



Überblick

Grundlagen - „Digitaler Klang“ Klangsynthese Verfahren

Wavetable Oszillator

Additive Synthese

Ringmodulation

Amplitudenmodulation

Frequenzmodulation

Waveshaping

Weitere Verfahren

Programme

Stichworte

Quellenangaben

Fragen und Diskussion



Grundlagen - „Digitaler Klang“

Klangsynthese Verfahren

Wavetable Oszillator

Additive Synthese

Ringmodulation

Amplitudenmodulation

Frequenzmodulation

Waveshaping

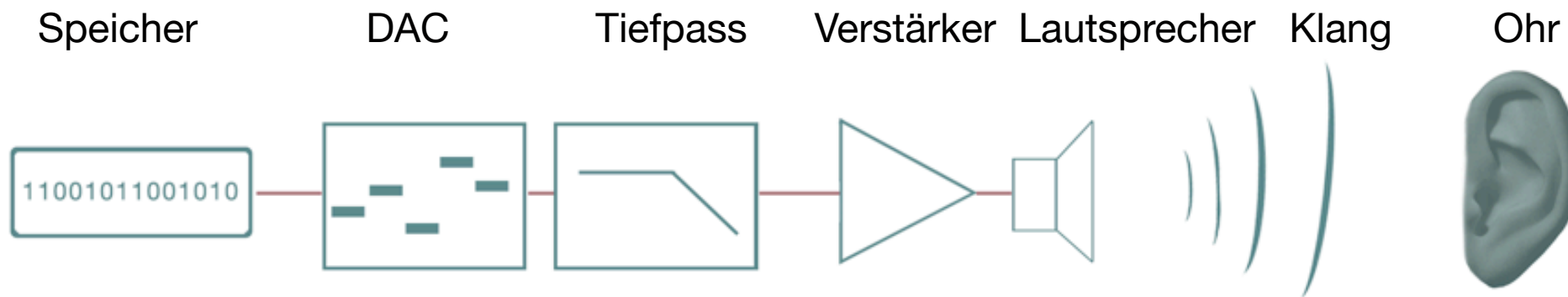
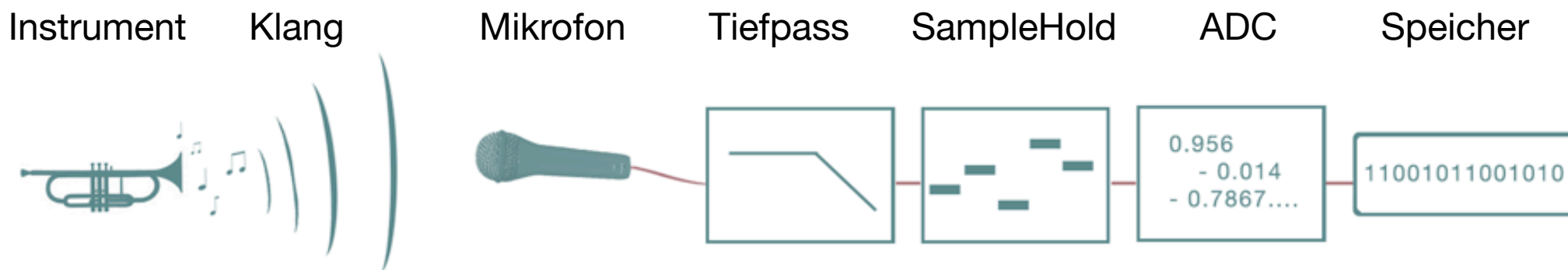
Weitere Verfahren

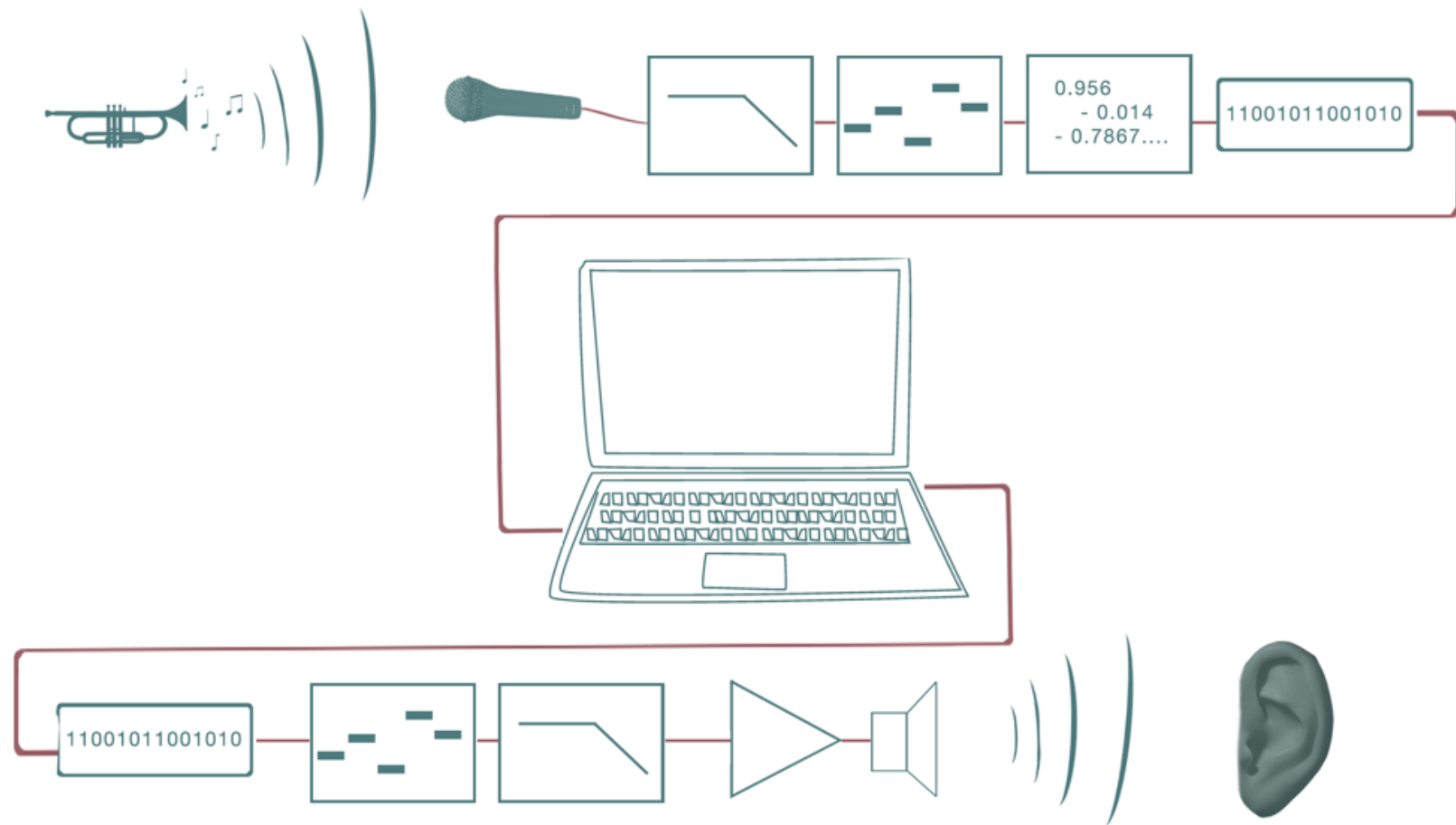
Programme

Stichworte

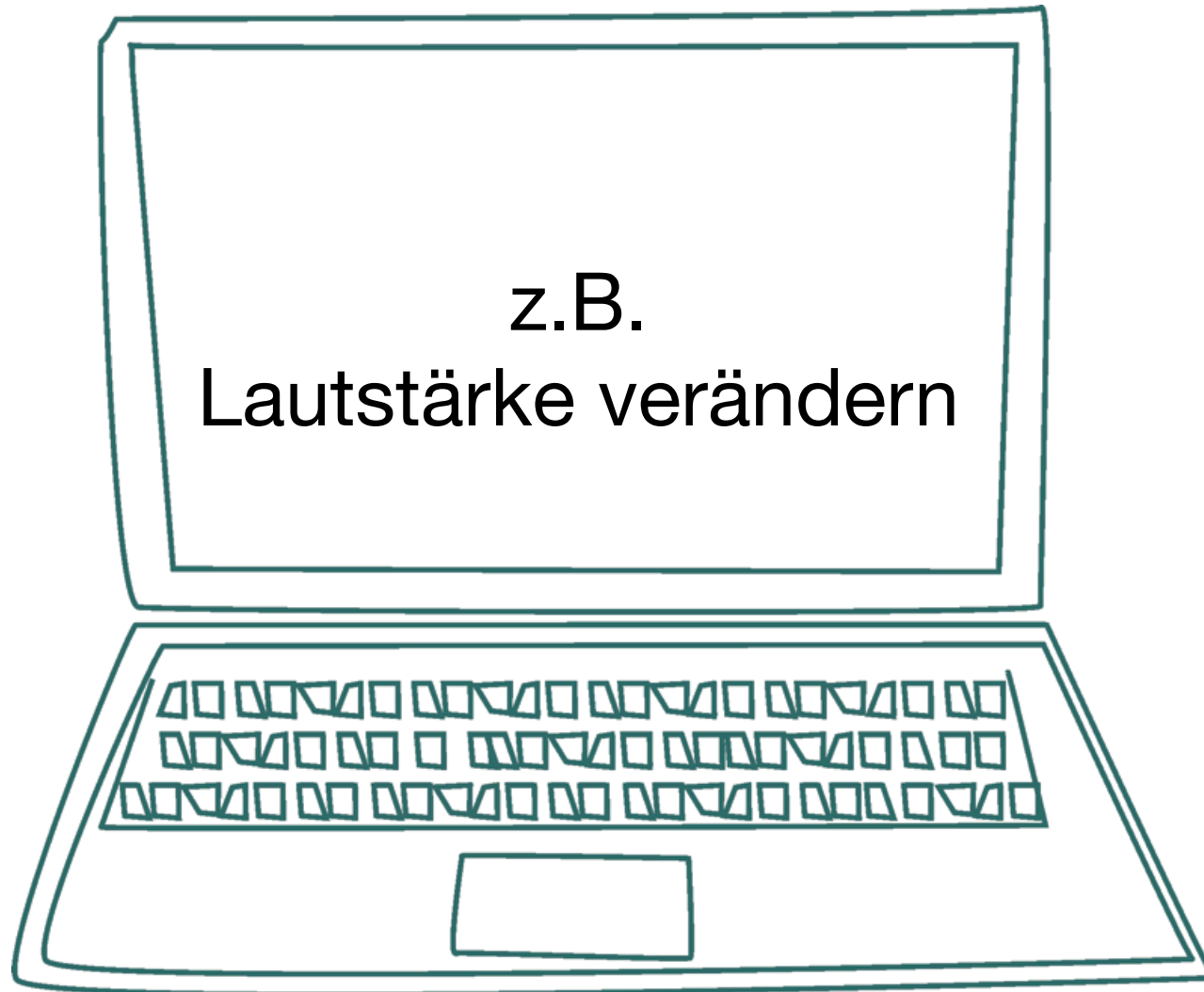
Quellenangaben

Fragen und Diskussion

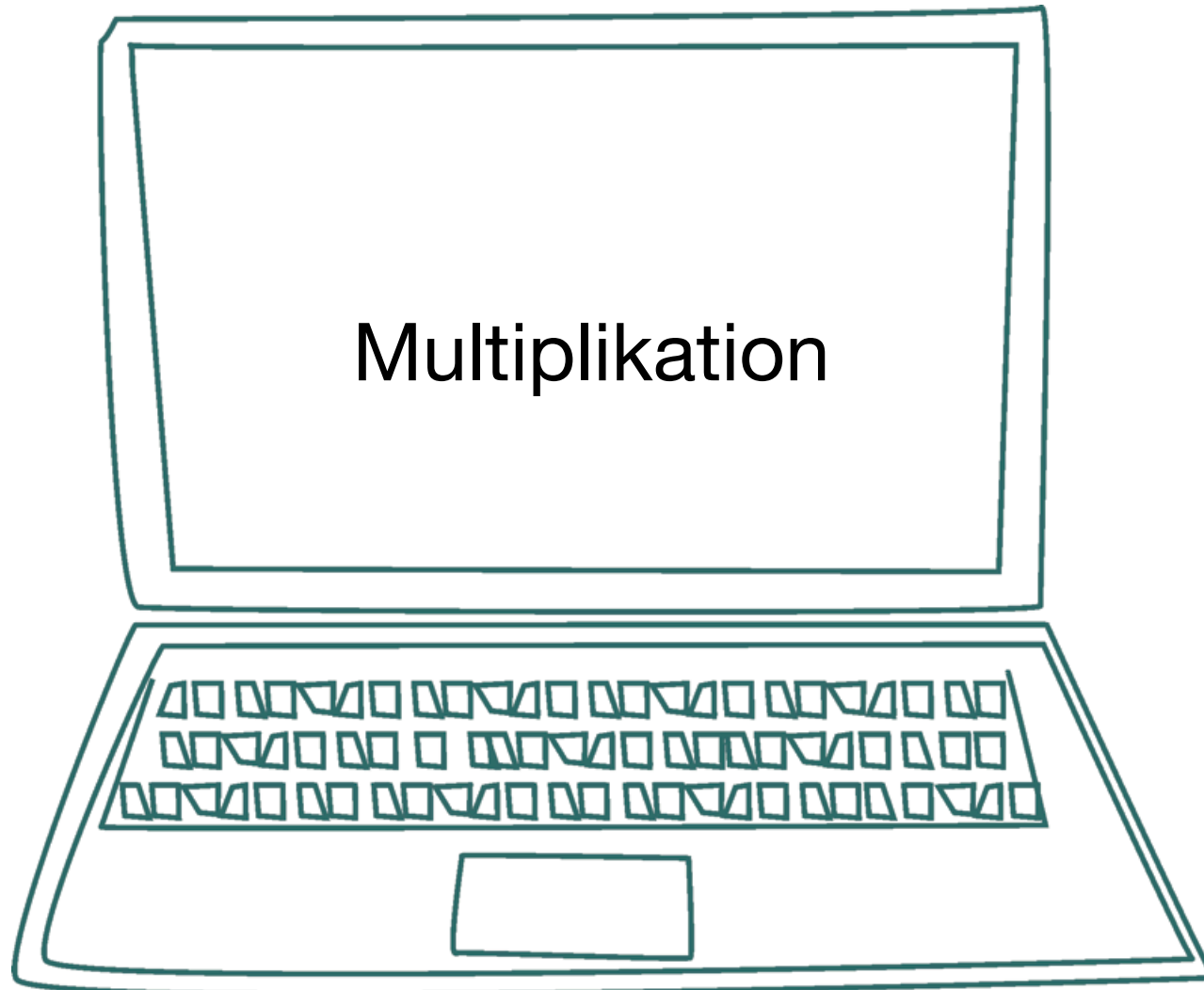




z.B.
Lautstärke verändern



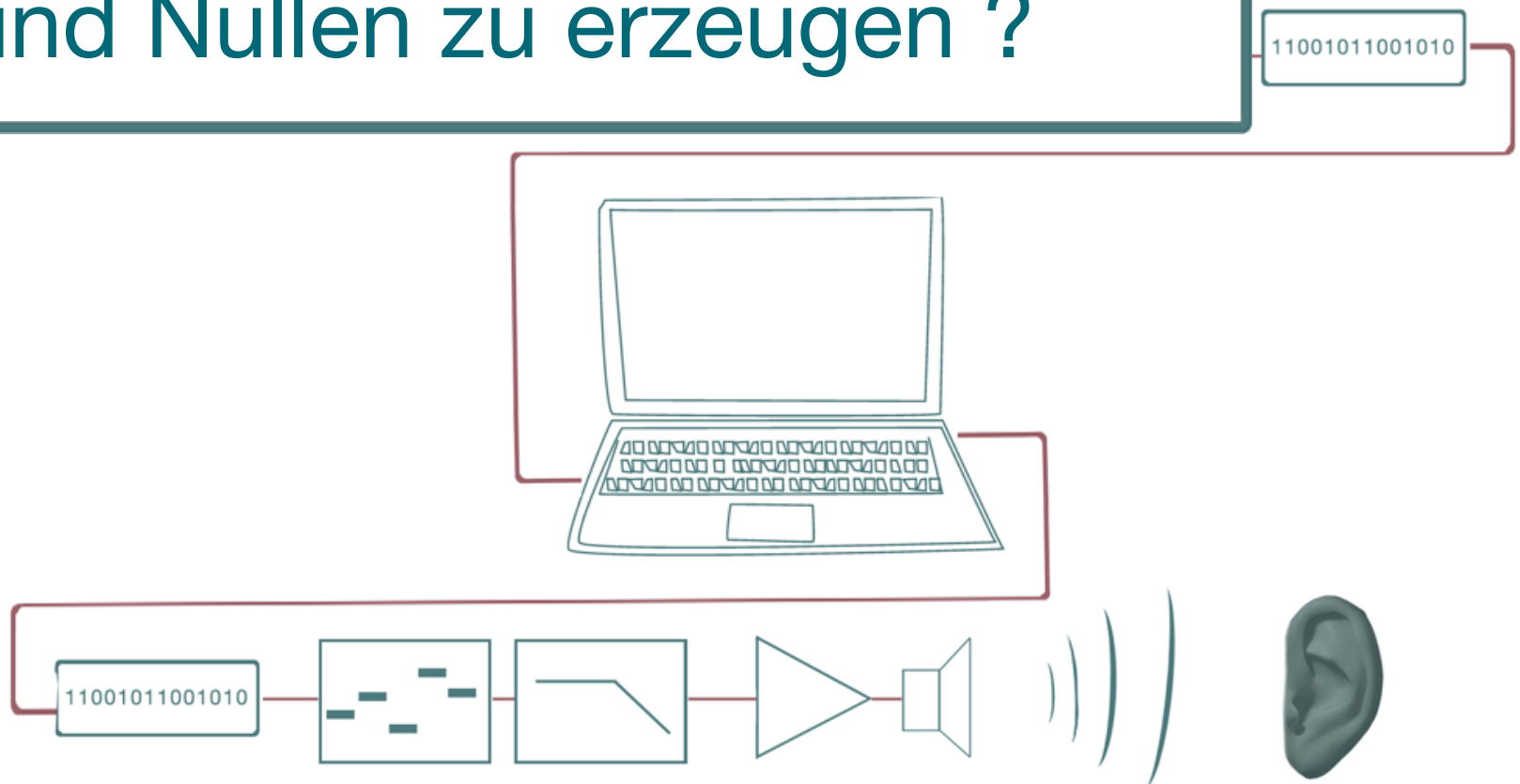
Multiplikation



Multiplikation



gibt es andere
Möglichkeiten die Einsen
und Nullen zu erzeugen ?



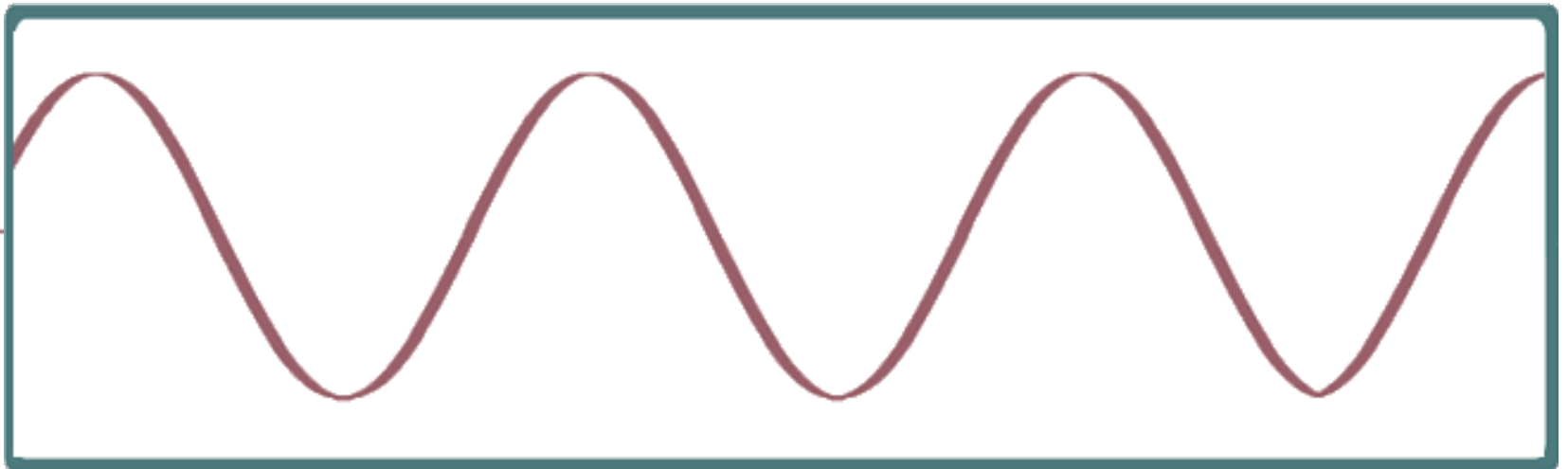
Mathematik

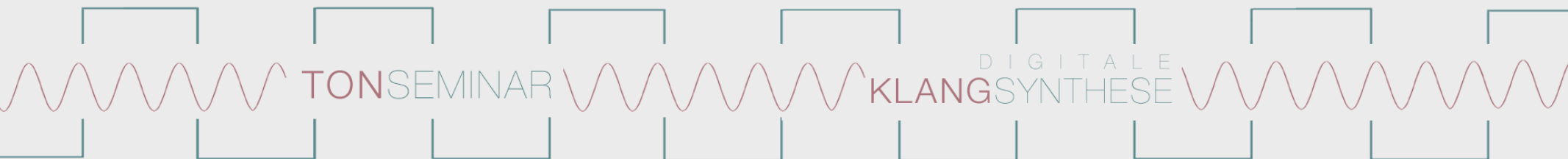
11001011001010

Computer

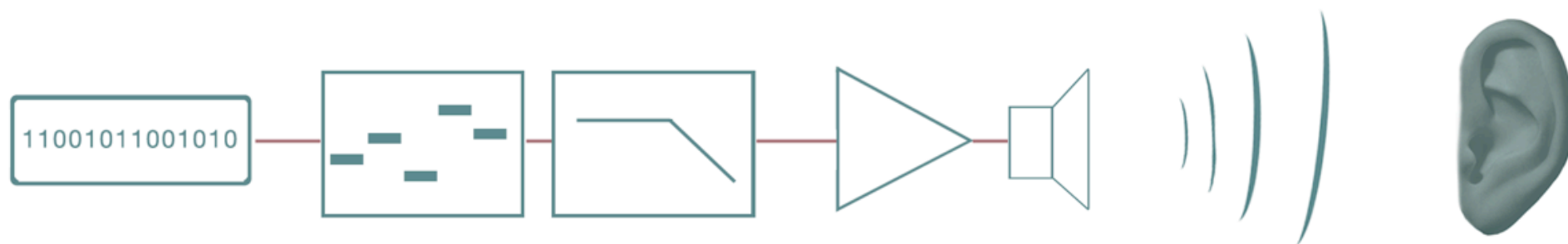
11001011001010

11001011001010

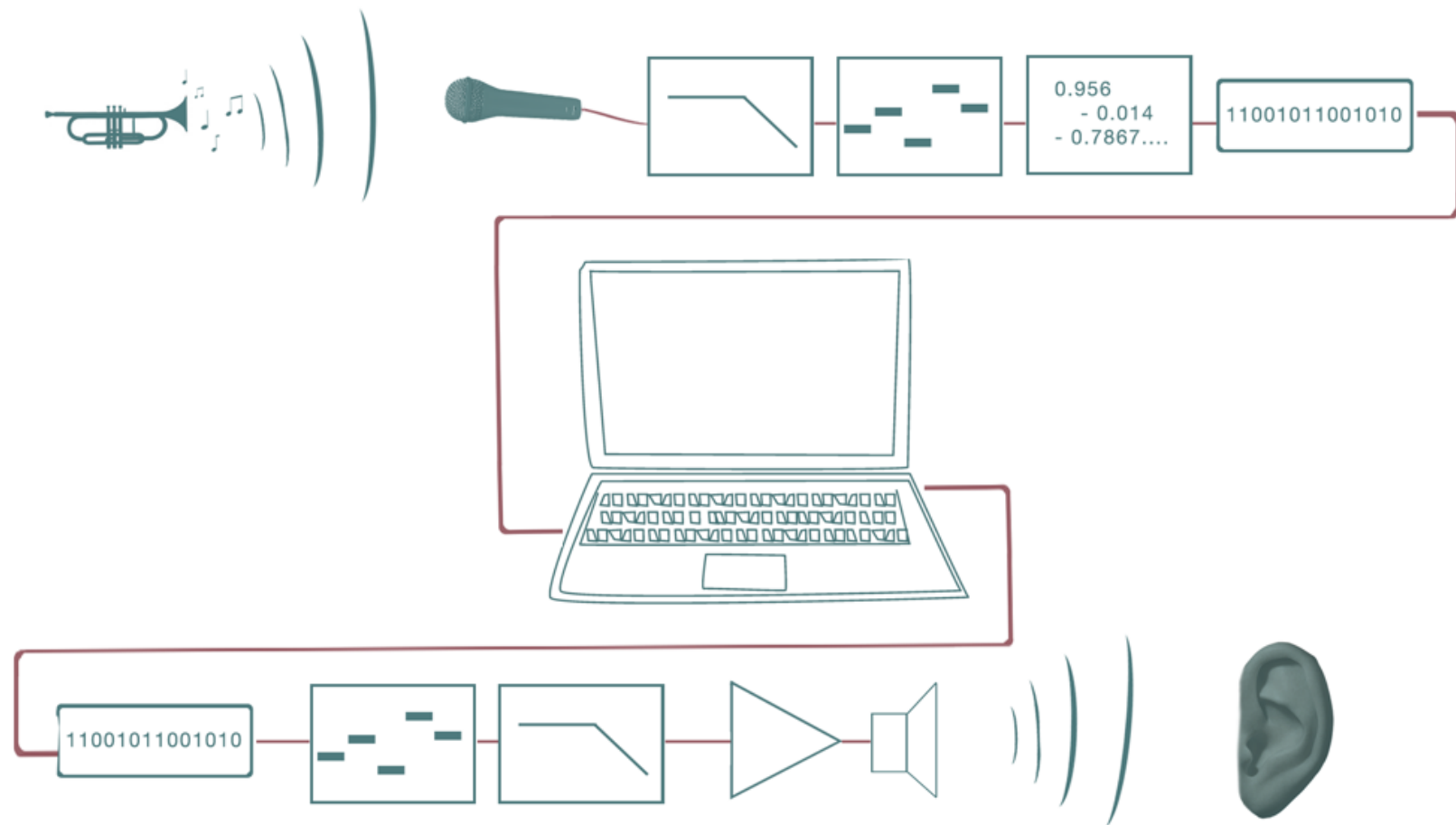




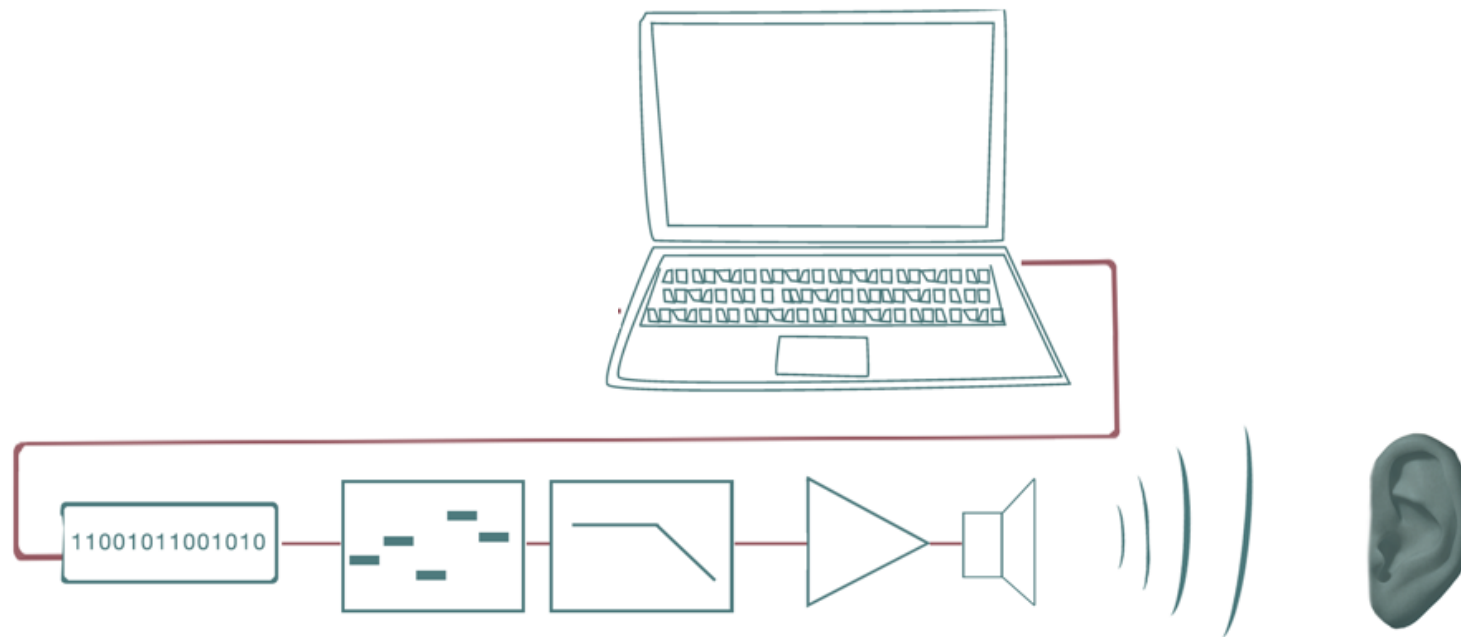
HdM SS2008 Hanna Schraffenberger



Ursprünglich analoge Klänge



Computergenerierte Klänge





Grundlagen - „Digitaler Klang“

Klangsynthese Verfahren



Wavetable Oszillator

Additive Synthese

Ringmodulation

Amplitudenmodulation

Frequenzmodulation

Waveshaping

Weitere Verfahren

Programme

Stichworte

Quellenangaben

Fragen und Diskussion

Grundlagen - „Digitaler Klang“

Klangsynthese Verfahren

Wavetable Oszillator

Additive Synthese

Ringmodulation

Amplitudenmodulation

Frequenzmodulation

Waveshaping

Weitere Verfahren

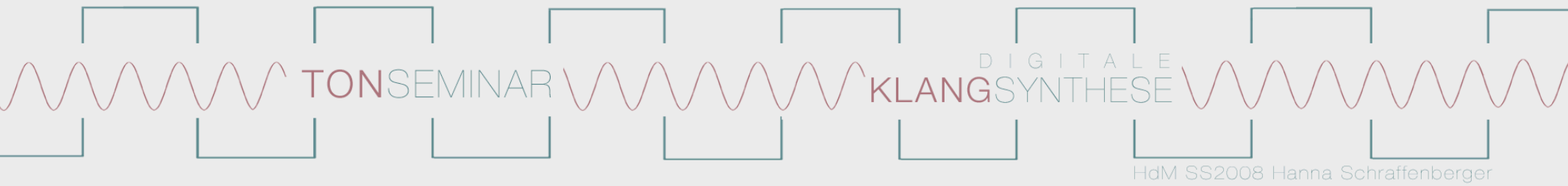
Programme

Stichworte

Quellenangaben

Fragen und Diskussion

Wavetable Oszillator



Wavetable Oszillator:

Computer liest (loopt) mit einer bestimmten Geschwindigkeit durch eine Liste mit Werten (also Zahlen), springt, wenn er den letzten Wert erreicht, zurück zum Anfang der Liste. Dies simuliert eine sich periodisch wiederholende Wellenform.

Wavetable Oszillator:



100,010,011,001,000

Wavetable Oszillator:



Zahlen die als “eine Welle” angesehen werden

Wavetable Oszillator:

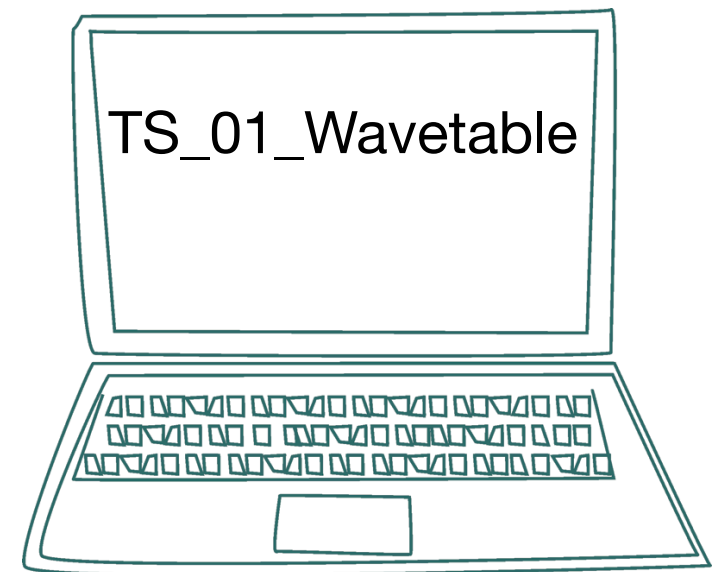
n Zahlen die als "eine Welle" angesehen werden Zahlen die als "eine Welle" angesehen werden Zahlen die als "eine Welle" angesehen werden Zahlen die als "eine Welle" angesehen werden

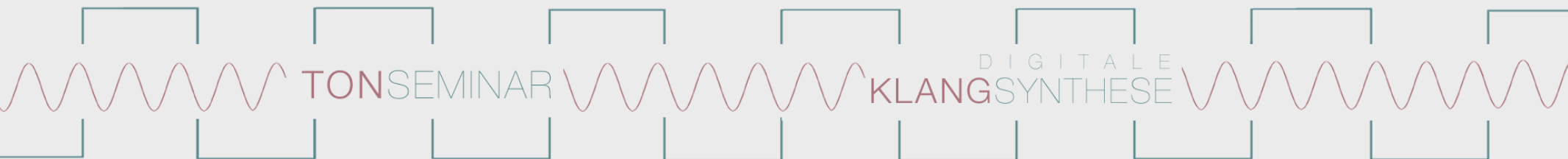
Wavetable Oszillator:

Im folgenden Beispiel benutzen wir einen Wavetable Oszillator, dessen Table-Werte eine Sinusschwingung beschreiben. Man kann die Geschwindigkeit mit der durch diese Liste gelesen wird bestimmen und somit die Frequenz des Sinustones einstellen. Der von mir benutzte Oszillator verwendet für die Beschreibung einer Schwingung 512 Werte.

Beispielanwendung 1:

Wavetable gefüllt mit Zahlen/Werten, die eine Sinusschwingung beschreiben.

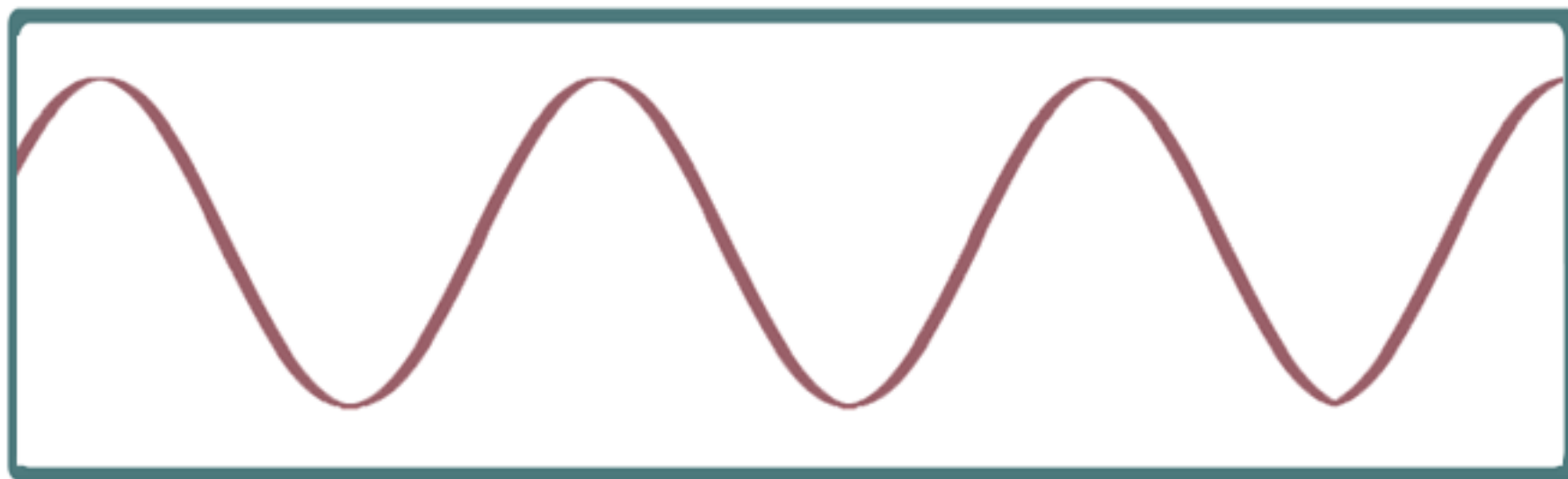




TONSEMINAR

DIGITALE
KLANGSYNTHESE

HdM SS2008 Hanna Schraffenberger

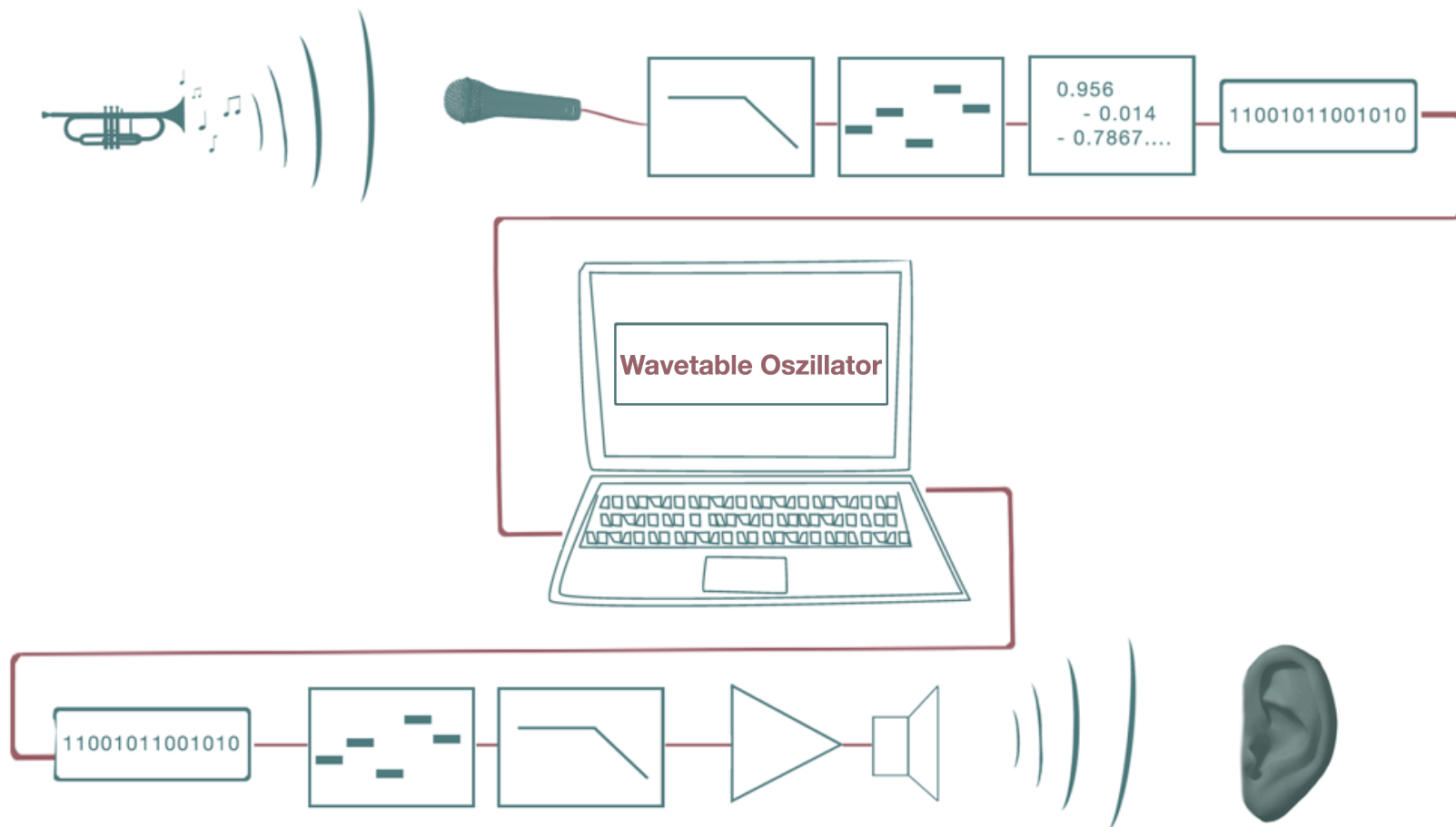


Wavetable Oszillator:

Im vorherigen Beispiel haben wir einen Wavetable Oszillator benutzt, dessen Table-Werte eine Sinusschwingung beschreiben.

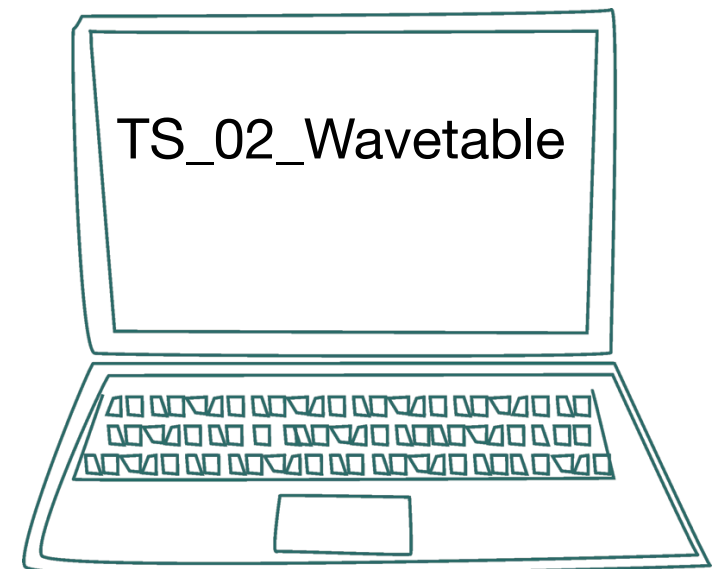
Man kann mit einem Wavetable Oszillator jedoch durch jede beliebige Liste mit Werten lesen und diese als „eine Wellenlänge“ betrachten. Der von mir benutzte Wavetable Oszillator benutzt hierfür immer 512 Werte. Man kann ihm also Wertelisten mit 512 Einträgen übergeben. Dies geschieht, indem man ihn mit Soundfiles „füttert“, die entweder 512 Werte (Samples) besitzen, oder aber länger sind. In diesem Fall werden die 512 ersten Werte benutzt. (Es kann jedoch auch ein anderer Startwert gesetzt werden).

Die resultierende Frequenz (bzw. die Geschwindigkeit, mit der durch die Liste gelesen wird) lässt sich wie gehabt einstellen.



Beispielanwendung 2:

Wavetable gefüllt mit Zahlen/Werten, die aus einem aufgenommenen Soundschnipsel bestehen.





Grundlagen - „Digitaler Klang“

Klangsynthese Verfahren



Wavetable Oszillator



Additive Synthese



Ringmodulation

Amplitudenmodulation

Frequenzmodulation

Waveshaping

Weitere Verfahren

Programme

Stichworte

Quellenangaben

Fragen und Diskussion

Fourier Theorem und Gedanken hierzu.....

Fouriers Theorem besagt, das man jedes beliebige periodische Signal in eine Summe von Sinus- und Kosinusfunktionen (eine sogenannte Fourier-Reihe) zerlegen kann. Man zerlegt ein Signal damit in seine Frequenzanteile.

Im Umkehrschluss kommt man zu der Erkenntnis, dass jedes beliebige periodische Signal durch Zusammenfügen von verschiedenen Sinus- und Kosinusfunktionen generiert werden kann. Man kann sich einen gewünschten Ton also aus seinen einzelnen Frequenzanteilen „zusammenbauen.“

Dies veranlasst mich zu einigen Experimenten, bei denen ich verschiedene Sinus-Töne addiere bzw. mische. Ich versuche hierbei Töne existierender Instrumente zu imitieren sowie neuartige Töne zu schaffen. Diese Methode wird als Additive Synthese bezeichnet. Man kann mit dieser Methode natürlich nicht nur Sinus-Töne addieren, ich beschränke mich aber vorerst darauf, da nach dem Fourier Theorem hiermit schon spannende Ergebnisse zu erwarten sind.

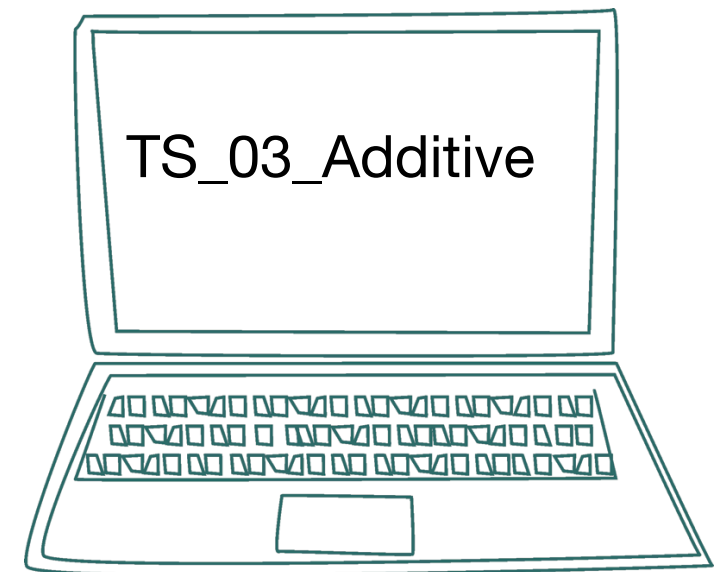
Additive Synthese:

Komplexe Töne durch Zusammenstellen von vielen Schwingungen:

Bei der additiven Synthese wird der Klang durch Zusammenstellen der gewünschten harmonischen Teiltöne erzeugt. Die additive Synthese basiert auf dem Fourier Theorem, dieses besagt, dass jeder denkbare Klang aus einer Mischung von vielen einzelnen Sinusschwingungen erzeugt werden kann (Fouriersynthese). Um einen komplexen Klang zu erzeugen braucht man Teiltöne, deren Lautstärkeverlauf man kontrollieren können sollte. Bei der Addition von verschiedenen Sinusschwingungen entstehen Interferenzen.

Beispielanwendung 3:

Additive Synthese mit Beispielklängen





Grundlagen - „Digitaler Klang“

Klangsynthese Verfahren



Wavetable Oszillator

Additive Synthese



Ringmodulation



Amplitudenmodulation

Frequenzmodulation

Waveshaping

Weitere Verfahren

Programme

Stichworte

Quellenangaben

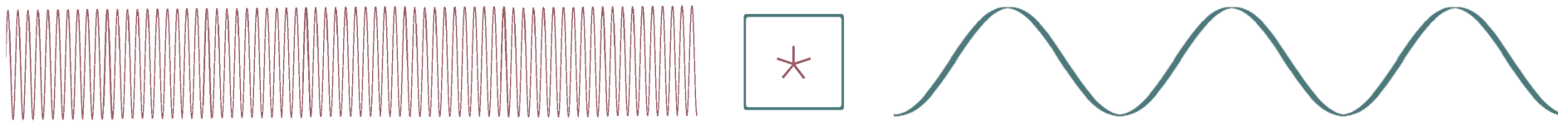
Fragen und Diskussion

Ring Modulation:

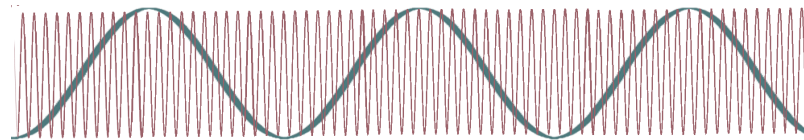
Multiplizieren von Signalen:

Bei der additiven Synthese haben wir gesehen, wie man durch das Addieren von Sinustönen komplexe Töne erzeugen kann. Im folgenden Beispiel werden Signale nicht addiert sondern multipliziert. Das heißt, die jeweiligen Amplituden zweier (!) Signale werden kontinuierlich multipliziert. Dies erzeugt einen Effekt, der als Ringmodulation bezeichnet wird. Die Ringmodulation ist eine spezielle Form der Amplitudenmodulation. Modulation heißt hier „verändert“. Die Amplitude einer Wellenform wird verändert, indem ihr Wert kontinuierlich mit dem Wert der Amplitude einer anderen Wellenform multipliziert wird. Man kann natürlich alle möglichen Signale miteinander multiplizieren (besonders spannende Klänge entstehen so!), im Beispiel beschränke ich mich auf das Multiplizieren von Sinusschwingungen, da einige Effekte so besonders nachvollziehbar demonstriert werden können.

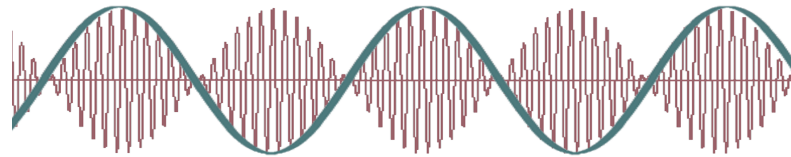
Multiplizieren von Amplituden: (Visuelle Verdeutlichung)



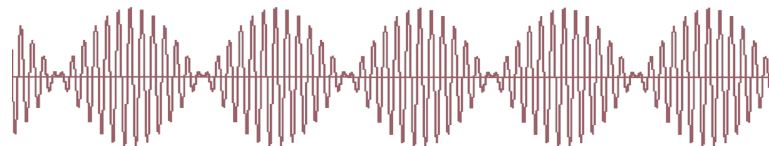
verdeutlicht



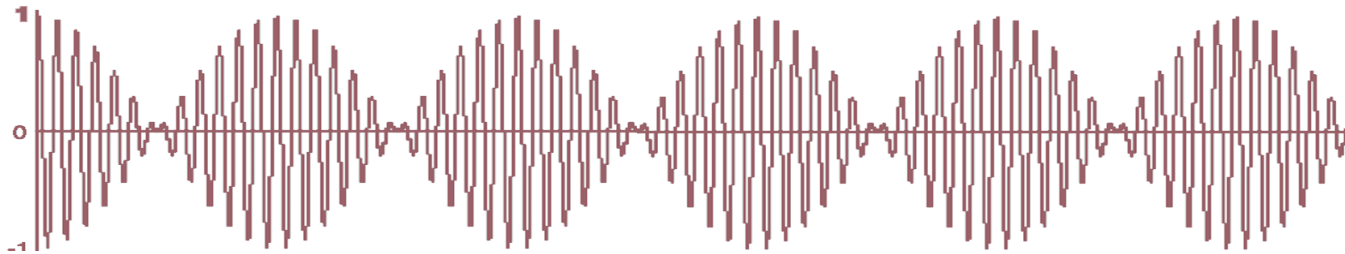
verdeutlicht



Resultat



Was hört man?



Man hört:

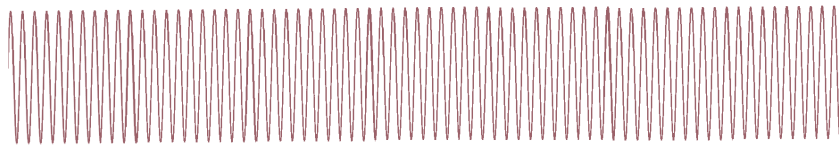
Tremolo - Seitenbänder

Bei einer kleinen Modulations-Frequenz (bis ~30 Hz) : Tremolo!

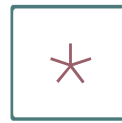
Die Multiplikation erzeugt Seitenbänder bei den Summen und Differenzen der zwei Frequenzen. Dies kann ein „Schweben“, Interferenztöne sowie verschmelzende komplexe Töne erzeugen (letzteres passiert, wenn die Frequenzen harmonisch verwandt sind). Werden zwei Signale multipliziert, so wird die resultierende Amplitude vom Produkt der Träger- und Modulatoramplitude abhängig.

Beispiele:

Träger Frequenz



1000 Hz



Modulator Frequenz



1 Hz

Man hört:

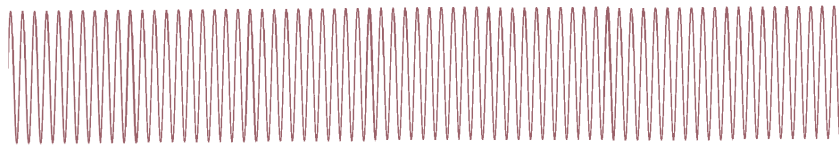
Die Amplitude wird 2 mal pro Sekunde Null (= Tremolo, nicht Vibrato!)

1001 Hz sowie 999 Hz (ergeben in menschlicher Wahrnehmung aber 1000 Hz, da die Frequenzen nah zusammen liegen!)

2 Hz Schwebung in den 1000 Hz, aufgrund der Differenz $1001 - 999 = 2$

Beispiele:

Träger Frequenz



1000 Hz



Modulator Frequenz



50 Hz

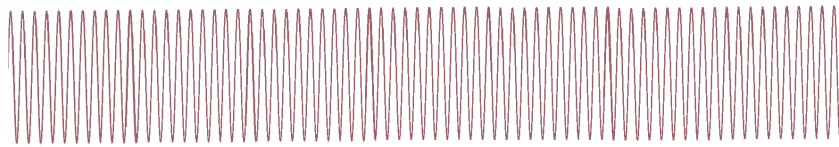
Man hört:

Die Tremolorate wird hörbar: $2 * 50 \text{ Hz} = 100 \text{ Hz}$

1050 Hz sowie 950 Hz

Beispiele:

Träger Frequenz



1000 Hz



Modulator Frequenz



200 Hz

Man hört:

Die Tremolorate ist hörbar: $2 * 200 \text{ Hz} = 400 \text{ Hz}$

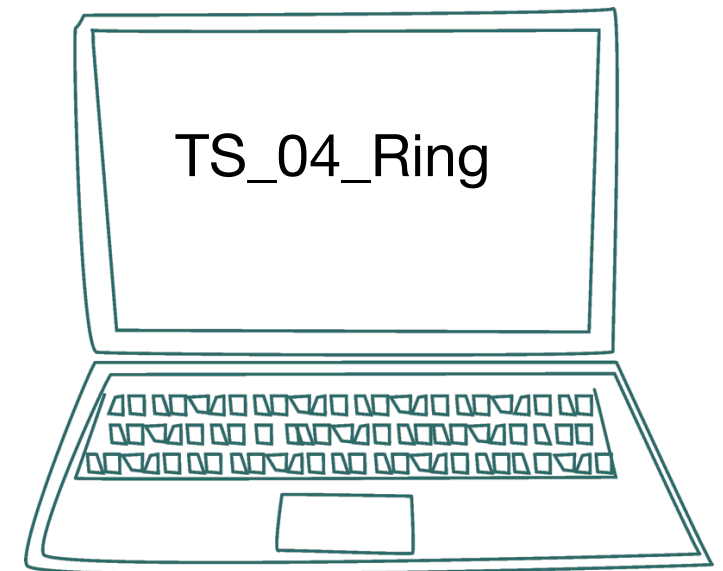
800 Hz sowie 1200 Hz

...also 400, 800 sowie 1200 Hz!

Dies ist eine harmonische Angelegenheit!

Beispielanwendung 4:

Ringmodulation mit Beispielklängen





Grundlagen - „Digitaler Klang“

Klangsynthese Verfahren



Wavetable Oszillator

Additive Synthese

Ringmodulation



Amplitudenmodulation



Frequenzmodulation

Waveshaping

Weitere Verfahren

Programme

Stichworte

Quellenangaben

Fragen und Diskussion

Amplituden Modulation:

Multiplizieren von Signalen:

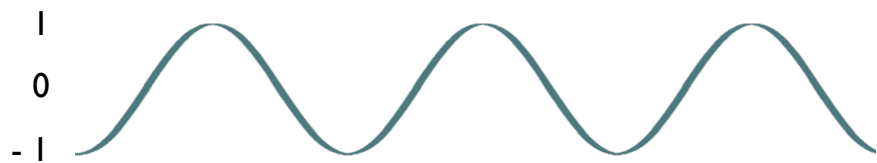
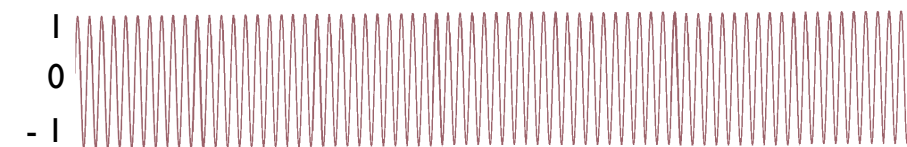
Bereits bei der Ringmodulation haben wir die Amplitude einer Wellenform verändert, indem ihr Wert kontinuierlich mit dem Wert der Amplitude einer anderen Wellenform multipliziert wurde.

Hier hat die Amplitude des Modulators die Trägeramplitude bis auf den Wert Null gesenkt.

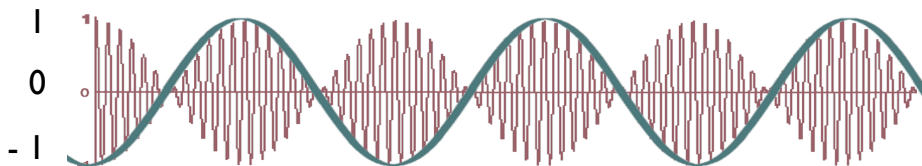
Im allgemeineren Fall der Amplitudenmodulation wird der Modulator benutzt, um die Amplitude des Trägers zwar zu beeinflussen, ihren Wert zu verringern, jedoch nicht, um sie ganz auf Null abzusenken.

Das klingt etwas kompliziert, aber das folgende Bild demonstriert die Amplitudenmodulation sowie den Unterschied zur Ringmodulation verständlich!

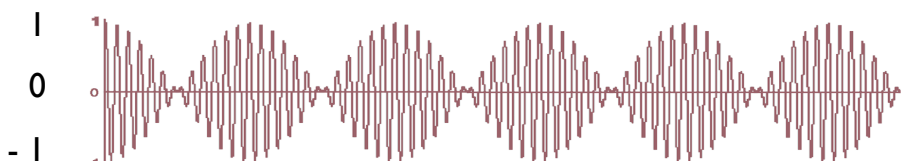
Ringmodulation



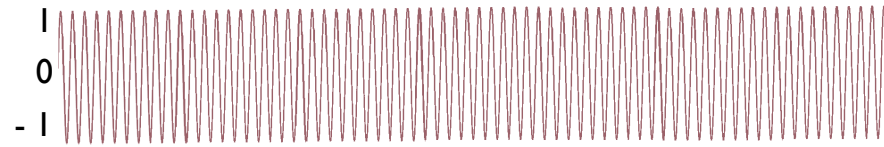
verdeutlicht



Resultat



Amplitudenmodulation

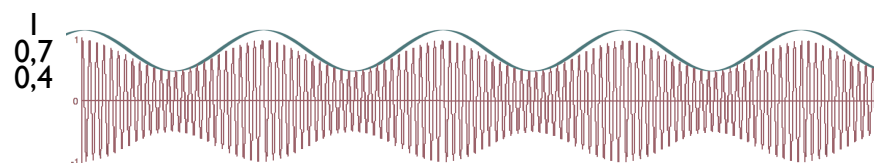


DC Offset

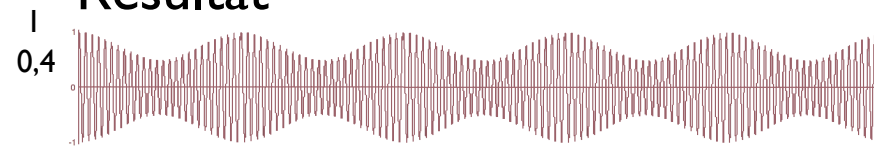


0,7

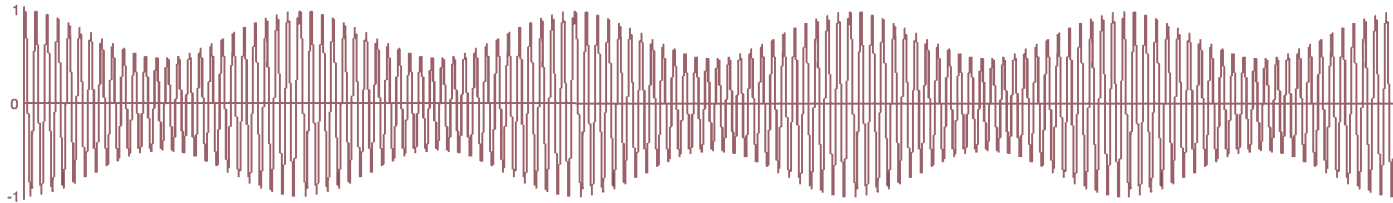
verdeutlicht



Resultat



Was hört man?



Man hört:

Bei einer kleinen Modulations-Frequenz: Tremolo!

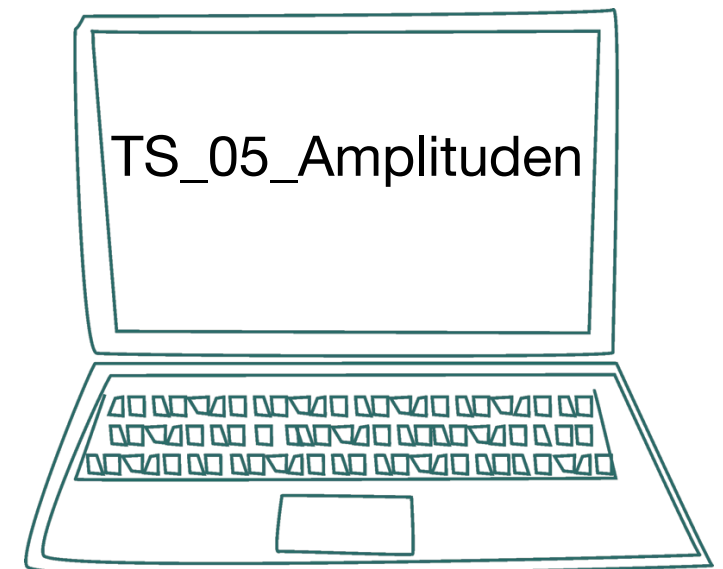
Tremolo-Frequenz = Modulator-Frequenz

Tremolo-Stärke = Modulator-Amplitude

Die Multiplikation erzeugt Seitenbänder bei den Summen und Differenzen der zwei Frequenzen. Man hört hier im Gegensatz zur Ringmodulation jedoch auch die Träger-Frequenz!

Beispielanwendung 5:

Amplitudenmodulation mit Beispielklängen





Grundlagen - „Digitaler Klang“

Klangsynthese Verfahren



Wavetable Oszillator

Additive Synthese

Ringmodulation

Amplitudenmodulation



Frequenzmodulation



Waveshaping

Weitere Verfahren

Programme

Stichworte

Quellenangaben

Fragen und Diskussion

Frequenz Modulation:

Frequenz Modulation (FM) bezeichnet eine Veränderung der Frequenz eines Signals durch die Modulation mit einem anderen Signal. In der Regel wird die Frequenz eines Sinus-Träger-Signals variiert, indem kontinuierlich das Ausgangssignal eines Sinus-Modulators addiert wird. Der zeitlich variierende Ausgangswert des Modulator-Signals wird hierbei also zur konstanten Frequenz des Trägers addiert.

Die Frequenz des Modulators bestimmt hierbei die Modulationsrate.

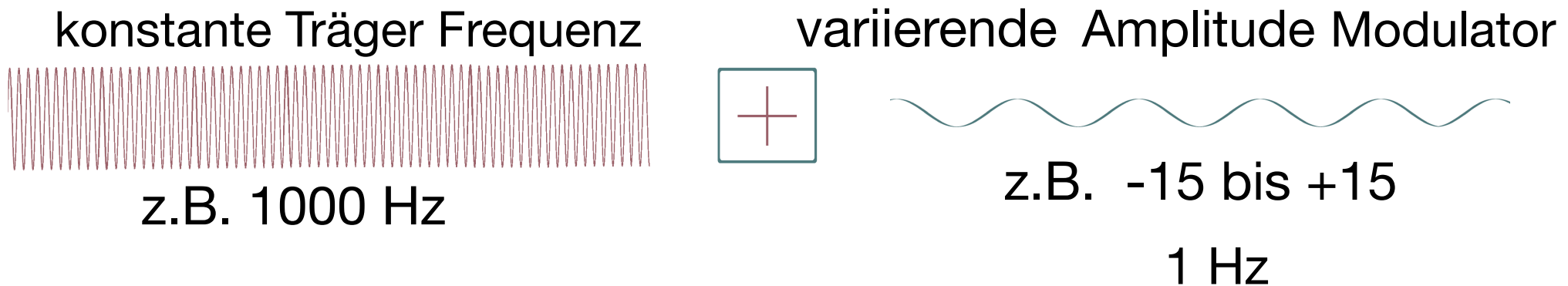
Die Amplitude des Modulators bestimmt die Intensität des Effekts.

Ein Modulator mit geringer Frequenz erzeugt ein Vibrato. (Hier wird die Tonhöhe um die Trägerfrequenz herum leicht variiert).

Die FM erzeugt volle, komplexe Töne, die aus vielen Teiltönen bestehen, obwohl nur zwei Signale benötigt werden und die Rechnerauslastung gering bleibt.

Man kann sowohl Instrumente imitieren als auch neuartige Klangfarben erschaffen.

Verdeutlichung Frequenzmodulation:



=

Frequenz schwankt zwischen 985 und 1015 Hz
(in der Geschwindigkeit 1 mal pro Sekunde)

Frequenzmodulation

Man hört:

Vibrato - viele Seitenbänder - verschiedene Timbres

Bei einer kleinen Modulations-Amplitude: Vibrato:

Modulator-Frequenz = Modulationsrate. (Wie schnell das Vibrato ist)

Modulator-Amplitude = Intensität des Effekts. (Ausschwenkung des Vibratos)

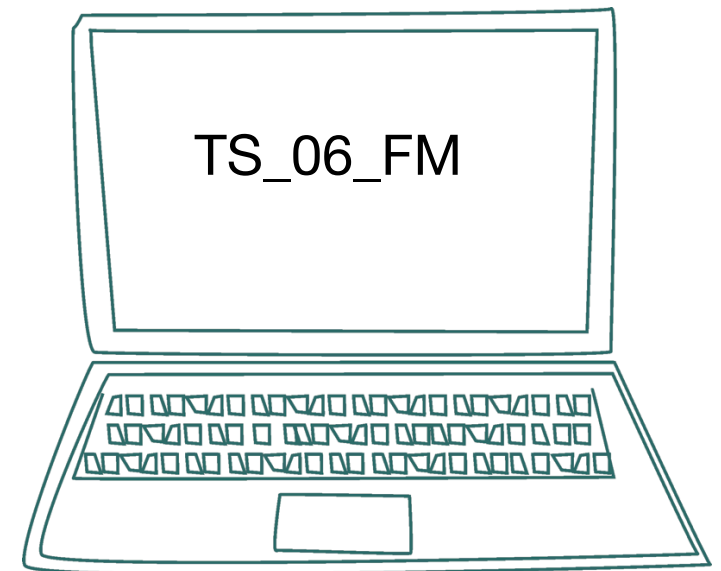
Bei größerer Modulator-Amplitude:

Viele Seitenbänder, also viele Frequenzen. Bestimmend ist das Verhältnis zwischen der Träger-Frequenz und der Modulator-Frequenz.

Timbre - Die Stärke der jeweiligen Seitenbänder (das Timbre) wiederum hängt vom Verhältnis der Amplitude des Modulators zur Frequenz des Modulators ab.

Beispielanwendung 6:

Frequenzmodulation



Frequenzmodulation

Entscheidend sind zwei Verhältnisse:

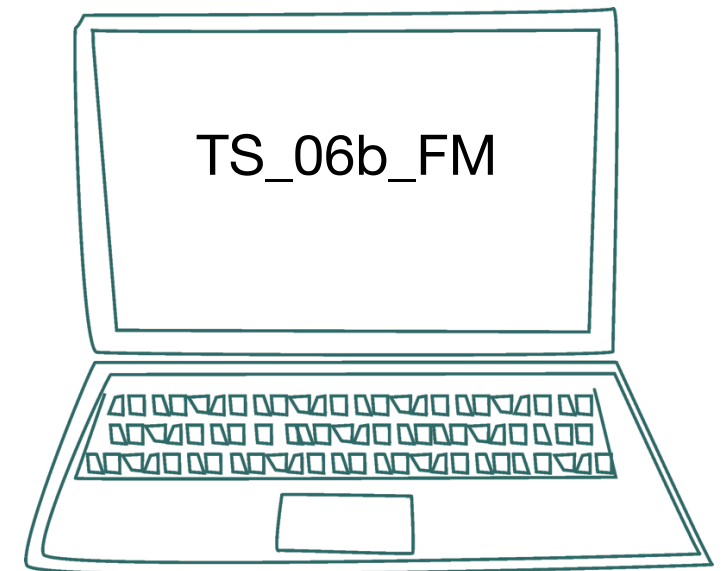
Seitenbänder = Träger-Frequenz / Modulator-Frequenz.

Timbre = Amplitude des Modulators / Frequenz des Modulators

Daher ist es sinnvoll, die FM über diese zwei Verhältnisse zu steuern.

Beispielanwendung 6b:

Frequenzmodulation mit Beispielklängen





Grundlagen - „Digitaler Klang“

Klangsynthese Verfahren



Wavetable Oszillator

Additive Synthese

Ringmodulation

Amplitudenmodulation

Frequenzmodulation



Waveshaping



Weitere Verfahren

Programme

Stichworte

Quellenangaben

Fragen und Diskussion

Waveshaping Synthese:

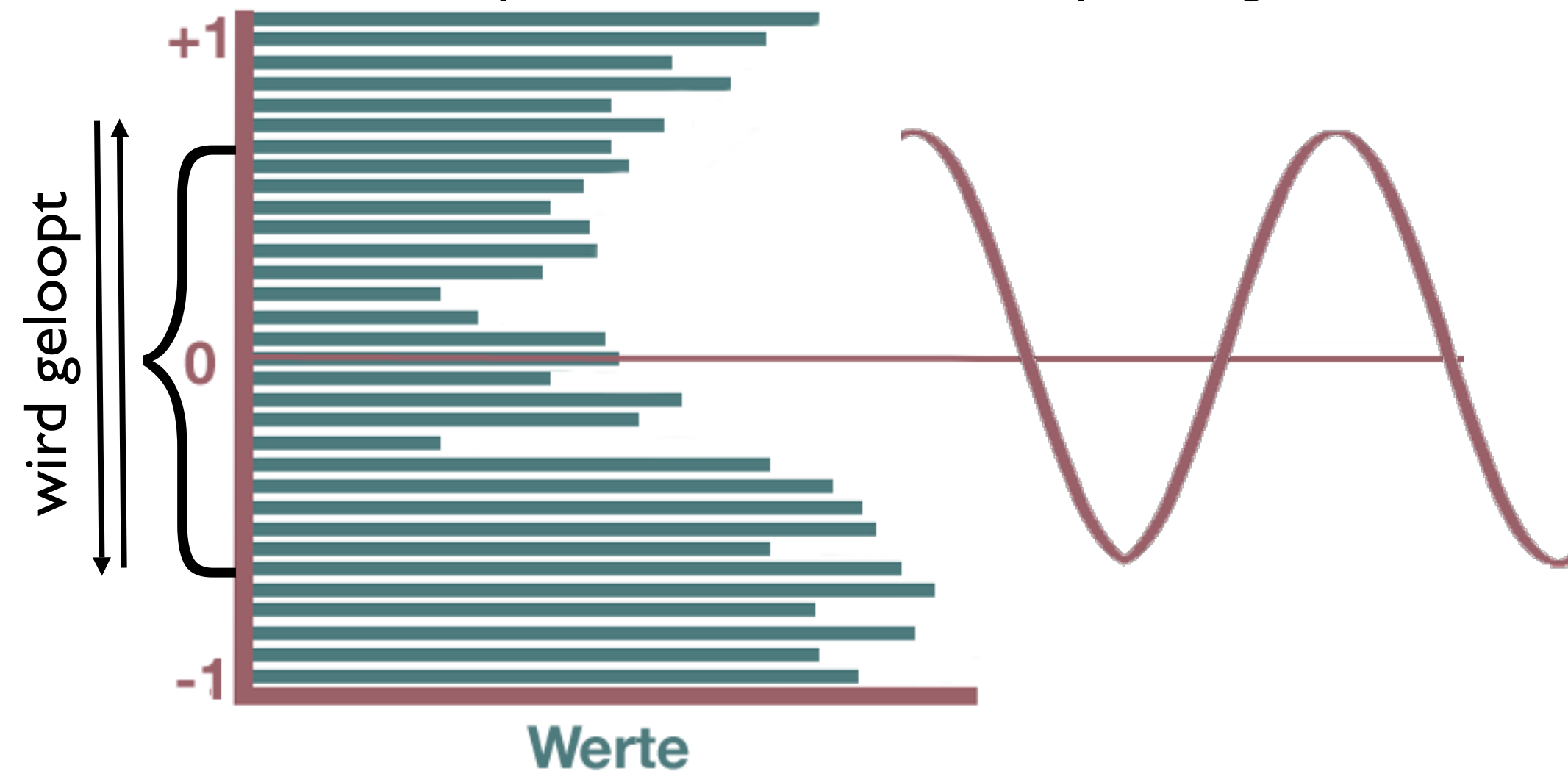
Wir haben bereits in einem früheren Beispiel einen Speicher benutzt, den wir eingelesen haben und durch den wir mit einem Wavetable Oszillator geloopt haben.

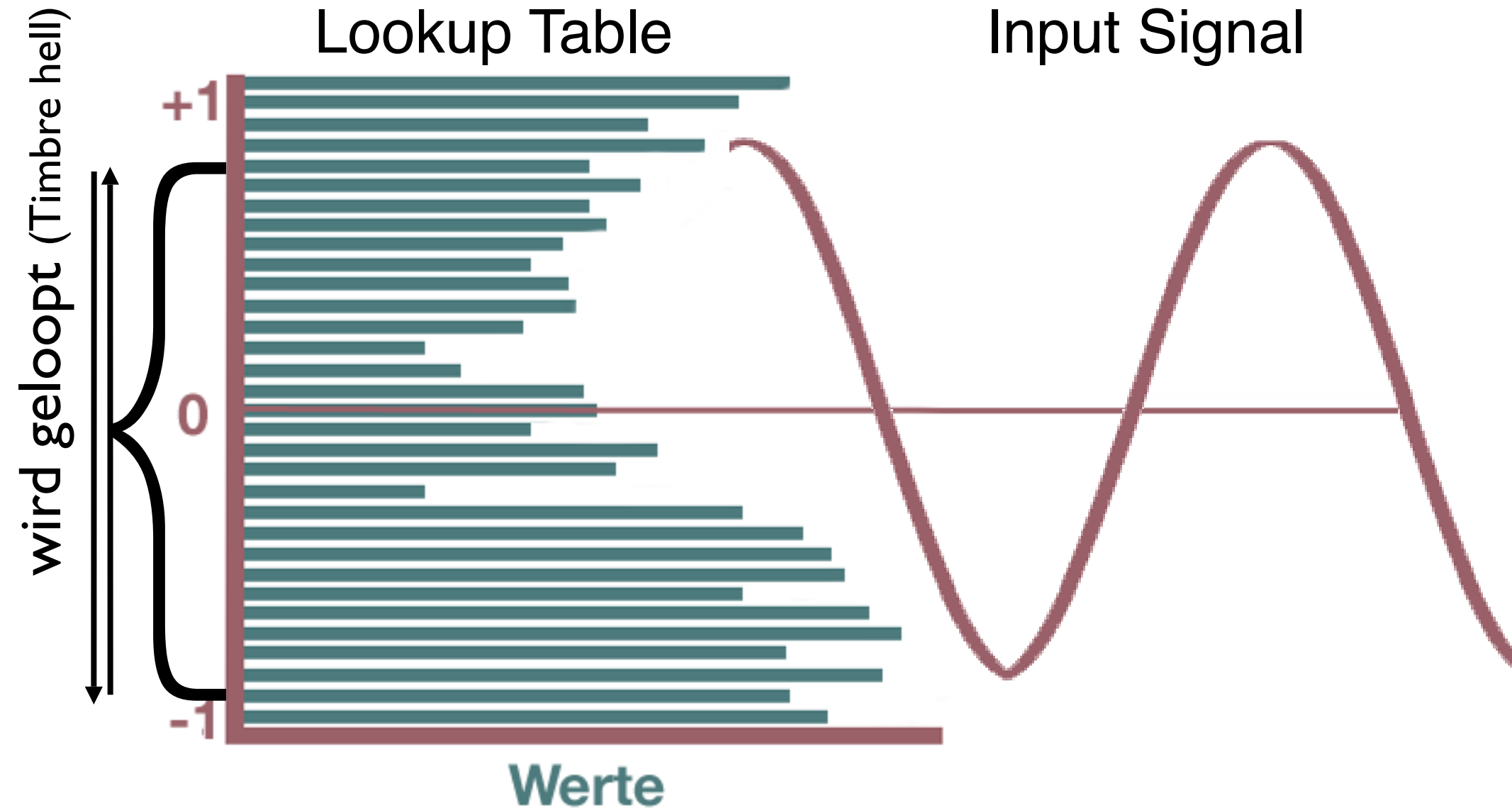
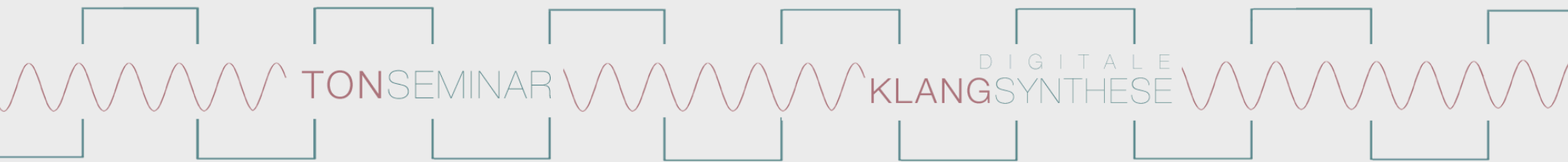
Bei der Waveshaping Synthese geht man ähnlich vor.

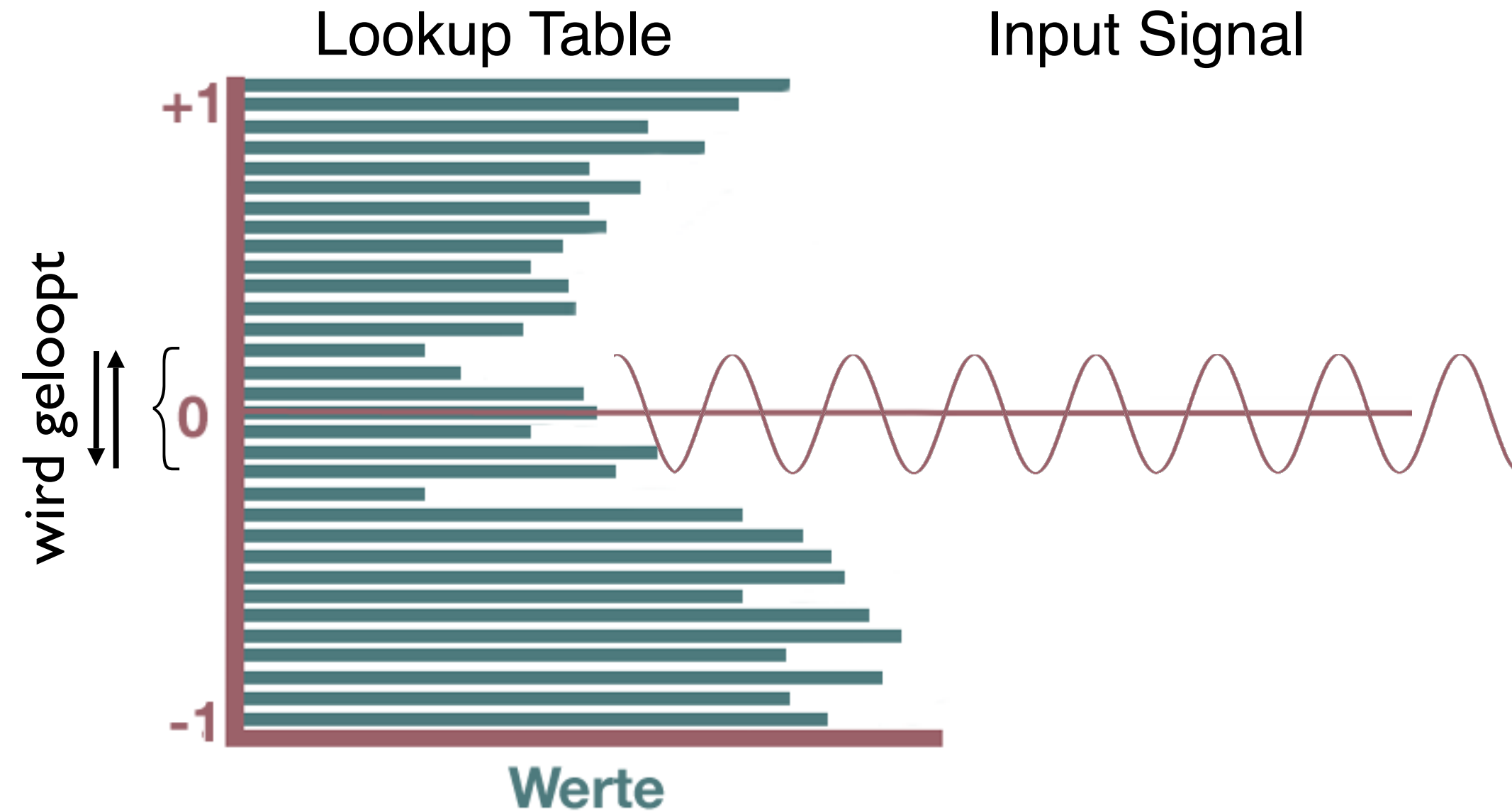
In einem „Lookup Table“ werden Werte gespeichert. Diese Werte werden dann mit einem Audio-Signal angesteuert. Jedes Sample des Eingangssignals wird dann als Index-Wert verstanden, der zu diesem Index gehörende Wert im Lookup Table wird dann ausgelesen. In der Regel benutzt man hierzu ein Sinussignal. Es ist sinnvoll, die nichtlinearen Werte im „Lookup Table“ auf einen linearen Wertebereich abzubilden, zum Beispiel auf den Bereich -1 bis 1, da dieser den möglichen Amplitudenwerten unseres Standard-Sinustones entspricht. Wichtig ist, dass eine Veränderung in der Amplitude des Eingangssignals Auswirkungen darauf hat, wie viele Werte des Lookup Tables benutzt werden. Bei einem Amplituden-Umfang die von -1 bis 1 wird der gesamte Lookup Table genutzt. Mit abnehmender Amplitude verringert sich die Anzahl der gespielten Werte. Reicht die Amplitude von 0,2 bis -0,2 wird nur das mittlere Fünftel des Lookup Tables genutzt. Das Timbre wird um so „heller“ um so größer die Amplitude wird. Die Amplitude des Eingangssignals hat keinen Einfluss auf die Amplitude des Ausgangssignals. Diese hängt von den Werten im Lookup Table ab. Waveshaping wird benutzt um neuartige, spannende Timbres zu erzeugen.

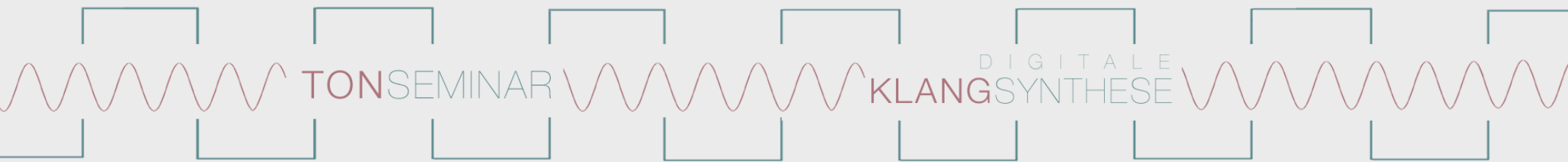
Lookup Table

Input Signal





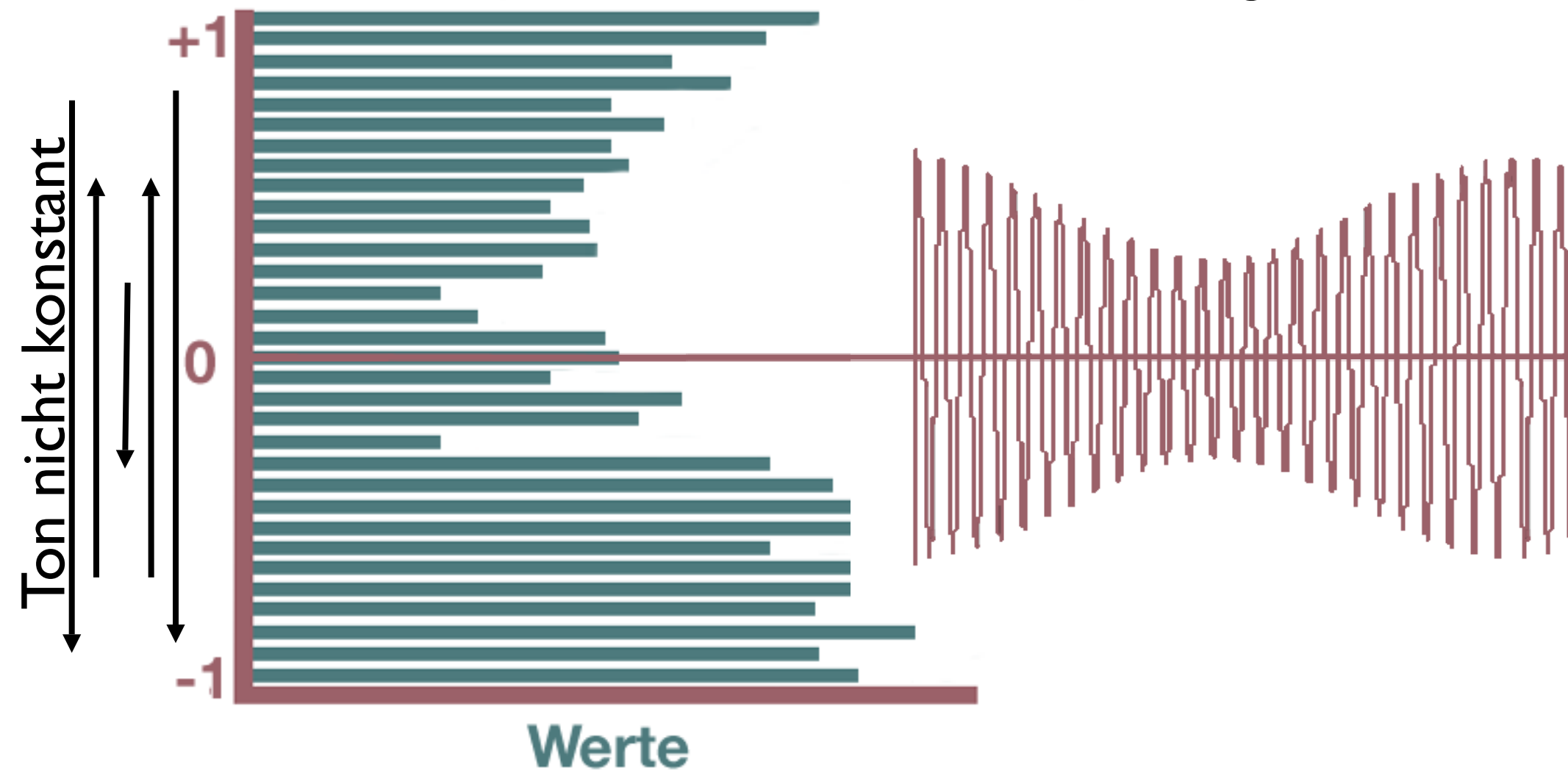




HdM SS2008 Hanna Schraffenberger

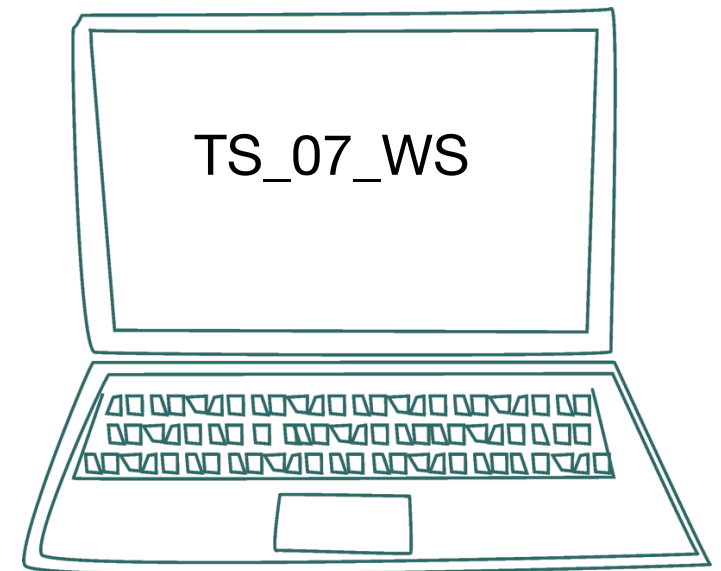
Lookup Table

Input Signal



Beispielanwendung 7:

Waveshaping (verschiedene Möglichkeiten)





Grundlagen - „Digitaler Klang“

Klangsynthese Verfahren



Wavetable Oszillator

Additive Synthese

Ringmodulation

Amplitudenmodulation

Frequenzmodulation

Waveshaping



Weitere Verfahren



Programme

Stichworte

Quellenangaben

Fragen und Diskussion

Weitere Synthese Verfahren (Auswahl):

Granularsynthese

In der Granularsynthese wird ein kontinuierlicher Klang erzielt, der aus vielen kleinen Einzelklängen (in der Regel $< 50\text{ms}$), sogenannten Grains besteht. Sie hat den Vorteil, dass die Geschwindigkeit des Abspielvorgangs unabhängig von der Tonhöhe verändert werden kann. Realisiert wird dies über die Vervielfachung der Grains bei Streckung des Materials beziehungsweise der einzelnen Grains (Time-Stretching). Zudem können auch die Formanten sowie die Tonhöhe eigenständig bearbeitet werden.

Physical Modeling

Wird auch PM-Synthese genannt. Beim Physical Modeling werden alle physikalischen Eigenschaften eines Musikinstruments mit Modellen beschrieben. Reale Instrumente werden realitätsgetreu nachgebildet und virtuelle Instrumente bzw. neue Klänge können kreiert werden. Die physikalischen Eigenschaften eines Modells sind frei veränder- und kombinierbar.

Das Funktionsprinzip des Physical Modeling ist, das zu imitierende oder kreierende Instrument in seinem Aufbau und in seiner Funktion zu analysieren und in Module aufzuteilen. Anschließend wird das entstandene Modell in ein mathematisches System übertragen.

Der Vorteil des entstandenen Modells ist es ein lebendiger (rauschfreier, sauberer) Klang, der dem des imitierten Instruments extrem nahe kommt. Beispielsweise sind auch Spielarten wie „Überblasen eines Instruments“ möglich. Auch kann man mit dem Physical Modeling Elemente verschiedener Instrumente kombinieren, beispielsweise ein virtuelles Saxofon mit einem Tubamundstück kreieren.

Grundlagen - „Digitaler Klang“ Klangsynthese Verfahren

Wavetable Oszillator

Additive Synthese

Ringmodulation

Amplitudenmodulation

Frequenzmodulation

Waveshaping

Weitere Verfahren



Programme

Stichworte

Quellenangaben

Fragen und Diskussion

Computer-Programme zur Realisation von Klangsyntheseverfahren (Auswahl):

PureData (OpenSource): www.puredata.org

Max/MSP (Cycling74): www.cycling74.com

Supercollider (OpenSource): www.audiosynth.com

CSound (OpenSource): www.csound.com

Reaktor (Native Instruments): www.nativeinstruments.de

Grundlagen - „Digitaler Klang“ Klangsynthese Verfahren

Wavetable Oszillator

Additive Synthese

Ringmodulation

Amplitudenmodulation

Frequenzmodulation

Waveshaping

Weitere Verfahren

Programme

Stichworte

Quellenangaben

Fragen und Diskussion



Spannende Projekte - Stichwörter (Auswahl):

Reactable

Reactogon

Wii Synth

Wacom Synth

Bei Interesse im Internet suchen.

Literaturempfehlungen / Tutorials:

PureData - Documentation (free): www.puredata.org

Max/MSP - Tutorial (free): www.cycling74.com

[Miller Puckett](http://www.millerpuckett.com) - Theory and Techniques of Electronic Music. (free):
<http://crca.ucsd.edu/~msp>

Curtis Roads - The Computer Music Tutorial (MIT Press)

Grundlagen - „Digitaler Klang“ Klangsynthese Verfahren

Wavetable Oszillator

Additive Synthese

Ringmodulation

Amplitudenmodulation

Frequenzmodulation

Waveshaping

Weitere Verfahren

Programme

Stichworte

Quellenangaben

Fragen und Diskussion



Quellen:

Inhalt:

Theory and Techniques of Electronic Music, Miller Puckette,
<http://crca.ucsd.edu/~msp/>

MSP46TutorialAndTopics, Cycling74, erhältlich bei:
www.cycling74.com/downloads/maxmsp

Beispiele:

in starker Anlehnung an die Beispiele des
„MSP46TutorialAndTopics“, Cycling74“.Erhältlich bei:
www.cycling74.com/downloads/maxmsp

Klänge:

gtr512.wav und tri512.aiff von Cycling74, s.o.

Grundlagen - „Digitaler Klang“ Klangsynthese Verfahren

Wavetable Oszillator

Additive Synthese

Ringmodulation

Amplitudenmodulation

Frequenzmodulation

Waveshaping

Weitere Verfahren

Programme

Stichworte

Quellenangaben

Fragen und Diskussion





Vielen Dank für eure Aufmerksamkeit!



the end

