



ELBPILHARMONIE  
HAMBURG

**ELBPILHARMONIE** INSTRUMENTENWELT

---

WORKSHOP  
»KREATIV MODULAR  
SYNTHESIZER«

---

---

---

**UNTERRICHTSMATERIAL**

---

FÜR KLASSEN 7-13



# **ELBPILHARMONIE** INSTRUMENTENWELT

WORKSHOP »KREATIV MODULAR SYNTHESIZER«

Unterrichtsmaterial für Klassen 7–13

## **Allgemeiner Hinweis**

Die folgenden Inhalte und Übungen haben das Ziel, die Schülerinnen und Schüler auf den Kurs in der Elbphilharmonie einzustimmen. Das Material beinhaltet dazu verschiedene Anregungen für die Vorbereitung sowie weiterführende Ideen, die auch nach dem Besuch wieder aufgenommen werden können.

Der umfangreiche Text ist nicht als ein durchgeplanter Unterrichtsverlauf zu verstehen; Lehrerinnen und Lehrer sollen vielmehr eigenverantwortlich entscheiden, welche Themen für die jeweilige Lerngruppe geeignet sind. Es soll auch dazu anregen, Themen fächerübergreifend im Physikunterricht zu vertiefen.

Die Vorbereitung kann dazu beitragen, die Schülerinnen und Schüler für grundlegende musikalische und physikalische Fragen zu sensibilisieren und das Verständnis und die Neugierde für den Modular Synthesizer Workshop zu steigern.

## **Kurzbeschreibung des Workshops**

In diesem Workshop lernen Schülerinnen und Schüler, auch ohne Vorkenntnisse, wie elektronische Musik entsteht und wie mit elektronischen Musikinstrumenten und ihren unterschiedlichen Klangeigenschaften gemeinsam im Ensemble musiziert werden kann.

Mit dem entstandenen Klangmaterial der 12 unterschiedlichen Modular Synthesizer wird gemeinsam experimentiert, improvisiert und komponiert.

Der Workshop dauert 4 Stunden und 15 Minuten inkl. Pause und Hausführung und wird in den Elbphilharmonie Kaistudios durchgeführt. Der Zugang zum Kaistudio-Foyer mit Aufenthaltsmöglichkeit ist eine halbe Stunde vor Veranstaltungsbeginn möglich.

In Kooperation mit



## **Impressum**

**Herausgeber:** HamburgMusik gGmbH | **Geschäftsführung:** Christoph Lieben-Seutter, Jochen Margedant

**Redaktion:** Benjamin Holzapfel | **Autoren:** Gammon, Jonas Danielowski

**Gestaltung und Satz:** breeder typo – alatur, musialczyk, reitemeyer



## INHALT

EINFÜHRUNG .....	Seite	4
KURZGESCHICHTE DES MODULAR SYNTHESIZERS .....	Seite	9
PHYSIK UND MUSIK .....	Seite	11
MODULAR SYNTHESIZER IM COMPUTER: VCV RACK .....	Seite	15
ADSR Envelope .....	Seite	15
Filter .....	Seite	17
Oszillatorsteuerung .....	Seite	18
Oszillator-Wellenformen .....	Seite	20
1. Wellenformen VCO-1 .....	Seite	21
2. Pulsbreitenmodulation .....	Seite	21
3. Wellenformen VCO-2 .....	Seite	21
4. Frequenzmodulation .....	Seite	21
5. Hard/Soft Sync .....	Seite	22

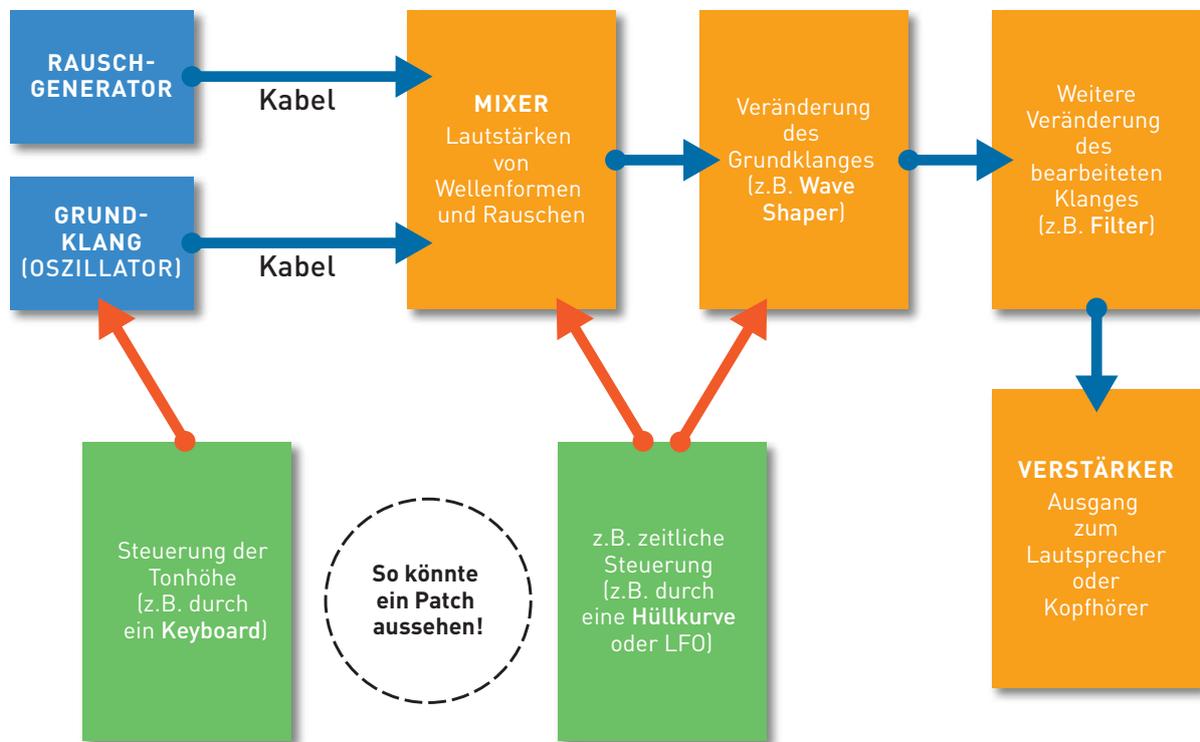


## EINFÜHRUNG

Ein modularer Synthesizer wirkt auf den ersten Blick vielleicht überwältigend kompliziert mit seinen vielen Drehknöpfen, Schaltern, Buchsen und Kabeln. Dabei ist die grundlegende Funktionsweise gar nicht schwer zu verstehen. Was du vor dir hast, ist ein elektronisches Musikinstrument, das aus vielen einzelnen Bausteinen besteht, die du ganz frei miteinander kombinieren kannst. Das macht es zu einem der klanglich flexibelsten Musikinstrumente überhaupt. Du kannst damit Klänge formen und sie auf verschiedene Arten spielen oder automatisch spielen lassen. Und du kannst jedes Detail jederzeit verändern. Das macht den modularen Synthesizer zu einem Spielplatz kreativer Ideen.

### FUNKTIONSWEISE DES MODULAR SYNTHESIZERS

Mit einem modularen Synthesizer kannst du eine riesige Vielfalt unterschiedlicher Klänge gestalten und spielen. Die einzelnen Module sind im Grunde Bausteine für bestimmte Funktionen, die du mit Kabeln verbindest und so viele unterschiedliche Modul-Ketten bilden kannst, die jeweils ganz unterschiedliche Klangergebnisse produzieren können. Am Anfang einer solchen Kette befindet sich meistens ein Modul, das einen Grundklang als Dauerton erzeugt – das ist das »Ausgangsmaterial«, das du dann mit weiteren Modulen in der Kette dahinter verändern kannst. Und dann gibt es viele Module, die zur Steuerung dieser Veränderungen eingesetzt werden. Wie diese verschiedenen Module miteinander interagieren können, kannst du über die Links in dem Infokasten ausprobieren!



Man kann **drei verschiedene Typen** von Modulen unterscheiden:

- Module, die (Grund-)**Klänge erzeugen**:
  - Verschiedene Grundklänge, sogenannte Wellenformen (Sinus-, Dreieck-, Sägezahn- und Pulswelle) werden mit einem Oszillator produziert (»oszillieren« bedeutet »schwingen«, ein **Oszillator** ist also ein elektronischer Schwingungserzeuger). Hier kann auch die Tonhöhe eingestellt, gespielt oder von anderen Modulen gesteuert werden.
  - Außerdem gibt es auch noch das **Rauschgenerator**-Modul, der Klanganteile für die Klanggestaltung liefert.
- Module, mit denen man **die Grundklänge verändern** kann:
  - Mit einem **Filter**-Modul verändert man die Klangfarbe des Grundklangs, indem man Klanganteile entfernt.
  - Mit einem **Wave Shaper**-Modul kann man dem Grundklang wiederum Klanganteile hinzufügen.
  - Andere Beispiele sind Mixer, Ringmodulator, Frequency Divider, Frequency Shifter, Phase Shifter, Low Pass Gate uvm.
- Module, die über CV- oder Gate-Signale **andere Module steuern** können:
  - Eine **Klavatur** für modulare Synthesizer erzeugt Steuerspannungen, die den Tonhöhen in der (chromatischen) Tonleiter entsprechen.
  - Mit einem **Sequencer** lässt sich eine Abfolge von einstellbaren (CV-) Spannungswerten (z.B. Tonhöhen) und rhythmischen Impulsen (Gate) in einzelnen Schritten generieren und kontinuierlich wiederholen. Auf diese Art und Weise können Melodien und Rhythmen gestaltet werden.



- Ein **Hüllkurven**-Modul kann zum Beispiel den zeitlichen Verlauf (langer/kurzer Ton) über eine Steuerspannung im Verstärker steuern. Oder die Tonhöhe an einem Oszillator.
- Mit einem **LFO** (Low Frequency Oscillator = Niedrigfrequenzoszillator zur Erzeugung tiefer und damit auch langsamer Schwingungen) kannst du mit einer Steuerspannung z.B. kontinuierlich die Lautstärke verändern oder die Tonhöhe auf und ab bewegen lassen. Das funktioniert so, als ob du ganz regelmäßig den Lautstärkereger auf- und zudrehst. Man nennt das eine Modulation.
- Ein **Random**-Modul funktioniert ähnlich wie der LFO, aber es erzeugt Zufallsspannungen.
- Andere Beispiele sind: Clock Generator, Envelope Follower, Slew Limiter, Quantizer

Mit den Patch-Kabeln schickst du **zwei Arten** von Signalen vom Ausgang eines Moduls zum Eingang eines anderen:

- **Audiosignale** transportieren sozusagen den Klang, den man am Ende der Kette über einen Lautsprecher oder Kopfhörer hören kann - so wie man z.B. einen Plattenspieler mit einem Kabel an die Stereoanlage anschließt und die Schallplatte nur dann hören kann, wenn die Stereoanlage auch mit den Boxen verkabelt ist.
- **Steuersignale** erlauben es, dass ein Modul ein anderes steuern kann:
  - **CV-Signale** (Control Voltage = Steuerspannung) verändern kontinuierlich eine Funktion eines Moduls, z.B. die Lautstärke, Tonhöhe oder Klangfarbe. Man kann es sich wie einen Lautstärkereger oder einen Dimmer vorstellen. Oft ist ein Drehknopf vorhanden, mit dem ein bestimmter Wert eingestellt werden kann, aber bei vielen Modulen können mehrere Parameter eingestellt werden, die dann sehr detailliert einen kontinuierlichen Steuerspannungsverlauf erzeugen.
  - **Gate-Signale** sind nicht kontinuierlich, man kann sie sich eher wie einen An-/Aus-Schalter vorstellen. Sie transportieren die zeitlichen Informationen. Also beispielsweise wann etwas an- und ausgeschaltet wird. In der Musik wäre das konkret zum Beispiel wann und wie lange ein Ton klingt.
  - **Trigger-Signale** sind dagegen sehr kurze Impulse, die dazu dienen, Ereignissen einen genauen zeitlichen Startpunkt zu geben, so wie die Klappe bei Filmaufnahmen. Sie schalten etwas anderes nur ein, aber nicht aus.
  - **Clock-Signale** sind wie ein Metronom. In gleichmäßigen Zeitabständen wiederholen sich Gate-Signale, mit denen man das Tempo von musikalischen Abläufen bestimmen kann.

### ■ Übungsaufgabe 1: Lautstärke, Tonhöhe und Klangfarbe

Bei jedem musikalischen Klang lassen sich die Lautstärke, die Tonhöhe und die Klangfarbe verändern. Finde heraus, wie das bei akustischen Musikinstrumenten funktioniert:

- Wie kann man bei einer Trommel lauter oder leiser spielen?  
(Mit mehr oder weniger Kraft spielen)
- Wie kann man bei einer Flöte höhere und tiefere Töne spielen?  
(Löcher oder Klappen öffnen oder schließen)
- Wie kann man bei einer Gitarre die Klangfarbe verändern?  
(Zupfposition verändern: mehr am Ende der Saite oder mehr in der Mitte)



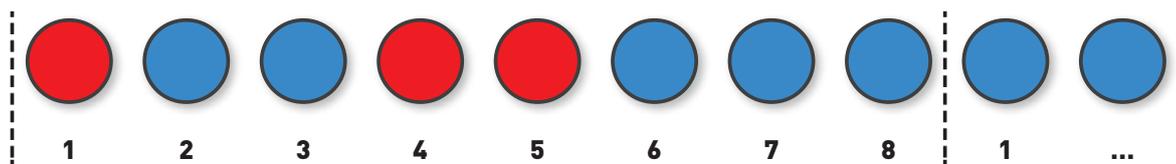
## ■ Übungsaufgabe 2: Human Step Sequencer

Der Step Sequencer wird zur Steuerung von Synthesizern verwendet. Damit können ganz einfach sich in Schleife wiederholende Melodien und Rhythmen erzeugt werden («Loops»). Der Step Sequencer durchläuft meistens acht oder sechzehn Schritte. Jeder Schritt kann als Noten- oder Pausenwert betrachtet werden und sendet je nach Einstellung die entsprechende Steuerungsspannung an die jeweiligen Module (die Tonhöhe zum Oszillator, die Tondauer zur Hüllkurve).

Wir benötigen:

- Ein Metronom, als gemeinsames Metrum für die einzelnen Schritte
- Jede Art von Klangerzeugern: Händeklatschen, Boomwhackers, Klangstäbe, Glockenspiele, Perkussionsinstrumente oder Ähnliches

Es wird eine Reihe mit acht Personen gebildet, z.B. als Sitzreihe oder im Kreis. Diese acht Personen repräsentieren die acht Schritte des Sequenzers. Jede Person hat ein Instrument in den Händen. Eine Zahlenreihe wird definiert: Es spielen z.B. nur die Schritte 1, 4 und 5, auf allen anderen Schritten ist eine Pause:



Das Metronom wird eingeschaltet und es wird eingezählt. Die Personen 1, 4 und 5 spielen einen Ton, wenn ihre Achtelnote an der Reihe ist. Nach der achten Person ist wieder die erste an der Reihe.

Nun können immer neue Schrittkombinationen ausprobiert werden. Damit immer möglichst viele Teilnehmende mitmachen können, kann für die Pausenschritte auch ein leerer Stuhl als Platzhalter dienen.

Die Übung kann folgendermaßen variiert werden:

- Weitere Reihen können hinzugefügt und mit verschiedenen Rhythmen parallel gespielt werden. Diese können beispielsweise mit verschiedenen Instrumentengruppen bestückt werden (eine Reihe mit Klangstäben, eine Reihe mit Perkussionsinstrumenten usw.).
- Es können auch unterschiedliche Geschwindigkeiten für die einzelnen Reihen zugeordnet werden: Das Metronom gibt die Achtelnoten vor, eine Reihe spielt nur auf jedem zweiten Schlag (entspricht Viertelnoten) und eine weitere Reihe spielt zwei Noten pro Schlag (entspricht Sechzehntelnoten).
- Die Anzahl der Schritte pro Reihe kann verändert werden. Durch ungerade Reihen entstehen sich verändernde Rhythmen: Eine Achter-Reihe spielt parallel zu einer Fünfer-Reihe und einer Dreier-Reihe.
- Nach der Wiederholung einer Zahlenreihe rückt die Schrittfolge um einen Platz weiter: aus 1, 4, 5 wird 2, 5, 6 usw.



## WEBLINKS



- Wellenformen (Sinus-, Dreieck-, Sägezahn- und Pulswelle)



- Lautstärke mit LFO verändern



- Tonhöhe einstellen



- Tonhöhe mit LFO verändern



- Tonhöhe spielen



- Modulation



- Tonhöhe durch andere Module steuern



- Sequenzer steuert eine Melodie



- Klangfarbe des Grundklangs verändern



- Sequenzer steuert einen Rhythmus



- Klanganteile entfernen



- Lautstärke steuern



- Zeitlichen Verlauf steuern



- Tonhöhe steuern



- Tonhöhe steuern



- Klangfarbe steuern



## **KURZGESCHICHTE DES MODULAR SYNTHEISERS**

---

### PHASE 1: DIE ERSTEN ELEKTRONISCHEN MUSIKINSTRUMENTE ENTSTEHEN

Die Industrialisierung und der damit einhergehende technologische Fortschritt brachte ab der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts Erfindungen wie die Telegrafie, die Glühbirne oder die Vakuumröhre hervor. Um 1900 entstanden die ersten elektronischen Musikinstrumente. Das waren zu dieser Zeit völlig neue Erfindungen, mit denen die Möglichkeiten der elektronischen Klang-erzeugung und -gestaltung erstmals erforscht wurden. Einzelne dieser Instrumente, wie etwa das Theremin, wurden aufgrund ihrer Neu- und Eigenartigkeit berühmt, viele andere wurden jedoch mehr als Kuriositäten betrachtet. In den frühen elektronischen Musikinstrumenten finden sich bereits viele Funktionen, die bis heute in Synthesizern verwendet werden.

### PHASE 2: AUS EXPERIMENTEN WIRD POPKULTUR

In den 50er-Jahren wurden an Universitäten und in Rundfunkstudios Klanglabore für elektronische Musik gegründet, in denen experimentelle Kompositionen der Neuen Musik entstanden. 1960 wurde von Harald Bode erstmals ein spannungsgesteuerter modularer Synthesizer entwickelt. Dieses Konzept wurde von Robert Moog und Don Buchla zeitgleich und unabhängig voneinander weiterentwickelt. Und die Musik, die auf Moogs und Buchlas Instrumenten entstand, wie z.B. Morton Subotnicks »Silver Apples Of The Moon« (1967) oder Wendy Carlos' »Switched on Bach« (1968), waren Meilensteine der Elektronischen Musik, die Synthesizer-Klänge so populär machten, dass sie mehr und mehr auch in Pop- und Filmmusik eingesetzt wurden.

### PHASE 3: KEYBOARDS VERDRÄNGEN MODULARE SYNTHEISER

Ab den 1970er-Jahren etablierten sich Synthesizer als Keyboard-Instrumente, weil sie leichter zu transportieren und zu bedienen waren und dadurch besser einsetzbar wurden. Modulare Synthesizer gerieten besonders ab den 1980er-Jahren in Vergessenheit, als analoge Keyboard-Synthesizer über Funktionen wie speicherbare Einstellungen verfügten und dann von digitalen Synthesizern verdrängt wurden.

### PHASE 4: WIEDERENTDECKUNG UND WEITERENTWICKLUNG

Ab Mitte der 1990er-Jahre kam es durch die Entwicklung des Eurorack-Standards durch Dieter Doepfer zur Renaissance des modularen Synthesizer, die bis heute andauert. Seit den 2000er-Jahren hat sich auch die Musiktechnologie immer mehr in den Computer verlagert, so dass Synthesizer allgemein und auch modulare Synthesizer als virtuelle Software-Instrumente entwickelt wurden. In Hardware, also eigenständigen Geräten wie Keyboards oder Synthesizer-Modulen, arbeiten heutzutage sehr oft Microcontroller (Ein-Chip-Computer), die die Digitalität mit modularen Synthesizern verbindet.

Der RCA Mark II Synthesizer



**1950**

Vorläufer modularer Synthesizer sind in Rundfunkstudios und Universitäten als Experimentalgeräte für Neue Musik in Gebrauch.

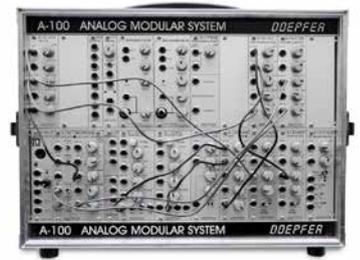
Robert Moog mit seinem Modular System und dem Minimoog



**1970**

Der Minimoog erscheint als erster kostengünstiger Synthesizer. Hersteller in den USA, Japan und Europa entwickeln ähnliche Instrumente.

Ein Doepfer A-100 Eurorack Modular Synthesizer



**1996** erscheint der Eurorack Modular Synthesizer von Dieter Doepfer. Dadurch werden modulare Synthesizer wiederentdeckt. Eurorack entwickelt sich zum Standard etlicher kleiner Hersteller, die ab 2000 weltweit immer mehr zunehmen.

Das Telharmonium von Thaddeus Cahill (1906)



**Ab ca. 1900**

Die ersten elektronischen Musikinstrumente entstehen.

**1960**

Robert Moog und Don Buchla entwickeln parallel die ersten Modular Synthesizer. 1968 erscheint Wendy Carlos' »Switched On Bach« und macht den Moog Modular Synthesizer berühmt.

In den **70er-** und **80er-**Jahren etablieren sich nicht-modulare Keyboard-Synthesizer in vielen Stilen populärer Musik und prägen die Musik in Film und Fernsehen. Modulare Synthesizer sind Dinosaurier der Vergangenheit.



Rückseite von Herbie Hancocks Sunlight EP

Digitale Revolution ab 2000:

- Modulare Synthesizer entstehen als virtuelle Software-Instrumente.
- Etliche digitale Module mit Microcontrollern entstehen, modulare Synthesizer sind nicht mehr nur rein analoge Elektronik.



Der virtuelle Modular Synthesizer VCV Rac

In der ersten **Hälfte des 20. Jahrhunderts** werden sie meist eher als Kuriositäten betrachtet.



Alexandra Stepanoff spielt ein Theremin [1930]



Wendy Carlos und der Moog Modular



## PHYSIK UND MUSIK

Alle Musikinstrumente sind im Grunde Apparaturen zum Erzeugen von Schwingungen, die wir als Schallwellen hören und als musikalische Klänge empfinden können.

Akustische Musikinstrumente erzeugen Schallwellen auf mechanische Weise: Gespannte Saiten oder Membrane bei Schlaginstrumenten werden durch Streichen, Zupfen, Reiben oder Schlagen zum Schwingen angeregt. Bei anderen Instrumenten kann der ganze Körper klingen, z.B. bei der Triangel oder dem Gong. Bei Blasinstrumenten wiederum wird die Luft im Instrument zum Schwingen gebracht.

Elektronische Musikinstrumente können diese mechanischen Vorgänge imitieren, indem sie vielfältig veränderbare Wechselspannungen erzeugen, die man über einen Lautsprecher hörbar machen kann.

### WELLENFORMEN UND FREQUENZEN

Schallwellen, insbesondere solche, die von Musikinstrumenten erzeugt werden, können sehr komplex sein: Sie unterscheiden sich nicht nur durch ihre Lautstärken (Amplituden) und Tonhöhen (Frequenzen), sondern vor allem durch ihre Wellenformen. Die Klänge von akustischen Musikinstrumenten enthalten ein Gemisch vieler Frequenzen gleichzeitig (Grundton und Obertöne), auch wenn man nur einen Ton spielt. Dieses Frequenzgemisch und die Formen oder Verläufe der einzelnen Teilfrequenzen bilden die Klangfarbe eines Instrumentenklangs. Dadurch können wir verschiedene Musikinstrumente voneinander unterscheiden.

In diesem Spektrogramm kannst du verschiedene Klänge vergleichen:

- Von rechts nach links vergeht die Zeit – alles, was rechts zu sehen ist, ist später als alles links davon passiert.
- Von unten nach oben verläuft das Frequenzspektrum: Unten sind die tiefen Töne und je weiter es hochgeht, desto höher ist die Frequenz.
- Die Farben zeigen die Lautstärken: Rot sind die lautesten Klanganteile und über gelb, grün, blau und lila wird es immer leiser.

### ■ Aufgaben

- Probiere das Spektrogramm mit dem Hand-Symbol aus und finde heraus, wie du die Tonhöhe und Tondauer verändern kannst. (Die Lautstärke verändert sich hier nicht.)
- Vergleiche das Klangspektrum vom Pfeifen (Kopf-Symbol) mit dem der Posaune (Posaunen-Symbol) und beschreibe den Unterschied.
- Ganz links ist ein Mikrofon-Symbol, damit kannst du deine Stimme mit dem Spektrogramm analysieren. Vergleiche deine Stimme mit der einer anderen Person (versucht abwechselnd, dieselbe Tonhöhe zu singen). Jede Stimme klingt anders!



## EINE SCHALLWELLE IN STROM VERWANDELN – UND WIEDER ZURÜCK

Man kann Schallwellen in Strom verwandeln und umgekehrt:

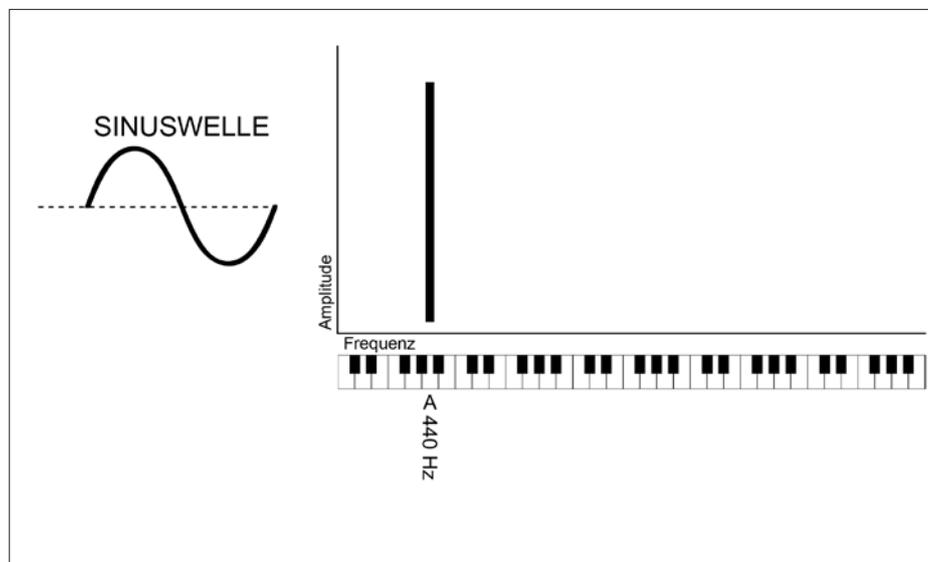
- Ein Mikrofon wandelt die Schallwellen in der Luft, die auf die kleine, mitschwingende Membran in der Mikrofonkapsel treffen, in eine elektrische Schwingung: Diese Wechselspannung entspricht der Wellenform der ursprünglichen Schallwelle und kann nun elektronisch verändert, also z.B. verstärkt werden.
- Ein Lautsprecher wiederum wandelt über seine Lautsprechermembran eine solche Wechselspannung wieder zurück in eine in der Luft schwingende und damit hörbare Schallwelle.

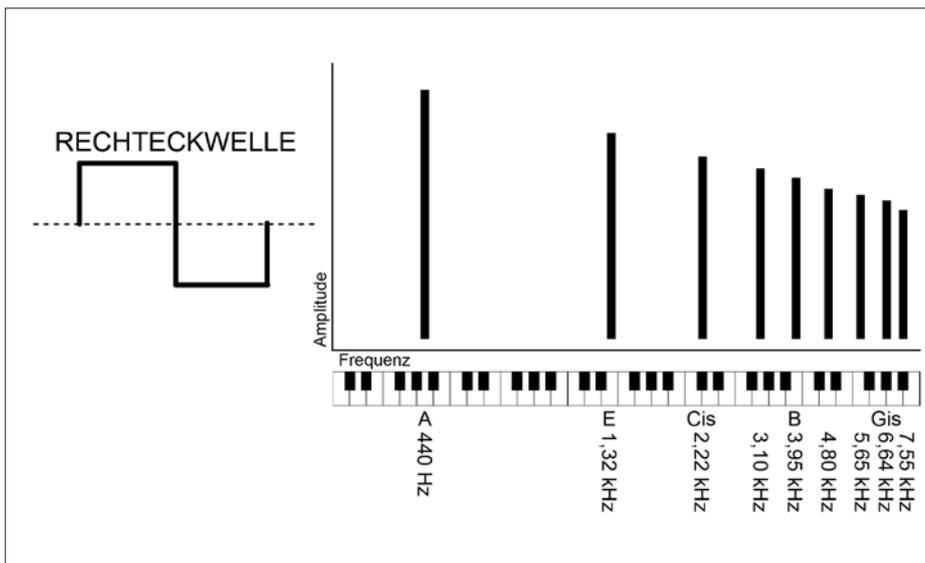
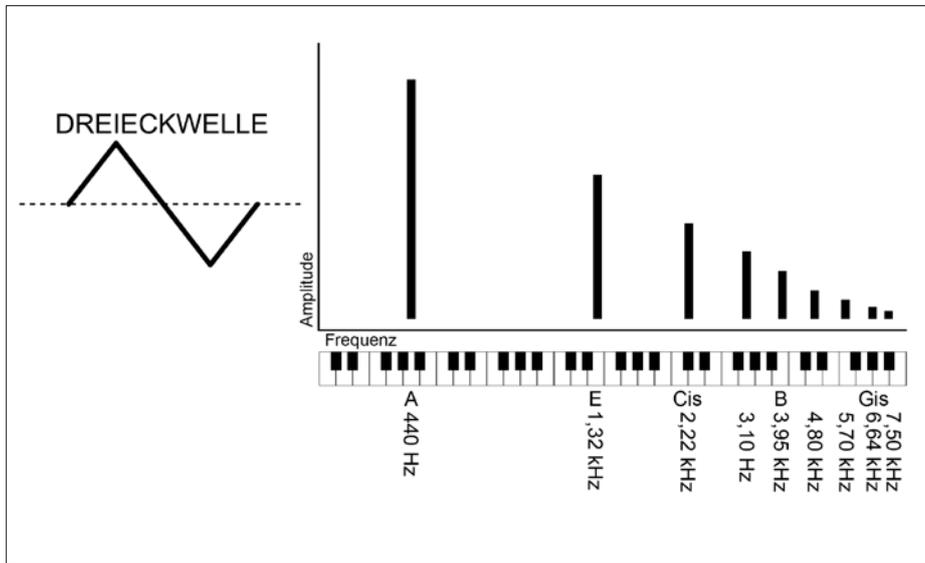
Nur dadurch sind wir in der Lage, Musik und andere akustische Ereignisse aufzunehmen, auf einem Tonträger zu speichern und jederzeit wieder abspielen zu können.

## ELEKTRONISCHE KLANGERZEUGUNG

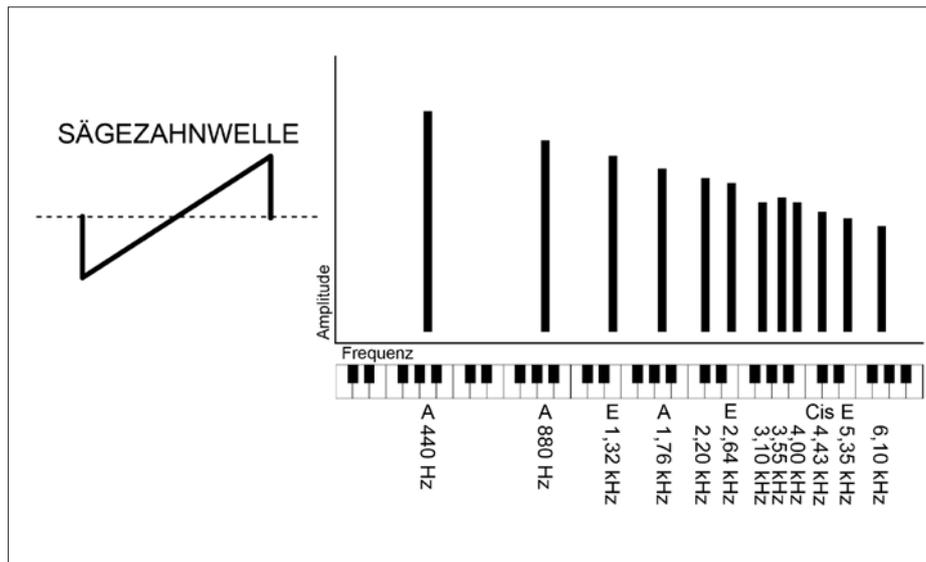
Elektronische Musikinstrumente erzeugen Klänge aus elektronischen Schaltkreisen.

Die Klangerzeugung bei Synthesizern findet im Oszillator statt. Hier wird eine elektrische Spannung kontinuierlich verändert und es entsteht eine elektrische Schwingung, die man über einen Lautsprecher als Dauerton hörbar machen kann. Es gibt vier verschiedene Grundwellenformen, die man als vereinfachte Modelle physikalischer Schallwellen betrachten kann:





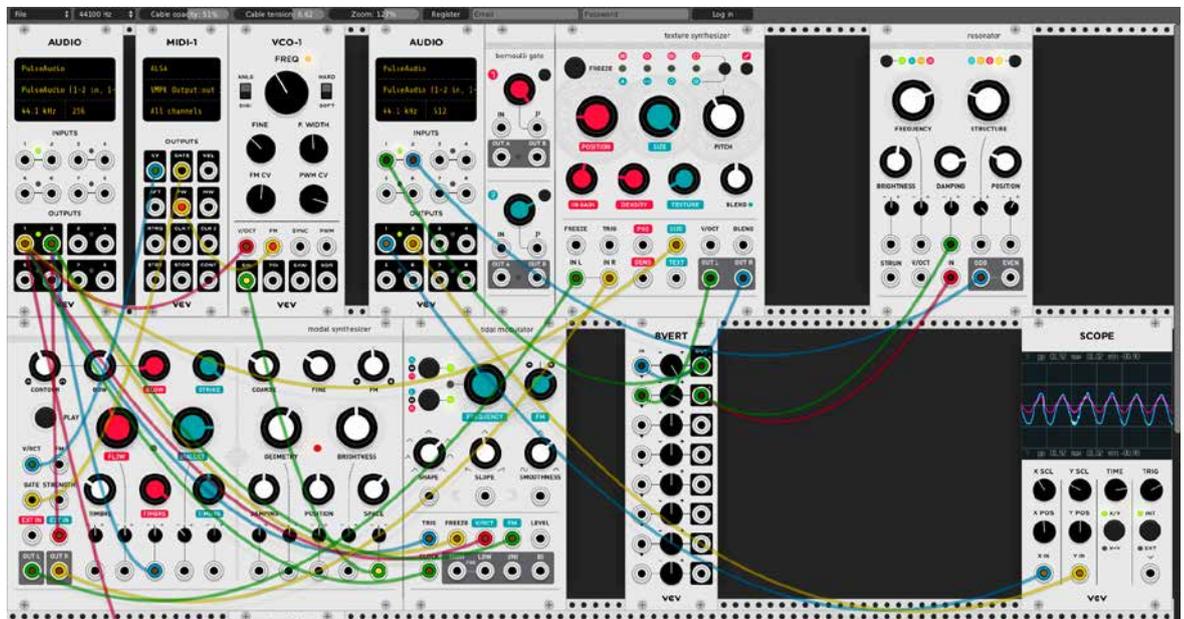
Diese Wellenformen klingen sehr unterschiedlich, weil sie verschiedene Obertonstrukturen haben: Während die Sinuswelle nur aus einer Frequenz besteht, enthalten die anderen drei Wellenformen noch weitere, leisere und höhere Frequenzen über dem Grundton.



Solche Wellenformen können in (modularen) Synthesizern viel stärker verändert werden: indem man z.B. mit einem Filter die Obertonstruktur und damit die Klangfarbe verändert oder mit einer Hüllkurve den zeitlichen Verlauf steuert. Da jede (Schall-)Welle beschrieben werden kann und in den einzelnen Synthesizer-Modulen diese mathematischen Funktionen angewendet werden, hat man damit im Grunde eine Funktionsgleichung zum Anfassen. Wenn man einen modularen Synthesizer mit einem Oszilloskop benutzt, kann man durch Sehen und Hören sehr gut nachvollziehen, was z.B. linear, exponentiell und logarithmisch bedeutet.



## MODULAR SYNTHESIZER IM COMPUTER: VCV RACK



Eine kostenlose Möglichkeit, selbständig an einem Modular Synthesizer zu lernen, zu experimentieren und Musik zu machen, bietet VCV Rack, eine Software für alle gängigen Betriebssysteme, die einen virtuellen Modular Synthesizer darstellt.

In der Basisversion sind viele Module enthalten, die nach einer kostenlosen Registrierung noch durch etliche, ebenfalls kostenlose Module ergänzt werden können.

Für die Vertiefung der Lerninhalte aus dem Workshop Modular Synthesizer bietet die Elbphilharmonie ein Dateipaket zum Download an. Darin werden die Funktionsweisen der gängigen Module im Rahmen dieser Software in Screenshot-Videos demonstriert. Die unten nachfolgenden Anleitungen zu den Bereichen »ADSR envelope«, »filter«, »oscillators« und »waveforms« bieten die Möglichkeit die Inhalte Schritt für Schritt nachzuvollziehen.

So kann das Lernen und Experimentieren an einem Modular Synthesizer direkt im Anschluss an den Workshop selbständig fortgesetzt werden.

### ADSR ENVELOPE

Ein ADSR Envelope bzw. eine Hüllkurve ist ein Modul, um Zeitverläufe von Klangparametern (z.B. die Tonlänge, die Tonhöhe oder den Klangfarbenverlauf mithilfe des Filters) zu gestalten. Eine Hüllkurve wird durch ein Gate-Signal ausgelöst, das von einem Keyboard oder einem Sequenzer oder anderen Modulen kommen kann.

ADSR stellt die vier Phasen eines zeitlichen Verlaufs dar und steht für:

- Attack (die Dauer des Einschwingvorgangs),
- Decay (die Dauer des Abklingens),

### WEITERFÜHRENDE LINKS

- [Videoeinführung zum VCV Rack](#)
- [Videoeinführung zum VCV ADSR Envelope](#)
- [Dateidownloadpaket zum ADSR Envelope.](#)

In der nachfolgenden Anleitung für ADSR Envelope ist jeweils vermerkt, welche Datei den jeweiligen Absatz ergänzt.



- Sustain (die Lautstärke, auf die der Verlauf beim Abklingen abfällt)
- und Release (die Dauer des Ausklingens nach dem Gate-Signal, also nachdem man z.B. die Keyboardtaste losgelassen hat).

Dabei sind Attack, Decay und Release Zeitlängen, die in VCV Rack in Millisekunden eingestellt werden können, und Sustain ist ein relativer Level-Wert von 0–100 Prozent in Bezug auf die Steuerspannung (= 0–10V).

Um die Funktionsweise besser nachzuvollziehen, kann das Oszilloskop (»Scope«) helfen.

- Wenn du den Sequenzer startest, hörst du, wie er mit der Steuerspannung aus dem Ausgang »Row 1« die Tonhöhe des VCOs steuert und mit der Hüllkurve (ADSR) den Filter öffnet und schließt und damit gleichzeitig die Tonlänge bestimmt. Die Filterfrequenz ist nämlich sehr niedrig eingestellt, so dass eigentlich kein Ton zu hören wäre, wenn nicht die Hüllkurve jedes Mal mit dem eingestellten Zeitverlauf die Filterfrequenz nach oben moduliert, wenn sie ein Gate-Signal vom Sequenzer bekommt, so als ob man den Regler bewegen würde. Der eingestellte Hüllkurvenverlauf bildet einen kurzen Ton, der schnell ein- und ausschwingt. (→ *adsr envelope\_1*)
- Wenn du Attack, Decay und Release auf das Minimum vom 1 Millisekunde stellst und **Sustain** auf 100 %, dann entspricht die Hüllkurve in ihrem Verlauf exakt dem Gate-Signal: Am Oszilloskop sind sowohl das Gate-Signal als auch das Hüllkurven-Signal angeschlossen und sind exakt deckungsgleich. Bewege einen der Regler »X POS« oder »Y POS«, um die beiden Wellen vertikal zu verschieben. (→ *adsr envelope\_2*)
- Wenn du den Sustain-Regler herunterdrehst, kannst du hören, wie der Ton leiser und zugleich dunkler wird. Jetzt wird nämlich die Filterfrequenz nicht mehr so weit nach oben moduliert, dass sich der Filter ganz öffnet, sondern nur noch bis beispielsweise 50%.
- Wenn du Sustain auf 0% stellst und nur den **Decay**-Regler aufdrehst, entsteht zuerst ein sehr kurzer Ton, der immer länger wird, je weiter du das Decay aufdrehst. Die Dauer des Abklingens wird hier verändert.
- Wenn du das Decay bei 100 ms einstellst und das Sustain dazu aufdrehst, dann wird der hintere Teil des Klangs etwas lauter. Die Steuerspannung fällt also nach der Decay-Phase nicht direkt auf 0, sondern auf den Wert, den du mit dem Sustain eingestellt hast. (→ *adsr envelope\_3*)
- Wenn du nun den **Release**-Regler aufdrehst, dann wird die Abklingphase nach dem Ende des Gate-Signals länger, so dass keine Pausen zwischen den Tönen mehr sind. In diesem Beispiel wird die Release-Phase erst hörbar, wenn du den Regler bis ins letzte Drittel aufgedreht hast. Du kannst aber die Decay-Phase verkürzen, dann kommt die Release-Phase früher zum Tragen. (→ *adsr envelope\_4*)
- Die Hüllkurve beschreibt einen langsameren Einschwingvorgang, je weiter der **Attack**-Regler aufgedreht wird. Der Ton ist dann nicht sofort auf voller Lautstärke, sondern wird langsam lauter. (→ *adsr envelope\_5*)
- Die vier Regler der ADSR-Hüllkurve beeinflussen sich gegenseitig sehr stark: Die **vier Phasen** folgen zeitlich aufeinander, das heißt, die Decay-Phase beginnt z.B. erst, wenn die Attack-Phase vorbei ist. Welche Phase gerade aktiv ist, zeigt das ADSR-Modul in VCV Rack mit den vier roten Lämpchen an.  
Wenn eine sehr lange Attack-Phase eingestellt ist, kann es passieren, dass gar kein Ton zu hören ist, weil es zu lange dauert, bis die Hüllkurve die Steuerspannung auf einen Wert bringt, der den Filter oder den Mixer anschaltet, bevor das nächste Gate-Signal kommt und der ADSR-Verlauf von vorne beginnt. Wenn du den Attack-Regler in diesem Beispiel herunterdrehst, wird der Ton allmählich wieder hörbar. (→ *adsr envelope\_6*)



- Eine Hüllkurve kann auch »verkehrtherum« funktionieren, das wird in Synthesizern meistens als **invertierte Hüllkurve** bezeichnet. In diesem Beispiel findest du zwei ADSR-Hüllkurven: Die erste ist mit dem Filter und die zweite, rechts neben dem Oszilloskop, ist mit dem Mixer verbunden. Beide werden gleichzeitig von demselben Gate-Signal ausgelöst, generieren aber unterschiedliche Zeitverläufe (siehe Oszilloskop). Die zweite Hüllkurve steuert den Zeitverlauf des Klangs, indem sie den Kanal 1 am Mixer ein- und ausschaltet. Und die erste Hüllkurve steuert die Frequenz des Filters. Weil die Filterfrequenz ganz aufgedreht ist, werden keine Frequenzen ausgefiltert. Am Frequenz-CV-Regler ist aber eine negative Modulationstiefe eingestellt, so dass die erste Hüllkurve die Filterfrequenz nach unten moduliert und der Filter durch den ADSR-Verlauf geschlossen und wieder geöffnet wird. (→ [adsr envelope\\_7](#))
- Wenn zwei Hüllkurven in einem Patch verwendet werden, kannst du nicht nur verschiedene Zeitverläufe einstellen, sondern die beiden Hüllkurven auch mit unterschiedlichen Gate-Signalfolgen ansteuern. In diesem Beispiel wird die Hüllkurve, die den Mixer steuert, von drei zusammengemischten Gate-Signalen aus den Einzelausgängen des Sequenzers gesteuert und der Filter aus dem Gate-Ausgang des Sequenzers, der das Clock-Signal ausgibt. (→ [adsr envelope\\_8](#))
- In die **CV-Eingänge** der ADSR-Regler kann man eine Steuerspannung schicken, die dann zum Beispiel die Decay-Zeit oder den Sustain-Wert modulieren kann. Der CV-Ausgang der Reihe 2 am Sequenzer gibt auf einzelnen Schritten eine Steuerspannung in den Sustain-Eingang der Hüllkurve, so dass sich auf diesen Schritten der Sequenz der Sustain-Wert und damit dann die Filterfrequenz ändert, die von der Hüllkurve moduliert wird. (→ [adsr envelope\\_9](#))

## FILTER

Ein Filter ist ein Modul, mit dem man die Klangfarbe verändern kann, indem man bestimmte Frequenzbereiche ausfiltert bzw. verstärkt. Es gibt verschiedene Typen von Filtern und verschiedene Möglichkeiten, einen Filter mit Steuerspannungen zu modulieren:

- Der Filter, den man am häufigsten vorfindet, ist der **Low Pass Filter** (Tiefpassfilter), der die tiefen Frequenzen passieren lässt, indem er die hohen Frequenzen so weit abdämpft, dass man sie nicht mehr hören kann. Der Frequenzregler bestimmt dabei die Grenze, ab der die hohen Frequenzen des Eingangssignals ausgefiltert werden. (→ [filter\\_1](#))
- Ein **High Pass Filter** oder Hochpassfilter funktioniert genau umgekehrt: Hier werden die Frequenzen unterhalb des mit dem Frequenzregler eingestellten Wertes ausgefiltert. (→ [filter\\_2](#))
- Ein **Band Pass Filter** lässt nur den Frequenzbereich passieren, der um die mit dem Frequenz-Regler einzustellende Frequenz herum liegt, und filtert dabei sowohl oberhalb auch unterhalb dieses Frequenzbereichs Klanganteile aus. VCV Rack bietet in den Standard-Modulen keinen Band Pass Filter - man kann aber einen Low Pass Filter und High Pass Filter hintereinander patchen, so dass mit den beiden Filtern sehr genau ein mittlerer Frequenzbereich eingestellt werden kann. In diesem Beispiel werden die Filterfrequenzen beider Filter auch gleichzeitig von einer LFO-Steuerspannung moduliert. (→ [filter\\_3](#))

### WEITERFÜHRENDE LINKS

- [Videoeinführung zum VCV-Filter](#)
- [Dateidownloadpaket zum VCV-Filter](#)



- Manche Filter sind in der Lage in **Selbstoszillation** zu schwingen und so einen Ton zu erzeugen: Dazu muss der Resonanz-Regler (Res) sehr weit aufgedreht werden. Mit der Filterfrequenz kann nun die Tonhöhe verändert werden. Die **Resonanz** ist eine Verstärkung des Signals an der Filterfrequenz, die hier so hoch ist, dass der Filter einen (Sinus-)Ton erzeugt, genau wie ein Oszillator. (→ [filter\\_4](#))
- Wenn du nun den V/Oct-Ausgang des MIDI-CV-Moduls mit dem CV-Eingang »Freq« verbindest und den Regler »Freq CV« aufdrehst, kannst du mit dem Keyboard den Filter spielen. (→ [filter\\_5](#))
- Verwendet man statt des Keyboards einen **LFO**, um die Filterfrequenz zu modulieren, kann man kontinuierliche Tonhöhenverläufe gestalten. Die Sägezahnwelle des LFOs moduliert die Filterfrequenz vom tiefsten bis zum höchsten Wert. Wenn du beim LFO die Phase von 0 auf 180 umdrehst, kehrt sich auch die Modulationsrichtung um und der Ton fällt von der höchsten zur tiefsten Filterfrequenz. (→ [filter\\_6](#))
- In den meisten Fällen wird ein Filter mit einer **Hüllkurve** angesteuert: Mit einem Gate-Signal, z. B. vom Sequenzer, wird eine Hüllkurve ausgelöst. Wenn du die Steuerspannung aus der Hüllkurve in den Frequenzeingang des Filters führst, dann öffnet sich der Filter in dem Zeitverlauf, den du an der Hüllkurve einstellen kannst. Der Verlauf startet dann ab dem Wert, den du am Frequenzregler des Filters eingestellt hast und geht dann so weit, wie du es mit dem Frequenz-CV-Regler bestimmst. (→ [filter\\_7](#))
- Das funktioniert auch in umgekehrter Richtung: Bei negativer Modulationstiefe am Frequenz-CV-Regler (linksherum gedreht) öffnet die Hüllkurve den Filter von dem eingestellten Frequenzwert aus nach unten. (→ [filter\\_8](#))
- Die **Resonanz** des Filters lässt sich über den Resonanz-Eingang mit einer Steuerspannung modulieren: Am Sequenzer lassen sich für jeden Schritt andere Steuerspannungen einstellen. Verbinde den Sequenzer-Ausgang der Reihe 1 mit dem Resonanz-Eingang am Filter und verändere die CV-Regler der Reihe 1. (→ [filter\\_9](#))

## OSZILLATORSTEUERUNG

In diesen Beispielen geht es darum, mit welchen unterschiedlichen Methoden man die Tonhöhe bzw. die Frequenz eines Oszillators steuern kann.

- Wenn du einen der Ausgänge vom VCO mit dem Mixer verbindest, hörst du einen Dauerton und kannst am **Frequenz-Regler** die Tonhöhe verändern. (→ [oscillator\\_control\\_1.vcv](#))
- Wenn du nun einen der Wellenformen-Ausgänge vom **LFO** in den V/Oct-Eingang des VCO-1 führst, moduliert der LFO die Tonhöhe, so als ob du den Frequenz-Regler des VCO bewegen würdest. Verändere die Modulationsgeschwindigkeit am Frequenz-Regler des LFO und probiere unterschiedliche Wellenformen am LFO aus. (→ [oscillator\\_control\\_2.vcv](#))
- Um die Modulationstiefe zu begrenzen, musst du den Ausgang des **LFO** in den **Attenuverter** (8Vert) schicken und den Ausgang auf den V/Oct-Eingang des Oszillators schicken. Jetzt kannst du mit dem Gain-Regler einstellen, wie weit die Tonhöhe nach oben (rechts herum in Richtung +) oder unten (links herum in Richtung -) moduliert wird. (→ [oscillator\\_control\\_3.vcv](#))  
Hier kannst du außerdem gut nachvollziehen, welchen Unterschied es macht, wenn der LFO unipolar oder bipolar moduliert (Schalter UNI/ BI): Eine unipolare Modulation verändert die Tonhöhe von der am Oszillator eingestellten Frequenz aus nur in eine

### WEITERFÜHRENDE LINKS

- [Videoeinführung zur Oszillatorsteuerung](#)
- [Dateipaket zur Oszillatorsteuerung](#)



Richtung, die bipolare Modulation dagegen in beide Richtungen. Bewege den Gain-Regler des Attenuverters, um den Unterschied zu hören. (→ *oscillator control\_3.vcv*)

- Um den Oszillator wie ein Klavier mit Tasten zu spielen, musst du das **MIDI-CV-Modul** verwenden (du kannst am MIDI-CV-Modul das Keyboard auswählen: Entweder die **Computer-Tastatur** oder ein angeschlossenes **MIDI-Keyboard**).  
Der V/Oct-Ausgang steuert dabei die Tonhöhe über den V/Oct-Eingang am VCO. Mit der  $\wedge$ -Taste und der 1-Taste kannst du die Oktaven nach unten bzw. oben umschalten.  
(→ *oscillator control\_4.vcv*)
- Um mit dem Keyboard auch die Tonlänge zu steuern muss der Gate-Ausgang am MIDI-CV-Modul in diesem Beispiel mit dem CV1-Eingang des Mixers verbunden werden. Jetzt kommt kein Dauerton mehr, sondern der Ton klingt nur solange du eine Taste gedrückt hältst. (→ *oscillator control\_5.vcv*)  
Damit der Ton nicht so abrupt abbricht, schickst du das Gate-Signal zuerst in eine ADSR-Hüllkurve und deren CV-Ausgang in den CV-Eingang des Mixers – nun kannst du den Zeitverlauf einstellen, der von jedem Tastendruck ausgelöst wird. (→ *oscillator control\_6.vcv*)
- Du kannst auch einen **Sequenzler** verwenden, um den Oszillator eine Melodie spielen zu lassen: Verbinde den Gate-Ausgang von SEQ-3 mit dem CV1-Eingang des Mixers (um den Kanal an- und auszuschalten) und den Ausgang Row1 von SEQ-3 mit dem V/Oct-Eingang des VCOs. Wenn man die Run-Taste am Sequenzler drückt, startet oder stoppt er und die obere Reihe der Drehregler (Row1) moduliert die Tonhöhe des VCOs. Im Moment sind nur zwei Schritte ausgewählt und der Sequenzler steuert nur zwei verschiedene Tonhöhen. Mit dem Regler »Steps« kannst du die Anzahl der Schritte steuern, die der Sequenzler spielt (von 1–8). (→ *oscillator control\_7.vcv*)
- In dem vorherigen Beispiel steuern die Regler des Sequenzers bis in sehr hohe Tonhöhen ohne auch nur bis zur Hälfte aufgedreht zu sein. Wenn du den Tonumfang begrenzen und z.B. nur Töne innerhalb einer Oktave spielen möchtest, musst du den Umfang der Steuerungsspannung (CV) mit dem **Attenuverter** (8Vert) begrenzen: Führe den Row1-Ausgang in den 8Vert-Eingang1 und den Ausgang1 in den V/Oct-Eingang vom VCO. (→ *oscillator control\_8.vcv*)  
V/Oct bedeutet, dass der Steuerungsspannungsbereich von 0–1V einer Oktave entspricht (oder von 2–3V usw.). Die Regler des Sequenzers haben einen Umfang von 10V (der Wert wird angezeigt wenn du mit der Maus darauf zeigst), deshalb kannst du mit einer Einstellung von +10% am Attenuverter den Umfang auf eine Oktave begrenzen (10% von 10V= 1V). Hier findest du die Werte für die 12 Töne einer chromatischen Tonleiter, wie sie an den 10 V-Reglern des Sequenzers eingestellt werden können:
  - 0,834 V
  - 1,667 V
  - 2,5 V
  - 3,334 V
  - 4,168 V
  - 5 V
  - 5,836 V
  - 6,67 V
  - 7,504 V
  - 8,338 V
  - 9,172 V
  - 10 V



Du kannst am Ausgang Row1 die Töne bis zur Quinte hören, am Ausgang Row2 die obere Hälfte der Oktave von der Quinte aufwärts und am Ausgang Row3 eine kleine Melodie. Außerdem steuert der Gate-Ausgang des Sequenzers nicht mehr direkt den Mixerkanal, sondern nun ist eine ADSR-Hüllkurve dazwischen geschaltet, die die Tonlängen genauer steuert.

- Der Sequenzer gibt an den Ausgängen der Reihen 1 bis 3 für jeden Schritt einen einzelnen Steuerspannungswert aus, der mit den CV-Drehreglern in der jeweiligen Reihe eingestellt wird. Weil es sich hierbei aber um kontinuierliche Steuerspannungswerte handelt, ist es gar nicht so einfach, damit bestimmte Tonhöhen anzusteuern, weil das je nach Tonleiter exakt abgestufte Werte sein müssen und an den Drehreglern unendlich viele Werte dazwischen eingestellt werden können. Entweder stellst du diese exakten Werte wie in dem vorherigen Beispiel ein oder du benutzt ein Quantizer-Modul (»QNT«). Denn ein **Quantizer** überträgt die kontinuierlichen Werte in quantisierte, also abgestufte Steuerspannungen, die dann den Tonhöhen entsprechen.

Dafür muss das CV-Signal, das aus dem Sequenzer kommt und durch den Attenuverter begrenzt wird, noch durch den Quantizer geführt werden bevor es den Oszillator erreicht. Die zwölf Leuchtfelder am Quantizer entsprechen den zwölf Halbtönen der chromatischen Tonleiter und nun kannst du hier bestimmen, welche Tonhöhen in der Tonleiter enthalten sein sollen und welche nicht. Und die CV-Regler am Sequenzer müssen nun nicht mehr exakt eingestellt werden, es reichen ungefähre Einstellungen, um bestimmte Tonhöhen zu treffen. (→ *oscillator\_control\_9.vcv*)

- Zuletzt kann auch eine **ADSR-Hüllkurve** zur Steuerung der Oszillator-Tonhöhe benutzt werden: Wenn du die Steuerspannung vom ADSR-Ausgang in den V/Oct-Eingang des VCO führst, hörst du einen abfallenden Ton (die Gate-Signale vom Sequenzer lösen dabei die Hüllkurve aus). Der Decay-Regler (DEC) steuert, wie schnell der Ton abfällt, und der Sustain-Regler (SUS) steuert, bis zu welcher Tonhöhe der Ton abfällt. (→ *oscillator\_control\_10.vcv*)

Um den Umfang zu begrenzen, kann der Attenuverter dazwischengeschaltet werden. Und wenn die Sequenzergeschwindigkeit (Clock) langsamer läuft, kann man den Zeitverlauf bei der ADSR-Hüllkurve genauer einstellen. Die Hüllkurve steuert hier gleichzeitig die Frequenz am Oszillator und die Lautstärke am Mixer, was im Oszilloskop auch gut zu sehen ist: Die Wellenform schwingt im Verlauf sowohl immer weniger nach oben und unten (abnehmende Lautstärke) als auch immer langsamer (abfallende Tonhöhe). Wenn du den Attenuverter in den negativen Bereich drehst, dreht sich das Ganze um: Die Tonhöhe wird immer höher. Die Lautstärke nimmt aber weiter ab, weil der Attenuverter nur zwischen Hüllkurve und Oszillator eingebaut ist, aber nicht zwischen Hüllkurve und Mixer. (→ *oscillator\_control\_11.vcv*)

## OSZILLATOR-WELLENFORMEN

Diese Beispiele demonstrieren die verschiedenen Wellenformen, die mit Oszillatoren erzeugt werden und das Ausgangs-Klangmaterial von Synthesizern sind, das dann mit weiteren Modulen in musikalische Klänge geformt werden kann. Die einfachen Grundwellenformen können durch verschiedene Modulationen in komplexere Wellenformen verwandelt werden.

### WEITERFÜHRENDE LINKS

- [Videoeinführung zu Wellenformen](#)
- [Dateipaket zu Wellenformen](#)



### 1. Wellenformen VCO-1 (→ *waveforms\_1*)

- Der Sinuswellen-Ausgang führt zu Kanal 1 des Mixers und der Ausgang von Kanal 1 zum Eingang des Oszilloskops (Scope)
- du hörst und siehst eine Sinuswelle bei 110 Hz. Verändere die Frequenz des Oszillators (VCO-1) und beobachte, was mit der Wellenform passiert. Je schneller die Frequenz schwingt bzw. je kürzer die Wellenlänge ist – also der Abstand zwischen einem Wellenberg zum anderen –, desto höher klingt der Ton. Genauso ist es umgekehrt: Je größer die Abstände der Welle vom Auf- zum Abschwngen werden, desto tiefer klingt der Ton.
- Jetzt probiere die anderen Wellenformen-Ausgänge am VCO-1 aus: Dreieckswelle (Tri), Sägezahnwelle (Saw) und Rechteck- bzw. Pulswelle (Pulse). Höre auf die verschiedenen Klangfarben der Wellenformen
- Bei der Pulswelle kannst du zusätzlich noch die Klangfarbe verändern, indem du an dem Drehregler »P.Width« die Pulsbreite veränderst.

### 2. Pulsbreitenmodulation (→ *waveforms\_2*)

- Behalte die Pulswelle (Pulse) als Klangquelle und führe ein Kabel vom Sinuswellen-Ausgang des LFO-1 in den Eingang »PWM« (pulse width modulation) am VCO-1. Wenn du nun den Drehregler „PWM CV“ aufdrehst, dann moduliert der LFO-1 die Pulsbreite der Rechteckwelle ganz gleichmäßig hin und her, entsprechend der langsamen Sinuswelle aus dem LFO. (Der LFO muss auf bipolar (BI) gestellt sein und die Pulsbreite (P.Width) muss auf 50% eingestellt werden, dann hörst du das ganze Spektrum.)  
Das kannst du am Oszilloskop auch sehen, wenn du den Sinuswellen-Ausgang vom LFO mit dem Y-Eingang des Oszilloskops verbindest: Die rote Linie ist die LFO-Sinuswelle, die langsam auf- und abschwingt und dabei die Pulsbreite von 1–99% moduliert. Drehe den »Time«-Regler am Oszilloskop ganz nach links, um die Sinuswelle besser sehen zu können. Probiere auch die anderen Wellenformen am LFO aus und verändere die Frequenz.

### 3. Wellenformen VCO-2 (→ *waveforms\_3*)

- Stecke nun das Kabel, das vom VCO-1 zum Mixer führt, um und nimm den VCO-2 als Quelle. Wenn du den »Wave«-Drehregler langsam aufdrehst, kannst du hören und im Oszilloskop sehen, wie die verschiedenen Wellenformen ineinander überblendet werden: Von der Sinus-, über die Dreiecks- und die Sägezahn- bis zur Pulswelle. Diese Regler-Bewegung kann auch der LFO übernehmen: Verbinde den Sinus-Ausgang des LFO mit dem Wave-Eingang von VCO-2.

### 4. Frequenzmodulation (→ *waveforms\_4*)

- VCO-2 kann auch von VCO-1 frequenzmoduliert werden (oder umgekehrt): Stecke eine Verbindung vom Sinuswellen-Ausgang von VCO-1 zum FM-Eingang (= Frequenz Modulation) von VCO-2 und stelle bei beiden Oszillatoren die gleiche Frequenz ein (z.B. 110 Hz). Verbinde die Ausgänge beider Oszillatoren mit den X- und Y-Eingängen des Oszilloskops – dort siehst nun du die beiden Sinuswellen. Hören kann man aber nur den einen Oszillator, der mit dem Mixer verbunden ist.  
Nun bewege langsam den Drehregler »FM CV« und beobachte, wie sich die Wellenform im Oszilloskop verändert und vor allem wie sich der Ton verändert: Es entstehen zwei neue Frequenzen – eine höhere über und eine tiefere unter der ursprünglichen Frequenz des Oszillators.  
Das Oszilloskop stellt es unterschiedlich dar, je nachdem, welcher Oszillator in dem X-Eingang steckt. Vertausche die beiden Oszillatoren und wiederhole es.



**Tipp:** Probiere das Gleiche mit der halben Frequenz in VCO-1 (= 110 Hz) im Verhältnis zu VCO-2 (= 220 Hz), dann mache es andersherum oder probiere die dreifache oder die Viertelfrequenz aus.

- (→ *waveforms\_5*) Entferne jetzt das Kabel, das vom Sinuswellen-Ausgang von VCO-1 kommt, vom FM-Eingang von VCO-2 und führe es zum Eingang 1 eines weiteren Mixermoduls. Jetzt führe den Sinuswellen-Ausgang vom LFO-1 zum Eingang CV 1 des Mixers und den Ausgang CH1 des Mixers zum FM-Eingang von VCO-2. Wenn an VCO-2 der FM CV-Regler aufgedreht ist, hörst du, wie der LFO die Stärke der Frequenzmodulation steuert, weil die Lautstärke von VCO-1 am Mixerkanal 1 von ganz leise (= keine Modulation) bis ganz laut (volle Modulation) verändert wird.  
Der Klangverlauf ist eine sehr starke Klangfarbenveränderung, die nur über die Frequenzmodulation entsteht (siehe Oszilloskop).
- (→ *waveforms\_6*) du kannst auch den LFO verwenden, um die Tonhöhe des Oszillators zu verändern, der wiederum den anderen Oszillator moduliert. Verbinde dafür den Sinuswellen-Ausgang des LFO mit dem V/Oct-Eingang des Oszillators.

## 5. Hard/Soft Sync (→ *waveforms\_7*)

- In diesem Patch kannst du das Computer-Keyboard als Tastatur zum Spielen benutzen, z.B. die Tastenreihe »Y-X-C-V-B-N-M,-««. Zu hören ist nur der Oszillator 1.
- Nun wird Oszillator 2 mit dem Sync-Eingang von Oszillator 1 verbunden (und dem Oszilloskop) und wenn du wieder auf denselben Tasten spielst, klingen die Töne ganz anders. Schau dir die beiden Wellenformen im Oszilloskop an: Die hörbare Wellenform ist die blaue und diese kann nun nicht mehr gleichmäßig schwingen, weil sie zur Frequenz von Oszillator 2 synchronisiert ist. D.h. die blaue Frequenz muss immer dann neu starten, wenn die rote Wellenform nach einem Nulldurchgang in den positiven Bereich schwingt. (Bei Hard Sync jedes Mal, bei Soft Sync jedes zweite Mal). (→ *waveforms\_8*)
- Am Oszillator 1 ist Hard Sync eingestellt. Wenn du den Hard/Soft-Schalter umstellst kannst du den Soft Sync hören. Oszillator 2 ist nicht zu hören, aber der Klang von Oszillator 1 bekommt neue Obertöne hinzu. Besonders dann, wenn du die Frequenz von Oszillator 1 auf 166 Hz einstellst und die von Oszillator 2 auf 110 Hz lässt – nun schwingen die beiden Frequenzen im Verhältnis einer Quinte zueinander. Mit der Tastatur wird aber nur die Tonhöhe des hörbaren Oszillators verändert, die des anderen bleibt gleich. (→ *waveforms\_9*)
- Um die Tonhöhe bei beiden Oszillatoren zu steuern, muss der VCO-2 durch einen VCO-1 ersetzt werden, weil VCO-2 keinen V/Oct-Eingang hat. Nun sind die Frequenzen der beiden Oszillatoren in einem Terzabstand zueinander gestimmt und gleichzeitig im Mixer zu hören. Wenn du die Tastatur spielst, bleibt der Abstand bei jeder Taste gleich, die Tonhöhen ändern sich in beiden Oszillatoren. (→ *waveforms\_10*)
- Wenn du nun den zweiten Oszillator im zweiten Mixerkanal wieder ganz leise machst und dessen Sinus-Ausgang mit dem Sync-Eingang des ersten Oszillators verbindest, hörst du, wie der erste Oszillator zum zweiten synchronisiert wird und beide Oszillatoren von der Tastatur gesteuert werden. Im Vergleich mit der reinen Sinuswelle ist dieser Klang deutlich reichhaltiger, obwohl er nach wie vor nur aus einer Sinuswelle entsteht. Probiere auch andere Wellenformen aus. (→ *waveforms\_11*)