Klangsynthese: Agenda

- Motivation
- Literatur
- Sprache vs. Musik


[Alesis Andromeda]

Verfahren

- subtraktiv: klassische "analoge" Synthese
- Wavetable-, Sampling

- additiv
- Frequenzmodulation
- physical modeling
- Granularsynthese
- Mischformen

[Software-Synth: Steinberg Rebirth]


Klangsynthese: Literatur

Synth FAQ: http://tilt.largo.fl.us/faq/synthfull.html
SMS spectral modeling: http://www.iua.upf.es/~sms/

www.alesis.com/	(Andromeda, AirFX)
www.bigbriar.com	(Bob Moog)
www.steinberg.de	(Cubase VST Homepage)
www.native-instruments.de	(Software-Synthesizer)
www.keyboards.de/soundforum	(Gratis-Software-Synth zur Serie)
www.nemesysmusic.com	(Gigasampler)

www.webspeech.de (Logox)
http://www.coli.uni-sb.de/phonetik/projects/Sprs_pu.html (Logox publications)

Klangsynthese: Literatur

E.R. Miranda, Computer sound synthesis for the electronic musician, LEM A MIR 26466
M.J. Manthey, the DGG real-time sound synthesizer, DAIMI PB-56 1976, R5522
C. Chapman, formant musik-synthesizer, elektor Verlag, 1978

SMS spectral modeling: http://www.iua.upf.es/~sms/
Synth FAQ: http://tilt.largo.fl.us/faq/synthfull.html

www.synthmuseum.com	
www.synthzone.com	(aktuelle und historische Synthesizer)
www.hammersound.net	(free SoundFont library)

Sprache: Links unter http://www.coli.uni-sb.de/phonetik/projects/bookmarks.html

Klangsynthese: Ziele

- Wiedergabe kodierter / komprimierter Daten
- Reproduktion von Musikinstrumenten
  - leichter spielbar
  - billiger, portabel, flexibler, leiser/lauter, ...
  - Rekonstruktion defekter, verlorener Instrumente
- neuartige Klänge
  - Vielfalt der möglichen Algorithmen
  - Erinnerung: Wahrnehmung: Grundton plus Spektrum
- Sprachsynthese

Musiksynthese: Klassifikation

musikalische Gesichtspunkte:

- Eingabegeräte
- Spieltechniken und -hilfen
- Klangmöglichkeiten
- Echtzeitfähigkeit, Stimmenzahl

technische Gesichtspunkte:

- Syntheseverfahren (subtraktiv, FM, ...)
- Implementierung (analog, digital)
- uva.

Musiksynthese: Eingabegeräte

[L. Theremin 1927]

[Alesis airFX 2000]

- Tasteninstrumente (Klaviatur)
- Sampler, virtuelle Instrumente (Software: MIDI)
- Theremin, "e-beam", "airFX" (berührungslos)
- E-Drums (Schlagzeug)
- Gitarrensynthesizer (gezupfte Saiten)
- E-Blasinstrumente (Blaswandler)
- Vocoder (Stimme)
- Sprachsyntese (Textdaten)

=> entsprechend vielfältige Anforderungen

Musiksynthese: Trends

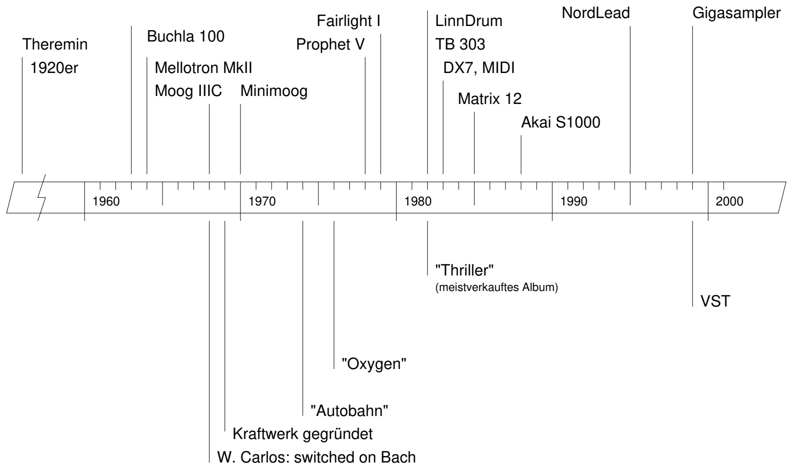
zunehmende Rechenleistung für DSPs / PCs:

- virtuell analoge Synthesizer
- modulare Synthesizer
- integrierte Effekte
- virtuelle Instrumente (z.B. VST Plugins)
- echtzeitfähige Klangveränderungen

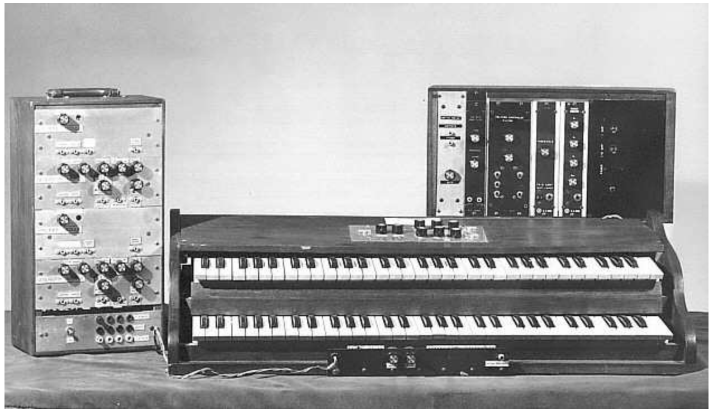
- mehrkanalfähige Geräte (5.1)
- 96 KHz, 24 bit
- photorealisitsche Oberflächen

(G-Media M-Tron mit Kaffeeflecken...)

Musiksynthese: Zeitleiste



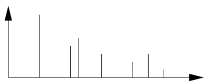
Analoge Synthese: Moog #1



- gebaut mit/für Herbert Deutsch, Juli bis September 1964

Analoge Synthese: Konzept

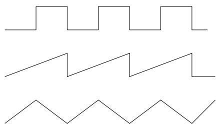
- additiveSynthese wegen Kosten unmöglich



subtraktive Synthese:

- obertonreiches Ausgangssignal
- gewünschten Klang durch Filterung erzeugen
- zusätzliche Modulation für "lebendigen" Klang

- Oszillatoren mit obertonreichen Klängen:
  - Rechteck, PWM Rechteck, Impulse
  - Sägezahn, Dreieck
  - Rauschen
  - oder unreiner Sinus



- musikalisch sinnvolle Filter, vor allem Tiefpaß
- Anschlagdynamik, Hüllkurven, Unisono, ...

Analoge Modularsysteme

[www.moogarchives.com/rlmod2.htm]

Vielzahl einzelner Funktionsblöcke:

- Oszillatoren (div. Signalformen)
- div. Filter
- Verstärker
- Hüllkurvengeneratoren
- spez. Module, z.B. Ringmodulator, usw.

"patches": Einstellung (und Speicherung) von Klängen erfordert:

- Konfiguration aller Verbindungskabel
- Schalter- / Potentiometerstellungen

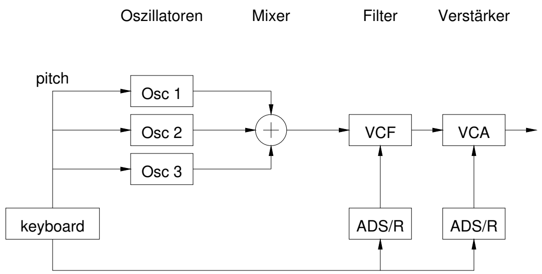
Analoge Synthese: Minimoog

[Minimoog Model D, 1970]

- fester Schaltungsaufbau mit VCO, VCF, VCA plus LFO
- spannungsgesteuerte Komponenten: 1V / Oktave
- monophon, drei Oszillatoren
- Tiefpaßfilter mit 12/24 db/Oktave

- legendärer Klang

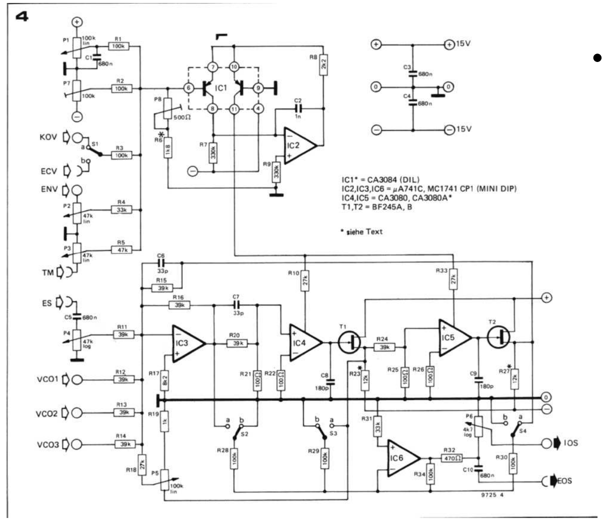
Minimoog: Blockschaltbild



einfacher, aber ausreichend flexibler Signalfluß:

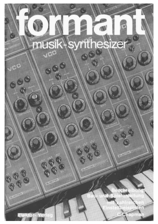
- Vorbild für praktisch alle späteren Synthesizer
- Erweiterungen über flexiblere Oszillatoren
- und weitere Modulationsmöglichkeiten

Formant: VCF



- Tiefpaß mit 6/12 db

Formant

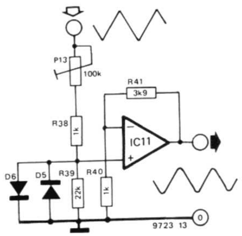


- einfacher subtraktiver Synthesizer
- als Selbstbauprojekt der Zeitschrift "elektor", 1978 [C. Chapman]
- "mit erträglichem Klang" (P.Gorges, keyboards 01/01)

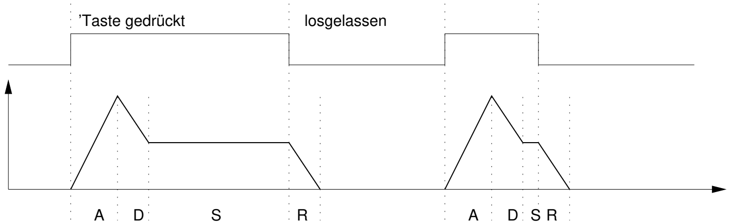
- patentfreie Schaltungen für VCO/VCF/VCA
- sehr gut dokumentiert

durchaus interessante Lektüre:

- Tips für typische Parametereinstellungen
- Schaltungsbeispiel: Dreieck->Sinus (absichtlich kein guter Sinus)



Hüllkurven: ADSR



attack	Anschlagphase	Zeit
decay	Abfallzeit nach dem Anschlag	Zeit
sustain	eigentlicher Klang	Level
release	Ausklingen	Zeit

- bei Bedarf mehrstufige / komplexere Hüllkurven
- attack/decay-Phase besonders wichtig für den Klang

Klangverbesserungen:

LFO (low frequency oscillators)

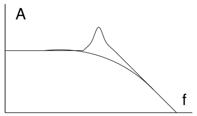
- zur Modulation von Oszillator, Filter, Verstärker
- Vibrato

Verwendung mehrerer Oszillatoren

- für "fette" Unisono-Klänge
- leicht gegeneinander verstimmt
- (klingt gut wegen "analoger" Instabilitäten)

Resonanzfilter

- typische Filter-"sweeps"



"virtuell analog"

- Nachbildung eines analog subtraktiven Synthesizers
- durch Simulation auf digitaler Hardware
- DSP-Algorithmen für alle einzelnen Funktionsblöcke

- Klang wird an den analogen Originalen gemessen
- für authentischen Klang: Nachbildung der "Fehler" der Originale
- Aliasing-Probleme der Oszillatoren
- Probleme mit Echtzeit-Modulationen wie Filter-Resonanz

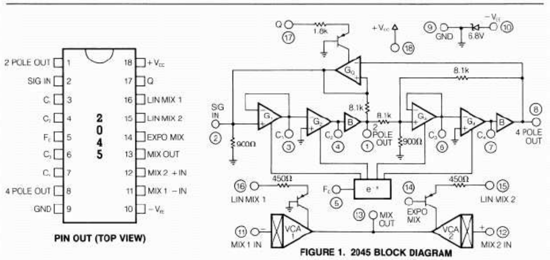
- Speicher und Laden von Klängen unkritisch
- meistens mehrstimmig polyphon

großer Markterfolg:

- Clavia NordLead, Nord Modular, Access Virus, usw.
- oder als reine Software Plugins: Model*E, Pro 52, usw.

analog polyphon: Prophet 5

- fünfstimmig polyphon
- auf Basis der SSM-Chips, 1978



FEATURES

- 2 Pole and 4 Pole Low Pass Filter Outputs
- On-Chip Q Control
- Very Low Offset
- Exceptionally Low Control Feedthrough
- Low Noise (80db below nominal signal level)
- Low Volume Loss with Increasing Q
- On-chip Mixer/VCA
- Mixer can be connected either to input or outputs
- Mixer has both separate linear and exponential cross fade controls
- Minimum External Components Required
- Rich "Open Loop" Sound
- +/− 15 Volt operation

PIN OUT (TOP VIEW)

FIGURE 1. 2045 BLOCK DIAGRAM

Solid State Micro Technology for Music, Inc., 2076B Walsh Avenue, Santa Clara, CA 95050, USA
(408)727-0917 Telex **171189**

*PATENTS APPLIED FOR

virtuell analog: SoundforumSynth

Gratisdownload unter www.keyboards.de/soundforum/

- einfacher Softwaresynth (auf Basis der Native Instruments Engine)
- zwei Oszillatoren, LFO, Filter, Amplifier, Scope
- keine Effekte

*virtuell analog: Steinberg Model*E*

Sampling

- Aufzeichnen von natürlichen Klängen / Geräuschen
- getriggerte Wiedergabe dieser "samples"

in Verbindung mit einem subtraktiven Synthesizer:

- Verwendung der Samples als Ausgangsmaterial
- statt der "einfachen" Oszillatoren
- erfordert ein/mehrere Samples pro Ton
- oder Frequenzanpassung (pitch-shifting) der Samples

- Klangformung via Filter und Verstärker
- Hüllkurven, Anschlagdynamik, usw.
- fast immer digital realisiert (Ausnahme: Mellotron)
- zusätzlich Digitaleffekte

virtuell analog: Demos

Klangbeispiele:

Nord Modular Demo	Nord competition / 2000
Access Virus Demo	keyboards 1x/2000
Steinberg Model*E Demo	www.steinberg.de/

- Konzept ist weitgehend ausgereizt
- höhere Rechenleistung ermöglicht weiter steigende Qualität
- bereits alle "relevanten" Klassiker nachgebaut
- Modularsysteme für bel. komplexe Setups

Sampling: Pitch-Shifting

- Speicher ist teuer
- ca. 75 KB pro Sekunde Sample

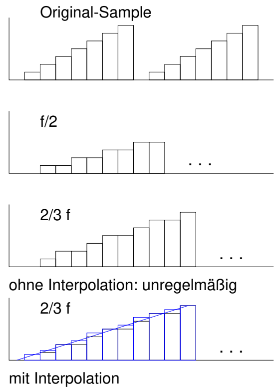
=> Sample für mehrere Tonhöhen nutzen

OSC[t] = SAMPLE[f/f0 * t]

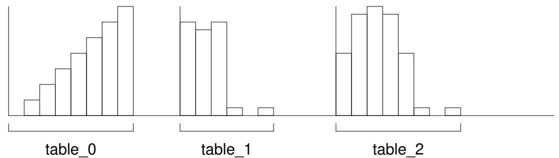
- triviale Realisierung unbrauchbar
- daher Interpolation der Samplewerte
- z.B. 8 Punkte-Interpolation (E-mu)

aber Aliasing-Probleme:

- Up-Shifting verletzt das Abtasttheorem
- Überlagerung mehrerer Stimmen problematisch



Sampling: "Wavetable"



OSC[t] = WAVETABLE[f/f0 * t]

Wavetable-Synthese:

- subtraktive Synthese
- kurze synthetische Wellenformen
- als Oszillatoren (mit pitch-shifting)

- oft als Synonym für Sampling benutzt

Sampling: Klangformung

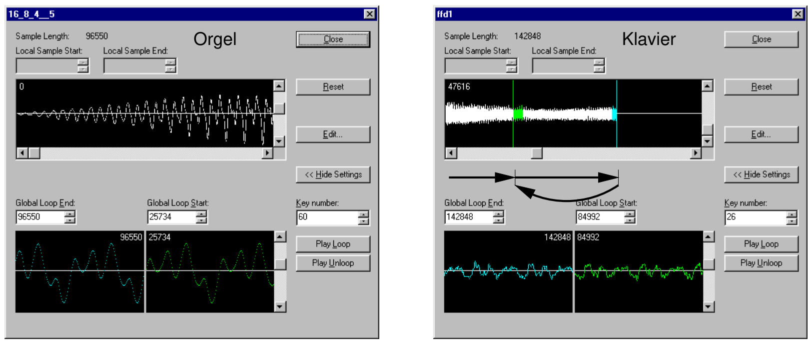
möglichst natürlicher bzw. differenzierter Klang:

- Verwendung möglichst vieler und langer Samples
- Hüllkurven für Filter und Verstärker
- "velocity layers": mehrere Samples pro Ton
- Modulation via LFO

- Samples für mehrere Spieltechniken
  (gezupfte vs. gestrichene Saite, usw.)
- Beispiel zur Auswahl der Samples:

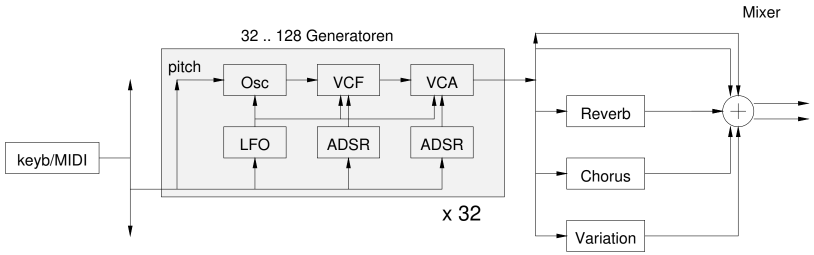
  Gigasampler Instrument Zones

Sampling: Loops



- wiederholte Wiedergabe eines Samplebereichs
- um Speicherplatz zu sparen: Attack + Loop + (opt) Release
- Länge und Qualität der Loops maßgeblich für Klang
- spez. Tools zum Finden / Erzwingen von Looppunkten

Sampling: Hardware



typische Daten für aktuelle "ROMpler":

- 32 .. 128 stimmig, 48 KHz, 16 bit
- 16 .. 64 MB ROM, 16 .. 256 MB RAM (Sampler)
- mehrere LFOs, separate Hüllkurven für VCF und VCA
- inkl. Mischer, plus Digitaleffekte

Sampling: Gigasampler

- Looping oft nicht akzeptabel (insb. für klassische Instrumente)
- Kosten proportional zum Speicherausbau
- RAM deutlich teurer als Festplatten

=> Gigasampler: www.nemesysmusic.com

- Samplestarts im RAM
- spätere Samplewerte nur bei Bedarf laden
- praktisch keine Größenbeschränkung der Samples
- z.B. 1 GB Klavier

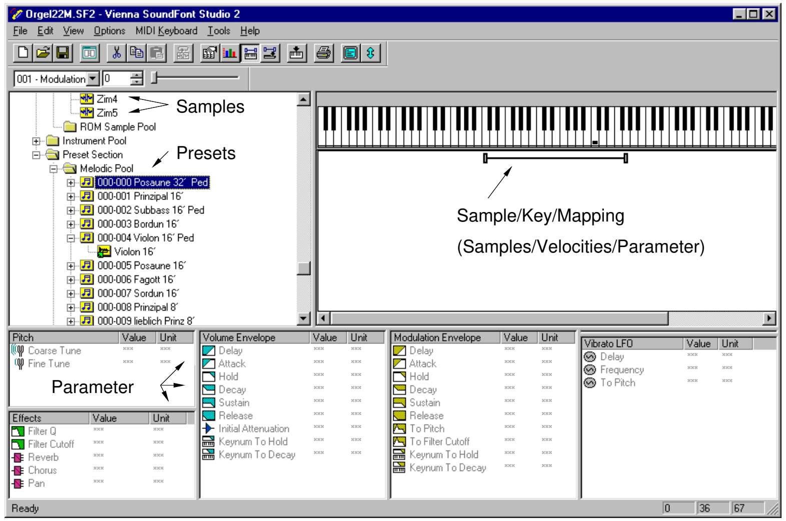
Zugriffszeit HD:	10 ms
Transferrate:	5 MB/s
Puffer pro Sample:	mind. 480 Werte, ~ 1KB
Stimmenanzahl:	5 MB/48K ~ 100

Sampling: SoundFont 2

- Dateiformat für Samplebänke, Creative Labs 1997
- ursprünglich für Soundblaster 64 AWE
- RIFF-Struktur, insgesamt 22 Chunk-Typen:

RIFF
    SFBK
        INFO-list
            header chunks: name, version, ...
        sdta-list
            sample data
        pdta-list
            presets (headers, list)
            instruments (headers, list)
            sample headers

SoundFont: Vienna Editor



additive Synthese

Klangerzeugung durch Überlagerung

- der Grundtons
- und aller einzelnen Obertöne

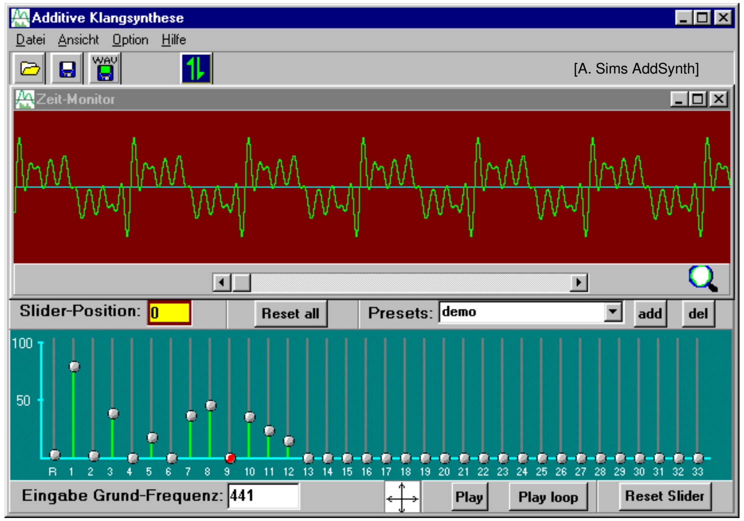
- benötigt N Klangquellen / Oszillatoren
- und zugehörige Regelung, z.B. Hüllkurven
- entsprechender Hardwareaufwand
- dafür im Prinzip keine Filter erforderlich

[Arp Schnitger Orgel, St. Jacobi HH]

- Kirchenorgel, z.B. 60 Register a 60 Töne: 3600+ Pfeifen
- Hammondorgel, 91 tonewheels, elektronische Verstärkung

- diverse Orgel/Hammondorgel-Nachbildungen
- ansonsten additive Synths. sehr selten

additive Synthese: Demo



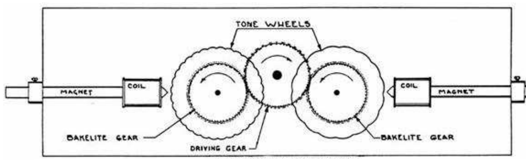
additive Synthese: B4

Hammond-B3: legendärer Klang

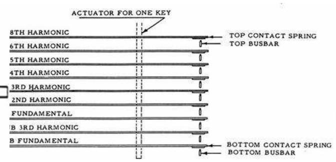
Native Instruments B4: www.native-instruments.de

- virtueller Nachbau der B3
- inklusive der Mängel des Originals (Übersprechen, Oktavierungen, ...)
- für möglichst authentischen Klang: mp3/wav-Demos

additive Synthese: Hammond B3



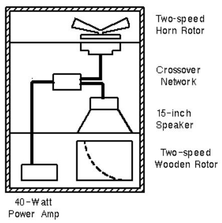
Prinzip der "Tonewheels" mit Magneten



Prinzip der Tastenkontakte

- 91 "tonewheels" für 91 Frequenzen (32'' bis 2')
- magnetische Abnahme, dann Verstärkung
- 9 Kontakte pro Taste, Verdrahtung nach Oktavlage
- Summation der Ströme, Lautstärke via "drawbars"
- Leslie: rotierendes Horn + Basstrommel
- sehr komplexer Klang

Leslie:



www.theatreorgans.com/hammond/faq/mystery/mystery.html
www.academymusicstudio.co.uk/hammond.htm

Frequenzmodulation

- Ausgang eines Oszillators moduliert die Frequenz eines anderen
- "modulator" and "carrier" signals
- Ausgangssignal enthält Summen- und Differenzfrequenzen:

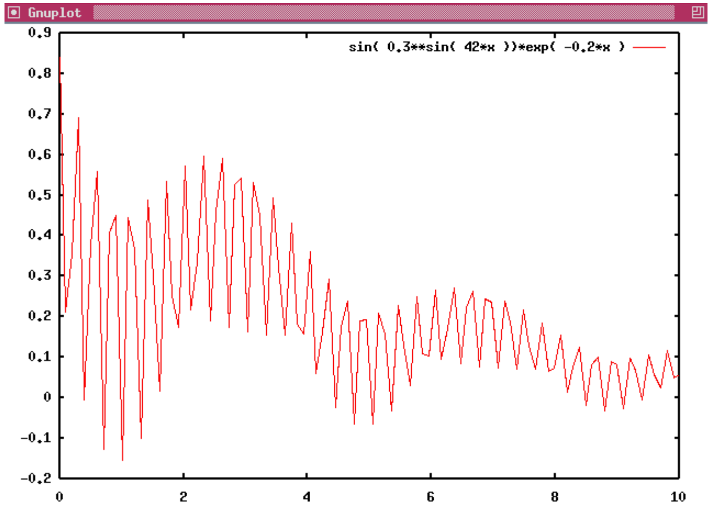
. . . C-3M C-2M C-M C C+M C+2M C+3M . . .

=> neue Syntheseform: FM-Synthese

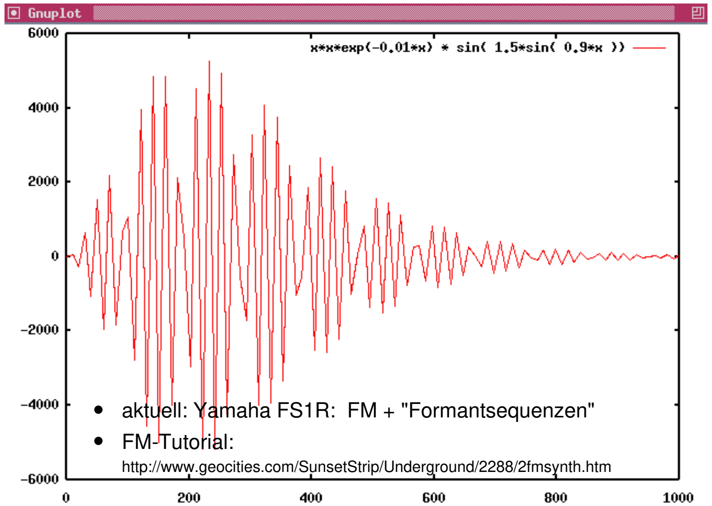
- Hüllkurven zur Regelung der Oszillatorintensität
- völlig neuartige, z.B. "glockige" Klänge

- populär durch Yamaha DX7
- erster erfolgreicher rein digitaler Synthesizer
- später auch Einsatz auf Soundkarten (OPL3)

Frequenzmodulation: Beispiel



Frequenzmodulation:



- aktuell: Yamaha FS1R: FM + "Formantsequenzen"
- FM-Tutorial:
  http://www.geocities.com/SunsetStrip/Underground/2288/2fmsynth.htm

Physical Modeling

- warum überhaupt vereinfachte Syntheseverfahren?

"physical modeling synthesis"

- Modellierung realer / imaginärer Schallquellen
- als physikalische Systeme: Saiten, Pfeifen, Resonanzkörper, ...
- Aufstellen der Bewegungsgleichungen

- numerische Lösung der Bewegungsgleichungen
- möglichst in Echtzeit

- im Prinzip beliebig genaue Simulation jedes Instruments
- aber extremer Rechenaufwand

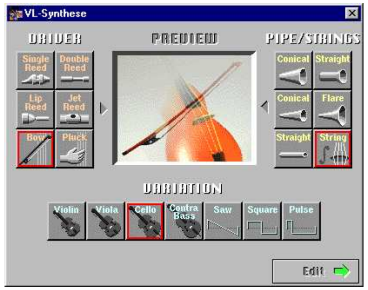
Physical Modeling; Prinzip

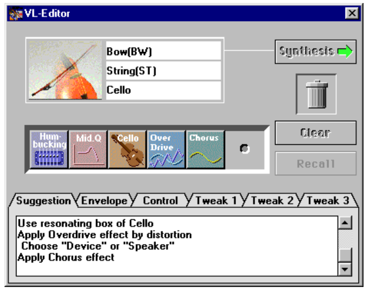
```
/*********************** PLUCK.C *****************************
C-Simulation fortschreitender Wellen (traveling waves) zur
Erzeugung von Wellenformen,(nach Helmholtz 1857, Cremer 1979
und J.O. Smith 1992), speicherbar als ASCII- oder .WAV-Datei.
Demo-Programm fuer eine Waveguide-Implementation (physical
modeling): Anzupfen einer Gitarren-Saite.
Dr. Justus Noll c't 07/95 Seite 240ff
***************************************************************/

int initWelle(double Amplitude,                    /* z.B. 0.5 */
              double Frequenz,                /* z.B. 100 [Hz] */
              double ZupfStelle,    /* z.B. 0.1 (Saitenlaenge) */
              double SampleOffset)                  /* z.B. 22 */
{
  int i;
  int LeitungsLaenge,StartSample;
  double *AnfangsForm,anFlanke,abFlanke;

  LeitungsLaenge=SAMPLINGRATE/Frequenz/2+1;
  StartSample=MAXSAMPLE=max(LeitungsLaenge*ZupfStelle,1);
  AnfangsForm=(double*) calloc(LeitungsLaenge,sizeof(double));
  if(AnfangsForm==NULL) Fehler(3);
  anFlanke=Amplitude/StartSample;
  abFlanke=Amplitude/(LeitungsLaenge-StartSample-1);
  for(i=0;i<StartSample;i++) AnfangsForm[i]=anFlanke*i;
  for(i=StartSample;i<LeitungsLaenge;i++)
   AnfangsForm[i]=abFlanke*(LeitungsLaenge-1-i);
  ULEITUNG
   =VerzLeitungAn(ULEITUNG,AnfangsForm,0.5,LeitungsLaenge);
  OLEITUNG
   =VerzLeitungAn(OLEITUNG,AnfangsForm,0.5,LeitungsLaenge);
  return SampleOffset*LeitungsLaenge;
}
...
```

Physical Modeling: Yamaha VL



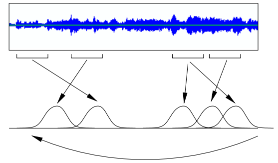


[Yamaha XGworks VL plugin]

Yamaha VL Synthesizer (seit 1996: VP1, ca. 60.000 DM)

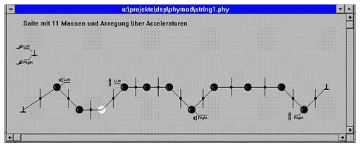
- 6 Treiber, 6 Oszillatormodelle, div. Resonatoren, div. Effekte
- gute Blasinstrumente
- erfordert aber entsprechende Spieltechnik (Blaswandler)
- auch als SW-Synthesizer erhältlich

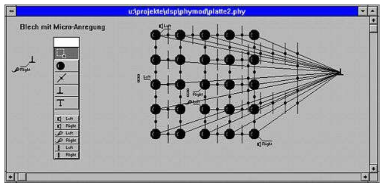
Granularsynthese



- Zusammensetzen eines Klanges aus vielen kleinen "Körnchen"
- Ausgangsmaterial sind Samples / Sinuswellen
- Multiplikation mit Fensterfunktionen
- anschließend Aneinandersetzen und Looping
- "Körner": wenn sich einzelne Stückchen nicht mehr überlappen
- sehr viele Parameter zum "Herumspielen"
- daher auch komplex und wenig intuitiv
- Einführung und Literatur: keyboards 01/01 S.74ff
- GranuLab: http://hem.passagen.se/rasmuse/Granny.htm

Physical Modeling: c't

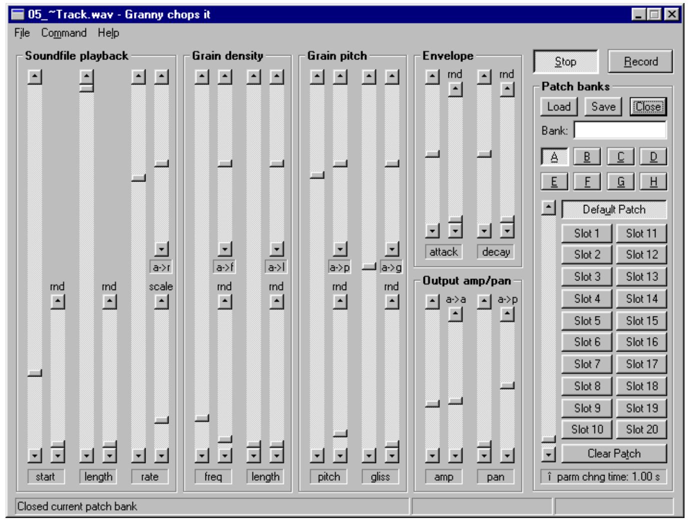




Beispielmodelle (c't 02/97 328 ff), Programm "phymod":

- schwingende Seite, 11 Massen und Federn, seitlich "geerdet"
- schwingende Platte, 25 Massen und Federn
- Anregung über "Hämmer"-Modell
- ein 56K DSP schafft etwa 8 Massen in Echtzeit...

Granularsynthese: GranuLab



Spectral Modeling

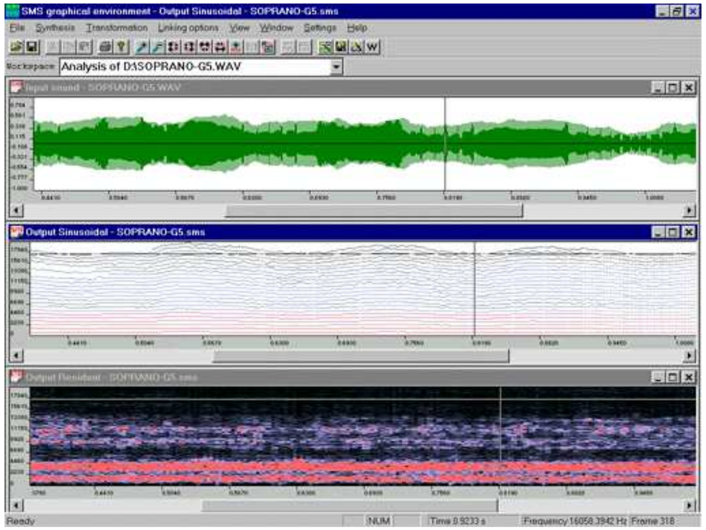
- kombiniertes Analyse- und Syntheseverfahren
- X. Serra, Barcelona, seit ca. 1989: www.iua.epf.es/sms/

- Fourieranalyse der Eingangssignale
    - Erkennen der dominanten Spektrallinien
    - und deren zeitlichen Verläufen
    - Interpretation des rechtlichen Spektrums als Rauschen
    - Abspeichern des zeitlichen Verlaufs

- additive Synthese der erkannten Spektrallinien
- und Hinzufügen des originalen Rauschens

- erlaubt sehr authentische Klangmodifikationen
- Klangbeispiele

Spectral Modeling:



Drum Synths

Nachbildung von Schlagzeug-Sounds:

- analog, z.B. Roland TR-808 und TR-909
- digital per Sampling: Linn Drum ... Alesis Dm pro

  keine besonderen Anforderungen an das Sampling:

- kurze perkussive Klänge, keine Loops notwendig
- kein pitch-shifting notwendig
- bei Bedarf Alterativ-Samples / velocity-mapping

  typische ROMpler: ~40 Drum-Sets (je ca. 40 Klänge)

- große Vielfalt an Geräten
- Beispiel Rebirth, www.propellerheads.se

Drums: Rebirth

Demoversion unter www.propellerheads.de