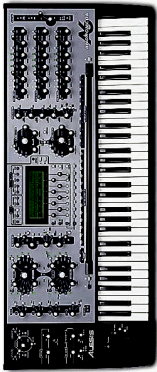


Klangsynthese: Agenda

- Motivation
- Literatur
- Sprache vs. Musik

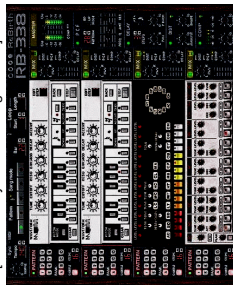
Verfahren

- subtraktiv: klassische "analoge" Synthese
- Wavetable-, Sampling
- additiv
- Frequenzmodulation
- physical modeling
- Granularsynthese
- Mischformen



[Alesis Andromeda]

[Software-Synth: Steinberg ReBirth]



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.iaa.upf.es/~sms/>
 Synth FAQ: <http://titl.largo.fi.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.colli.uni-sb.de/phonetik/projects/bookmarks.html>

Klangsynthese: Literatur

Synth FAQ: <http://titl.largo.fi.us/faq/synthfull.html>
 SMS spectral modeling: <http://www.iaa.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.colli.uni-sb.de/phonetik/projects/Sprgs_pu.html (Logox publications)

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 (Klaviiatur)
- Sampler, virtuelle Instrumente (Software: MIDI)
- Theremin, "e-beam", "airFX" (berührungslos)
- E-Drums (Schlagzeug)
- Gitarrensynthesizer (gezapfte Saiten)
- E-Blasinstrumente (Blaswandler)
- Vocoder (Stimme)
- Sprachsynthese (Textdaten)

=> entsprechend vielfältige Anforderungen

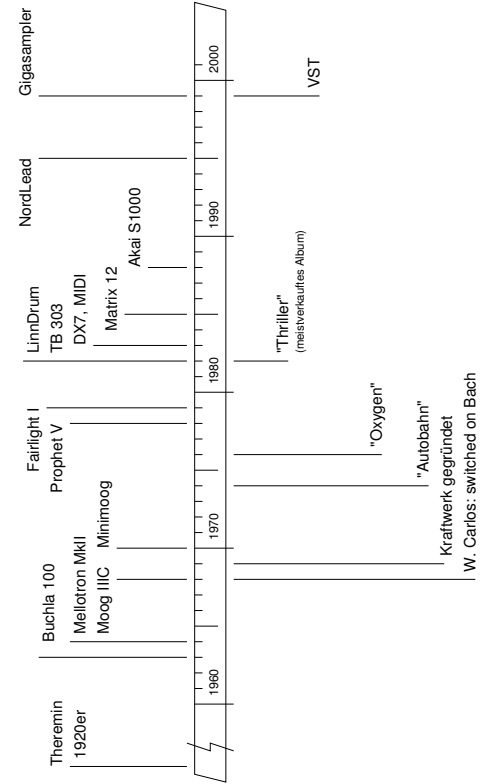
Musiksynthese: Trends

zunehmende Rechenleistung für DSPs / PCs:

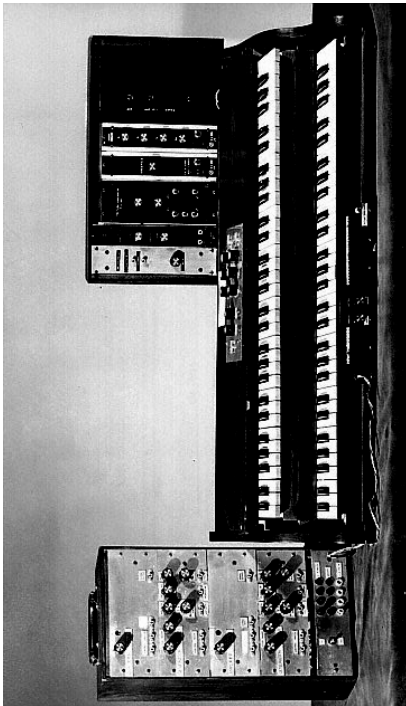
- virtuell analoge Synthesizer
- modulare Synthesizer
- integrierte Effekte
- virtuelle Instrumente (z.B. VST Plugins)
- echtzeitfähige Klangveränderungen
- mehrkanalfähige Geräte (5.1)
- 96 KHz, 24 bit
- photorealistiche Oberflächen (G-Media M-Tron mit Kaffeeflecken...)



Musiksynthese: Zeitleiste



Analoge Synthese: Moog #1

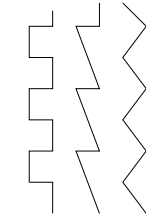


- gebaut mit/für Herbert Deutsch, Juli bis September 1964

Digitale Audioverarbeitung | WS 2000 | 18.205

Analoge Synthese: Konzept

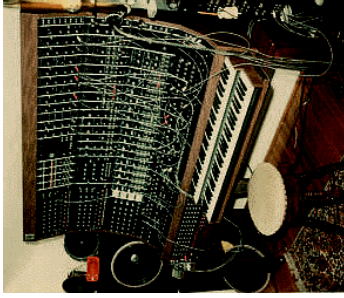
- additive Synthese wegen Kosten unmöglich
- subtraktive Synthese:
- obertonreiches Ausgangssignal
 - gewünschten Klang durch Filterung erzeugen
 - zusätzliche Modulation für "lebendigen" Klang



- Oszillatoren mit obertonreichen Klängen:
 - Rechteck, PWM Rechteck, Impulse
 - Sägezahn, Dreieck
 - Rauschen
 - oder unreiner Sinus
- musikalisch sinnvolle Filter, vor allem Tiefpaß
- Anschlagdynamik, Hüllkurven, Unisono, ...

Digitale Audioverarbeitung | WS 2000 | 18.205

Analoge Modularsysteme



[www.moogarchives.com/rfmod2.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

Digitale Audioverarbeitung | WS 2000 | 18.205

Analoge Synthese: Minimoog

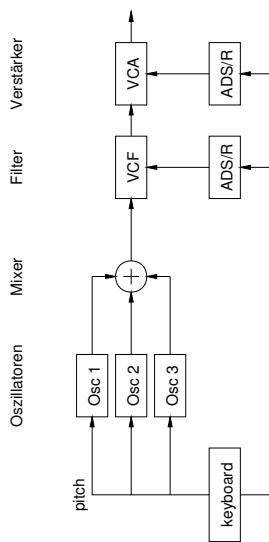


[Minimoog Model D, 1970]

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

Digitale Audioverarbeitung | WS 2000 | 18.205

Minimoog: Blockschaltbild



einfacher, aber ausreichend flexibler Signallauf:

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

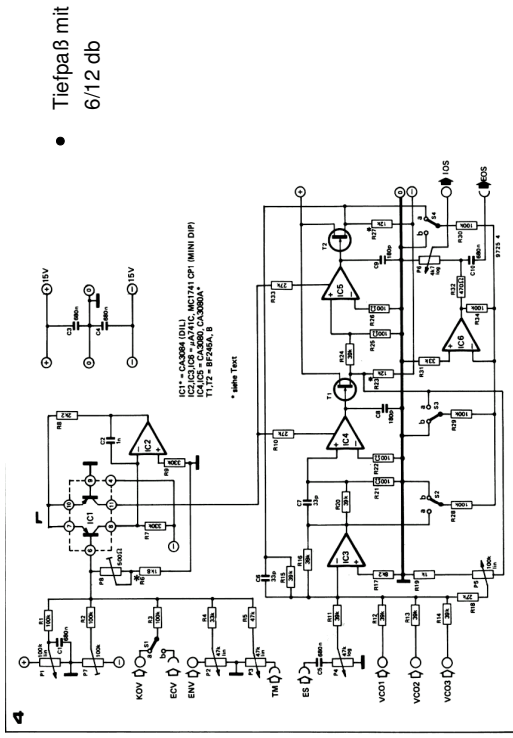
Formant

- 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

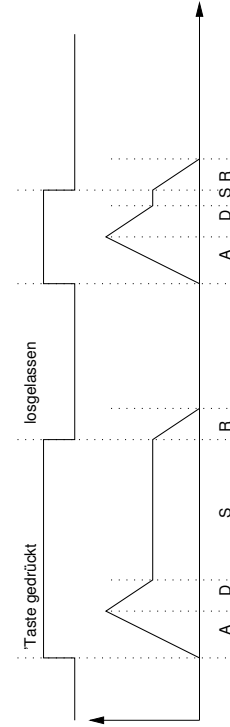
durchaus interessante Lektüre:

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

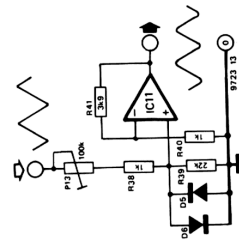
Formant: VCF



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)

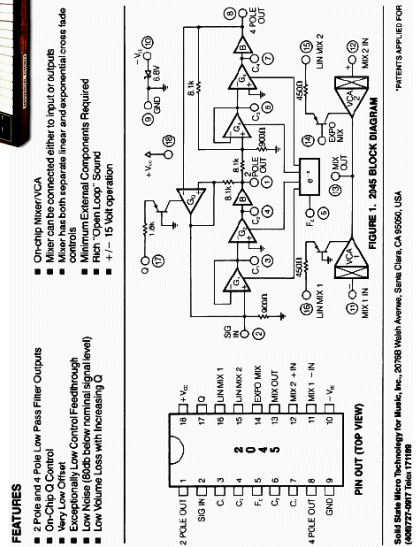
Resonanzfilter

- typische Filter-"sweeps"



analog polyphon: Prophet 5

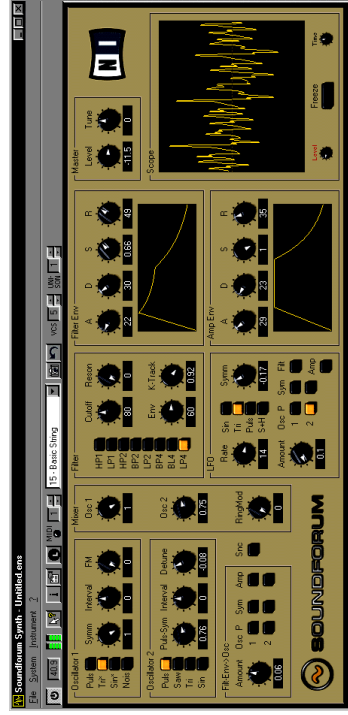
- fünfstimmig polyphon
- auf Basis der SSM-Chips, 1978



"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.

virtuell analog: SoundforumSynth



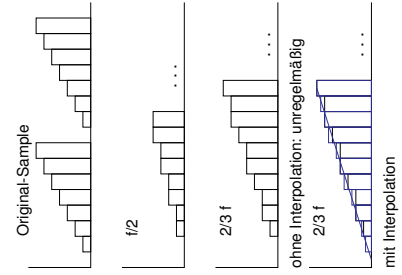
- Gratisdownload unter www.keyboards.de/soundforum/
- einfacher Softwaresynth (auf Basis der Native Instruments Engine)
- zwei Oszillatoren, LFO, Filter, Amplifier, Scope
- keine Effekte

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, Anschlagsdynamik, usw.
 - fast immer digital realisiert (Ausnahme: Mellotron)
 - zusätzlich Digitaleffekte

Digitale Audioverarbeitung | WS 2000 | 18.205

Sampling: Pitch-Shifting

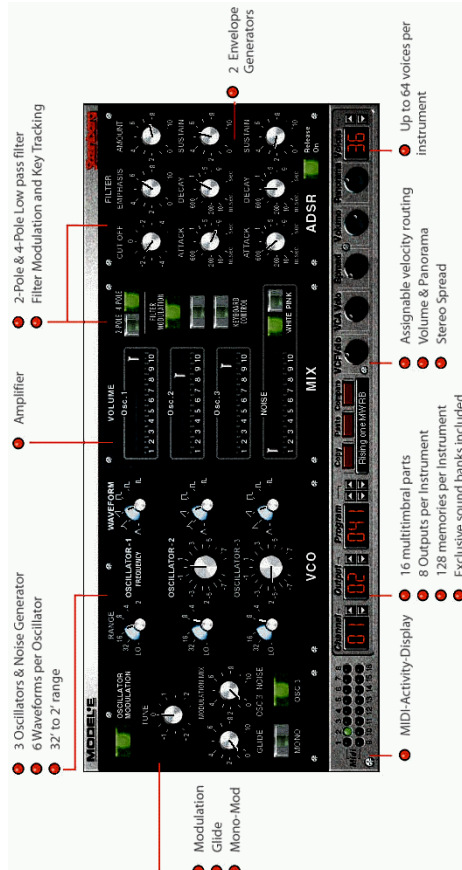


- Speicher ist teuer
 - ca. 75 KB pro Sekunde Sample
- => Sample für mehrere Tonhöhen nutzen
- $OSC[j] = SAMPLE[f/f0 \cdot j]$
- triviale Realisierung unbrauchbar
 - daher Interpolation der Samplewerte
 - z.B. 8 Punkte-Interpolation (E-mu)

- aber Aliasing-Probleme:
- Up-Shifting verletzt das Abtasttheorem
 - Überlagerung mehrerer Stimmen problematisch

Digitale Audioverarbeitung | WS 2000 | 18.205

virtuell analog: Steinberg Model*E



Digitale Audioverarbeitung | WS 2000 | 18.205

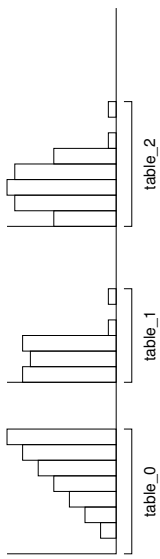
virtuell analog: Demos

- 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

Digitale Audioverarbeitung | WS 2000 | 18.205

Sampling: "Wavetable"

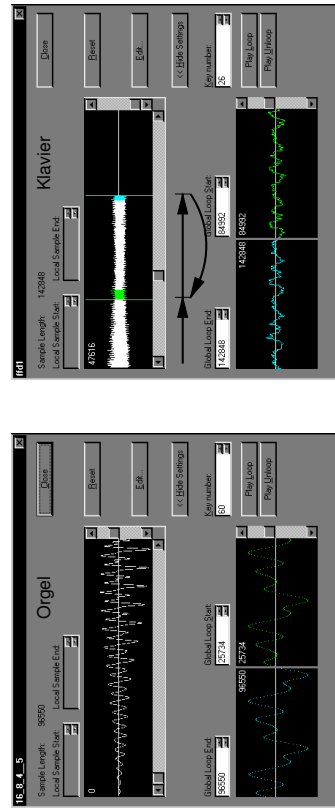


$$OSC[i] = WAVETABLE[i/10 * i]$$

Wavetable-Synthese:

- subtraktive Synthese
- kurze synthetische Wellenformen
- als Oszillatoren (mit pitch-shifting)
- oft als Synonym für Sampling benutzt

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

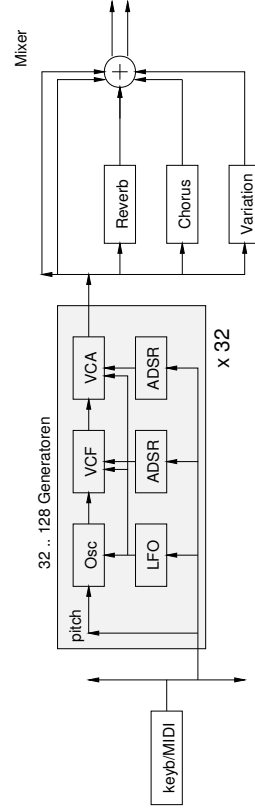
Sampling: Klangformung

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 (gezapfte vs. gestrichene Saite, usw.)
- Beispiel zur Auswahl der Samples:

Gigasampler Instrument Zones

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.nemesismusic.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

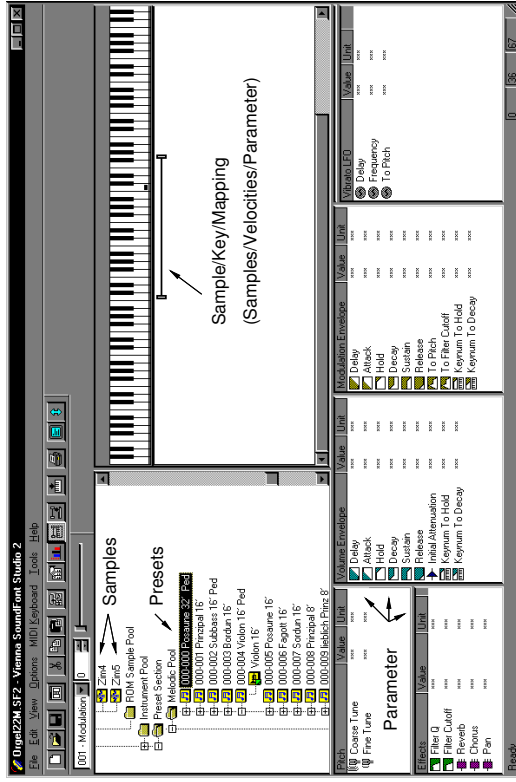
Puffer pro Sample: mind. 480 Werte, ~ 1KB
 Stimmenanzahl: 5 MB/48K ~ 100

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

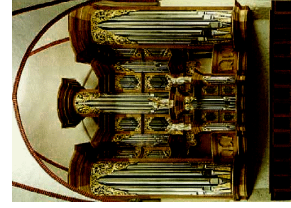
SoundFont: Vienna Editor



additive Synthese

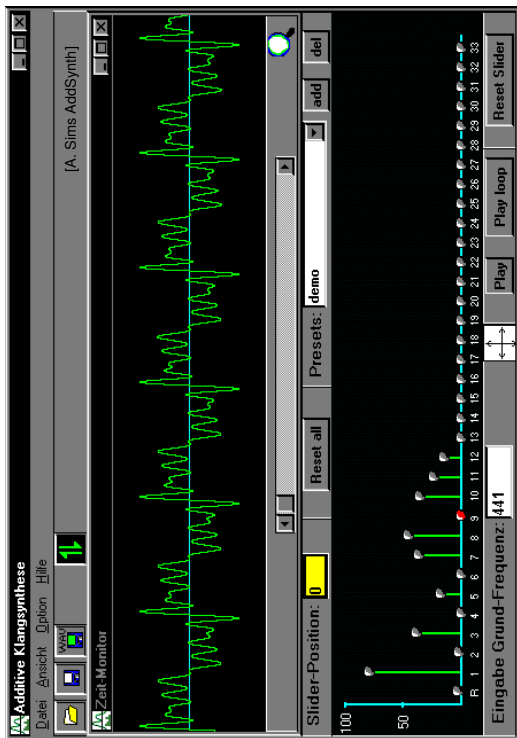
Klangerzeugung durch Überlagerung

- der Grundtons
- und aller einzelnen Obertöne
- benötigt N Klangquellen / Oszillatoren
- und zugehörige Regelung, z.B. Hüllkurven
- entsprechender Hardwareaufwand
- dafür im Prinzip keine Filter erforderlich
- Kirchenorgel, z.B. 60 Register a 60 Töne: 3600+ Pfeifen
- Hammondorgel, 91 tonewheels, elektronische Verstärkung
- diverse Orgel/Hammondorgel-Nachbildungen
- ansonsten additive Synths. sehr selten



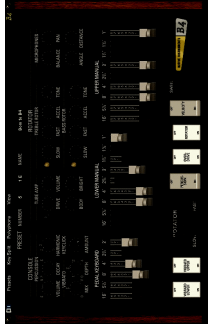
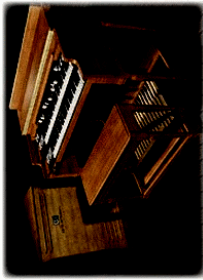
[Amp Schmitz Orgel, St. Jacobi HH]

additive Synthese: Demo



Digitale Audioverarbeitung | WS 2000 | 18.205

additive Synthese: B4



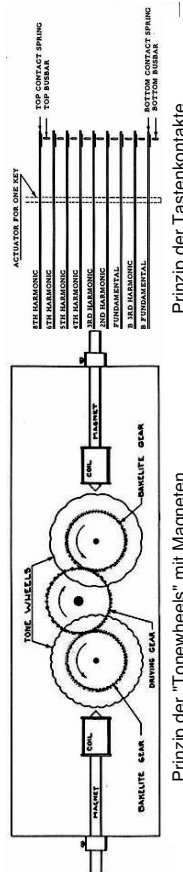
Hammond-B3: legendärer Klang

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

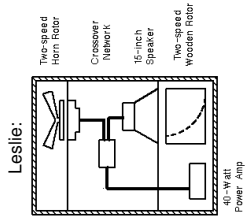
additive Synthese: Hammond B3



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



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

Digitale Audioverarbeitung | WS 2000 | 18.205

Frequenzmodulation

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

$$\dots \quad C-3M \quad C-2M \quad C-M \quad C \quad C+M \quad C+2M \quad C+3M \quad \dots$$

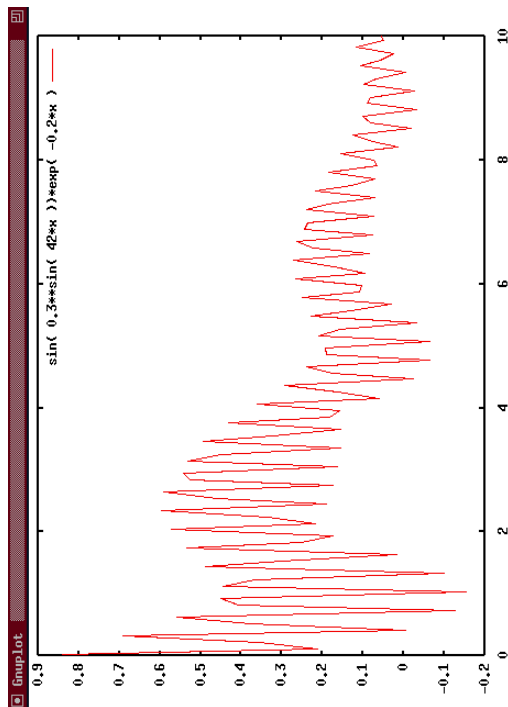
=> neue Syntheseform: FM-Synthese

- 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)

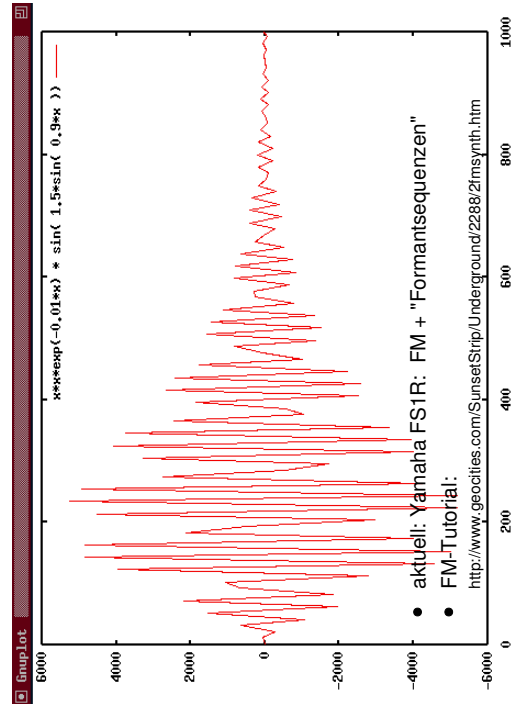
Digitale Audioverarbeitung | WS 2000 | 18.205

Digitale Audioverarbeitung | WS 2000 | 18.205

Frequenzmodulation: Beispiel



Frequenzmodulation:



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

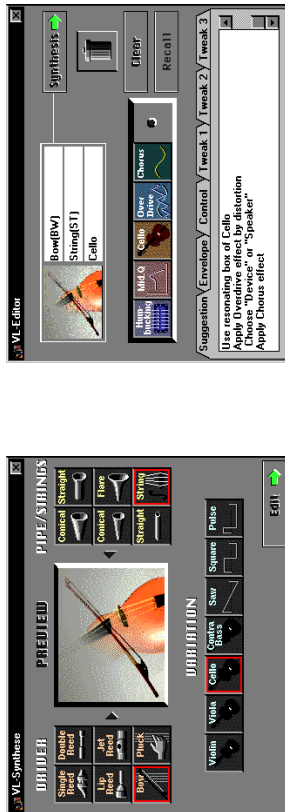
```

/***** PIUCK 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=SAMPLERATE/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

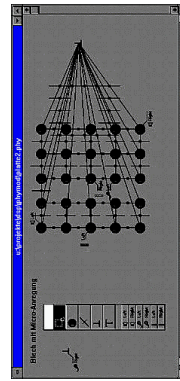
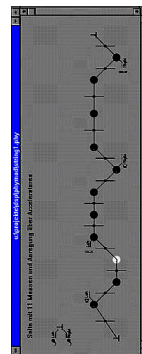


Yamaha VL Synthesizer

(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

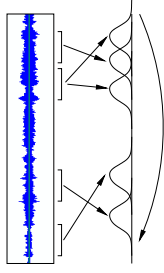
Physical Modeling: c't



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

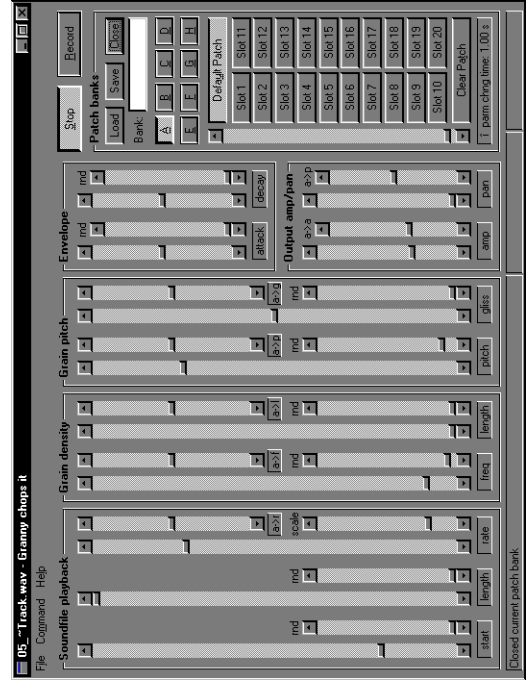
- schwingende Seite, 11 Massen und Federn, seitlich "geerdet"
- schwingende Platte, 25 Massen und Federn
- Anregung über "Hämmer"-Modell
- ein 56K DSP schafft etwa 8 Massen in Echtzeit...

Granularsynthese



- 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>

Granularsynthese: GranuLab

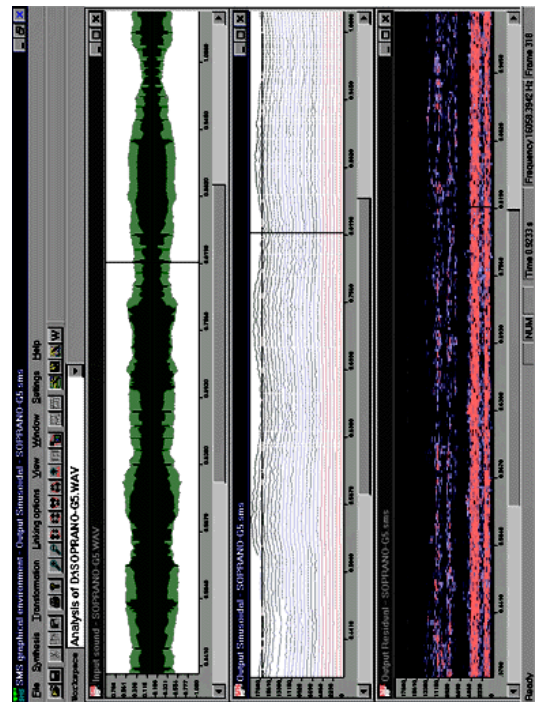


Spectral Modeling

- kombiniertes Analyse- und Syntheseverfahren
- X. Serra, Barcelona, seit ca. 1989: www.iaa.ept.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

Digitale Audioverarbeitung | WS 2000 | 18.205

Spectral Modeling:



Digitale Audioverarbeitung | WS 2000 | 18.205

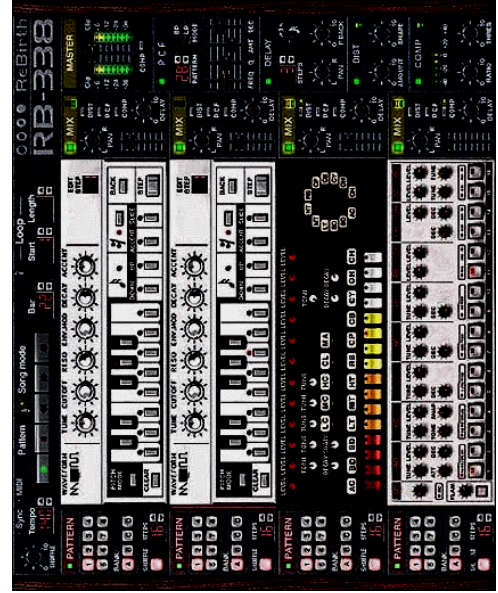
Drum Synths

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 Alternativ-Samples / velocity-mapping
- typische ROMpler: ~40 Drum-Sets (je ca. 40 Klänge)
- große Vielfalt an Geräten
- Beispiel Rebirth, www.propellerheads.se

Digitale Audioverarbeitung | WS 2000 | 18.205

Drums: Rebirth



Demoversion unter www.propellerheads.de

Digitale Audioverarbeitung | WS 2000 | 18.205