

Proseminar „Algorithmen, Schnittstellen und Werkzeuge zur Audiotbearbeitung“
Veranstaltet im Sommersemester 2003 unter der Leitung von Gerhard Schrott

Thema #6:

Synthesetechniken

bearbeitet von Frans Fürst im Juni/Juli 2003

Inhalt

1. Der Audi-Synthesizer.....	3
2. Anforderungen.....	4
3. Die gängigen Synthesetechniken.....	5
3.1 Sampling.....	6
3.2 Additive Synthese.....	8
3.3 FM-Synthese.....	9
3.4 Subtraktive Synthese.....	12
3.5 Moderne Verfahren.....	14
4. Keyboardgesteuerte Hüllkurvengeneratoren.....	15
Quellenangabe.....	17

1. Der Audio Synthesizer

Für die Entwicklung von elektronischen Audio-Synthesizern ist nicht nur der zunehmende Trend zur Elektronisierung und Digitalisierung motivierend. Elektronische Klangerzeuger bringen auch wertvolle Eigenschaften mit sich, die mechanisch wenn überhaupt nur schwer zu schaffen wären. Diese haben Ihren Ursprung in der Natur elektronischer Geräte:

- Überwindung der mechanischen Schranken
- Verbesserung der Möglichkeiten mechanischer Instrumente durch Simulation

Betrachtet man mechanische (akustische) Instrumente genauer, so fällt auf, dass trotz ihrer enormen Vielfalt nur wenige charakteristische Merkmale die Eigenschaften eines Instrumentes bestimmen:

- **Schwingkörper**
- **Resonanzraum**
- Technik der **Schwingungsanregung**

Der **Schwingkörper** kann aus Saiten bestehen, wie beispielsweise beim Klavier, den Streichern, der Harfe oder den Gitarren, aus Holz- oder Metallblöcken wie beim Xylophon oder Glockenspiel oder einer Membran bzw. einer Platte aus verschiedenen Materialien, zu sehen bei Schlagzeugen.

Diese Schwingkörper regen meist einen **Resonanzraum** an. Ausnahmen sind z.B. Harfe, Glocke, Triangel oder Becken. Diese Resonanzräume werden durch ihre Form, ihr Volumen und ihr Material charakterisiert. Sie dämpfen bestimmte Frequenzen und bewerkstelligen damit die Funktion, die bei elektronischen Synthesizern von Frequenzfiltern (s.a. „digitale Filter“) übernommen wird.

Letztendlich wird das Klangergebnis noch durch den mechanischen Vorgang bestimmt, mit dem der Schwingkörper **angeregt** wird. Das kann durch Klopfen, Streichen, Zupfen, Anblasen, etc. des Schwingkörpers passieren.

Auch wenn an der Anzahl der klassischen Instrumente bereits erkennbar ist, wie vielfältig die Eigenschaften kombiniert werden können – man beachte z.B. dass sich Gitarre und Piano prinzipiell recht ähnlich sind, jedoch vollkommen verschieden klingen. Mehr als das genannte ist kaum möglich oder praktikabel. Zudem müssen die Instrumente von Menschen gespielt werden, deren Geschicklichkeit – abhängig vom Typ – natürlich wiederum eingeschränkt ist.

Um die genannten mechanischen Einschränkungen zu umgehen und die Grenzen menschlicher Leistungsfähigkeit zu überwinden, versucht man, den Klangwellenverlauf rein elektronisch zu erzeugen, wobei auch die (steuer-) signalgebenden Elemente elektrische Schaltungen oder Programme sein können.

2. Anforderungen an Audio-Synthesizer

Die Anforderungen, die man an ein Gerät oder Programm stellen kann, welches Klänge erzeugen soll hängen selbstverständlich davon ab, welcher Art diese Klänge sind. Die Aufgaben eines Synthesizers reichen von der Simulation bestehender Instrumente, über das Schaffen völlig neuer musikalischer Klänge bis hin zur Erzeugung von Effektgeräuschen, welche möglicherweise keinerlei musikalischen Kriterien genügen müssen.

Bei der Simulation von Instrumenten steht natürlich die Realitätstreue im Vordergrund, während man sich beim Kreieren neuer Instrumente über den gewünschten Klangcharakter Gedanken machen muss. Effektgeräusche stehen meist für ein Ereignis oder Gefühl, mit dem man es in Verbindung bringen können soll.

Jedoch haben nahezu alle bekannten Geräusche die Eigenschaft, dass sie ein sehr kompliziertes, kaum zu analysierendes Frequenzspektrum aufweisen. Es stellt daher eine Herausforderung dar, mit den existierenden Formen der Beschreibung und den technischen Mitteln Klänge zu erzeugen, die derartig komplex sind, wie wir sie aus der Realität gewohnt sind.

Bis heute haben sich daher einige gut handhabbare und leicht zu bewerkstellende Verfahren durchgesetzt. Die Beschreibung der folgenden wichtigsten Techniken ist Inhalt der nächsten Kapitel.

- **Sampling**
Aufnehmen und gesteuerte Wiedergabe einer Klangsequenz
- **Additive Synthese**
Aufaddieren von Einzelsignalen
- **FM-Synthese**
Frequenzmodulation bei gegebenen Signalverläufen
- **Subtraktive Synthese**
Gesteuerte Frequenzfilterung bei gegebenen Signalen
- Moderne Verfahren
physical modeling und **Granularsynthese**

3. Die gängigen Synthesetechniken

In diesem Kapitel sollen die weiter oben genannten Verfahren zur Klangsynthese genauer ausgeführt werden.

Auf die jeweiligen mathematischen Hintergründe wird weitgehend verzichtet, da diese zum reinen Verständnis des Prinzips nicht vonnöten sind und darüber hinaus den beabsichtigten Rahmen dieses Dokuments mehrfach sprengen würden.

Für ein intuitives Verständnis empfiehlt es sich, die hier aufgeführten Techniken experimentell zu erforschen.

Die im Vortrag gezeigten Beispielsignalverläufe wurden mit dem funktionalen Synthesizer **Crewavor** (siehe <http://home.arcor.de/frans/crewavor/crewavor.htm>) generiert und können unter einem Windows-System nachgestellt werden. Unter der angegebenen Adresse findet sich auch eine Bedienungsanleitung.

Die im Vortrag verwendeten Beispiel-Signal-Verläufe können unter http://home.arcor.de/frans/crewavor/tut_samples.zip heruntergeladen werden.

Es wird empfohlen, alle Dateien (Ausführbare, DLL, .cwr – Dateien und ggf. .wav's) in einem Verzeichnis abzulegen.

3.1 Klangsynthese durch Sampling

Unter **Sampling** versteht man die gesteuerte Wiedergabe eines zuvor analog oder digital aufgenommenen Tonabschnitts (engl. sample). Die Quelle für den Ton, bzw. das Geräusch kann jede beliebige Quelle für akustische Signale, also z.B. ein mechanisches Instrument sein.

Auch wenn sich zunächst die Frage nach der Berechtigung dieser Technik als „Synthesetechnik“ stellt, so kann mit ihr jedoch weit mehr erreicht werden, als das einfache Kopieren eines Tons. Auch hat sich diese Technik bis jetzt in weiten Teilen der elektronischen Klangsynthese durchgesetzt.

Interessant wird das Sampling durch die Möglichkeit, das Sample in Vielfachen der Aufnahme­frequenz (digital) oder –geschwindigkeit (analog) wiederzugeben. Dadurch wird eine lineare **Frequenzstreckung** des Quellsignals erreicht.

Wird als Zielfrequenz die Originalfrequenz multipliziert mit einer Zweier-Potenz in 12tel-Schritten verwendet, so wird das Quellsignal in der chromatischen Tonleiter transponiert. Zusätzliche Voraussetzung ist natürlich, dass die Hauptfrequenz des Quellsignals bereits auf der chromatischen Tonleiter liegt.

(z.B. Kammerton a: $f = 440$ Hz).

Mit dem Originalsignal $o(t)$, der Zeit t und dem Transponier-Index n ergibt sich für das Ausgangssignal $a(t)$ somit:

$$a(t) = o\left(t \cdot 2^{\frac{n}{12}}\right)$$

Verwendet wird diese Technik unter anderem zum elektronischen Verwirklichen mechanischer Instrumente – die meisten elektrischen Pianos funktionieren so. Auch elektronische Schlagzeuge verwenden dieses Verfahren. Jedoch kann hier dann meist auf die Frequenzveränderung verzichtet werden.

Das Sampling hat natürlich auch seine Tücken. Das einfache schnellere Abspielen einer Klangsequenz verändert nämlich leider nicht nur die gehörte Tonhöhe:

- Jeder reale Tonerzeuger besitzt schwingende Elemente, die ihre Charakteristika auch mit Variieren des gespielten Tones beibehalten. Beispiele sind der Resonanzraum, die anderen Schwingkörper, die mit angeregt werden (z.B. Saiten im Klavier), die Umgebung und vieles mehr. Spielt man einen Ton nun einfach schneller ab, werden auch diese „Nebenwellen“ frequenzmanipuliert. Das Ergebnis klingt dann verfälscht. Ein Beispiel ist der typische „Helium-Effekt“, wenn man eine menschliche Stimme schneller abspielt.
- Mit Erhöhen der Abspielgeschwindigkeit verändert man natürlich auch ungewollterweise die Tonlänge.

- Die Manipulation eines Tons von außen – beispielsweise durch Loslassen einer Klaviertaste – ist nicht möglich. Da im Voraus nicht gewusst werden kann, wie lange die Taste gedrückt wird, muss immer ein Ton einer bestimmten Länge abgespielt werden.

Die Lösung dieser Probleme liegt in der Verwendung mehrerer Samples. Bei heutigen E-Klavieren wird jeder spielbare Ton separat gespeichert. Die einzelnen Töne liegen wiederum in verschiedenen Anschlagstärken (auch hier verändert sich nicht nur die Lautstärke) und aufgeteilt in Anschlagphasen vor.

Klangbeispiele zu verwenden mit dem Crewavor (siehe Hinweis unter 3.):
z_ps_01_piano.cwr bis **z_ps_05_musik.cwr**

3.2 Additive Synthese

Im Gegensatz zum Sampling kann man bei der additiven Synthese bereits von einer „echten“ Synthese sprechen.

Wie man an dem Beispiel **z_ps_01_piano.cwr** in der Frequenzanalyse (Rot) sehen kann besteht auch ein einzelner Klavierton nicht nur aus der subjektiv gehörten Frequenz, sondern aus einer Vielzahl von Nebenfrequenzen.

Tatsächlich wird der charakteristische Ton jedes Tonerzeugers durch seine Frequenzanteile und deren zeitlichen Amplitudenverlauf eindeutig gekennzeichnet.

Ein leicht nachvollziehbarer Ansatz für die Simulation beliebiger Töne ist daher auch, diese Einzelfrequenzen einfach aufzuaddieren (daher der Begriff additive Synthese).

Als Quellsignale dienen hier Sinus (siehe Ensemble **z_ps_06_sinus.cwr**), Dreieck (**z_ps_07_dreieck.cwr**) und einige andere Signale, die jedoch zumindest noch Tiefpass-gefiltert werden müssten und daher nicht ganz Element dieses Abschnitts sind. Beispiele sind Sägezahn- und Rechtecksignale.

Die Klangbeispiele **z_ps_08_addition.cwr** und **z_ps_09_addition2.cwr** zeigen, wie die Summe verschieden gewichteter Sinussignale klingen kann.

Durch zwei zusätzliche Modulationen kann diesem noch sehr arm klingenden Geräusch eine Menge Natürlichkeit eingehaucht werden. Dies sind einerseits ein Vibrato-Effekt, also eine Frequenzmodulation im 10 Hz-Bereich (siehe **z_ps_10_addition3.cwr**) und vor allem eine Nachbildung der natürlichen Dämpfungskurve. Geräuschquellen, die durch einen einzelnen Impuls angeregt werden und dann keine weitere Energie von außen mehr bekommen, besitzen eine Amplitude, deren Wert in gleichen Zeitabständen um das gleiche Verhältnis abnimmt. Einen solchen Verlauf nennt man exponentiell und man kann ihn durch folgenden Term beschreiben:

$$A(t) = A_0 \cdot e^{-t \cdot d}$$

Im Beispiel **z_ps_11_addition4.cwr** kann dieser Effekt nachgestellt werden.

Ein kleines Klangensemble mit Melodie, welches nur auf additiver Synthese beruht findet sich in **z_ps_12_melodie.cwr**.

In der Praxis verwendet man aber üblicherweise keine so einfachen Hüllkurven wie die hier genannte Dämpfungskurve. Um dem Variationsspielraum mechanischer Instrumente näher zu kommen, bedient man sich sogenannter Hüllkurven-Generatoren (envelope generator). Näheres dazu kann in Kapitel 4 nachgelesen werden.

3.3 FM-Synthese

Die FM-Synthese ist ein Beispiel dafür, dass beim Finden von Syntheseverfahren der Zufall und der „Spieltrieb“ der Forscher eine große Rolle spielt.

1967 entdeckte der Wissenschaftler und Computermusiker John Chowning bei Versuchen mit Vibrato in höheren Frequenzen den in `z_ps_13_sinus_fm.cwr` nachvollziehbaren Effekt (man erhöhe ‚intensität‘ und ‚frequenz‘ an den Schieberegler).

Er forschte an diesem Effekt und entdeckte Gesetzmäßigkeiten, die er 1973 veröffentlichte.

Die Kernaussagen sollen hier kurz beschrieben werden und sind im Crewavor-Ensemble `z_ps_14_fm_synthese.cwr` nachstellbar.

Prinzipiell wird ein einfaches Signal (Sinus, Dreieck, etc) in einer Grundfrequenz c von einem Modulator m frequenzmoduliert. Der Modulator besitzt selber eine Amplitude ma und eine Frequenz. Das Ausgangssignal $a(t)$ für einen frequenzmodulierten Sinus verhält sich daher also nach folgendem Term:

$$a(t) = \sin(t \cdot \omega_c + ma \cdot \sin(t \cdot \omega_m))$$

Laut Chowning sollten aber folgende Parameter unabhängig voneinander beeinflusst werden können:

- c (**carrier**): die Basisfrequenz des
- R_{cm} (**carrier / modulator ratio**): Verhältnis Carrier-Frequenz zu Modulator-Frequenz
- I (**Modulations-Index**): Verhältnis von Modulator-Amplitude zu Modulator-Frequenz

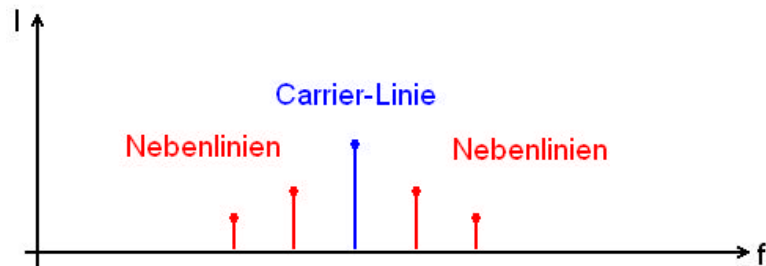
Werden diese Parameter berücksichtigt, so ergibt sich für das Ausgangssignal $a(t)$ dieser Term:

$$a(t) = \sin(t \cdot \omega_c + I \cdot \omega_m \cdot \sin(t \cdot \omega_m))$$

wobei

$$\omega_m = \frac{\omega_c}{R_{cm}}$$

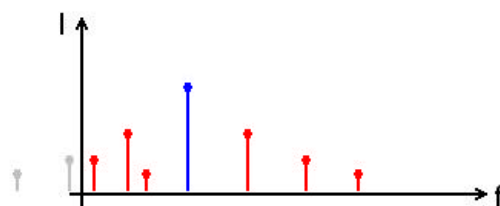
Auf dem Spektrogramm wird der Effekt dieser Modulation sichtbar: mit steigendem FM-Index bilden sich „rechts“ und „links“ neben der Spektrallinie des Carriers Linien von sogenannten „Nebenbändern“. Diese Nebenbänder besitzen die Frequenz des Carriers plus einem positiven oder negativen Vielfachen der Modulationsfrequenz, haben also untereinander alle den selben Abstand



Dadurch wird auch einsichtig, warum das Verhältnis aus Carrier- und Modulationsfrequenz unabhängig beeinflussbar sein sollte: Nur wenn das Verhältnis ganzzahlig ist, entstehen harmonische Spektren, was für die Nachahmung der meisten Instrumente Voraussetzung ist.

Die Intensitäten der Seitenbänder können durch die sogenannten Besselschen Funktionen beschrieben werden. Eine verständliche Darstellung würde jedoch den Rahmen dieses Dokuments sprengen, weshalb der Interessierte auf entsprechende Fachliteratur verwiesen sei.

Einen weiteren interessanten Effekt kann man beobachten, wenn man die Nebenbänder durch Erhöhen des FM-Index, durch Verkleinern des Frequenzverhältnisses oder durch Senken der Carrier-Frequenz hinter die $f = 0$ Hz – Achse „rutschen“ lässt. Die Nebenlinie wird dabei an der Achse reflektiert, was sich akustisch u.U. als interessante Dissonanz bemerkbar macht.



Ein Beispiel für eine praktische Anwendung der FM ist die Datei **z_ps_16_fm_glocke.cwr**.

z_ps_15_fm_sinus_laufen.cwr zeigt zur Auflockerung einen interessanten Effekt am Oszilloskop. Durch Experimentieren können auch weitere Muster dieser Art gefunden werden.

In der Synthesizer-Praxis werden aber nicht nur – wie hier vorgestellt - einfache Modulationen vorgenommen. Alle beeinflussenden Faktoren wie Amplitude, Carrier-Frequenz, FM-Index und Frequenzen-Verhältnis lassen sich ihrerseits wieder durch

Oszillatoren steuern, so dass man von Frequenzmodulation höherer Ordnung sprechen kann. Auf modernen FM-Synthesizern lassen sich dazu mehrere Signalgeneratoren modular und unabhängig programmieren und untereinander verknüpfen.

Auch FM-Synthesizer verwenden Hüllkurven, wie etwa die mechanische Dämpfungskurve (siehe 3.2) oder ADSR-Generatoren, etc. welche in Kapitel 4 behandelt werden.

Der Vorteil der FM-Synthese liegt in ihrer vergleichsweise hohen Effektivität. Um selbst komplizierteste Frequenzkompositionen zu erhalten, brauchen nur wenige aktive Rechen- bzw. Bauelemente verarbeitet werden. Moderne FM-Synthesizer verwenden beispielsweise etwa 10 sich gegenseitig beeinflussende Modulatoren, deren einzelner Realisierungsaufwand nicht einmal den des Gerätegehäuses erreichen muss.

Diese Tatsache ist der Grund für die explosionsartige Verbreitung der FM-Synthese seit ihrer Patentierung und ersten Vermarktung durch Yamaha (Yamaha DX7) im Jahr 1983.



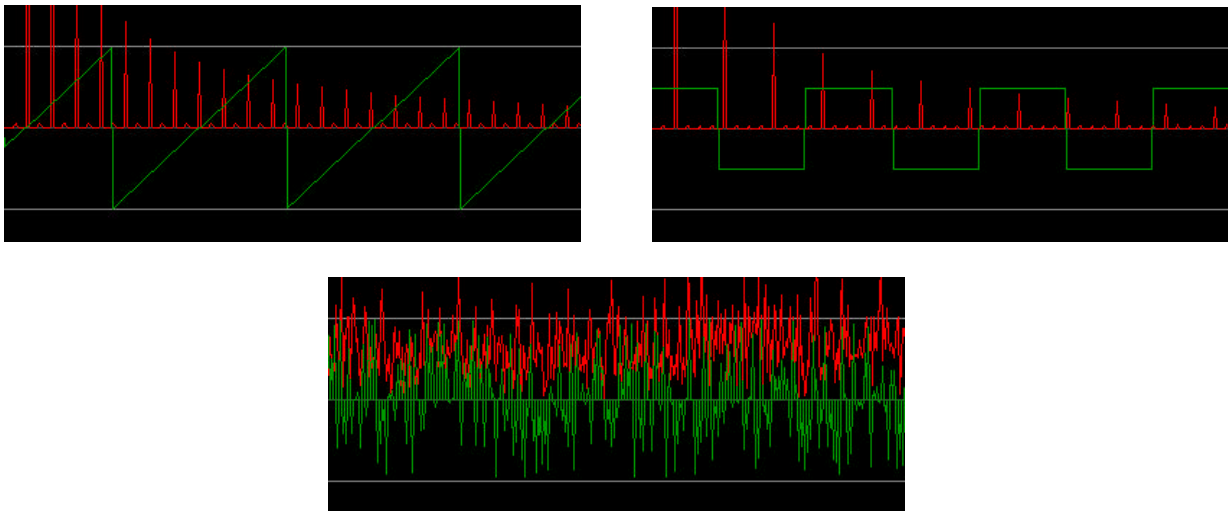
Yamaha DX7 von 1983

3.4 Subtraktive Synthese

Ein weitere Technik zum Erzeugen instrumentenähnlicher Klänge macht sich die Tatsache zunutze, dass die meisten mechanisch erzeugten Geräusche ein harmonisches Frequenzspektrum besitzen. Das heißt, dass neben der gespielten Hauptfrequenz nur ganzzahlige Vielfache dieser Frequenz erzeugt werden (man betrachte unter diesem Aspekt noch einmal das erste Klangbeispiel **z_ps_01_piano.cwr**).

Einige einfache Signalverläufe, wie Dreieck, Sägezahn oder Rechteck besitzen ihrerseits auch ein harmonisches Spektrum (siehe **z_ps_17_sub_saw.cwr** und **z_ps_18_sub_rec.cwr**). So weist der Sägezahn beispielsweise – in abnehmender Intensität – alle Vielfachen seiner Grundfrequenz auf.

Ein Rauschen (d.h. ein Signalverlauf, der überall aus zufälligen Werten besteht, engl. ‚noise‘) besitzt sogar jeden möglichen Frequenzanteil. Es wird daher in Anlehnung an das frequenzreiche weiße Licht auch „weißes Rauschen“ (engl. ‚white noise‘) genannt.



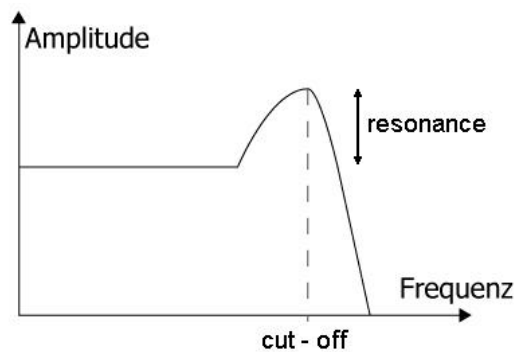
Die Abbildungen zeigen ein Sägezahn- (l.o.), eine Rechtecksignal (r.o.)
und ein weißes Rauschen (u.)
Rot ist jeweils die Fourier-Transformierte eingezeichnet.

Statt nun wie in der additiven Synthese alle gewollten Frequenzen zu einem Signal zu addieren, werden in der subtraktiven Synthese den oben genannten Basissignalen die ungewollten Frequenzen einfach genommen. Dies macht den Namen des Verfahrens einsichtig.

Ein Hoch-, Tief- oder Bandpassfilter allein erzeugt nun jedoch noch keinen besonders interessanten Ton. Mit Techniken, die nicht mehr Bestandteil dieses Dokuments sind werden daher „digitale Filter“ entworfen, die ein Frequenzspektrum mit einer beliebigen Hüllkurve versehen. Dabei wird nun nicht nur das Eingangssignal, sondern auch das bereits gefilterte Ausgangssignal gefiltert und hinzuaddiert (infinite impulse

response filter). Werden dann bestimmte Frequenzen mit einem Dämpfungsfaktor > 1 gefiltert (= Verstärkung) und wieder in den Filter zurückgeführt so entsteht ein Resonanz-Effekt, d.h. die verstärkten Frequenz-Anteile klingen nach.

Ein typischer Frequenz-Filter dieser Art ist der einfache „cut off / resonance filter“, welcher wie ein Tiefpass arbeitet, dessen Hüllkurve jedoch an der Grenzfrequenz („cut off“) noch einen kleinen „Huckel“ aufweist.



Die Parameter dieser Hüllkurve lassen sich in Echtzeit ähnlich wie bei einem Equalizer verändern. Wie auch bei den übrigen vorgestellten Verfahren können diese Werte durch Steuersignale, beeinflusst werden, welche durch Hüllkurvengeneratoren erzeugt werden. Als Beispiel sei auch hier die Ausklingkurve (siehe 3.2) oder ein ADSR-Generator (siehe Kapitel 4) genannt.

Auch hierfür kann mit der vorliegenden beta-Version vom Crewavor ein primitives Beispiel erzeugt werden (z_ps_sub_ton.cwr). Hier sei aus technischen Gründen jedoch auch auf ausgereifere Programme wie zum Beispiel den „Reaktor“ von Native Instruments verwiesen.

3.5 Moderne Verfahren

Ziel der Entwicklung neuer Synthesizer war immer auch einerseits der Versuch, real existierende Instrumente möglichst realitätsnah nachzubilden und andererseits, möglichst vielseitige und interessant klingende Techniken neu zu entdecken.

Was die Nachbildung von Instrumenten angeht, so wird derzeit das sogenannte **physical modeling** entwickelt, bzw. weiterentwickelt. Hierbei wird für die akustisch aktiven Elemente der zu simulierenden Instrumente ein virtuelles physikalisches Modell geschaffen, welches dann in Echtzeit simuliert werden muss.

Vorteil dieser Technik ist eine beanstandungslose Realitätsnähe, sofern nur das Modell realistisch genug ist. Jedoch benötigt man hierfür (abhängig von der Komplexität des Instruments) teilweise Rechenkapazitäten, die heute zumindest noch nicht in Serie produziert werden können.

Grund dafür ist die Beschaffenheit der zugrundeliegenden physikalischen Gesetze, die es erforderlich machen, dass beispielsweise Differentialgleichungen gelöst werden müssen, was wiederum nicht effizient möglich ist.

Ein anderer Weg, den die moderne Klangsynthese beschreitet, beschäftigt sich mit der sogenannten **Granularsynthese**. Hier macht man sich die Tatsache zunutze, dass eine Klangwelle durch kurze Elementarwellen, sogenannte **grains** dargestellt werden kann.

Die zugrundeliegende mathematische und physikalische Theorie wurde 1947 von Dennis Garbor entwickelt und 1980 durch M. Bastiaans bestätigt.

Ein Ton, der beispielsweise von einem Klavier erzeugt wurde kann als eine „Wolke“ solcher grains verstanden werden. Mit dieser Technik können sowohl existente Instrumente verstanden und nachgebildet werden als auch neue Klänge durch Bilden neuer „Grainwolken“ geschaffen werden.

4. Keyboardgesteuerte Hüllkurvengeneratoren

Bei der Behandlung der einzelnen Syntheseverfahren sind immer wieder Parameter aufgetreten, die den erzeugten Ton nachhaltig beeinflussen. Beispiele für solche Parameter sind:

- Amplitude des Tons
- Vibratointensität und -frequenz
- Modulations-Index bei der FM-Synthese
- cut off – Punkt oder resonance-Intensität eines cut off / resonance – Filters

und viele mehr.

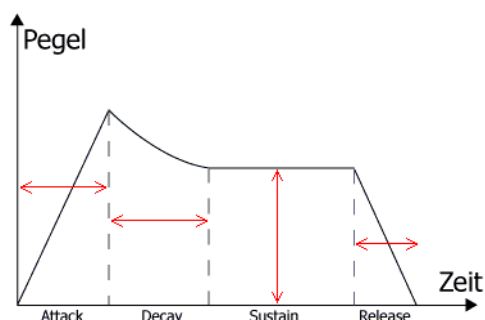
Für alle diese Parameter gilt, dass wenn man sie dynamisch verändert, zusätzliche Effekte auftreten, oder das Ergebnis einfach natürlicher klingen kann.

Eine Möglichkeit, mit einem Steuersignal in die Klangsynthese einzugreifen, indem einfach die Amplitude des Tons gesteuert wird, ist die im Kapitel 3.2 beschriebene mechanische Ausklingkurve. Alternativ können auch sogenannte **LFOs** (low frequency generator) verwendet werden. Dies sind ihrerseits auch Signalgeneratoren, deren Basisfrequenz jedoch im Bereich zwischen 0.1 Hz und 10 Hz liegt. Mit ihnen als Steuersignalgeneratoren kann zum Beispiel das ebenfalls bereits vorgestellte Vibrato generiert werden.

Will man jedoch von außen in die Klangsynthese eingreifen, reichen die genannten Techniken nicht aus.

Die gängigste Möglichkeit, elektronische Instrumente zu steuern ist die Verwendung von Keyboards. Damit das Ergebnis nicht klingt, wie ein Spielzeugpiano, muss das Signal, welches vom Keyboard kommt von einem sogenannten Hüllkurvengenerator verarbeitet werden. In der Regel sendet das Keyboard Informationen darüber wann, welche Taste mit welcher Anschlagstärke angespielt und wann sie wieder losgelassen wurde.

Eine Möglichkeit, diese Signalfolge zu interpretieren, kann mit folgendem Graphen veranschaulicht werden, der eine zeitliche Veränderung eines Signalpegels beschreibt:

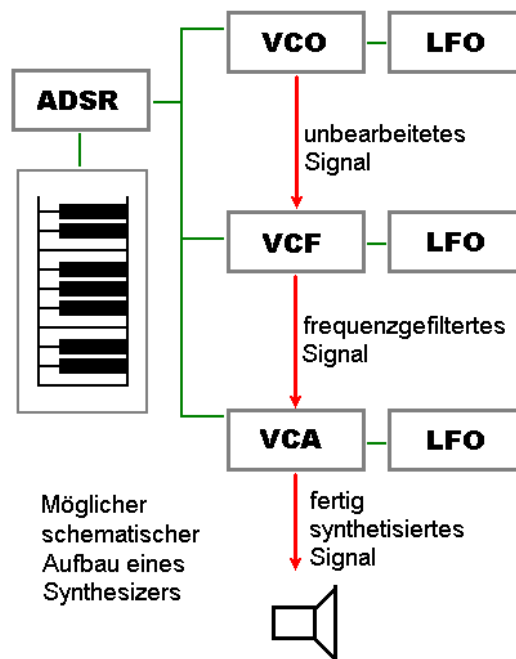


Dieses Signal wird in die Phasen attack, decay, sustain und release unterteilt, weswegen der Fachbegriff für einen Generator für ein solches Signal auch ADSR

lautet. Die Charakteristik für eine bestimmte Kurve wird durch entsprechende vier Werte festgelegt.

Wird eine Taste angeschlagen (attack), so steigt der Signalpegel des Generators in der attack-Zeit auf die gesamte Anschlagstärke des Keyboard-Signals an. Ist der Peak erreicht, so klingt das Signal in der charakteristischen decay-Intervall-Länge auf den sustain-Level ab, welcher der dritte der vier Werte ist. Wird die Taste losgelassen, so klingt das Signal in der release-Zeit vollständig aus.

Das so erzeugte Signal kann nun als Hüllkurvensignal für einen oder mehrere der obengenannten Parameter verwendet werden. Es ist auch nicht ausgeschlossen, dass die verschiedenen Parameter jeweils einen eigenen Hüllkurvengenerator zugeordnet bekommen, so dass sich der resonance-Wert eines Filters beispielsweise schneller oder intensiver verändert, als die Amplitude des Ergebnissignals.



Das Bild zeigt einen typischen Aufbau eines Synthesizers, der nach subtraktiver Synthese arbeitet. Hier wird ein Keyboard-gesteuerter ADSR-Generator zur Manipulation der seriell verknüpften Einzelbausteine VCO (Signalgenerator), VCF (Filterbaustein) und VCA (Amplitudenmodulator) verwendet. Rechts ist jeweils ein LFO dargestellt, den man sich auch statt des ADSR-Generators vorstellen könnte.

Verwendete Literatur:

Die meisten Quellen lassen sich nicht sinnvoll rekonstruieren. Hier sei auf das Internet verwiesen, welches zum Thema weit mehr als genug Informationen leicht verfügbar bereithält.

Die wichtigsten verwendeten Quellen waren jedoch:

www.bores.com, wo eine sehr praktische und pädagogisch wertvolle Anleitung zum Bau digitaler Filter zu finden ist.

<http://www.kgw.tu-berlin.de/KW/Studio/ProTools/FM/> (Robin Schmidt) - eine kompakte und vollständige Abhandlung der FM-Synthese.

<http://home.btconnect.com/Corebounce/bericht/html/node13.html> - unter anderem hier können einige Informationen über die Granularsynthese eingeholt werden.