

# Handout – Drumsynthese – Tobias Münzer 27.10.09

## Einleitung

Um den Klang einer Trommel elektronisch erzeugen zu können, muss man zunächst verstehen wie dieser genau entsteht und aufgebaut ist.

Zu diesem Zweck wird der Klang einer Trommel im Folgenden Physikalisch untersucht und hergeleitet.

Daraufhin werden Vereinfachungen besprochen und schließlich wie man eine Syntheseschaltung realisieren könnte. Dabei wird speziell detailliert auf die Schaltung eines gedämpften Oszillaors eingegangen.

## 1. Die Physik einer Trommel

### 1.1. Schwingender Membran im Vakuum

Das Physikalische Modell einer Trommel wird zunächst so stark vereinfacht, dass wir annehmen, die Trommel bestünde nur noch aus einem runden aufgespannten Membran, der sich im Vakuum befindet. Mit Hilfe der Wellengleichung, Rand und Anfangsbedingungen lassen sich mehrere Lösungen finden:

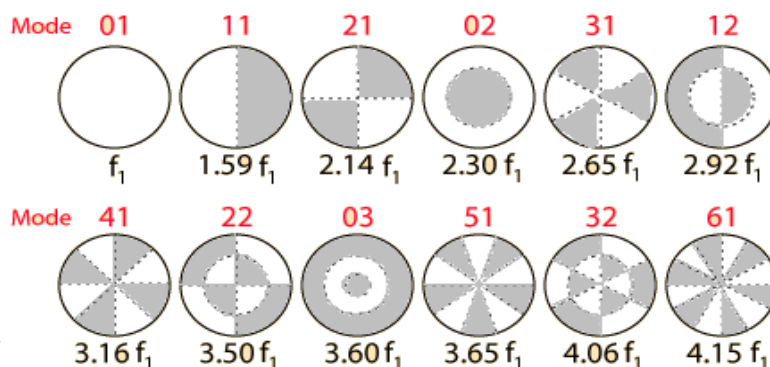
$$Y_{mn}(r, \theta, t) = A_{mn} J_m(k_{mn} r) \cos(m\theta + \gamma_{mn}) e^{j\omega_{mnt}}$$

Dabei sind  $m$  und  $n$  ganze Zahlen,  $A_{mn}$  die Amplitude der einzelnen Schwingungen,  $J_m$  die Besselfunktion und  $k_{mn}$  die Nullstellen der Besselfunktion.

Die verschiedenen Lösungen mit Indices  $m$  und  $n$  bezeichnet man als Moden, welche durch die Indexe wie folgt charakterisiert werden:  $(m, n)$ . Wobei  $m$  die Anzahl der Nullstellen in  $e_\phi$ -Richtung und  $n$  die Anzahl der Nullstellen in radialer Richtung angibt.

Bild 1 zeigt einige der Moden eines rund aufgespannten Membrans:

Bild 1: Moden eines runden Membrans



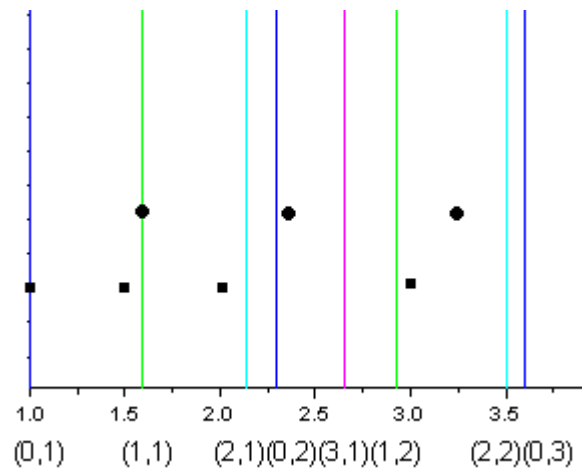
Gleichfarbige Bereiche schwingen hierbei in Phase.

Ein Membran schwingt als Überlagerung aller Moden, wobei deren Amplituden von den Anfangsbedingungen abhängen – sprich wo und wie man die Trommel schlägt.

Doch wie klingt das? In Bild 2 sind die Frequenzen einiger der ersten Moden aufgetragen, normiert auf die tiefste der vorkommenden Frequenzen, die der Mode  $(0,1)$ .

Bild 2: Frequenzen einiger Moden und deren harmonische Verhältnisse.

Die Quadrate und Kreise markieren jeweils den Abstand einer Quinte, einer Oktave und zwei Oktaven vom Grundton. Als Grundton wurde einmal die Mode (0,1) und einmal (1,1) gewählt. Man sieht, dass es kein harmonisches Verhältnis zwischen den einzelnen Frequenzen gibt.



## 1.2 Membran in Luft

Doch klingt so eine reale Trommel? Nein, denn eine Trommel lässt sich nicht durch einen im Vakuum schwingenden Membran vereinfachen. Wäre das so, könnte man immerhin überhaupt nichts hören. Den Klang der Trommel hört man ja nur deshalb, weil die Energie der Schwingung an die Luft weitergegeben wird und diese ebenfalls zum schwingen anregt. Dabei treten zwei für den Klang der Trommel wichtige Effekte auf.

Zunächst einmal wird wie schon erwähnt während der Schwingung des Membranes die Luft ebenfalls zum schwingen angeregt und damit Energie als Schall abgestrahlt. Das führt zu einer Dämpfung der Schwingung. Dabei werden höhere Moden stärker gedämpft als tiefere. Des weiteren werden die (0,n)-Moden, also diejenigen welche absolut drehsymmetrisch sind sehr stark gedämpft. Es gibt dort nämlich keine gleichgroßen gegenphasig schwingenden Bereiche, so dass sich die Luft nicht auf der Oberfläche der Trommel hin und her bewegen kann.

Ein weiterer Effekt der Luft ist der, dass diese als effektive Masse wirkt. Die Frequenzen verschieben sich dadurch nach oben und zwar umso mehr, je größer diese sind. Das Resultat dieser beiden Effekte wird in Bild 3 dargestellt.

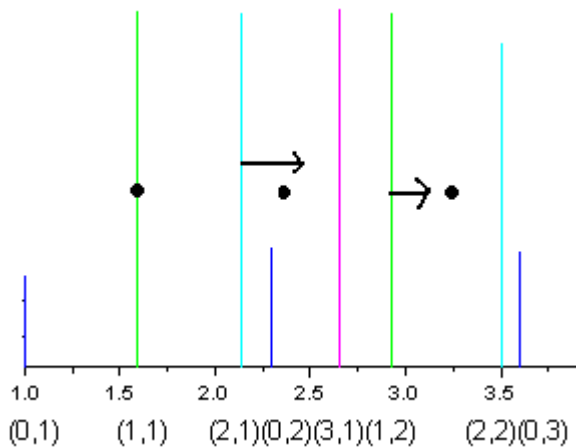


Bild 3: Frequenzverschiebung und Dämpfung

Die Kombination dieser Effekte führt dazu, dass die Frequenzen der Trommel nahe an das harmonische Spektrum geschoben werden. Frequenzen, welche nicht harmonisch sind werden außerdem deutlich stärker gedämpft.

### 1.3 Der Korpus der Trommel

Für das Modell einer realen Trommel muss außerdem noch der Korpus berücksichtigt werden. Dabei sind Faktoren wie die Geometrie der Trommel, geschlossene oder offene Körper, sowie die Anzahl der Membrane zu berücksichtigen. Eine genaue Analyse würde den Umfang dieses Textes sprengen. Zusammenfassend lässt sich aber sagen, dass sich viele Frequenzen noch näher in Richtung harmonische Verhältnisse verschieben.

### 1.4 Zusammenfassung und Realisierung

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass der Klang einer Trommel angenähert aus einer abklingenden periodischen Schwingung mit ganzzahligen Obertönen sowie aus einem schnell abklingenden unharmonischen Teil besteht, welcher zum Beispiel durch (gefiltertes) Rauschen beschrieben werden kann.

Eine Möglichkeit den Klang einer Trommel zu synthetisieren ist daher folgender Aufbau (Bild 4):

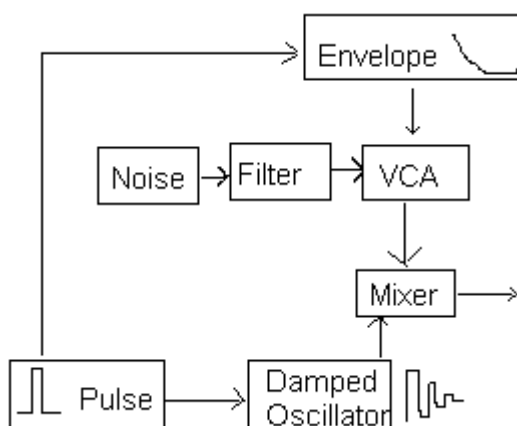


Bild 4: Blockschaltbild für die Synthese eines Trommelklangs.

Ein Puls, bzw Trigger startet die Tongenerierung. Ein Rauschgenerator erzeugt weißes Rauschen, welches durch einen Tiefpassfilter bandbegrenzt wird. Die Lautstärke des Rauschens wird durch einen VCA gesteuert, welcher von einer Hüllkurve gesteuert wird. Dies erzeugt einen Rauschanteil mit abklingender Lautstärke. Der Puls triggert außerdem einen gedämpften Oszillator, der den harmonischen Anteil des Klangs erzeugt. Die beiden Signale werden zum Schluss gemischt.

## 2. Die gedämpfte Schwingung

Im Folgenden möchte ich außerdem auf den gedämpften Oszillator eingehen. Es gibt verschiedene Möglichkeiten eine abklingende Schwingung zu erzeugen, einige davon möchte ich kurz vorstellen.

### 2.1 Oszillator und VCA

Ähnlich wie beim Rauschen könnte man auch die Lautstärke eines periodischen Signals ändern, um eine abklingende Schwingung zu erzeugen. Dies bedeutet jedoch einen unnötig hohen Schaltungsaufwand und hat außerdem den Nachteil, dass die Phase des Signals beim Einschalten jedesmal anders ist. Es kann dadurch zu einem „Klicken“ beim Einschalten kommen.

### 2.2 Gedämpfter Oszillator

Eine weitere Möglichkeit ist die einen gedämpften Oszillator zu verwenden. Allgemein gesagt handelt es sich hierbei um ein Netzwerk, dessen Impulsantwort eine gedämpfte Schwingung erzeugt.

#### a) Gedämpfter LC-Oszillator

Der prominenteste Vertreter dieser Gattung ist zweifelsohne der gedämpfte LC-Parallelschwingkreis. Dieser wird durch den Impuls auf seiner Resonanzfrequenz angeregt und erzeugt wie gewünscht eine abklingende Sinusschwingung. (Bild 5)

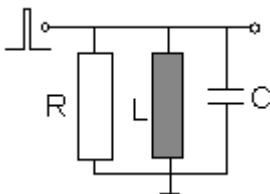


Bild 5: Gedämpfter LC-Schwingkreis

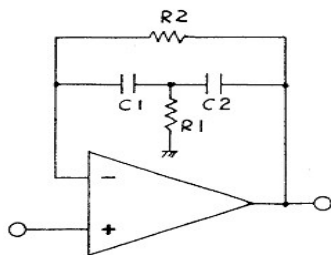
Nachteile dieser Schaltung sind allerdings die geringe Flexibilität (so lassen sich Frequenz und Abklingzeit nur schwer ändern) sowie die Tatsache, dass wegen des Spulenwiderstandes verhältnismäßig große Spulen verwendet werden müssen um eine ausreichende Güte und

damit lange Abklingzeit zu erreichen.  
Dennoch wurden solche Schaltungen in den 60er Jahren aufgebaut um Perkussive Klänge zu erzeugen.

## b) Bridged T-Network

In den 70er Jahren wurden keine LC-Schwingkreise mehr eingesetzt, vielmehr wurden – seit verstärkende Bauteile wie der Transistor und später vor allem der Operationsverstärker günstig verfügbar waren – andere Netzwerke verwendet.

Eines der am meisten verwendeten Netzwerke ist das Bridged T-Network (Bild 6).



Frequenz und Abklingzeit lassen sich hier durch die Wahl verschiedener Widerstandswerte einstellen, außerdem besteht die Schaltung durch die geringe Anzahl an Bauteilen und den einfachen Aufbau.

### Hinweis:

Aufgrund der Komplexität des Themas wurden viele Sachverhalte stark vereinfacht und ohne Begründung als gegeben angenommen. Deutlich detaillierter findet man den Sachverhalt in folgenden Quellen beschrieben.

### Quellen:

Fundamentals of Acoustics – Lawrence E. Kinsler  
Synth Secrets - Gordon Reid - [www.soundonsound.com](http://www.soundonsound.com)  
TR808, TR606, CR78 Service Manual – Roland