

Granulare Synthese

Übersicht

„Granular“

- Begriffs-Erläuterung
- Zeit-Skalen

Geschichte der Granularen Synthese

- Welle <-> Partikel Modell
 - Gabor Matrix
 - Frühe Granulatoren
 - Xenakis, „*Analogique B*“

Parameter der Granularen Synthese

- Hüllkurve, Dauer, Frequenz, Wellenform, Dichte

Grain-Organisations-Formen

- Synchrone Granular Synthese
- Asynchrone Granular Synthese
- Granulieren von Samples

Granulare Synthese in der Praxis

- Csound-Opcodes: grain, granule

„Granular“

von Granulat, zu Körnern zerkleinerte Substanz

In der Natur:

- Regen 
- Schnee/Eis Bruch 
- Feuer-Knistern 
- Bienen (mit Schluckauf) 
- USW.....



Viele, sehr kurze, dicht aufeinander folgende Klangereignisse



Granulare Textur

Zeit-Skalen



1. Infinte

Ideal in der Mathematik; z.B.: unendlich periodischer Sinus

Monate, Jahre, Jahrzehnte,
Jahrhunderte

2. Supra

Überschreitet Länge einer individuellen Komposition; z.B.:
Cage, ASLPS

Minuten, Stunden,
Tage

3. Macro

Einheit der allgemeinen musikalischen Form

Sekunden, Minuten

4. Meso

Unterteilung von Macro: Gruppieren von
Klangobjekten in Phrasen

Sekundenbruchteile,
mehrere Sekunde

5. Sound-Object

Basis Einheit musikalischer Struktur



Millisekunden (ms)
1/1000 Sekunde

6. Micro

Klang-Dauern bis zur Grenze der akustischen
Wahrnehmung

} Granulare Ebene

Mikrosekunden (μs)
1/1.000.000 Sekunde

7. Sample

„Atomare Ebene“ digitaler Audio-Systeme;
(Sample-Rates)

Nanosekunden (ns)
1/1.000.000.000 Sekunde

8. Subsample

Ereignisse, welche zu kurz für eine quantisierte
Aufnahme sind

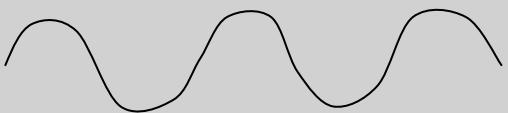


9. Infinitesimal

Unendlich kurze Dauern

Geschichte der Granularen Synthese

Welle

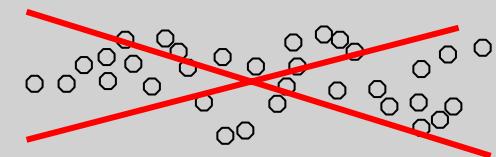


- Aristoteles; Chrysippus; Vetruvius; Boethius (gr.+röm Phil.)
-
- 18. Jhd.: Fourier



Theorie auf Basis von
Beobachtungen aus der Natur:
Wasserwellen; Luftbewegungen
(Beugung,
Schwingungsverhältnisse, endliche
Schallgeschwindigkeit)

Partikel



Atomisten:

- 500v.Chr: Leucippus; Democritus (gr. Phil.)
- 17. Jhd: Galileo, Descartes, Gassendi, Beekmann



Theorie auf Basis der atomaren
Weltvorstellung, **alle Materie bestehe aus
winzigen Einheiten**

Schall

← 19. Jhd →

Materie

1907: Einstein: Schwingungen auf atomarer Ebene

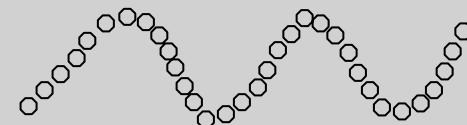


Dennis Gabor (engl. Physiker; 1900-1979; Nobelpreisträger)

Erforschung des Teilchenmodells auf akustischer Ebene

„...Ein Ton ist ein Musik-Molekül, welches sich aus klingenden Atomen zusammensetzt...“ (Varèse 1940)

Aus heutiger Sicht



Wellen auf Macro-Ebene

Luft

Teilchen auf Micro-Ebene

N, Ar, O, CO₂, H, ...

Fourier

Analyse eines Signals auf Basis eines Fensterausschnitts einer unendlich periodischen Schwingung (Wellen-Modell)



Gabor

Analyse eines Signals auf Basis der Annahme, dass jeder Klang auf einer Abfolge diskreter „akustischen Teilchen“ aufgebaut ist, in welchen Frequenz, Zeit und Amplitude abgebildet sind.

„Fourier analysis is a timeless description in terms of exactly periodic waves of infinite duration. On the other hand it is our most elementary experience that sound has a time pattern as well as a frequency pattern ... A mathematical description is wanted which ab ovo takes account of this duality“

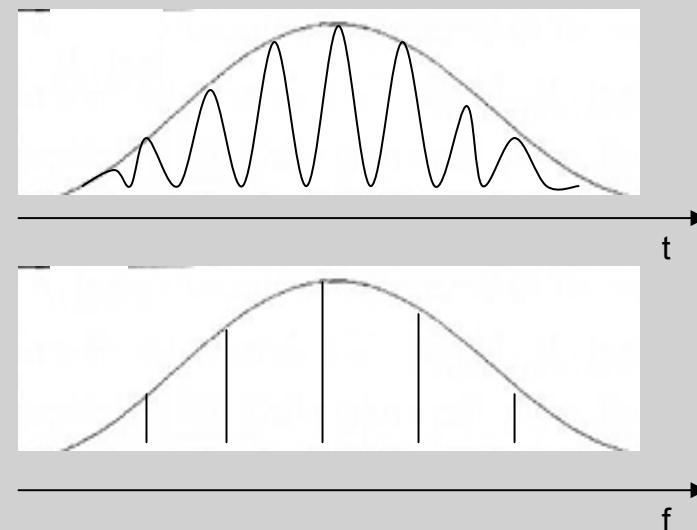
Vereinigung von

- Zeit
- Frequenz
- Amplitude

in einem akustischen Teilchen („Logon“)

pro Teilchen:

Gauß'sche Glockenform



D. Gabor

Formel für akustisches Teilchen

Signal


$$s(t) = \underbrace{e^{-a^2(t-t_0)^2}}_{\text{Gauß'sche Hüllkurve} \atop \text{(Glockenform)}} * \underbrace{e^{2\pi j f_0 t}}_{\text{Komplexe sinusoide} \atop \text{Funktion} \atop \text{(Amp+Init-Phase)}}$$

„Logons“

$$\begin{aligned} \Delta t &= (\pi^{(1/2)})/a \\ \rightarrow \Delta f &= a/\pi^{(1/2)} \end{aligned}$$

Je größer a, desto größer ist Zeitl. Auflösung + Freq Auflösung

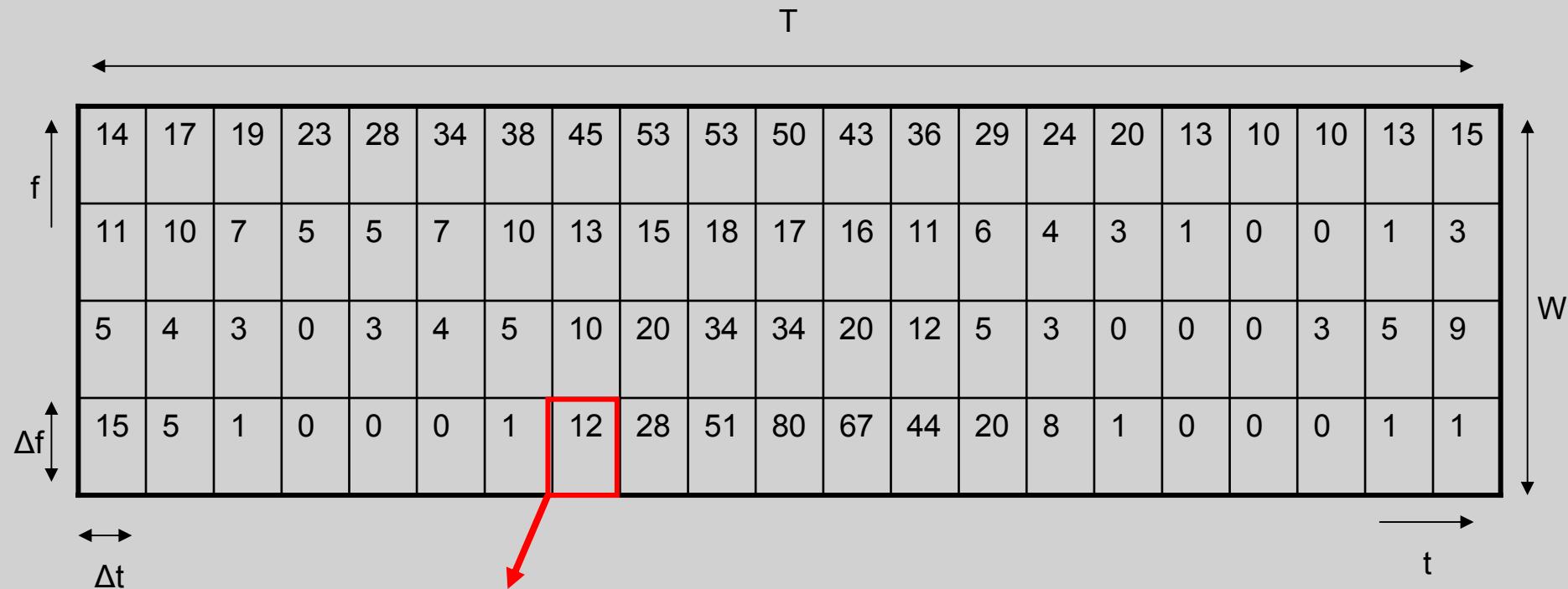
Bsp:

Hohe Freq-Auflösung
benötigt viele Samples
→ langes Zeit-Fenster

 $a = 1$
 $\Delta t = 1,77 \text{ ms}$
 $\Delta f = 564 \text{ Hz}$
 $a = 2$
 $\Delta t = 0,88 \text{ ms}$
 $\Delta f = 1128 \text{ Hz}$

Die Gabor-Matrix

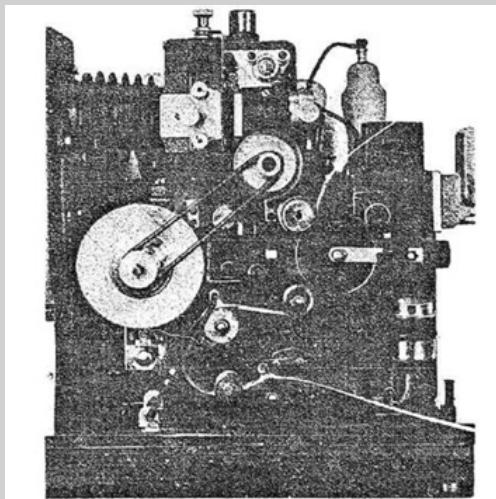
= Folge einzelner „Logons“



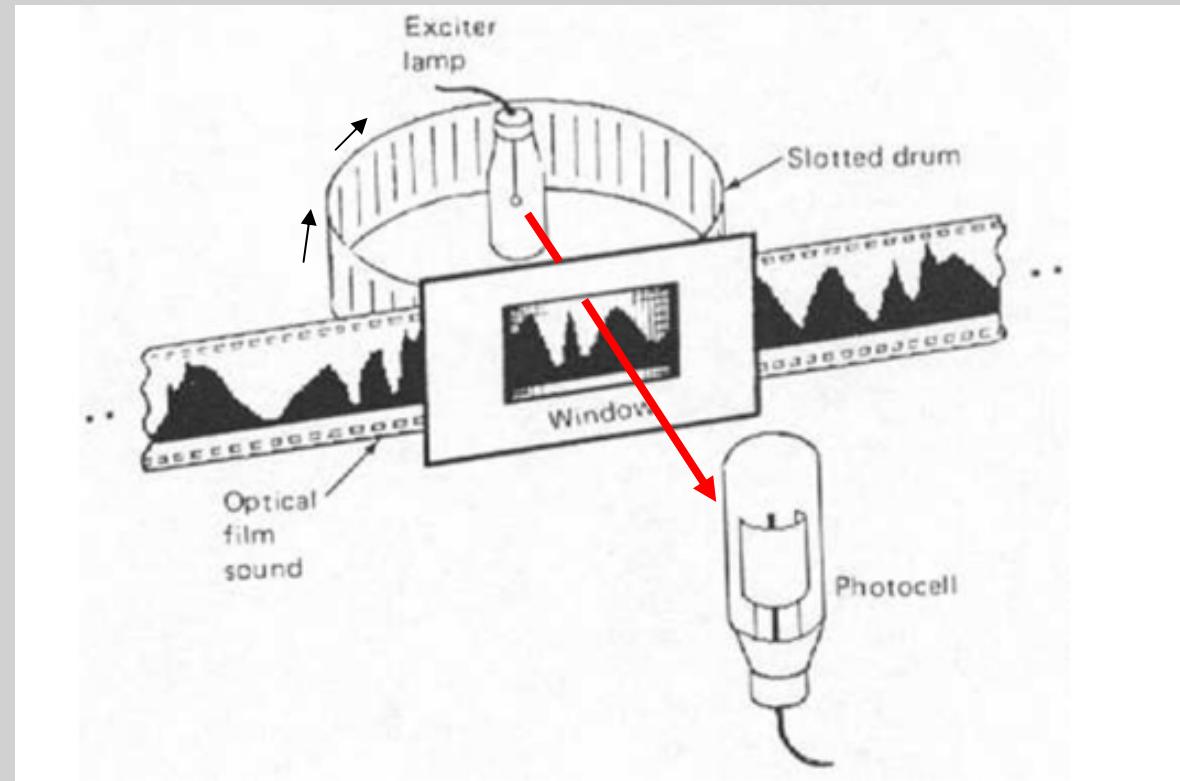
„Logon“ mit bestimmter

- Frequenz
- zeitlichem Auftreten
- Dauer
- Amplitude (hier Zahlenwert)

Gabor's Kinematical Frequency Converter



Filmprojektor



Gabor's Version

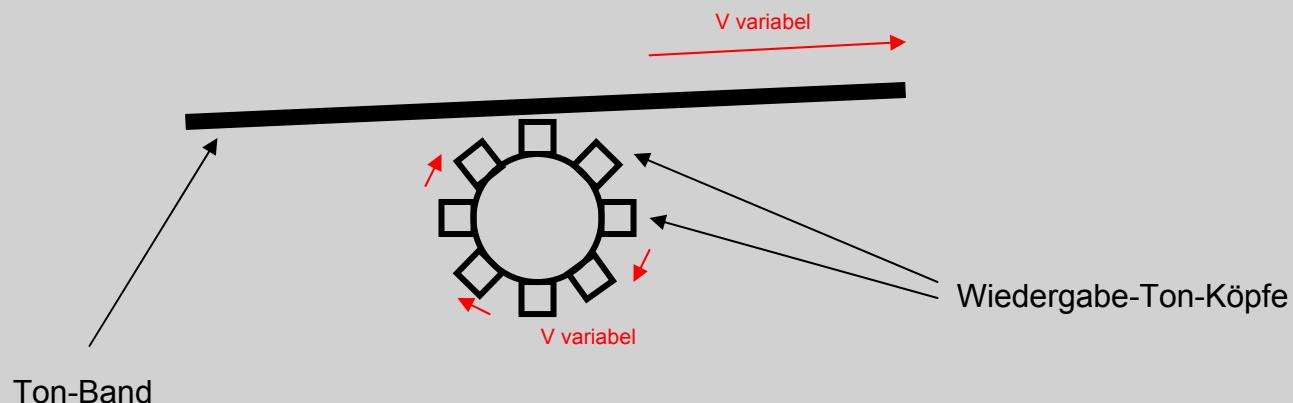
1950 - Pierre Schaeffer, Jacques Poullin -> „Phonogène“



dt. Firma „Springer“

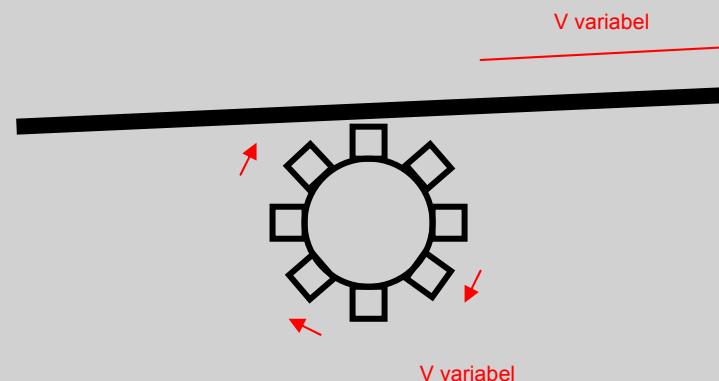
„Tempophone“/“Zeitregler“

→ „Epitaph für Aikichi Kuboyama“, H. Eimert (1963)



„Tempophone“/“Zeitregler“

Prinzip



Time-Stretching (ohne Pitch-Shifting)

Stauchen

Strecken

- Reduktion der Rotationsgeschwindigkeit der Tonköpfe
(sammeln Grains in großen Abständen)
- Aufnahme des so erzeugten Grain-Stroms

- Erhöhung der Rotationsgeschwindigkeit der Tonköpfe
(sammeln viele, dichte Grains von einer Stelle)
- Aufnahme des so erzeugten Grain-Stroms

Pitch-Shifting (ohne Time-Stretching)

- Veränderung der Bandgeschw. (Pitch+Time verändern sich)
- Durch Granulieren wieder auf originale Länge Stauchen/Strecken

Iannis Xenakis

„Concrète PH“

brennenden Holz-Ästen -> 1sec Fragmente (+Manipulation)

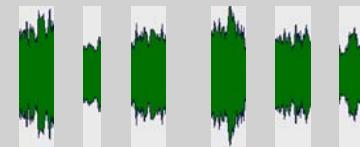
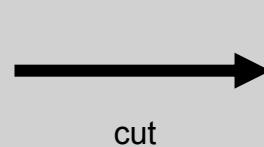
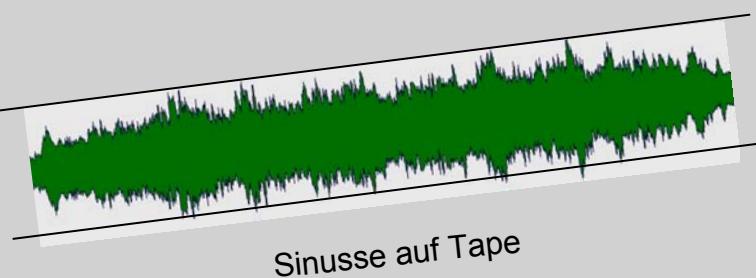
„...Most of the *musique concrète* which had been produced up to the time of *Concrète PH* is full of many abrupt changes and juxtaposed sections without transitions. This happened because the original recorded sounds used by the composers consisted of a block of one kind of sound, then a block of another, and did not extend beyond this. I seek extremely rich sounds (many high overtones) that have a long duration, yet with much internal change and variety.“



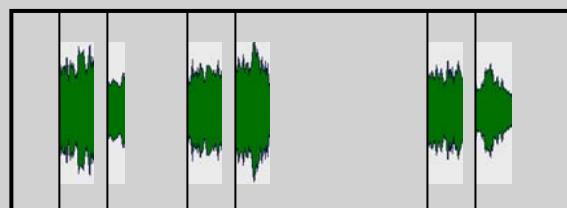
„*Analogique B*“

Xenakis

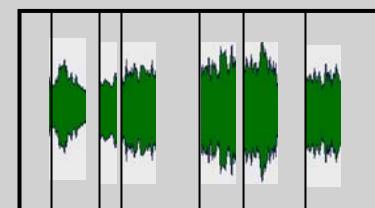
“Analogique B“



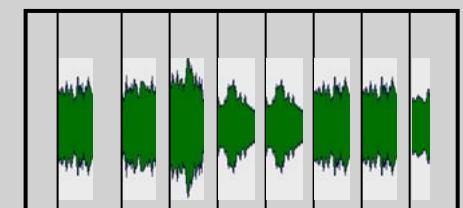
„Grains“ (Xenakis)



Screen 1



Screen 2



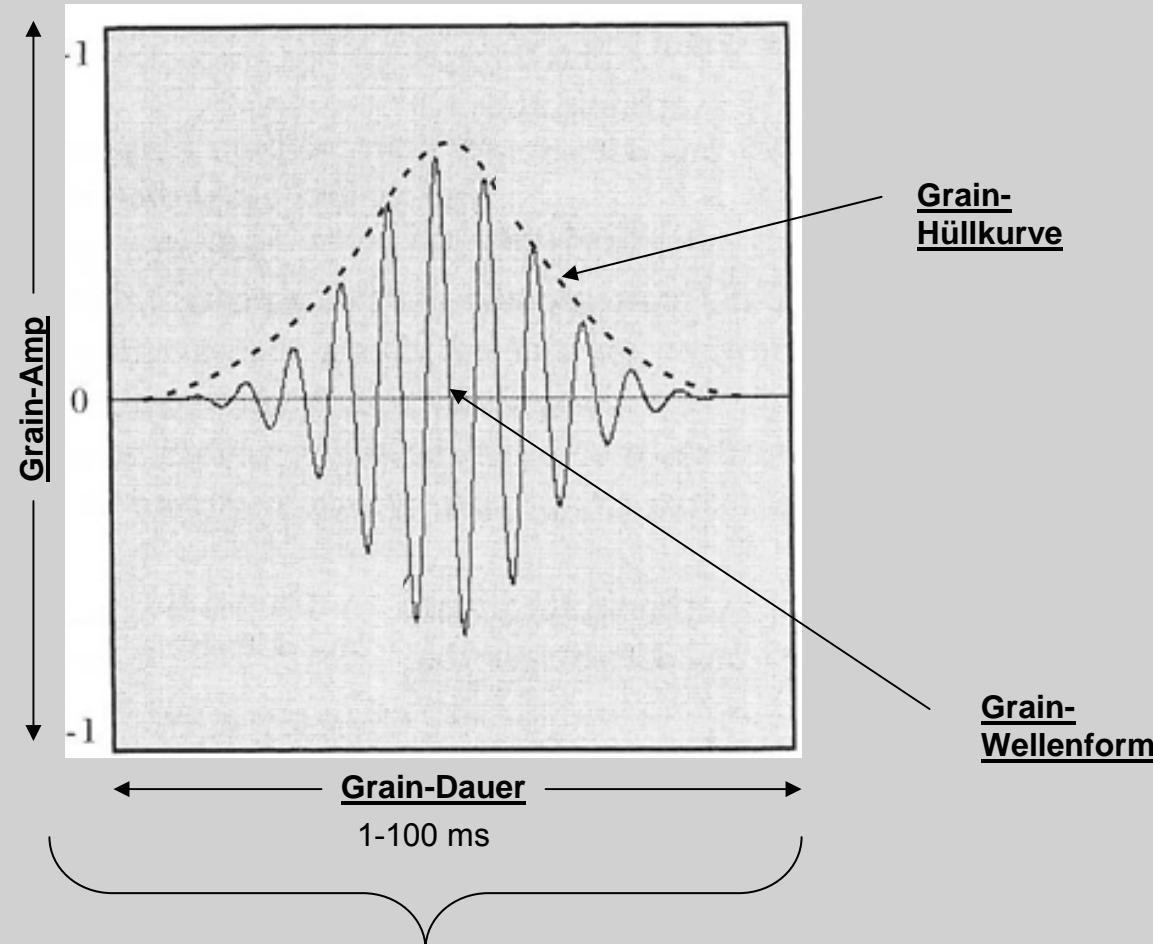
Screen n ...

Screens = „Time-Grids“

Struktur der Screens und deren zeitl.
Auftauchen durch
Wahrscheinlichkeits-Algorithmen

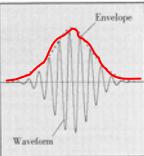
Parameter der Granularen Synthese

Grain-Anatomie

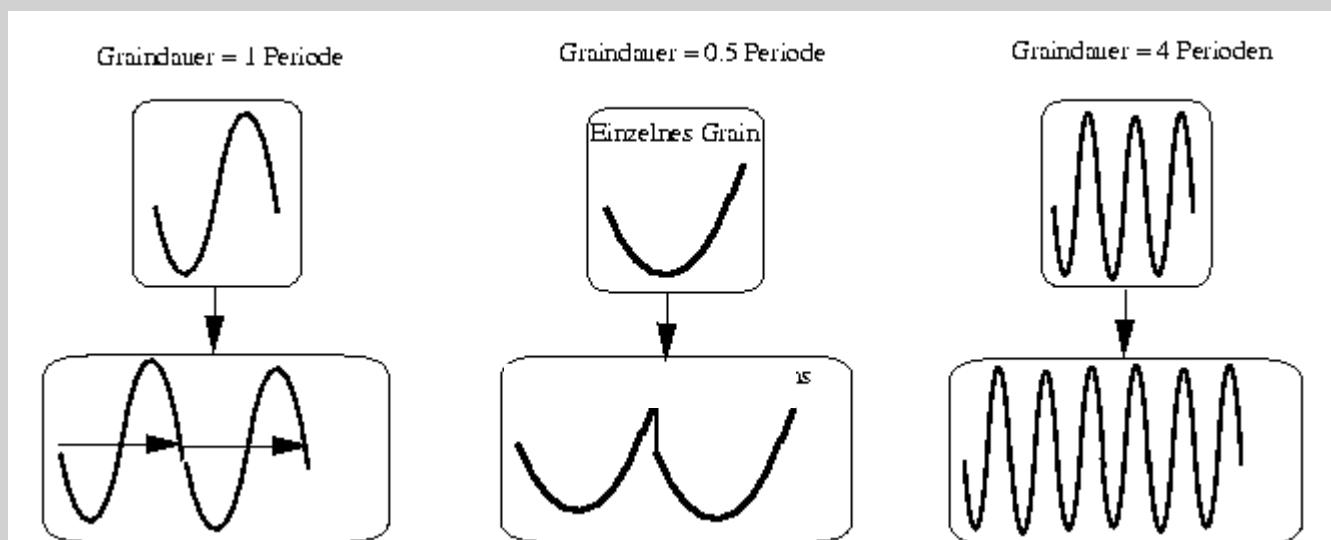


1 Bausteinchen eines „Sound-Objekts“ (Stream oder Cloud)

1. Grain-Hüllkurve

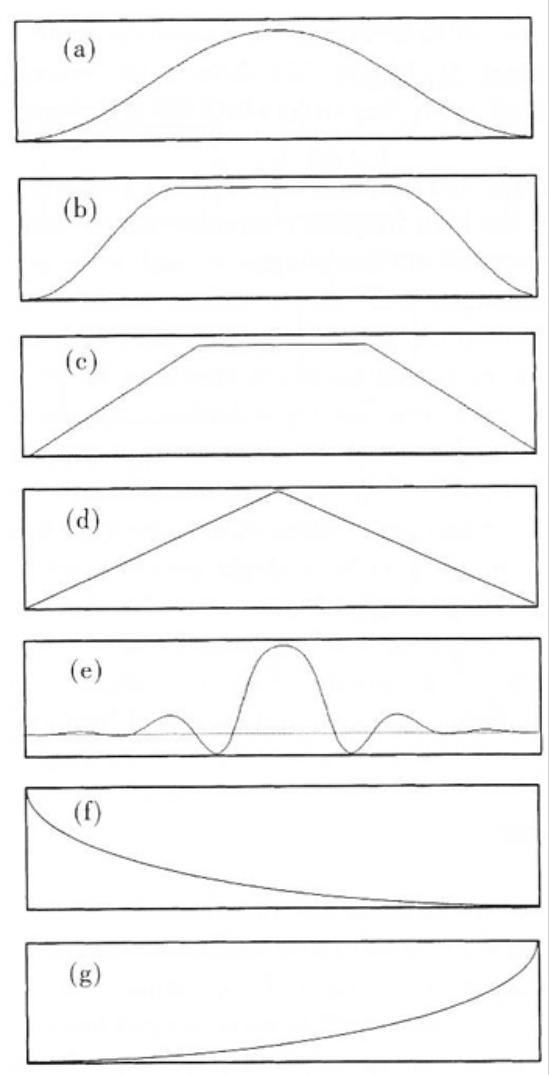
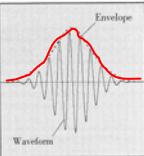


Je nach Fensterausschnitt können scharfe Kanten entstehen:



Lösung: Hüllkurve pro Grain

1. Grain-Hüllkurve



Gauß'sche Glockenform

Quasi-Gauß'sche

3-Teile Line-Segment/Trapez

2-Teile Line-Segment/Dreieck

Sinc-Funktion

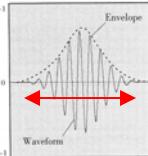
Expodec.

Rexpodec.

Bewirken AM

Spannt Seitenbänder um die
Grain-Freq; Abhängig von der
Grain-Dauer

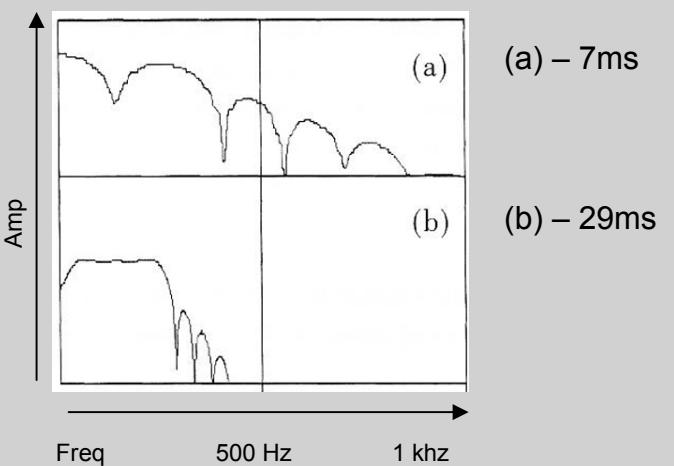
2. Grain-Dauer



- Konstante Dauer (optimal 10-60ms)
- Variiert über Zeit

Bei asynchroner Granular-Synthese

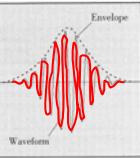
<u>Grain-Dauer</u> D	<u>Frequenz der Modulation</u> 1/D	<u>Effekt</u>
200 usec	5000 Hz	Rauschen
1 ms	1000 Hz	Pitch-Verlust
10 ms	100 Hz	Fluttering
50 ms	20 Hz	Stabiler Pitch
200 ms	5 Hz	Aperiodisches Tremolo, jittering



[Csound Beispiele\Grain-Dauer-Seitenbänder](#)

Je kürzer die Grain-Dauer, desto breiter das Spektrum! (siehe Dirac-Stoß)

3. Grain-Wellenform

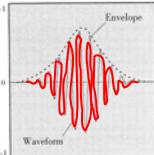


- **monochrom**: 1 Wellenform
- **polychrome**: 1,2 oder mehr Wellenformen
- **transchrom**: Wellenform variiert/entwickelt sich von Grain zu Grain

z.B. per FM
von Grain zu
Grain
variierbar

{
- Sinus
- Sägezahn
- Rechteck
- Sample
- etc.....

4. Grain-Freq



- Basis Frequenz der Grain-Wellenform

- Feste Tonhöhe für alle Grains
- Tonhöhe variiert von Grain zu Grain per Funktion/Skala
- Tonhöhe variiert von Grain zu Grain per Random (Limits durch Frequenzbänder)

Frequenzbänder:



Feste Tonhöhe

Glissando

Akkord

obere+untere
Grenze konstant

obere+untere
Grenze variabel

obere+untere
Grenze stark
variabel

Stratus-Clouds

Cumulus-Clouds

5. Grain-Dichte



Anzahl von Grains in einer bestimmten Zeit (meist sec)

„Fill Faktor“ (FF)

Grains überlappen sich

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Grain-Dauer} = 100 \text{ ms} \\ \text{Grain-Dichte} = 20/\text{s} \end{array} \right\}$$



dicht, kontinuierlich

$$20 * 0,1 = \underline{\underline{2}}$$

Grains einzeln wahrnehmbar

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Grain-Dauer} = 1 \text{ ms} \\ \text{Grain-Dichte} = 20/\text{s} \end{array} \right\}$$



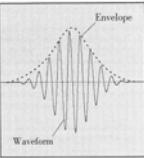
transparent, spärlich

$$20 * 0,01 = \underline{\underline{0,2}}$$

Generell gilt:

Spärlicher FF <u>< 0,5</u>	Mehr als die Hälfte des Sound-Objekts Stille
Deckender FF <u>~ 1,0</u>	Sound-Objekt reichlich gefüllt mit Grains
Überlappungs FF <u>> 1,0</u>	Sound-Objekt gefüllt mit überlappenden Grains

5. Grain-Dichte



Beispiel:

- 25 ms Grain
- asynchrone Ordnung

<u>Grains/s</u>	<u>Sound</u>
< 15	Rhythmische Patterns
15 - 25	Fluttering, Rhythmus verschwindet
25 – 50	Grain-Strom
50 – 100	Dichte Textur
> 100	Sound-Masse



Grain-Organisations-Formen

Synchrone Granular-Synthese



Synchroner Grain-Strom; Grains folgen einander in bestimmten konstanten Intervallen

Position eines Grains bestimmbar

Rhythmische Patterns bei $D=0.1\text{-}20$ Grains/s

bei $D>20$ Grains/s formt der Grain-Fluss kontinuierlichen Ton

Quasi-Synchrone Granular-Synthese

Grains folgen einander in unterschiedlichen Intervallen

Unregelmäßigkeit gesteuert durch Random

Zwischen Synchroner/Asynchroner Granular-Synthese

Tonhöhe des Grainstroms in synchroner Granular-Synthese

Empfundene Tonhöhe abhängig von:

- a – Periode der Grain-Wellenform Frequenz
- b – Periode der Grain-Hüllkurve (=Grain-Dauer)
- c – Periode Dichte (Grains/t)/Grain-Wiederholungsrate

Beispiel1

- 2 Perioden eines 200 Hz Sinus
- 10 ms Grain

$a = 5 \text{ ms}$

$b = 10 \text{ ms}$

$c = 20 \text{ ms}$



60 ms

50 Grains/s

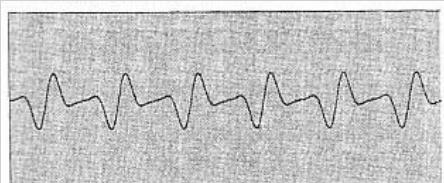


Buzzy 100 Hz

$a = 5 \text{ ms}$

$b = 10 \text{ ms}$

$c = 10 \text{ ms}$



60 ms

100 Grains/s

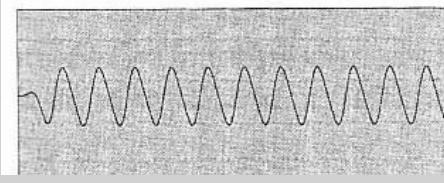


Buzzy 200 Hz

$\rightarrow a = 5 \text{ ms}$

$b = 10 \text{ ms}$

$\rightarrow c = 5 \text{ ms}$



60 ms

200 Grains/s



Reiner 200 Hz Sinus

Asynchrone Granular-Synthese



- Asynchroner Grain-Strom
- Grains starten in unterschiedlichen/zufälligen Intervallen
- Macro-Struktur des Sound-Objekts ist abschätzbar, zeitl. Micro-Struktur der Grains nicht

Cloud-Parameter:

- Start u. Dauer der Cloud
- Grain-Länge
- Dichte Grain/s
- Cloud-Frequenz-Band (begrenzt Tonhöhe einzelner Grains)
- Amplituden-Hüllkurve der Cloud
- Wellenform(en) in den Grains
- Hüllkurven der Grains
- Räumliche Ausdehnung der Cloud

Weitere Grain-Organisations-Formen

Matrizen und Screens

Xenakis

Physikalische Modelle

Physical modeling

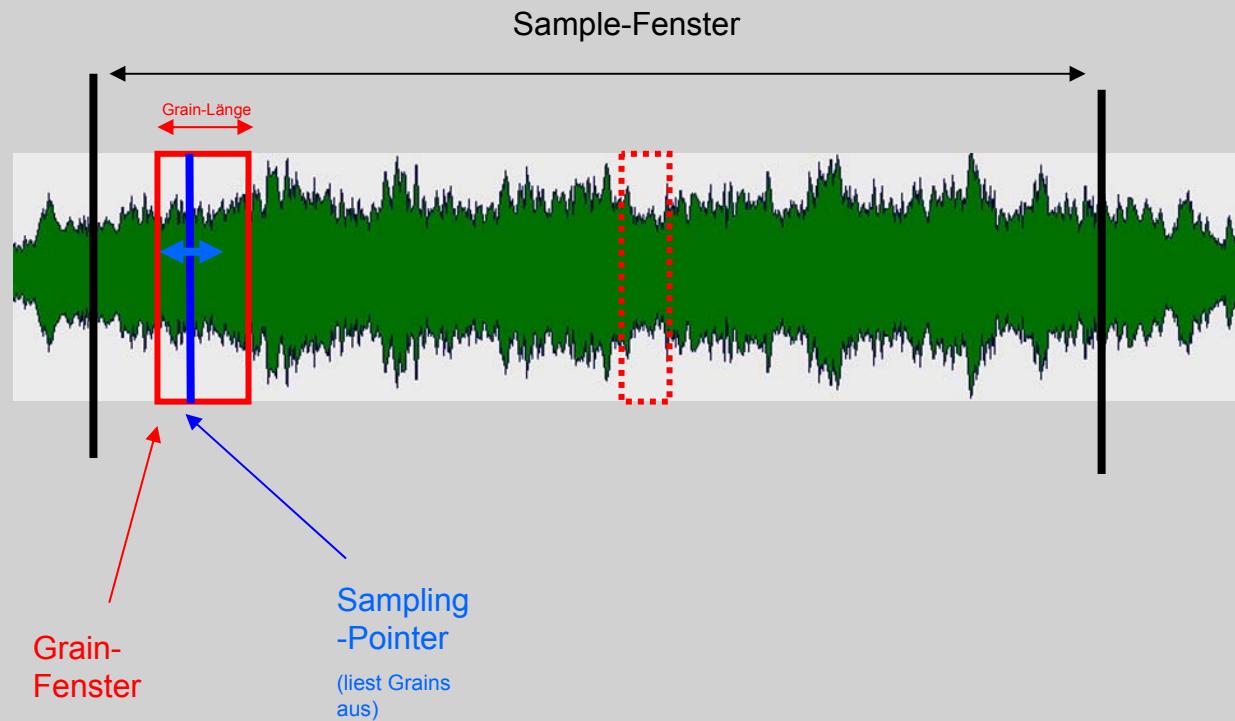
Komplexe Algorithmen

- Chaos-Funktionen
- Stochastische „Kontrolle“

Sample-Granulation

Granulieren von Samples

Prinzip:



- Parameter der Granulation wie bei der Synthese

Granulare Synthese in der Praxis

Implementations-Möglichkeiten

1.
 - Einfaches Orc
 - komplexe (z.b. durch Algorithmus) erzeugte Score
 2.
 - Komplexes Orc, das pro Re-Init ein Grain erzeugt
(z.B. „Granulateur“ © Jan Baumgart)
 3.
 - manuelle Micro-Montage im Sequenzer
 4.
 - Csound's Granular-Synthesis Opcodes:
 - grain
 - granule
 - FOF
 - FOG
- } Formant Synthese

grain

Einfacher, schneller Grain-Generator

- f-table als Signalquelle
- f-table als Grainhüllkurve
- Controlle über: Dichte, Pitch, Amp, Grain-Dauer
- Zufallsparameter
- Synchroner und Asynchroner (per Random) Grain-Strom möglich

[Csound Beispiele](#)

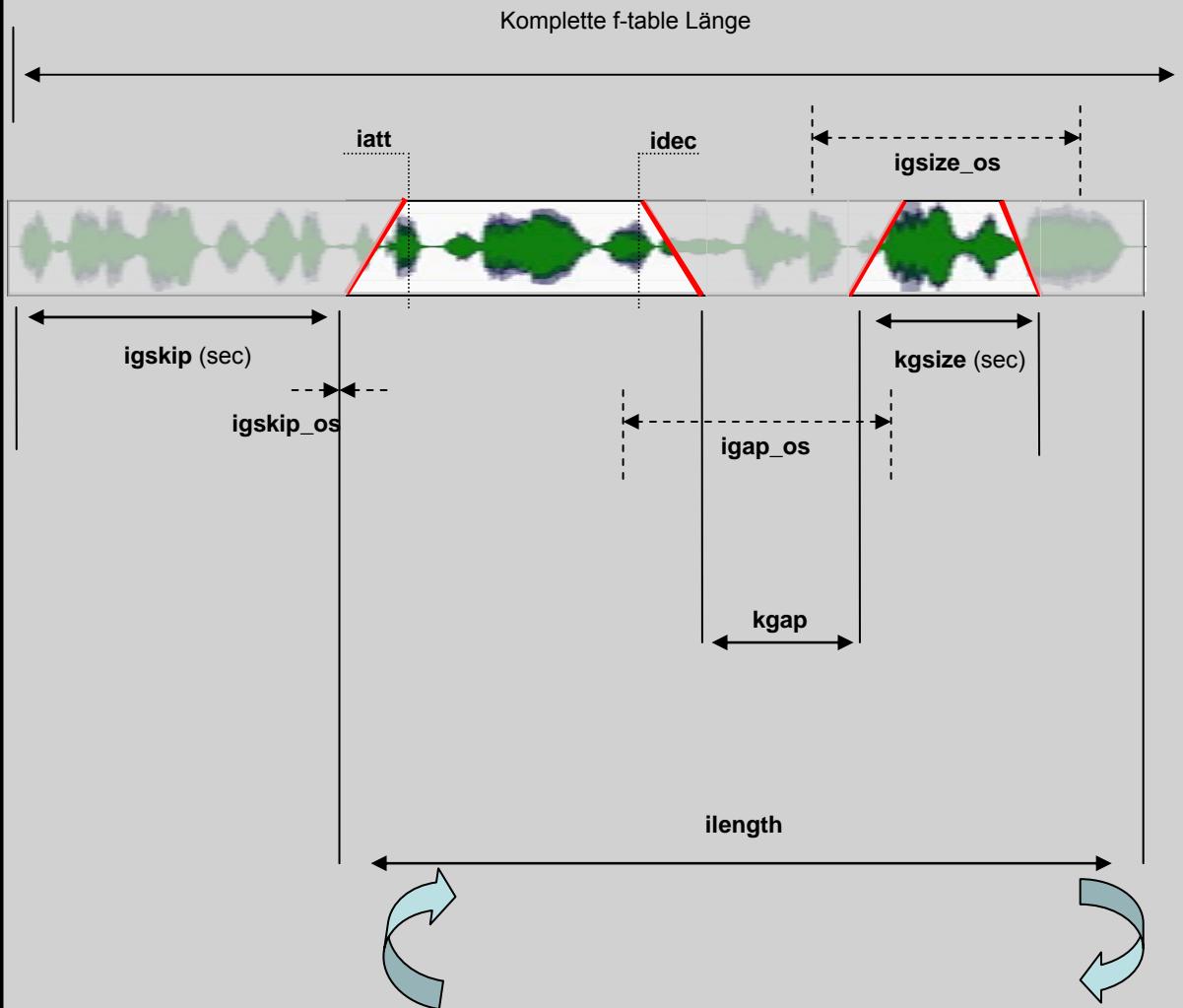
Granule - Übersicht

- komplexer als „grain“
- kann mehrere, parallele Grain-Ströme erzeugen (bis zu 128 Voices)
- Kontrolle über: Dichte (Gaps), Pitch der Ströme, Amp, Grain-Dauer, table-Leserichtung
- Random Generator für Parameter: Grain-Dauer, Gaps, Lesestart im Table
- Thresholding Grains unterhalb eines bestimmten Pegels werden nicht ausgegeben (Stille zwischen Wörtern)
- Timestretching von Samples
- Synchrone und Asynchrone (per Random) Grain-Ströme möglich

[Csound Beispiele](#)

Xamp	Main-Amp
ivoice	Anzahl der Voices/Grainströme (max. 128)
lratio	Geschw. des Sampling-Pointers; relativ zur Sr (Timestretching)
lmode	Leserichtung des Sampling-Pointers +1 = vorwärts, -1 = rückwärts, 0 = Random
lthd	Threshold für zu leise Samples
lfn	F-table des Quellsamples
lpshift	Tonhöhe der Streams 0 = Random (+/- 1 Oktav) 1-4 = Tonhöhe von ipitch1-4
lgskip	Start in der f-table (sec)
llenght	Länge des f-table Ausschnitts ab igskip (sec)
lgskip_os	Random für igskip (sec)
kgap	Lücke zwischen Grains (1 = 1 sec zwischen Grains) können sich nicht überlappen innerhalb eines Stroms
lgap_os	Random für kgap (% von kgap) Bsp: kgap = 1; igap_os = 50 → Gaps zwischen 0.5 und 1.5 s möglich)
kgsiz	Grain-Länge (sec)
lgsize_os	Random für kgsiz (% von kgsiz)
iatt, idec	Attack, Decay pro Grain (% von kgsiz)
[ifenv]	Grain-Hüllkurve
[ipitch1, ipitch2, ipitch3, ipitch4]	Tonhöhen der Ströme z.B. 1.5 = quint höher 0.5 = Oktave runter

Granule - Übersicht



[Csound Beispiele](#)

© Johannes Winkler, ICEM 2006