Udo Matthias
Drum Lessons

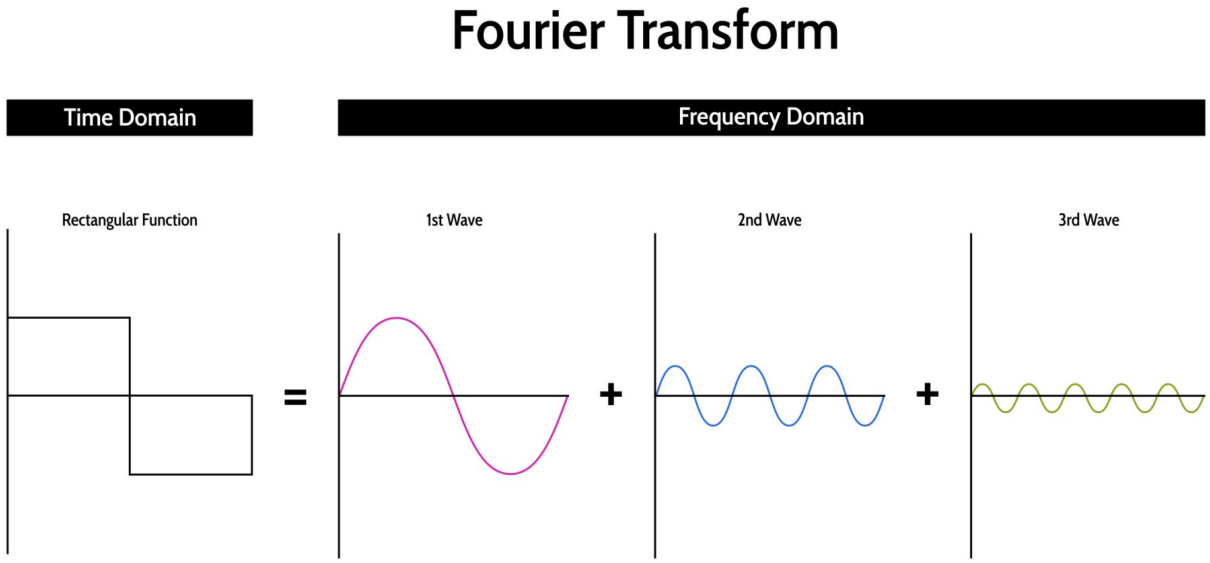
79589 Binzen
Baselstrasse 5
Mobil: 01751645387
e-mail: info@udomatthias.com
www.udomatthias.com
https://www.facebook.com/udo.matthias.3
https://myspace.com/udomatthias

Eine eher wissenschaftliche Betrachtung von Sound Design in Ableton Live erfordert den Übergang von der rein musikalischen Anwendung hin zu physikalischen (Akustik), mathematischen (Signalverarbeitung) und psychoakustischen Prinzipien.
Ableton **Live fungiert hierbei nicht nur als DAW (Digital Audio Workstation), sondern als komplexe DSP-Umgebung (Digital Signal Processing), die diskrete Zeitsignale manipuliert**.

➔Detaillierte Aufschlüsselung der Mechanismen.

1. Grundlagen der Digitalen Signalverarbeitung (DSP) in Live
Bevor wir spezifische Instrumente betrachten, müssen wir das Fundament verstehen. Sound Design in Live ist die Manipulation von numerischen Datenströmen.

- **Abtasttheorem (Nyquist-Shannon):** Live arbeitet mit diskreten Samples. Um eine Frequenz fmax fehlerfrei zu rekonstruieren, muss die Abtastrate fs größer als 2·fmax sein. Sound Design, das Obertöne über der Nyquist-Frequenz erzeugt (z. B. extreme Verzerrung), führt zu **Aliasing** (Spiegelfrequenzen), die oft als digitale Artefakte wahrgenommen werden. Live nutzt Oversampling in vielen Plugins (z. B. im *Glue Compressor* oder *EQ Eight*), um diese Artefakte zu minimieren, indem die interne Bearbeitung bei einem Vielfachen der Projektabtastrate erfolgt.
- **Wellenformen:** Der Kern fast aller Syntheseformen ist die periodische Schwingung.



Notizen:

Udo Matthias
Drum Lessons

79589 Binzen
Baselstrasse 5
Mobil: 01751645387
e-mail: info@udomatthias.com
www.udomatthias.com
https://www.facebook.com/udo.matthias.3
https://myspace.com/udomatthias

2. Synthese-Architekturen in Ableton Live

Ableton stellt verschiedene mathematische Modelle zur Klangerzeugung bereit. Wir analysieren diese nach ihrer Syntheseform.

A. Frequenzmodulation (FM) – Das Instrument "Operator"

Der *Operator* kombiniert FM-Synthese mit subtraktiver Synthese. Wissenschaftlich betrachtet moduliert hierbei die Amplitude eines Oszillators (Modulator) die Frequenz eines anderen Oszillators (Carrier).
Die Grundgleichung für einfache FM lautet:
$y(t)=A\cdot\sin(2\pi fct+I\cdot\sin(2\pi fmt))$

Wobei:

- fc = Trägerfrequenz (Carrier)
- fm = Modulationsfrequenz
- I = Modulationsindex (bestimmt die Anzahl der hörbaren Seitenbänder)

➔In *Operator* können 4 Oszillatoren in verschiedenen Algorithmen (Verschaltungen) angeordnet werden. Dies erlaubt die Erzeugung komplexer nichtharmonischer Spektren (Glöckchen, metallische Klänge), da die entstehenden Seitenbänder mathematisch präzise definiert sind durch $fc\pm n\cdot fm$ (wobei n eine Ganzzahl ist).

B. Wavetable Synthese – Das Instrument "Wavetable"

Hier wird nicht eine statische Wellenform oszilliert, sondern ein Datensatz (Table➔Table Lookup), der mehrere Einzelzyklen (Single Cycle Waveforms) enthält.

- **Interpolation: Der entscheidende wissenschaftliche Prozess ist das "Morphing" oder die Interpolation zwischen den Wellenformen.** Live berechnet Zwischenwerte, um fließende spektrale Übergänge zu schaffen, ohne dass Phasenprobleme oder Clicks entstehen.
- Dies **ermöglicht eine dynamische Änderung des Obertongehalts (Harmonische Reihe)** über die Zeit.

C. Physical Modeling – "Collision" und "Tension"

Diese Instrumente basieren nicht auf der Wiedergabe von Wellenformen, sondern auf der Lösung physikalischer Differentialgleichungen in Echtzeit.

- **Masse-Feder-Dämpfer-Systeme:➔ s. Regelungs** *Collision* simuliert das physikalische Verhalten eines Erregers (Mallet/Schlägel – definiert durch Steifheit k und Masse m) beim Auftreffen auf einen Resonator (Membran/Platte/Saite).
- **Sound Design bedeutet hier das Justieren virtueller physikalischer Konstanten**: Dämpfungskoeffizienten, Materialdichte und Spannung.

Notizen:

Udo Matthias
Drum Lessons

79589 Binzen
Baselstrasse 5
Mobil: 01751645387
e-mail: info@udomatthias.com
www.udomatthias.com
https://www.facebook.com/udo.matthias.3
https://myspace.com/udomatthias

3. Sampling und Granularsynthese

Granularsynthese – "Granulator III" (M4L)

Hier verlassen wir den Zeitbereich (Time Domain) klassischer Abspielgeräte. Ein Sample wird in mikroskopisch kleine Stücke ("Grains", typischerweise 10–100ms) zerlegt.

- **Wissenschaftlicher Aspekt:** Durch die Überlagerung, Fensterung (Windowing Functions wie Hanning oder Hamming zur Vermeidung von Klicks an den Schnittstellen) und zufällige Verteilung **(Stochastik)** dieser Grains entstehen Texturen, die die ursprüngliche Zeit- und Tonhöheninformation entkoppeln.

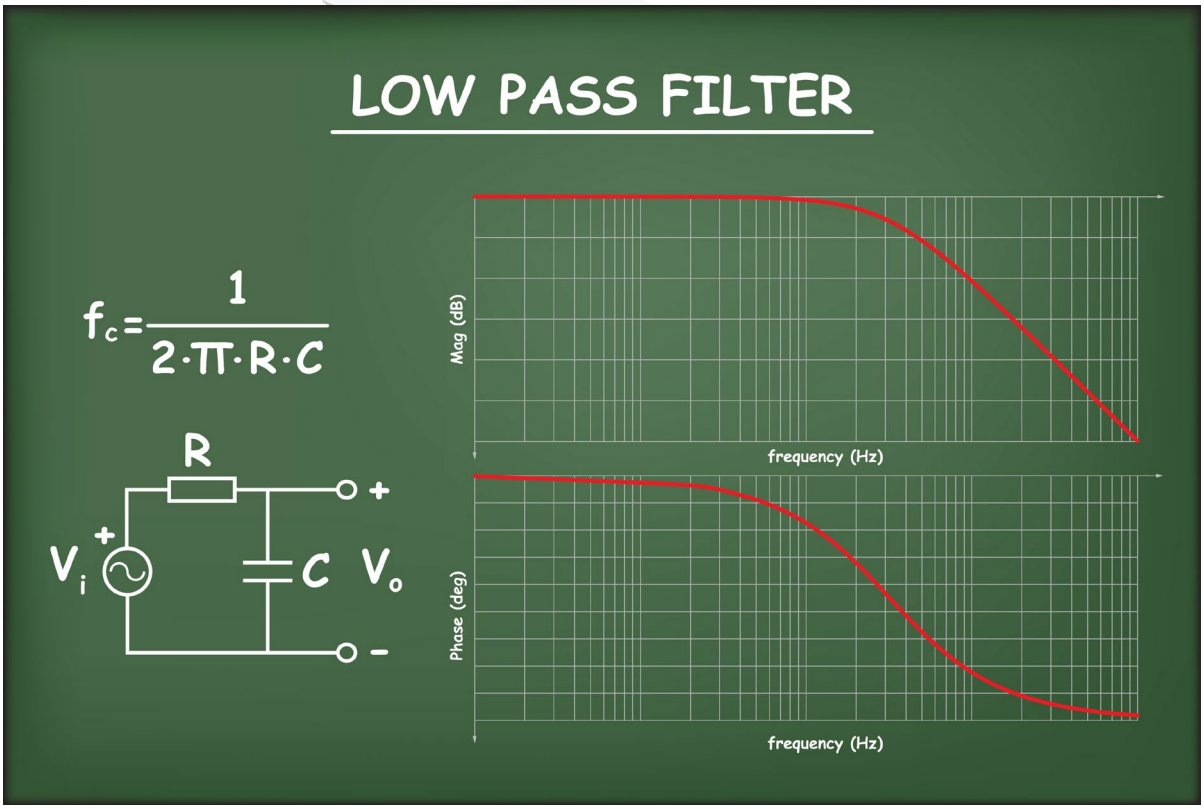
4. Spektrale Bearbeitung und Filterung

➔Ein **wesentlicher Teil des Sound Designs in Live** ist die spektrale Formung (Subtraktive Synthese).

Filter-Topologie (Auto Filter / EQ Eight)

Ein digitales Filter nutzt mathematische Algorithmen (z. B. *Infinite Impulse Response* - IIR), um Frequenzbereiche abzuschwächen.

- **Resonanz (Q-Faktor):** Bei der Eckfrequenz wird das Signal durch Rückkopplung (Feedback loops) verstärkt. Wenn der Q-Faktor hoch genug ist, beginnt das Filter selbst zu oszillieren (Selbstoszillation), wodurch eine Sinuswelle bei der Cutoff-Frequenz entsteht.
- **Pole und Flankensteilheit:** Ein 4-Pole-Filter (wie im *Auto Filter* oft modelliert nach Moog-Kaskaden) senkt das Signal um 24 dB pro Oktave ab. Dies verändert die Phasenlage des Signals, was bei parallelem Sound Design (Phasenauslöschung) berücksichtigt werden muss.



Triviale Darstellung: ➔ s.a. Vierpol Theorie

Udo Matthias
Drum Lessons

79589 Binzen
Baselstrasse 5
Mobil: 01751645387
e-mail: info@udomatthias.com
www.udomatthias.com
https://www.facebook.com/udo.matthias.3
https://myspace.com/udomatthias

5. Psychoakustik und Raumeffekte (s.a. Deutsch)

Sound Design in Live beinhaltet die **Platzierung von Klängen in einem virtuellen Raum**.

- **Convolution Reverb (Faltungshall):** Im Gegensatz zu algorithmischem Hall (berechnete Reflexionen) nutzt der *Hybrid Reverb* in Live die mathematische Operation der **Faltung** (Convolution).

$$f*g)(t)=\int_{-\infty}^{\infty} f(\tau)g(t-\tau)d\tau$$

Hierbei wird das Eingangssignal (f) mit der Impulsantwort (g) eines realen Raumes mathematisch multipliziert. Das Ergebnis ist eine exakte akustische Simulation dieses Raumes.

6. Die "Rack"-Architektur und parallele Signalketten

Das mächtigste Werkzeug für komplexes Sound Design in Live ist das Instrument/Effect Rack.

- **Wissenschaftliche Relevanz:** Es ermöglicht **parallele Signalverarbeitung**. **Anstatt ein Signal seriell zu bearbeiten (A ➔ B ➔ C), wird das Signal gesplittet.**
- **Beispiel:** Ein Frequenz-Split (Multiband-Processing).
  - Kette 1: Tiefpassfilter < 200Hz (Bassbereich, Mono geschaltet für Phasenkorrelation).
  - Kette 2: Bandpass 200Hz - 2kHz (Mitten, leichte Sättigung).
  - Kette 3: Hochpass > 2kHz (Höhen, Stereoverbreiterung durch Haas-Effekt).
  - Summierung: Die Ketten werden am Ende wieder addiert. Dies erlaubt chirurgische Eingriffe in das Frequenzspektrum, die mit einem einzelnen Plugin unmöglich wären.

7. Max for Live (Die tiefste Ebene)

Wenn die nativen Werkzeuge nicht ausreichen, bietet Live durch die Integration von Max/MSP Zugang zur untersten Ebene der Programmierung.

- Hier können wir als **Sound Designer eigene DSP-Algorithmen schreiben**, Signale auf Sample-Ebene manipulieren oder **generative Systeme basierend auf Wahrscheinlichkeitsrechnung (Stochastik) und Logik entwickeln.** Es ist die Schnittstelle zwischen Musikproduktion und Informatik.
  ➔Man kann auf dieser Ebene auch JAVA (C+/-) verwenden.

Zusammenfassung

Sound Design in Ableton Live ist die Anwendung von:

1. **Oszillatoren/Samples** als Quellmaterial (**Physik**/Aufnahme).
2. **Modulatoren** (LFOs, Hüllkurven) als **Steuersignale** zur zeitlichen Veränderung von Parametern.
3. **Filtern und Effekten** zur spektralen und dynamischen Formung **(DSP).**
4. **Racks** zur **komplexen Signalflusssteuerung (Logik).**

Udo Matthias
Drum Lessons

79589 Binzen
Baselstrasse 5
Mobil: 01751645387
e-mail: info@udomatthias.com
www.udomatthias.com
https://www.facebook.com/udo.matthias.3
https://myspace.com/udomatthias

➔Als Drummer interessiert uns als Einstiegsbeispiel sicherlich eine Trommel.

Das ist eine hervorragende Übung.

➔Wir konstruieren nun eine Kick Drum (bassdrum) in Ableton Operator.

Dabei simulieren wir nicht einfach „nach Gehör", sondern modellieren das physikalische Verhalten einer geschlagenen Membran (Trommelfell) und eines Resonanzkörpers.

Wir zerlegen das physikalische Ereignis „Kick Drum" in zwei psychoakustische Hauptkomponenten:

1. **Der Transiente (Click/Attack):** Der **Moment des Aufpralls des Schlägels**. Extrem breitbandiges Frequenzspektrum, sehr kurz (t<20ms).
2. **Der Körper (Body/Tail): Das Ausschwingen der Membran**. Ein fast reiner Sinuston, dessen Frequenz und Amplitude exponentiell abfallen.
3.

Hier ist das **Protokoll zur Synthese in Operator**.

Schritt 1: Der Resonator (Der Körper)

➔Physik: Eine **idealisierte kreisförmige Membran schwingt** in ihrem Grundmodus fast sinusförmig.

In Ableton Operator:

1. Wähle **Algorithmus** (die vier farbigen Würfel unten rechts im Display): Wähle den horizontalen Algorithmus (alle Oszillatoren A, B, C, D gehen direkt zum Ausgang). **Wir brauchen keine FM für den Grundton, sondern reine additive Synthese oder nur Oszillator A.**
2. **Oszillator A:** Stelle die Wellenform auf **Sine** (Sinus).
3. **Frequenz (Coarse):** Setze dies auf **Fixed**. Wir wollen keine tonale Abhängigkeit von der Klaviatur in Hertz, sondern eine feste Stimmung. Stelle die Frequenz auf ca. **45 Hz bis 50 Hz**. Das ist der fundamentale Grundton (f0), auf dem die Trommel ausklingt.

Schritt 2: Energiedissipation (Die Amplituden-Hüllkurve)

➔Physik: Nach dem Impuls wird keine Energie mehr zugeführt. Die **Schwingung stirbt aufgrund von Luftwiderstand und Materialdämpfung** aus. Dieser Zerfall ist **in der Natur meist exponentiell**.

Ableton Operator (Envelope A):

- **Attack:** 0.0 ms (Physik: **Der Impuls (Dirac Stoß)**ist sofort da). Alles braucht Zeit auch beim Dirac Stoß, sonst könnten wir nicht mehr rechnen.
- **Decay:** ca. 200 ms bis 600 ms (Je nach gewünschter **„Größe" der Trommel**).
- **Sustain:** −∞ dB (Kein Dauerton).
- **Release:** Ähnlich wie Decay.

Udo Matthias
Drum Lessons

79589 Binzen
Baselstrasse 5
Mobil: 01751645387
e-mail: info@udomatthias.com
www.udomatthias.com
https://www.facebook.com/udo.matthias.3
https://myspace.com/udomatthias

Wissenschaftlicher Hinweis: Operator bietet lineare und exponentielle Hüllkurven-Flanken. Für perkussive Klänge wirken exponentielle Kurven (leicht gekrümmt) natürlicher, **da sie dem Newtonschen Abkühlungsgesetz bzw. Dämpfungsgesetzen eher entsprechen.**

Schritt 3: Die Membranspannung (Pitch Envelope) – Das Herzstück

➔**Physik:** Wenn der Schlägel das Fell trifft, wird die Membran maximal gedehnt. Höhere Spannung = höhere Frequenz. Während sie zurückschwingt, entspannt sie sich. Das Resultat ist ein **Frequency Sweep** (Chirp) von oben nach unten. **Ohne diesen Sweep klingt es nur nach einem langweiligen Sinuston ("Piiiep"), nicht nach einer Trommel ("Bumm").**

Mathematisch lässt sich der Frequenzverlauf f(t) annähern durch:

➔ $f(t)=f_{start}+(f_{peak}-f_{start})\cdot e^{-kt}$

Ableton Operator (Pitch Envelope):

1. Aktiviere die **Pitch Envelope** (im Shell-Bereich, der Rahmen um das Display).
2. **Destination:** A (oder A-D).
3. **Amount (Peak):** +36st bis +48st (Halbtöne). Wir simulieren einen extremen Frequenzsprung. Zu Beginn ist der Ton also 3-4 Oktaven höher als unsere eingestellten 50 Hz.
4. **Decay (P-Env):** Dies ist **die kritischste Variable. Stelle sie extrem kurz ein**: **15 ms bis 50 ms**.

Das Resultat: Das Ohr ist zu langsam, um die hohen Frequenzen als Tonhöhe wahrzunehmen. Stattdessen integriert das Gehör diesen ultra-schnellen Abfall als „harten Anschlag“ oder „Punch“.

Schritt 4: Der Aufprall (Noise / Inharmonizität)

Physik: Der Schlägel ist nicht punktförmig perfekt, und das Fell ist nicht ideal. Beim **Aufprall entsteht chaotisches Rauschen (Turbulenzen).**

Option A (Subtil): Nutze Oszillator B im Modus **White Noise**.

- Stelle die Lautstärke sehr niedrig ein.
- Nutze eine sehr kurze Hüllkurve (Decay < 10 ms). **Das addiert ein kurzes „Click“ oben drauf.**

Option B (FM-Synthese - Wissenschaftlicher):

- Ändere den Algorithmus so, dass B in A moduliert.
- Stelle B auf "Fixed Freq" (z.B. 200 Hz).
- Drehe den Level von B nur kurzzeitig auf (via Envelope).
- Durch die Frequenzmodulation entstehen kurzzeitig komplexe Seitenbänder (Bessel-Funktionen), die das metallische oder plastische "Klatschen" des Fells simulieren.

Udo Matthias
Drum Lessons

79589 Binzen
Baselstrasse 5
Mobil: 01751645387
e-mail: info@udomatthias.com
www.udomatthias.com
https://www.facebook.com/udo.matthias.3
https://myspace.com/udomatthias

Schritt 5: Nichtlineare Sättigung (Filter Drive)

Physik: Eine echte Trommel (und ein Aufnahmemikrofon) verhält sich bei hohen Schalldrücken nichtlinear. Das Signal wird "gestaucht" **(Clipping/Saturation),** was Obertöne hinzufügt.

Ableton Operator (Filter Sektion):

1. Aktiviere das Filter.
2. Wähle einen Typ, der Verzerrung erlaubt, z.B. **PRD** (Ladder-Filter Simulation) oder **Clean**.
3. Frequenz ganz offen lassen (wir wollen nichts filtern), aber:
4. Drehe den **Shaper / Drive** auf.
   - Dies fügt *Harmonische Verzerrung* hinzu. Ein reiner Sinus wird „eckiger". Das macht den Bass hörbarer auf kleinen Lautsprechern **(Psychoakustik: Residuum-Phänomen).**

Zusammenfassung der Signalkette (Mathematisch)
Unser Signal y(t) sieht nun vereinfacht so aus:

$$y(t) = \underbrace{A(t)}_{\text{Amp-Env}} \cdot \sin(2\pi \cdot \underbrace{P(t)}_{\text{Pitch-Env}} \cdot t) + \underbrace{N(t}_{\text{Noise-C}}$$

- A(t): Exponentieller Abfall (ca. 400ms).
- P(t): Rapider Frequenzabfall von ca. 1000 Hz auf 50 Hz in <50ms.
- N(t): Kurzes Rausch-Burst (<10ms).

Wir hören hier noch nicht auf!!! Aufgeben geht gar nicht!!

Nächster Schritt:

Wir nehmen nun **dieses Signal und betrachten es wissenschaftlich**, wie man es mittels **Kompressor** formt **(Transienten-Design)** oder wie man es **mittels EQ so bearbeitet, dass es im Mix mit einem Bass (Phasenlage) funktioniert? ➔ Signale können sich gegenseitig auslöschen.**

Sehr gerne. Wir verlassen nun die Ebene der **Synthese** (Erzeugung) und betreten die Ebene der **Signalverarbeitung** (Shaping).
Das Ziel ist es, das physikalische Rohsignal aus dem Operator so zu formen, dass es psychoakustisch "druckvoll" wirkt und sich mathematisch korrekt in das Frequenzspektrum eines Mixes einfügt.
Hier ist die Analyse der Nachbearbeitung (Post-Processing).

1. Dynamikbearbeitung: Die Formung der Transienten (Kompressor)
Ein Kompressor ist technisch gesehen ein automatisierter Lautstärkeregler (Variable Gain Amplifier). Er reduziert den Dynamikumfang.
Für unsere Kick Drum nutzen wir ihn jedoch nicht zur Lautstärkebegrenzung, sondern zum **Transienten-Design**. Wir wollen den Unterschied zwischen dem anfänglichen "Click" (Attack) und dem "Boom" (Body) künstlich vergrößern.

Udo Matthias
Drum Lessons

79589 Binzen
Baselstrasse 5
Mobil: 01751645387
e-mail: info@udomatthias.com
www.udomatthias.com
https://www.facebook.com/udo.matthias.3
https://myspace.com/udomatthias

Das mathematische Prinzip
Ein Kompressor analysiert das Eingangssignal x(t). Wenn |x(t)| einen Schwellenwert (Threshold) überschreitet, wird das Signal um ein Verhältnis (Ratio) reduziert.
Die entscheidende Variable für den "Punch" ist die Zeitkonstante τ_{attack} (Attack-Zeit).
Anwendung in Live (z.B. "Glue Compressor" oder Standard "Compressor")

1. **Threshold & Ratio:** Wir setzen den Threshold so tief, dass der Kompressor auf jeden Schlag reagiert (ca. 3-6 dB Gain Reduction). Ratio 4:1 (sportlich).
2. **Attack-Zeit (Wissenschaftlich entscheidend):**
   - Stell Dir vor, die Attack-Zeit ist auf **0 ms** eingestellt. Der Kompressor regelt *sofort* herunter, sobald der Kick beginnt. Das Ergebnis: Der laute "Click" am Anfang wird sofort leiser gemacht. Die Kick klingt flach und leblos.
   - Wir stellen die Attack-Zeit auf **10 ms bis 30 ms**.
   - **Der Effekt:** Der Kompressor "schläft" für 30 ms. In genau diesen 30 ms passiert unser synthetisierter Pitch-Sweep und das Noise-Click (siehe vorheriger Schritt). Diese Transiente rutscht *unkomprimiert* durch. Erst *danach* greift der Kompressor und drückt den "Körper" (den Sinus-Ausklang) leise.
3. **Makeup Gain:** Da wir den Körper leiser gemacht haben, heben wir nun das Gesamtsignal wieder an.
   - **Resultat:** Die Transiente (die nicht leiser gemacht wurde) wird nun *noch lauter* im Vergleich zum Körper. Wir haben die **Crest-Faktor** (Verhältnis von Spitzenwert zu Effektivwert) künstlich erhöht. Die Kick "kickt" mehr.

2. Spektrale Entzerrung (EQ Eight) und Psychoakustik
Nun betrachten wir das Frequenzspektrum. Ein roher Sinus-Sweep hat oft Energie in Bereichen, die psychoakustisch kontraproduktiv sind.
A. Der Low-Cut (Hochpassfilter)
Auch wenn eine Kick "Bass" ist, benötigen wir keine Frequenzen unter 20-30 Hz.

- **Physik:** Lautsprecher müssen für extrem tiefe Frequenzen sehr weit auslenken (Exkursion). Frequenzen unter 20 Hz (Infraschall) sind kaum hörbar, verbrauchen aber enorme Energie (Headroom).
- **Mathematik:** Ein steilflankiger Hochpass bei 30 Hz entfernt diese Energie. Das Signal wird "sauberer", und der Limiter auf dem Master-Kanal muss später weniger arbeiten.

B. Das "Boxy"-Problem (Die Mitten)
Synthetische Kicks haben oft zu viel Energie zwischen **250 Hz und 400 Hz**.

- In diesem Bereich resoniert oft der Raum (und auch unser Gehörgang) auf eine Weise, die wir als "pappig" oder "topfig" empfinden.
- **Eingriff:** Ein schmalbandiger Notch-Filter (hoher Q-Faktor) oder eine Glockenkurve (Bell), die hier um 2-4 dB absenkt, schafft "Klarheit".
- **Bezug zur Psychoakustik:** Betrachte die **Fletcher-Munson-Kurven** (Isophone). Unser Gehör ist bei 300-500 Hz sehr empfindlich. Wenn die Kick hier zu laut ist, maskiert sie andere Elemente (Gitarren, Vocals). Durch das Absenken nutzen wir diese psychoakustische Lücke.

Notizen:

Udo Matthias
Drum Lessons

79589 Binzen
Baselstrasse 5
Mobil: 01751645387
e-mail: info@udomatthias.com
www.udomatthias.com
https://www.facebook.com/udo.matthias.3
https://myspace.com/udomatthias

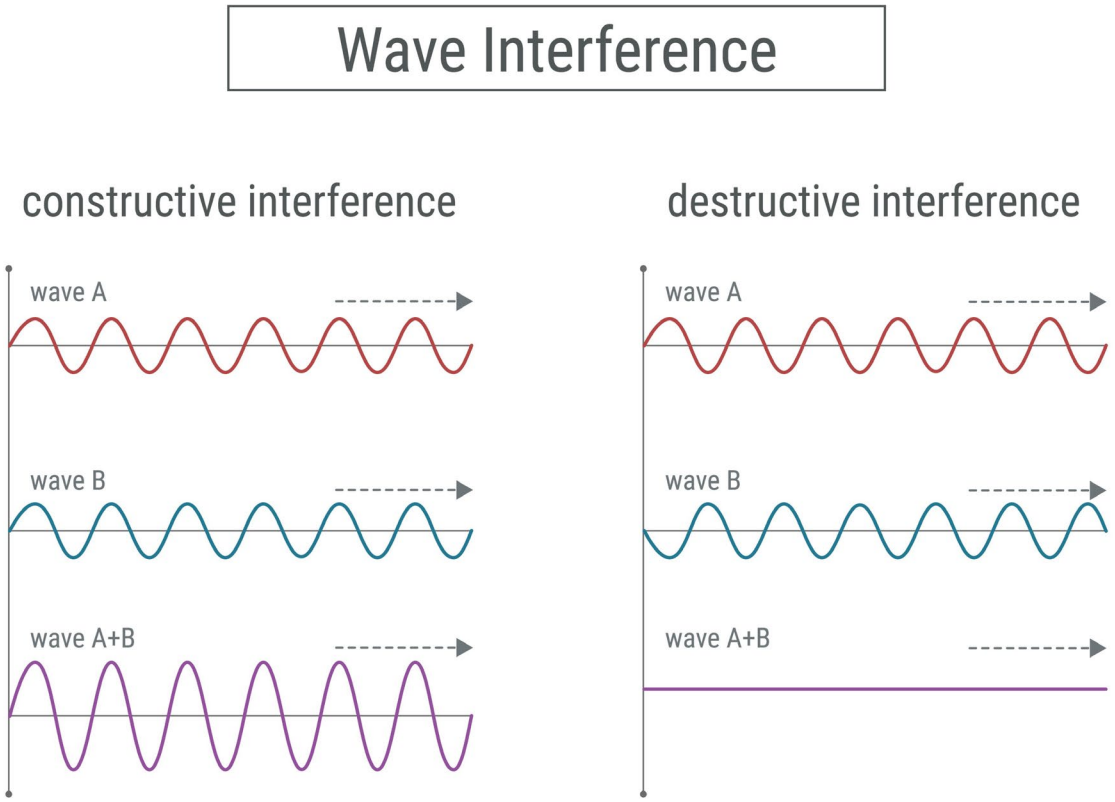
3. Phasenlage und Interferenz (Kick vs. Bass)

Dies ist das wichtigste Kapitel für das wissenschaftliche Sound Design im Kontext eines Tracks.
Die Kick Drum und der Basslauf (Bassline) teilen sich den Frequenzbereich von ca. 40 Hz bis 100 Hz.

➔Wenn beide gleichzeitig spielen, gilt das **Superpositionsprinzip**: Die Amplituden addieren sich.

Asumme(t)=Akick(t)+Abass(t)

Das Problem: Destruktive Interferenz
Wenn die Kick bei 50 Hz ihre positive Halbwelle hat, und der Bass bei 50 Hz gerade seine negative Halbwelle, löschen sie sich gegenseitig aus (1+(−1)=0). Der Druck verschwindet.



Notizen:

Udo Matthias
Drum Lessons

79589 Binzen
Baselstrasse 5
Mobil: 01751645387
e-mail: info@udomatthias.com
www.udomatthias.com
https://www.facebook.com/udo.matthias.3
https://myspace.com/udomatthias

Die Lösung 1: Sidechain-Kompression (Amplitudenmodulation)

Wir nutzen die Amplitude der Kick, um die Lautstärke des Basses temporär zu senken.

- Der Bass "duckt" sich weg, wenn die Kick spielt.
- **Wissenschaftlich:** Wir schaffen ein zeitliches Fenster ("Pocket"), in dem die Kick alleiniges Hoheitsrecht über den Sub-Bass-Bereich hat. Sobald die Kick abklingt, fährt der Bass wieder hoch.

Die Lösung 2: Phasen-Alignment

Wenn Sidechaining nicht gewünscht ist, muss die Phase korrigiert werden.

- In Ableton kann man (z.B. im *Utility* Plugin) die Phase um 180◦ drehen.
- Oder man verschiebt den Startzeitpunkt des Basses um wenige Millisekunden (Delay), bis sich die Wellenberge von Kick und Bass konstruktiv addieren (also verstärken) statt auslöschen.

4. Soft-Clipping (Sättigung als Limiter)

Zum Abschluss der Kette (oft direkt im "Glue Compressor" oder "Saturator"): Eine digitale Kick hat oft sehr hohe Pegelspitzen. Anstatt diese sauber abzufangen, ➔treiben wir sie bewusst in die **Sättigung**.

- **Transferfunktion:** Ein Saturator biegt die Wellenform an den Spitzen ab (tanh-Funktion / hyperbolischer Tangens), statt sie hart abzuschneiden.
- **Resultat:**
  1. Reduktion des Spitzenpegels (mehr Headroom).
  2. Erzeugung neuer Obertöne (Harmonische Verzerrung).
  3. Das Signal wirkt lauter, obwohl der mathematische Peak-Wert sinkt (Erhöhung der RMS-Lautheit).

Zusammenfassend haben wir nun aus einem einfachen Sinuston durch Modulation, Filterung, Kompression und Sättigung ein komplexes, physikalisch wuchtiges Ereignis geschaffen.

Notizen:

Auf youtube 1 liegt eine ganze Reihe von mir mit Beispielen aus der Physik!!

youtube 2

youtube 3