

Technik und Klangerzeugung Analoger Synthesizer

Inhaltsverzeichnis

1. Der analoge Signalpfad

- 1.1 Oszillator (VCO – Voltage Controlled Oscillator)
- 1.2 Filter (VCF – Voltage Controlled Filter)
- 1.3 Verstärker (VCA – Voltage Controlled Amplifier)
- 1.4 Ausgang (Output)
- 1.5 Charakteristik des analogen Signalpfads

2. Oszillatoren und Filter

- 2.1 Oszillatoren
- 2.2 VCO vs. DCO
- 2.3 Filter
- 2.4 Probleme bei Filtern
- 2.5 Mono, Poly, Unison

3. Modulation

- 3.1 Modulationsziele
- 3.2 Hüllkurven (Envelopes)
- 3.3 LFOs (Low Frequency Oscillators)

4. Sonderfunktionen

- 4.1 Arpeggiator
- 4.2 Step-Sequencer
- 4.3 Onboard-Effekte

5. Vergleich: Analoges Synthesizer vs. Wavetable-Synthese

- 5.1 DeepMind 12 - Analoges DCO-Synthesizer
- 5.2 Serum 2 - Digitaler Wavetable-Synthesizer
- 5.3 Fazit

6. Quellenverzeichnis

1. Der analoge Signalpfad

Die subtraktive Synthese ist ein zentrales Konzept in der analogen Klangsynthese und beruht auf dem Prinzip, ein harmonisch reiches Klangsignal zu erzeugen und anschließend durch verschiedene Stufen zu formen und zu reduzieren. Der klassische analoge Signalpfad besteht dabei aus mehreren hintereinandergeschalteten Modulen, die jeweils eine bestimmte Aufgabe übernehmen. Diese Struktur ist nicht nur funktional logisch aufgebaut, sondern spiegelt auch den Signalfluss innerhalb eines typischen analogen Synthesizers wider.

1.1 Oszillator (VCO – Voltage Controlled Oscillator)

Der Oszillator bildet den Ausgangspunkt des Signalpfads. Er erzeugt elektrische Schwingungen, die in akustische Signale umgewandelt werden können. Dabei stehen verschiedene Wellenformen zur Verfügung, etwa Sägezahn, Rechteck, Dreieck oder Sinus. Jede dieser Wellenformen besitzt ein charakteristisches Obertonspektrum, das entscheidend für den Klang ist. Der Oszillator arbeitet spannungsgesteuert, das heißt, seine Frequenz kann über eine Steuerspannung moduliert werden – zum Beispiel durch ein Keyboard oder einen LFO. Die Stabilität und Genauigkeit des VCOs ist dabei von zentraler Bedeutung für die Tonhöhe und die Stimmstabilität des gesamten Systems.

1.2 Filter (VCF – Voltage Controlled Filter)

Das vom Oszillator erzeugte Signal wird anschließend durch ein spannungsgesteuertes Filter geleitet. In der klassischen subtraktiven Synthese kommt meist ein Tiefpassfilter (Lowpass) zum Einsatz, das höhere Frequenzanteile abschneidet und so den Klang glättet oder „wärmer“ erscheinen lässt. Es sind jedoch auch andere Filtertypen möglich, etwa Hochpass-, Bandpass- oder Notch-Filter. Das Filter beeinflusst den Klangcharakter entscheidend und wird oft dynamisch über eine Hüllkurve (Envelope) oder LFO moduliert, um Bewegung und Lebendigkeit zu erzeugen. Die Steuerung des Cutoff-Frequenz und der Resonanz (Q-Faktor) ermöglicht es, bestimmte Frequenzbereiche gezielt zu betonen oder zu unterdrücken.

1.3 Verstärker (VCA – Voltage Controlled Amplifier)

Nach der Filterstufe gelangt das Signal zum spannungsgesteuerten Verstärker. Dieser regelt die Lautstärke des Signals über die Zeit. Die Steuerung erfolgt typischerweise durch eine ADSR-Hüllkurve (Attack, Decay, Sustain, Release), die definiert, wie sich der Klang beim Drücken und Loslassen einer Taste entfaltet. Der VCA sorgt somit für die dynamische Form des Klangs – ob ein Sound plötzlich einsetzt, langsam anschwillt oder langsam verklingt. Auch hier kann zusätzlich Modulation durch LFOs oder andere Quellen erfolgen, um rhythmische oder dynamische Effekte zu erzielen.

1.4 Ausgang (Output)

Am Ende des Signalpfads steht das bearbeitete und geformte Signal zur Verfügung, das anschließend an einen Audioausgang, ein Mischpult oder ein Aufnahmegerät weitergegeben wird. In analogen Synthesizern erfolgt die Ausgabe typischerweise als unsymmetrisches Line-Signal. Die Qualität des Ausgangssignals hängt nicht nur von der Summe der vorherigen Bearbeitungsschritte ab, sondern auch von der Bauweise der internen Elektronik, die Einfluss auf Verzerrungen, Rauschen und Dynamikverhalten nehmen kann.

1.5 Charakteristik des analogen Signalpfads

Ein analoger Signalpfad zeichnet sich durch seine kontinuierliche, spannungsgesteuerte Arbeitsweise aus. Anders als digitale Systeme arbeitet ein analoger Synthesizer ohne Abtastung oder Quantisierung, was zu einem oft als „natürlicher“ oder „organischer“ beschriebenen Klangbild führt. Die Signalverarbeitung geschieht in Echtzeit und unterliegt den physikalischen Eigenschaften der verwendeten Bauteile, wie Transistoren, Kondensatoren oder Operationsverstärkern. Dies kann zu leichten Unregelmäßigkeiten und Schwankungen führen, die vom menschlichen Ohr oft als musikalisch angenehm empfunden werden.

2. Oszillatoren & Filter

In der subtraktiven Synthese stellen Oszillatoren und Filter zentrale Elemente der Klangerzeugung und -formung dar. Sie beeinflussen maßgeblich den Grundcharakter eines Klangs und bilden damit das Fundament jeder Synthese-Architektur.

2.1 Oszillatoren

Der Oszillator ist die erste Klangquelle im Signalpfad. Er erzeugt eine elektrische Schwingung, also einen periodischen Spannungsverlauf, der später in hörbaren Schall umgewandelt wird. Diese Schwingung kann unterschiedliche Formen annehmen, wobei die jeweilige Wellenform einen entscheidenden Einfluss auf das Obertonspektrum und damit den Klangcharakter hat.

Typische Wellenformen sind:

- Sägezahn: Sehr obertonreich, aggressiv und breit klingend
- Rechteck / Pulswelle: Hohl klingend, je nach Pulsbreite sehr variabel.
- Dreieck: Weich und rund, eher obertonarm.
- Sinus: Enthält nur die Grundfrequenz.

2.2 VCO vs. DCO

In der analogen Synthesizertechnik unterscheidet man zwischen verschiedenen Arten von Oszillatoren:

VCO (Voltage Controlled Oscillator):

Ein vollständig analoger Oszillator, dessen Frequenz über eine Steuerspannung geregelt wird. VCOs sind klanglich sehr lebendig, da sie leichten Schwankungen (Drift) unterliegen, die zu einem organischen Klang führen. Ein Nachteil ist jedoch die mögliche Verstimmung bei Temperaturschwankungen oder im Langzeitbetrieb.

DCO (Digitally Controlled Oscillator):

Hierbei handelt es sich um analoge Oszillatoren, die jedoch digital getaktet werden. Das bedeutet: Die Klangerzeugung bleibt analog, aber die Tonhöhe wird durch ein digitales System stabilisiert. DCOs bieten dadurch eine höhere Stimmstabilität, ohne vollständig auf die analoge Klangcharakteristik zu verzichten.

Ein bekanntes Beispiel für frühe Synthesizer mit DCO-Technologie sind der Roland Juno-6 und Juno-60. Sie wurden als Kompromiss entwickelt, um den warmen Klang analoger Synths zu bewahren und gleichzeitig eine verbesserte Stimmstabilität zu gewährleisten. Der Juno-106, ein Nachfolger dieser Modelle, diente später als klangliches Vorbild für den DeepMind 12, der moderne DCO-Technik mit erweiterten Modulationsmöglichkeiten verbindet.

Vorteile von DCOs sind weniger Drift und damit höhere Stimmgenauigkeit. Außerdem ist kein manuelles Nachstimmen erforderlich. Dabei bleibt trotzdem ein warmer, analoger Grundsound erhalten.

2.3 Filter

Filter sind für die klangliche Formung zuständig. Sie arbeiten, indem sie bestimmte Frequenzanteile eines Signals abschwächen oder entfernen. In analogen Synthesizern kommen typischerweise Tiefpassfilter (Lowpass) und Hochpassfilter (Highpass) zum Einsatz. Die Filterung hat erheblichen Einfluss auf die Klangästhetik und wird häufig in Echtzeit über Hüllkurven oder LFOs moduliert.

Filter unterscheiden sich nicht nur im Typ, sondern auch im klanglichen Verhalten. Verschiedene Hersteller haben im Laufe der Zeit charakteristische Filterdesigns entwickelt:

- Moog Ladder Filter:
Bekannt für seinen warmen, leicht sättigenden Klang.
Besonders geeignet für volle Bässe und Leads.

- Roland IR3109 Filter:
Klingt im Vergleich neutraler und sauberer.
Wird oft für Flächen oder percussive Sounds eingesetzt.

- Korg MS-20 Filter:
Sehr aggressiv und durchsetzungsstark.
Eignet sich gut für experimentelle oder brachiale Sounds.

2.4 Probleme bei Filtern

Ein typisches Problem bei Lowpass-Filtern ist der Lautstärkeverlust bei höheren Noten, da bei hohen Cutoff-Einstellungen auch gewünschte Obertöne abgeschwächt werden. Dieses Problem kann durch Keytracking kompensiert werden, wobei die Cutoff-Frequenz abhängig von der gespielten Tonhöhe angepasst wird.

Ein weiteres Phänomen ist das Ausdünnen der Tiefen bei hoher Resonanz. Um dies zu vermeiden, bieten viele Synthesizer eine Bass-Boost-Funktion, mit der die tiefen Frequenzen trotz starker Resonanz erhalten bleiben.

2.5 Mono, Poly, Unison

Die Architektur eines Synthesizers bestimmt, wie viele Töne gleichzeitig gespielt werden können:

Monophon (Mono):

Nur eine Stimme zur gleichen Zeit spielbar. Häufig eingesetzt für Leads oder Basslinien.

Polyphon (Poly):

Mehrere Stimmen gleichzeitig möglich. Ideal für Akkorde, Pads oder komplexe Texturen.

Unison-Modus:

Mehrere Stimmen werden pro gedrückter Taste abgespielt. Durch leichtes Verstimmen der einzelnen Stimmen gegeneinander entsteht ein besonders dichter, breiter Klang, der sich vor allem in modernen Produktionen großer Beliebtheit erfreut.

3. Modulation

Modulation ist ein zentrales Element in der Klangsynthese und beschreibt die dynamische Veränderung von Klangparametern über die Zeit. Sie verleiht einem Sound Bewegung, Ausdruck und Variation – sei es durch rhythmische Schwankungen, subtile Filterverläufe oder komplexe klangliche Entwicklungen. Die wichtigsten Modulationsquellen in analogen und hybriden Synthesizern sind Hüllkurven (Envelopes) und LFOs (Low Frequency Oscillators).

3.1 Modulationsziele

Die Zuordnung von Modulationsquellen zu Modulationszielen erfolgt häufig über eine sogenannte Modulationsmatrix. Diese erlaubt eine flexible Verbindung verschiedener Signalquellen mit beliebigen Zielparametern, oft mit einstellbarer Intensität.

Typische Parameter, die moduliert werden können, sind unter anderem:

- Pitch (Tonhöhe): z. B. Vibrato oder Tonhöhenverläufe
- Lautstärke: z. B. Lautstärkeverläufe bei Notenanschlag
- Filterfrequenz (Cutoff): z. B. Filter-Sweeps oder rhythmische Bewegungen
- Panorama (Pan): z. B. Bewegung im Stereobild

3.2 Hüllkurven (Envelopes)

Hüllkurven modulieren einen Parameter abhängig vom Verlauf über die Zeit.

Sie bestehen aus vier Phasen:

- Attack (A): Zeit, bis der maximale Wert erreicht wird
- Decay (D): Zeit, in der der Wert nach dem Attack auf den Sustain-Level absinkt
- Sustain (S): Pegel, der gehalten wird, solange die Taste gedrückt ist
- Release (R): Zeit, die der Wert braucht, um nach Loslassen der Taste auf Null zu sinken

Envelopes werden in der Regel bei jedem Notenanschlag neu getriggert, also gestartet. Je nach Synthesizer ist es möglich, dieses Verhalten zu beeinflussen – etwa durch „Legato“-Modi, bei denen die Hüllkurve nicht erneut ausgelöst wird, solange eine vorherige Note noch gehalten wird.

3.3 LFOs (Low Frequency Oscillators)

Ein LFO erzeugt eine niedrigfrequente Schwingung, die typischerweise im Bereich von ca. 0,01 bis 20 Hz liegt – also deutlich unterhalb des hörbaren Bereichs. Diese Schwingung kann genutzt werden, um Parameter periodisch zu modulieren. Die Form der Schwingung bestimmt dabei den Modulationsverlauf.

Typische LFO-Wellenformen sind Sinus (Weiche, gleichmäßige Bewegung), Sägezahn (Linearer Anstieg mit plötzlichem Abfall), Rechteck (Schnelle Umschaltung zwischen zwei Werten) sowie Random / Sample & Hold (Zufällige Sprünge)

Ein LFO kann zeitbasiert oder tempo-synchron (BPM-basiert) arbeiten. Letzteres ist besonders nützlich für rhythmisch getaktete Modulationen, z. B. Filterbewegungen im 1/8- oder 1/4-Takt.

Anwendungsbeispiele:

- Vibrato (Modulation der Tonhöhe)
- Tremolo (Modulation der Lautstärke)
- Wobble- oder Sweep-Effekte (Modulation der Filterfrequenz)

4. Sonderfunktionen

Neben den grundlegenden Elementen wie Oszillator, Filter, Verstärker und Modulation verfügen viele moderne analoge und hybride Synthesizer über erweiterte Funktionen, die sowohl die Kreativität als auch die Performance-Möglichkeiten deutlich erweitern. Zu diesen zählen unter anderem Arpeggiatoren, Step-Sequencer sowie Onboard-Effekte.

4.1 Arpeggiator

Ein Arpeggiator wandelt gehaltene Akkorde oder einzelne Noten in rhythmische Muster um, indem die Töne nacheinander und automatisch nach einer definierten Reihenfolge abgespielt werden. Die grundlegende Idee geht auf klassische Arpeggien zurück, wird jedoch durch zahlreiche technische Optionen erweitert.

Typische Arpeggiator-Modi sind

- Up: Noten werden aufsteigend abgespielt
- Down: Noten werden absteigend abgespielt
- UpDown: Auf- und absteigend im Wechsel
- Random: Zufällige Reihenfolge der gehaltenen Noten
- Order: Spielreihenfolge wird beibehalten

Oft lassen sich zusätzliche Parameter einstellen, die das Verhalten des Arpeggiators beeinflussen. Mit dem Gate kann die Notenlänge im Verhältnis zum Gesamtzeitwert bestimmt werden. Kürzere Gates führen zu staccatoartigen Patterns, längere zu fließenderen Bewegungen.

Swing verschiebt bestimmte Noten im Timing leicht nach hinten, um einen „geschaukelten“ Rhythmus zu erzeugen.

Mit der Octave Range können Arpeggien in mehreren Oktaven wiederholt werden, wodurch komplexere und voluminösere Patterns entstehen.

4.2 Step-Sequencer

Ein Step-Sequencer ermöglicht die programmierte Abfolge von Schritten, die jeweils bestimmte Parameterwerte enthalten können. Anders als beim Arpeggiator werden hier die Werte nicht automatisch aus gehaltenen Noten abgeleitet, sondern Schritt für Schritt manuell programmiert.

Mögliche Anwendungen sind das Abspielen vorgegebener Tonfolgen oder die Modulation von Filterfrequenz, Tonhöhe, Lautstärke, Panning und Effekten pro Step im Gegensatz zu durchgängiger Modulation mit einem LFO.

Viele Step-Sequencer ermöglichen polyphone Programmierung, das heißt, pro Schritt können mehrere Töne und/oder Modulationen definiert werden. Einige Systeme erlauben auch die Integration von Zufallswerten oder probabilistischen Abfolgen, um Variationen zu erzeugen. Der Einsatz eines Step-Sequencers erweitert den Synthesizer um eine rhythmisch kontrollierbare Modulationsquelle und eignet sich hervorragend für Pattern-basierte Musikstile wie Techno, Electro oder Ambient.

4.3 Onboard-Effekte

Moderne Synthesizer verfügen oft über integrierte Effekte, die direkt im Signalpfad oder am Ende der Kette eingebunden sind. Diese Effekte ermöglichen eine zusätzliche klangliche Veredelung, ohne dass externe Effektgeräte benötigt werden. Häufig sind dies Effekte wie Chorus, Reverb, Phaser oder Delays.

Diese Effekte sind in Echtzeit steuerbar und lassen sich in Modulationsroutings integrieren, z. B. durch Steuerung der Effektintensität über einen LFO oder eine Hüllkurve. Der große Vorteil liegt in der sofortigen Verfügbarkeit und der engen Verzahnung mit der Synth-Engine.

5. Vergleich: Analoger Synthesizer vs. Wavetable-Synthese

Synthesizer lassen sich nicht nur anhand ihrer Bauweise, sondern vor allem durch die Art ihrer Klangerzeugung unterscheiden. Zwei prominente Ansätze sind die analoge subtraktive Synthese, wie sie beim Behringer DeepMind 12 zum Einsatz kommt, und die digitale Wavetable-Synthese, wie sie von Xfer Serum 2 umgesetzt wird. Beide Systeme haben jeweils spezifische Stärken und klangliche Eigenschaften, die sie für unterschiedliche musikalische Anwendungen prädestinieren.

5.1 DeepMind 12 – Analoger DCO-Synthesizer

Der DeepMind 12 ist ein polyphoner Synthesizer mit 12 Stimmen, der auf analoger subtraktiver Synthese basiert. Die Klangerzeugung erfolgt durch digitally controlled oscillators (DCOs), welche den klassischen analogen Sound liefern, jedoch durch digitale Taktung stimmstabil sind.

5.2 Serum 2 – Digitaler Wavetable-Synthesizer

Serum 2 ist ein Software-Synthesizer, der auf Wavetable-Synthese basiert. Dabei werden gespeicherte Wellenformen („Wavetables“) abgespielt und können in Echtzeit morphend verändert werden. Das erlaubt extrem detaillierte und komplexe Klangverläufe, die mit klassisch-analogen Systemen nicht realisierbar sind.

5.3 Fazit

Beide Systeme bieten große kreative Möglichkeiten, jedoch mit unterschiedlichen klanglichen Schwerpunkten. Der DeepMind 12 richtet sich an Nutzer, die einen organischen, warmen Sound mit direktem Zugang zu klassischen Parametern suchen. Serum 2 hingegen ist ein Werkzeug für präzises, digitales Sounddesign mit nahezu unbegrenzter klanglicher Flexibilität. Die Entscheidung zwischen analoger und digitaler Synthese ist letztlich eine Frage des gewünschten Klangziels und der individuellen Arbeitsweise. In der Praxis ergänzen sich beide Systeme hervorragend – analoge Wärme und digitale Präzision sind keine Gegensätze, sondern Werkzeuge mit unterschiedlichen Stärken.

6. Quellenverzeichnis

Arts & Culture. *Raymond Scott's early work in electronic music.*

<https://artsandculture.google.com/story/raymond-scott-s-early-work-in-electronic-music/hAWBcZ37KBNQcA>

Behringer. *DeepMind 12 – Produktbeschreibung.*

<https://www.behringer.com/product.html?modelCode=0722-AAA>

Electric Druid. *Roland Juno DCOs – Digital Controlled but true analogue output.*

<https://electricdruid.net/roland-juno-dcos/>

Flowers, T. *The design of the Roland Juno oscillators.*

<https://blog.thea.codes/the-design-of-the-juno-dco/>

MusicRadar. *Xfer Serum 2 review – A copy of Serum might be the smartest investment any budding producer makes.*

<https://www.musicradar.com/music-tech/plugins/a-copy-of-serum-might-be-the-smartest-investment-any-budding-producer-makes-xfer-serum-2-review>

North Coast Synthesis. *Modular synthesis intro, part 7: The Moog ladder filter.*

<https://northcoastsynthesis.com/news/modular-synthesis-intro-part-7-the-moog-ladder-filter/>

Sound On Sound. *The story of the BBC Radiophonic Workshop.*

<https://www.soundonsound.com/people/story-bbc-radiophonic-workshop>

Wikipedia (Deutsch). *FM-Synthese.*

<https://de.wikipedia.org/wiki/FM-Synthese>

Wikipedia (Deutsch). *Roland Juno-60.*

https://de.wikipedia.org/wiki/Roland_Juno-60

Wikipedia (Deutsch). *Synthesizer.*

<https://de.wikipedia.org/wiki/Synthesizer>

Wikipedia (Englisch). *Digitally controlled oscillator.*

https://en.wikipedia.org/wiki/Digitally_controlled_oscillator

Wikipedia (Englisch). *Synthesizer.*

<https://en.wikipedia.org/wiki/Synthesizer>

Wikipedia (Englisch). *Wavetable synthesis.*

https://en.wikipedia.org/wiki/Wavetable_synthesis

Xfer Records. *Serum 2 – Advanced Hybrid Synthesizer.*

<https://xferrecords.com/products/serum-2>

Hinweis zur KI Nutzung:

Bei der Erstellung dieser Seminararbeit wurde Künstliche Intelligenz ausschließlich zur sprachlichen Überarbeitung und zur Verbesserung der Formulierungen einzelner Passagen genutzt. Die inhaltliche Ausarbeitung wurde vollständig eigenständig erarbeitet.