

Lange Nacht der Wissenschaften

Funktionale Musikprogrammierung

Henning Thielemann

2009-07-03



„Mathematiker sind Künstler ohne Publikum.
Bei einem Musiker, der ein Stück Musik vorspielt,
kann sich jeder eine Meinung bilden.
Um die Schönheit mathematischer Beweise nachzuvollziehen,
muss man mit ihnen vertraut sein.“

Preda Miăilescu, rumänischer Mathematiker



1 Signalverarbeitung

2 Musikkomposition



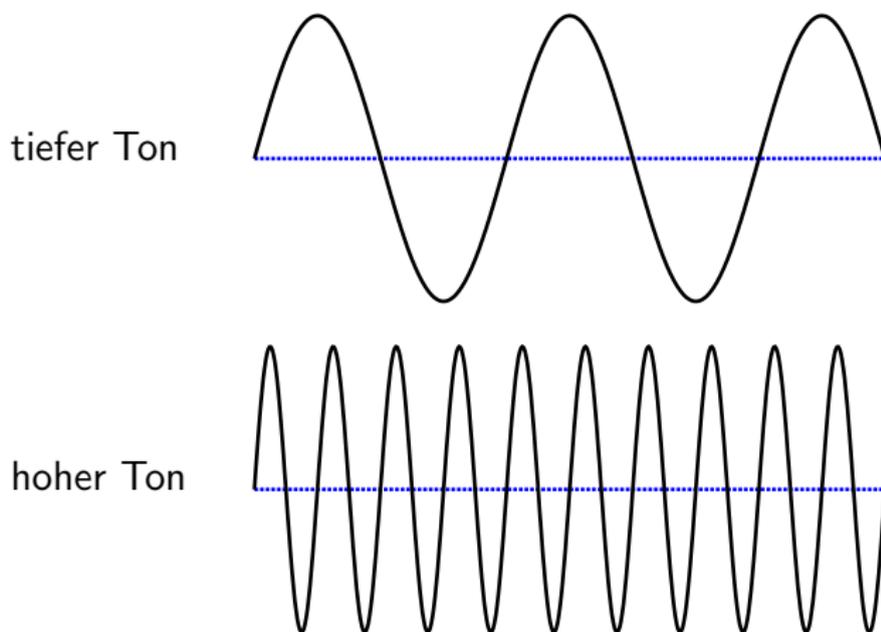
Was hören wir?

Geräusch:

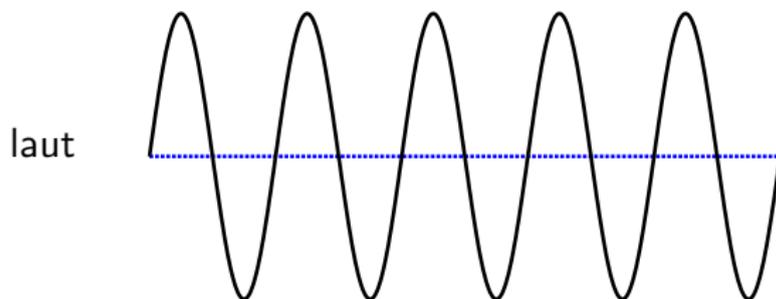
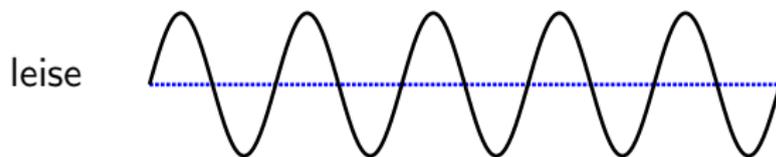
- zeitabhängige Auslenkung einer Membran
- mathematisch: Auslenkung ist Funktion der Zeit



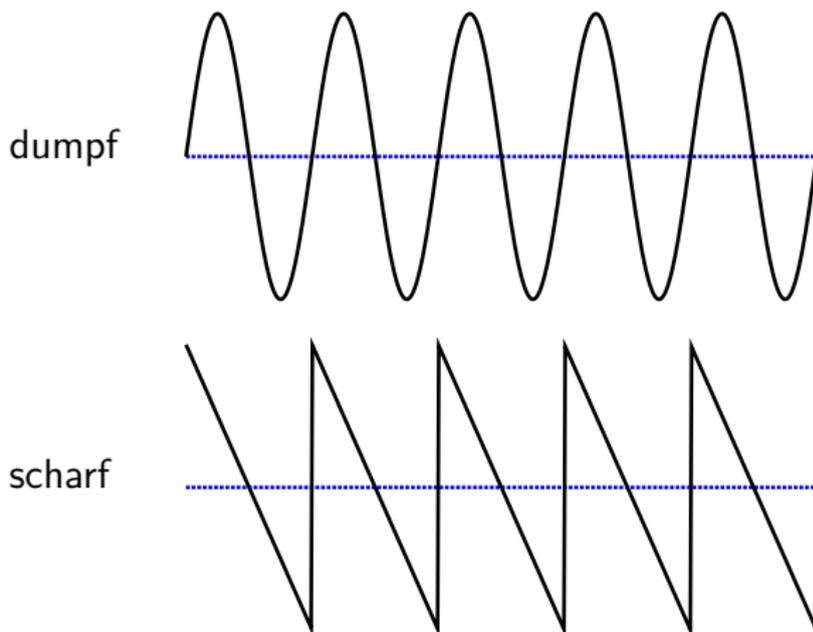
Klangeigenschaft: Tonhöhe



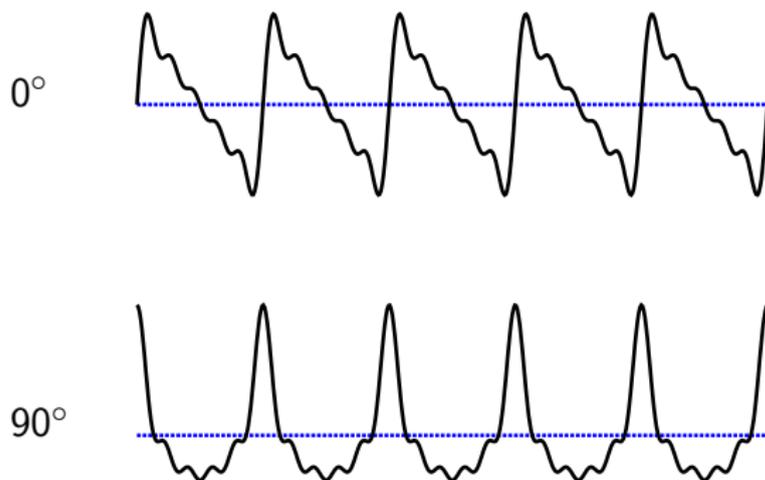
Klangeigenschaft: Lautstärke



Klangeigenschaft: Klangfarbe



Keine Klangeigenschaft: Phasenlage

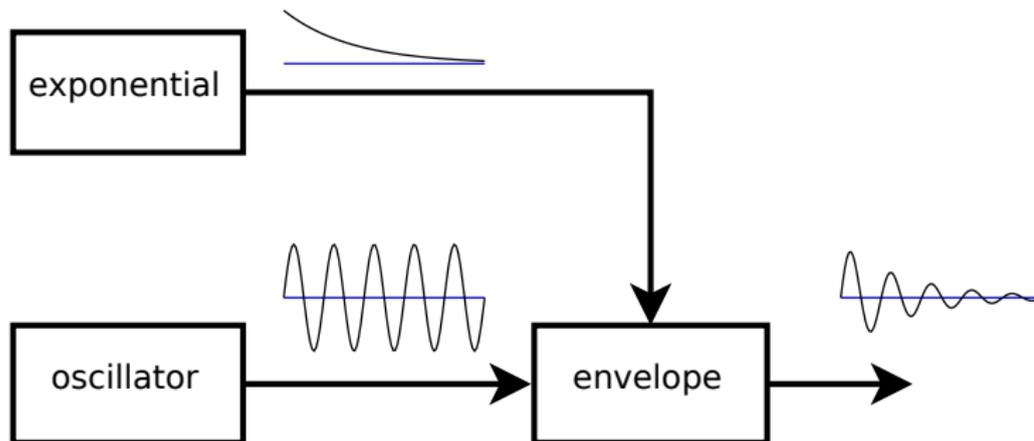


Modulation

- statischer Ton: klingt künstlich
- Frequenzmodulation: Vibrato-Effekt
- Überlagerung mehrerer verschieden modulierter Töne: Chorus



Datenfluss



Signalalgorithmus

imperativ – maschinennah

```
expo := exponential 0.1
osci := oscillator 440
ping := envelope expo osci
```

funktional – Umsetzung von Flussdiagramm

```
ping =
  envelope
    (exponential 0.1)
    (oscillator 440)
```



Rechnen mit Signalen

- Addition $\hat{=}$ Mischen
- Multiplikation $\hat{=}$ Lautstärkemodulation (envelope)

Rechengesetze

$$a + b = b + a$$

Kommutativität

$$(a + b) + c = a + (b + c)$$

Assoziativität

$$h \cdot (a + b) = h \cdot a + h \cdot b$$

Distributivität



Haskell

- rein funktionale Programmiersprache
- Allzwecksprache
- Bedarfsauswertung (*lazy evaluation*) erlaubt
 - Programmierung in Reihenfolge von Signalabhängigkeit
 - Verarbeitung in zeitlicher Reihenfolge (*streaming*)
- Rechengesetze anwendbar für Optimierung



Signalverarbeitung: Hörbeispiele

- Blubberblasen
- Fliege
- Glasbruch
- Wind
- Rauschen mit Tschebyscheff-Filter
- Bass mit Filter

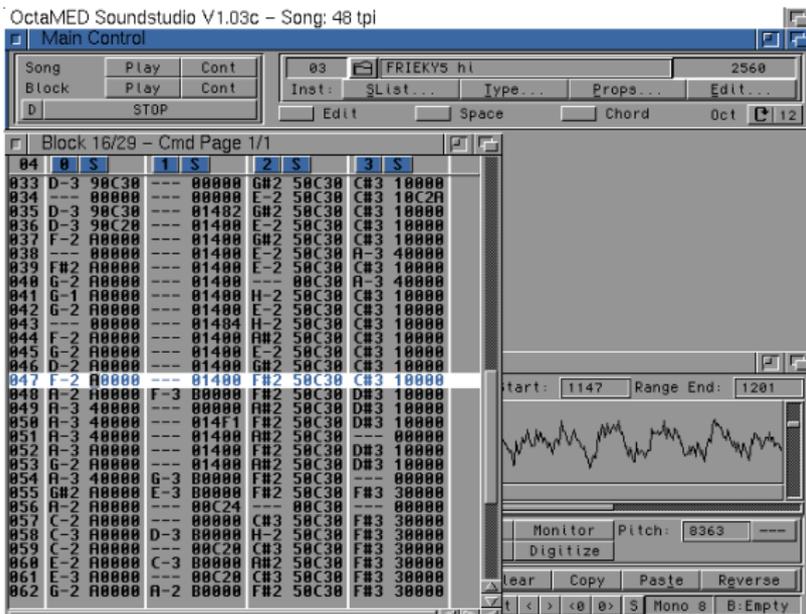


1 Signalverarbeitung

2 Musikkomposition



Früher: SoundTracker, MED, ...



Programmierte Musik

Vorteile gegenüber SoundTracker & Co. . . .

- Formulierung von Ideen,
weniger Kopieren von Abschnitten
- Aufbrechen der Grenze zwischen
Signalverarbeitung und Musikarrangement

Nachteil

- nicht interaktiv



Algebra der Musik

- sequentielle ($:$) und parallele ($+$) Zusammensetzung von kleinen Musikstücken zu großen
- Rechengesetze

$$(a : b) : c = a : (b : c)$$

$$(a + b) + c = a + (b + c)$$

$$a + b = b + a$$

$$|a| = |b| \wedge |c| = |d| \implies$$

$$(a + b) : (c + d) = (a : c) + (b : d)$$

$$\vdots$$


Begleitmuster

- regelmäßige aber nicht-periodische Muster:
Quersummen der natürlichen Zahlen modulo 4 im 4er-System
- steuerbarer Detailgrad
- Gitarrenakkorde
- Zufällige Umkehrungen eines Akkordes



Komplexe Beispiele

Symbiose von Signalverarbeitung und Arrangement

- Schwanensee: Melodie durch Resonanz auf Begleitung
- Traumzauberbaum: Glissando mit Überschwinger

Rausschmeißer

- Unter Wasser: Bandpass auf Sägezahn
- Häcksler: FM-Synthese
- Luft
- Regen



Schnnn . . . Ende

Der Vortrag ist beendet.
Sie können nun den Computer ausschalten.

