersignale jeweils zusammengeführt. Die Audiosignale werden summiert. Mit etwas Feingefühl lässt sich die Snare-Drum wie gewünscht einstellen.

Tipp:

Stellt man die von den Klangerzeugern kommenden Audiosignale einzeln ein, vereinfacht dies die Einstellung der jeweiligen Parameter.

## 7.10 Beispiel 7 – Hi-Hat

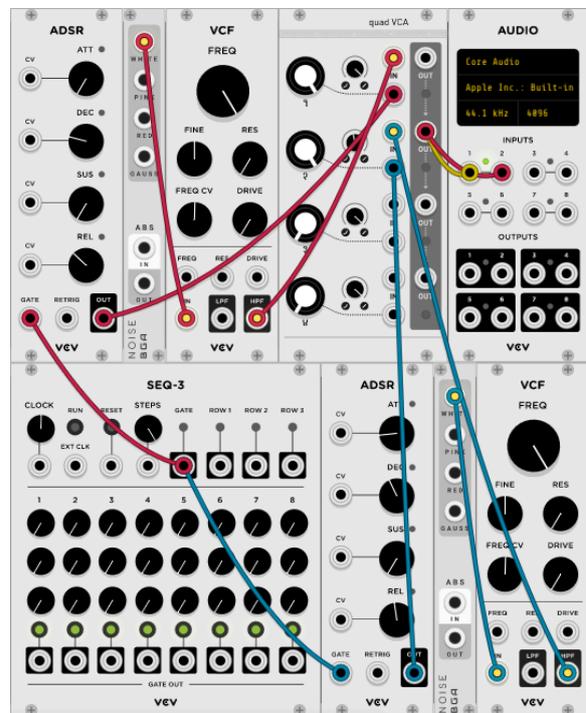
Im letzten Beispiel wird eine analoge Hi-Hat programmiert. Es werden hierfür verwendet:

- Zwei Rauschgeneratoren (Noise Generator)
- Zwei VCF Hochpassfilter
- Zwei ADSR Hüllkurvengeneratoren
- Einen Sequenzer
- Einen Quad-VCA (alternativ kann man zwei VCAs und einen Mixer verwenden)

Für die Klangerzeugung verwenden wir

Rauschgeneratoren, welche weißes Rauschen

ausgeben. Um die hohen Frequenzanteile zu isolieren, verwenden wir jeweils den Rauschgeneratoren nachgeschaltete Hochpassfilter. Die ADSR-Generatoren bekommen vom Sequenzer ein Gate-Signal. Das von den Hüllkurvengeneratoren erzeugte Steuersignal steuert in dem Quad-VCA die jeweils die Ausgabe der von den Filtern kommenden Audiosignale. Auch hier kann je nach Geschmack mit den Parametern der Module experimentiert werden, um die gewünschte Hi-Hat zu erzielen.



## 8 Fazit

Der Leser bekommt einen Überblick über die Funktionsweise und die Anwendung eines Modular-Synthesizers. Es wird die Entwicklung der Synthesizer erörtert, von dem ersten Instrument mit elektronischer Klangerzeugung bis hin zur Entwicklung der heutigen verfügbaren Modular-Systeme im Eurorack-Format. Die verschiedenen Arten der Klangerzeugung, also der Syntheseformen, die in modularen Synthesizern Anwendung finden wurden eingehend bearbeitet und erklärt. Auch wurden die einzelnen Module für Klangerzeugung und Klangbearbeitung besprochen. Somit wurde eine Grundlage geschaffen, mit der der Leser die danach folgenden Beispiele nachvollziehen, verstehen und selbst von diesem Wissen ausgehend Patches modifizieren und Sounds selbst programmieren kann.

Wer für das Nachvollziehen der Beispiele kein Modular-System zur Hand hat, findet mit der Software-Emulation „VCV-Rack“ eine geeignete und kostenfreie Alternative. Die Visualisierungen der Beispiele wurden ebenfalls auf dieser Plattform programmiert. Jedoch sei wärmstens empfohlen, sich, wenn möglich, mit einem echten Modular-System auseinanderzusetzen. Da die Haptik und das Drehen an echten Reglern, sowie das Verkabeln echter Module durch nichts zu ersetzen ist. Allerdings kann das Arbeiten mit modularen Synthesizern zur Sucht werden, nicht umsonst nennen sich viele Nutzer selbst Eurocracks.

## Quellenverzeichnis

<https://www.sequencer.de/synth/index.php/Ringmodulation>

<https://www.amazona.de/eurorack-modularsynthesizer-facts-doefer-interview/>

<http://www.doefer.de/a100e.htm>

[http://www.doefer.de/hist\\_d.htm](http://www.doefer.de/hist_d.htm)

<https://vcvrack.com/>

<http://www.gcat.org.uk/blog/?tag=fm-synthesis>

<https://buchla.com/history/>

<http://120years.net/moog-synthesizersrobert-moogusa1963-2/>

[https://en.wikipedia.org/wiki/Modular\\_synthesizer](https://en.wikipedia.org/wiki/Modular_synthesizer)