

Z U " F M E L O D I E S "

V O N

M E S I A S M A I G U A S H C A

1981 wurde ich von 'IRCAM', Paris, eingeladen, ein Stück unter Einbeziehung des dortigen digitalen Studios zu produzieren. Auf diese Einladung hin komponierte ich dort *FMELODIES* für 20 Musiker und Computerklänge, die vom Tonband wiedergegeben werden. Es wurde im Januar 1982 in Paris vom *Ensemble Intercontemporain*, Leitung Peter Eötvös, uraufgeführt.

1983 wurde ich von 'IRCAM' gebeten, für Dokumentationszwecke einen Arbeitsbericht über die Produktion von *FMELODIES* zu schreiben. Dieser sollte nicht nur eine Beschreibung des Arbeitsprozesses selbst sein, sondern auch kritische Bemerkungen, Vorschläge usw. enthalten.

Der nachfolgende Text ist eine vor allem im letzten Abschnitt etwas verkürzte und etwas überarbeitete deutsche Version des englischen Textes, den ich für 'IRCAM' schrieb. Da dieser Bericht einen Einblick in die Problematik der Produktion der Musik mit Hilfe von Computern gibt, dachte ich, es könnte manche Leser interessieren.

1984 überarbeitete ich das Tonband im *Centre Europeen pour la Recherche Musicale*, Metz, und schrieb völlig neue Instrumentalstimmen, diesmal für Violoncello und Schlagzeug, *FMELODIES II*. Es wurde bei der *Pro musica nova '84* in Bremen von Gaby Schumacher und Peter Klinkenberg uraufgeführt, zusammen mit einem Lichtenvironment von Hubert Kirchaessner.

Obwohl beide Stücke das gleiche Einspielband benutzen, sind sie verschiedene Kompositionen, etwa wie es in der bildenden Kunst bei Bildern einer Serie vorkommt, die unter der gleichen Thematik entstanden sind.

Folgender Text bezieht sich hauptsächlich auf die Produktion des Tonbandes von *FMELODIES*. Eine Darstellung der Technik der Frequenz-Modulation und ihrer technischen und musikalischen Konsequenzen für meine Arbeit (*FMELODIES*, *FMELODIES II*, *Monodias e Interludios*) werde ich in einem anderen Aufsatz formulieren.

DAS PROJEKT.

Nach jahrelanger Erfahrung mit der Produktion von elektronischer Musik mit analoger Technik habe ich in *FMELODIES* zum ersten Mal digitale Systeme benutzt.¹

Eine erste Gegenüberstellung beider Techniken ergab zunächst folgende Betrachtungen:

Analoges Material ist zunächst leicht zugänglich, die Produktion und Manipulation von Klangmaterial ist relativ unkompliziert.

¹ Analoge Geräte erzeugen Spannungen, die in ihrer Frequenz, Amplitude und Wellenform ähnlich, 'analog', zu den entsprechenden Parametern des gewünschten akustischen Signals sind. Man braucht dann nur die Spannung über einen Verstärker und Lautsprecher zu schalten, um sie hörbar zu machen. Man manipuliert Spannungen.

Digitale Systeme erzeugen zunächst numerische Repräsentationen des gewünschten Signals. Mittels eines 'digital to analog converter' werden diese numerischen Repräsentationen in Spannungen umgewandelt und dann zu einem Verstärker und Lautsprecher geführt. Man manipuliert Zahlen.

Da man mit Leichtigkeit ausprobieren und manipulieren kann, wird viel Hörererfahrung gesammelt. Die Hauptnachteile: Analoge Schaltungen haben eine starke eigene Richtung, sie wollen ihren eigenen Weg gehen und nicht den des Komponisten; eine genaue parametrische Kontrolle des Klangmaterials ist schwierig, manchmal unmöglich.

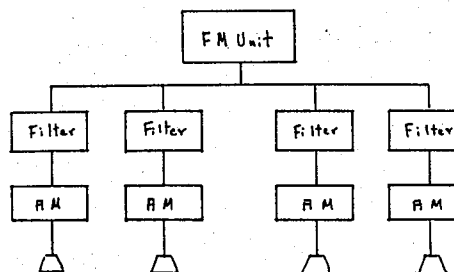
Was die digitale Technik betrifft, ist die Einarbeitung wesentlich mühseliger. Die Rückkopplung 'Musiker - Maschine' ist zunächst beschwerlich und langsam. Experimentieren und Ausprobieren sind noch nicht mit Leichtigkeit zu bewältigen. Einer der wesentlichen Vorteile: Das Material kann mit höchster Genauigkeit und Präzision kontrolliert werden.

Und noch etwas: Computer können, unter vielem anderen, auch Funktionen analoger Schaltungen nachmachen.

Es schien mir deshalb ratsam, in einem ersten Projekt mit Einbeziehung der digitalen Technik meine Erfahrungen mit analogen Schaltungen zu benutzen, diese Schaltungen digital nachzumachen und sie dann mit der vorhandenen Computerpräzision zu kontrollieren.

DIE SCHALTUNG.

Klangerzeuger ist ein Frequenz-modulierter Oszillator, der zu einem oder mehreren Filtern geht; der Ausgang jedes Filters wird noch in seiner Amplitude moduliert, ehe er zu einem Lautsprecher gelangt:



Beispiel 1.

Tb. *decrease* *pp* *decrease* *pp* *decrease* *pp*

Schl. *pp* *decrease* *pp* *decrease* *pp* *decrease* *pp*

Vlc. *pp* *decrease* *pp* *decrease* *pp* *decrease* *pp*

Tb. *decrease* *pp* *decrease* *pp* *decrease* *pp*

Schl. *pp* *decrease* *pp* *decrease* *pp* *decrease* *pp* *Rin*

Vlc. *pp* *decrease* *pp* *decrease* *pp* *decrease* *pp*

(29) Tb. *pp* *decrease* *pp* *decrease* *pp* *decrease* *pp*

Schl. *pp* *decrease* *pp* *decrease* *pp* *decrease* *pp* *stacc* (30)

Vlc. *pp* *decrease* *pp* *decrease* *pp* *decrease* *pp*

Diese Schaltung erlaubt, ausgehend von einem einzigen komplexen Signal, bis zu vier unabhängige 'Filter-Melodien' (ohne Multitracking) zu gestalten, die auch individuell in ihrer Amplitude moduliert werden können.

DAS MUSIKALISCHE MATERIAL.

Frequenz-Modulation² (ab jetzt werde ich die Verkürzung 'FM' benutzen) kann Spektren erzeugen, die aus verschiedenen Konfigurationen von Teiltönen der Obertonreihe bestehen. Mein Ziel war nicht, wie es damals in der Praxis der Computermusik sehr verbreitet war, sie zu benutzen, um bekannte Spektren (von Instrumenten oder Stimme) nachzumachen. FM interessierte und interessiert mich noch weiter,

- weil sie auf einfache und rationelle Art erlaubt, nicht-temperiertes Material zu erzeugen, zu organisieren und zu manipulieren,

² Es folgt eine sehr vereinfachte Darstellung dieser Technik:

Durch die Modulation einer 'Trägerfrequenz' mittels einer 'Modulationsfrequenz' entsteht ein komplexes Spektrum. Nehmen wir 2 Frequenzen im Verhältnis 7:3 (z.B. 700:300 Hz), wobei die höhere die Trägerfrequenz und die tiefere die Modulationsfrequenz ist. Durch die Frequenzmodulation entsteht folgendes Spektrum:

Beispiel:

Trägerfrequenz: 700 Hz
 Modulationsfrequenz: 300 Hz
 Verhältnis: 7:3

Trägerfrequenzen									
Negative Seitenbänder -					+ Positive Seitenbänder				
300	300	300	300	300	300	300	300	300	300
*) -500	-200	100	400	700	1000	1300	1600	1900	
**) -5	-2	1	4	7	10	13	16	19	

*) = Frequenz in Hz; **) = Obertöne

- Symmetrisch zu der Trägerfrequenz entstehen 'Seitenbänder' durch mehrfache Addition und Subtraktion der Modulationsfrequenz;
- die Amplitude der Seitenbänder ist oben nicht korrekt dargestellt. Sie ist nicht gleichmäßig, sondern weist eher eine unregelmäßig abnehmende Tendenz auf. Sie ist von dem 'Modulationsindex' (der wiederum von der Amplitude der Modulationsfrequenz bestimmt wird) abhängig. Ihr Kalkül ist kompliziert und hier nicht darstellbar.
- Die Anzahl der Seitenbänder ist im Prinzip unendlich, jedoch ab einem bestimmten Punkt ist ihre Amplitude nicht mehr signifikant.
- Frequenzen (bzw. Obertöne) mit Minuszeichen klingen identisch mit den gleichen Frequenzen (bzw. Obertönen) mit Pluszeichen; sie haben lediglich verschiedene Phasenlage;
- Die Frequenzen stehen in harmonischer Beziehung zueinander; sollten sie mit zunehmender Größe dargestellt werden, so entstehen folgende Reihen:

- weil FM-Spektren, wie schon erwähnt, aus Gruppierungen von Teiltönen der Obertonreihe bestehen und somit eine Verwandtschaft sowohl zu instrumentalen als auch zu natürlichen Klängen ausweisen.

Es galt aber zunächst, eine Methode zu finden, um die gewaltige Zahl der möglichen FM-Spektren darzustellen und zu organisieren.

Dafür arbeitete ich die in Beispiel 2a dargestellte Graphik aus:

[Beispiele 2a und 2b: Siehe die folgende Seite.]

Diese Graphik ist zunächst abstrakt zu verstehen, d.h. Frequenz- und Notenangaben sind wegzudenken. Carf kann später irgendeinen Wert in Hz erhalten.

- Eine Trägerfrequenz - 'carf' (carrier frequency) genannt - bleibt konstant; eine modulierende Frequenz - 'mof' (modulating frequency) genannt - glissandiert von sehr tief bis sehr hoch, über 10 Oktaven (entspricht dem gesamten Hörbereich). Dargestellt werden jeweils 6 positive und 6 negative Seitenbänder. Beispiele der Bestimmung eines Spektrums mit Hilfe der Graphik:

- ist carf z.B. eine Oktave höher als mof (Verhältnis 2:1), so besteht das Spektrum aus den Obertönen 1 bis 8. (Obertöne mit Minuszeichen weisen die gleiche Frequenz wie positive Obertöne auf, z.B.: 3 und -3 haben die gleiche Frequenz, lediglich die Phasenlage ist verschieden.)
- ist carf 4 Oktaven höher als mof (16:1), so besteht das Spektrum aus den Obertönen 10 bis 22.

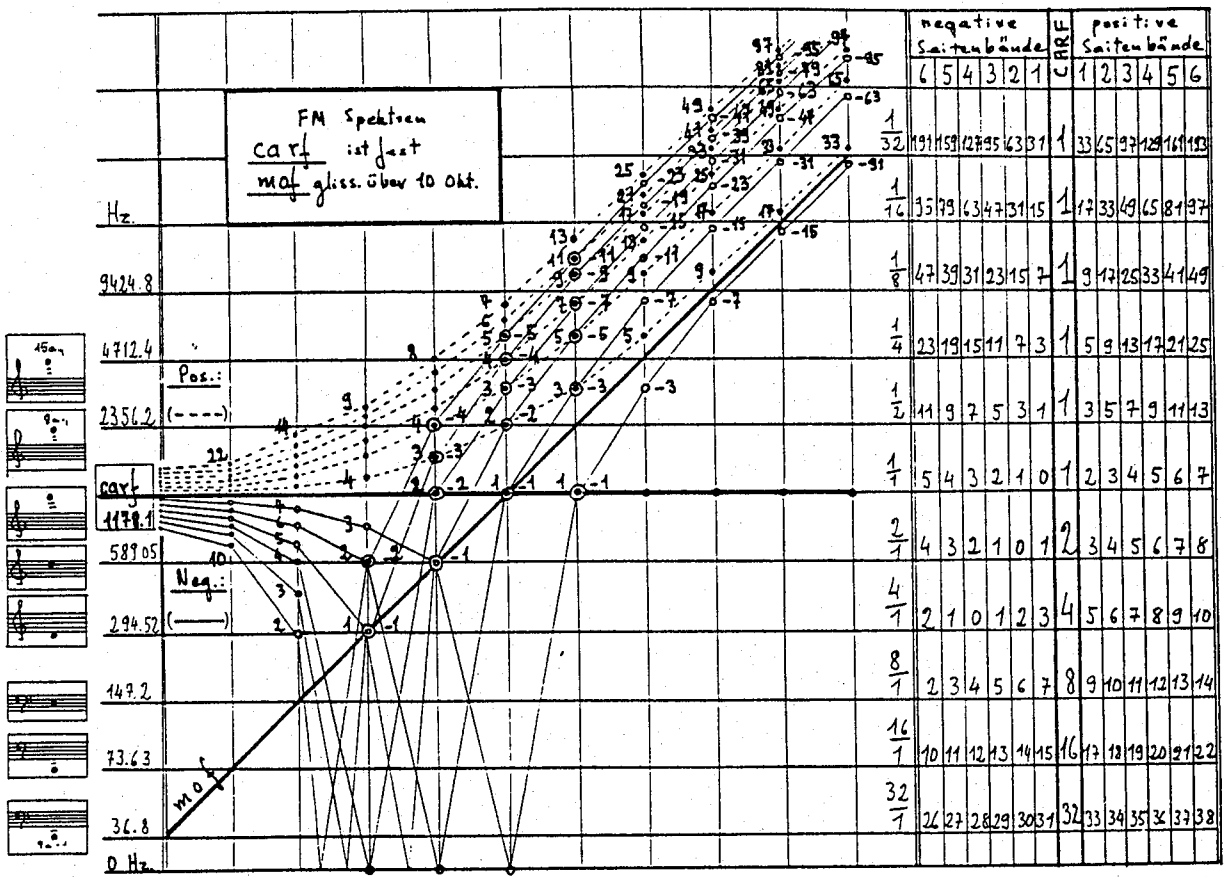
Beispiel 2a zeigt carf mit einer Frequenz von 1178.1 Hz, ein dreigestrichenes d. Es ist sofort ersichtlich, daß der brauchbare Bereich etwa 2 bis 3 Oktaven (9424.8 Hz) über carf endet.

Beispiel 2b zeigt carf mit 69.3 Hz: großes Cis. Hier dagegen ist der Bereich unter carf nur in einer Oktave benutzbar, da die darunterliegenden Frequenzen zu tief sind. Die Lage über carf ist voll benutzbar.

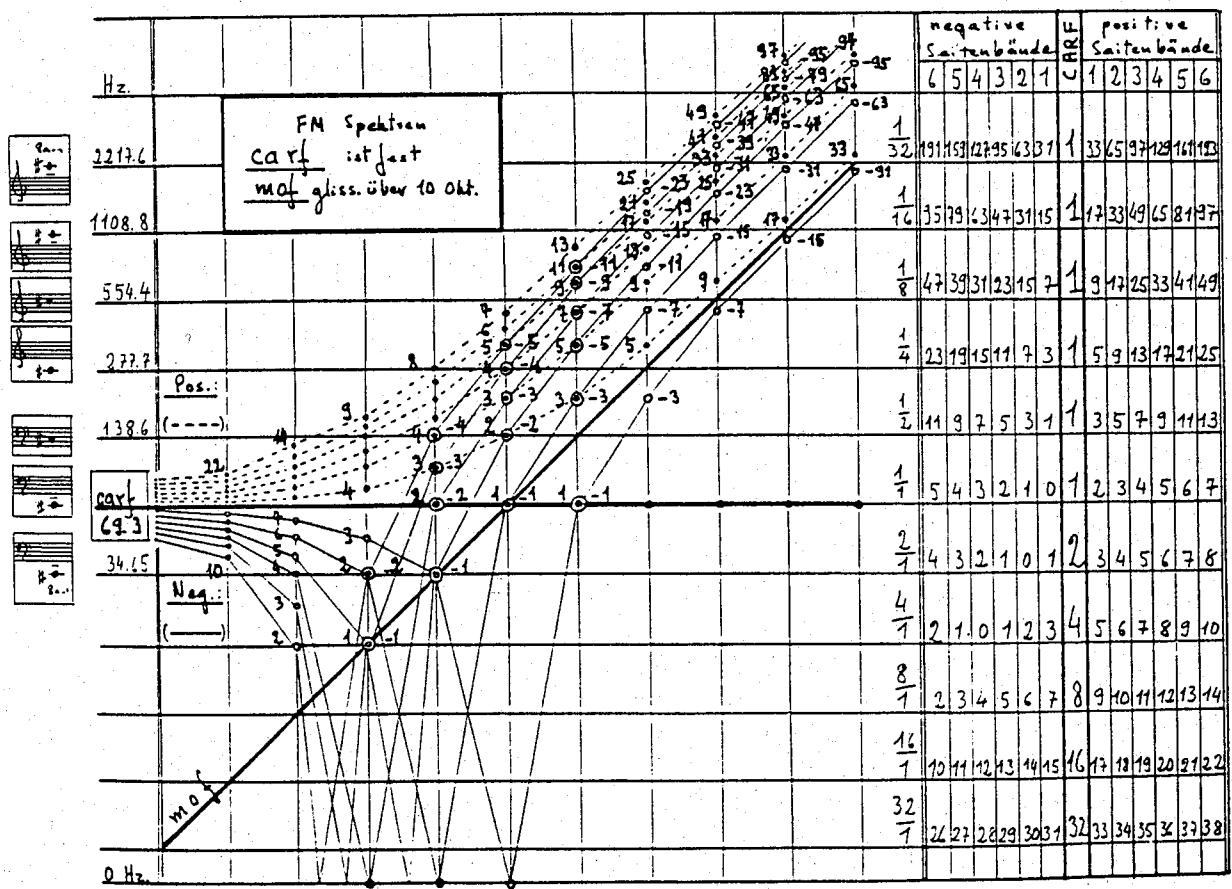
Das gesamte harmonisch-melodische Material des Stückes stammt aus diesen zwei spektralen Räumen. Großes Cis (69.3 Hz) und sein 17. Oberton dreigestrichenes d (1178.1) sind somit zentrale Töne des Stückes, das große Cis eine Art 'Tonika'.

Frequenz: 100 200 400 500 700 1000 1300 1600 1900

Obertöne: 1 2 4 5 7 10 13 16 19



Beispiele 2a und 2b.



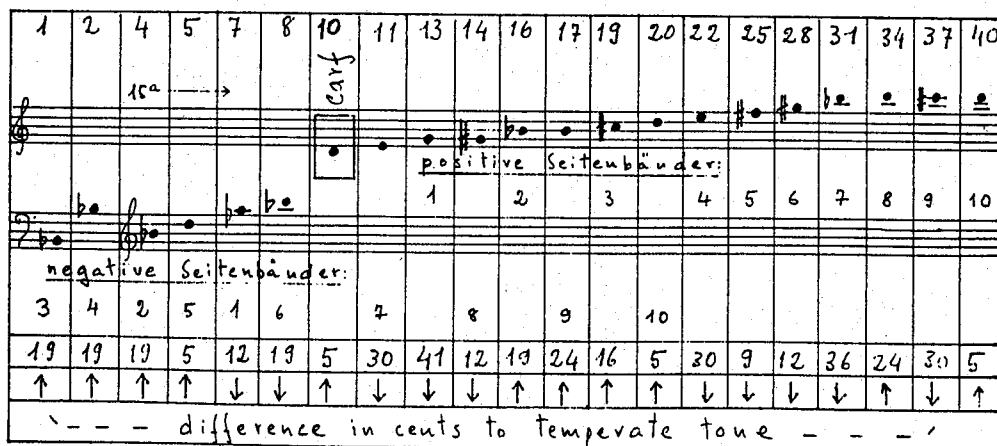
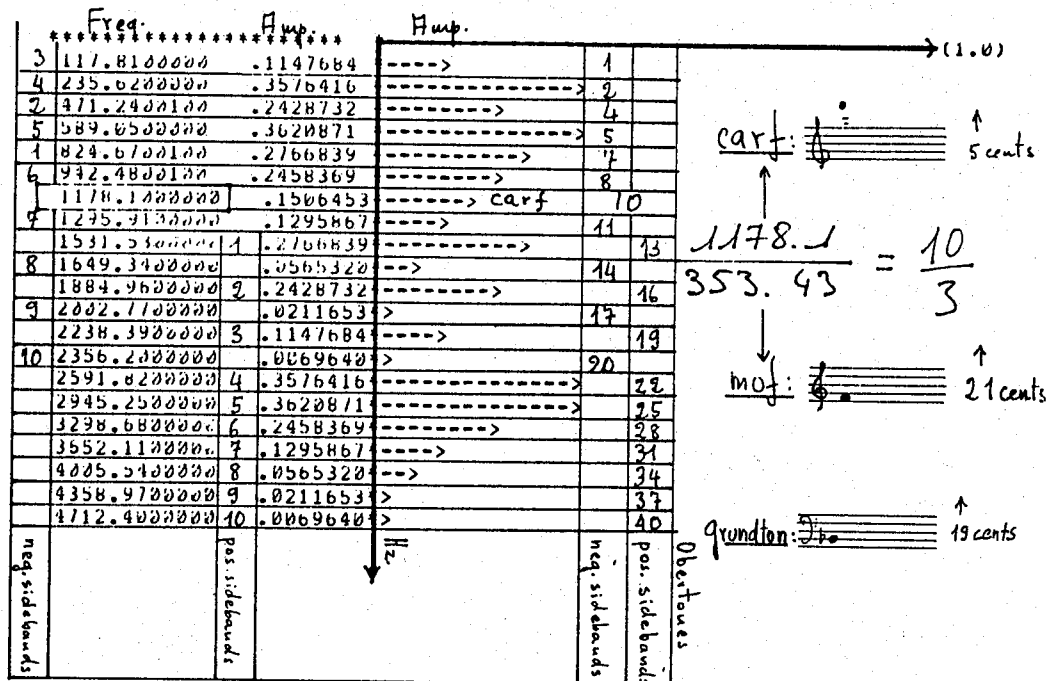
Die Darstellungen (Beispiele 2a und 2b) zeigen eine kontinuierliche Veränderung von mof und die daraus resultierenden Spektren. Um individuelle Spektren zu erzeugen, wurde mof in 12 Schritte pro Oktave geteilt, und zwar in Naturstimmung (2:1, 15:8, 16:9, 5:3, 8:5, 3:2, 17:12, 4:3, 5:4, 6:5, 9:8, 16:15, 1:1). Auf diese Weise entstanden 12 Spektren pro Oktave innerhalb eines Gesamtbereiches von 10 Oktaven.

Ein Programm von Andrew Gerszwo (PDP10), das als Input 'mof', 'carf' und den Modulationsindex benötigt, gab als Output die ge-

wünschte Zahl von Seitenbändern, jedes mit seiner entsprechenden Frequenz und Amplitude. Ich ergänzte diese Information mit einer Transkription in normaler musikalischer Notation, mit Angaben über den Unterschied von jedem Teilton zum nächstliegenden temperierten Ton in Cents.

[Beispiel 3: Siehe unten.]

In Beispiel 3 stehen carf und mof im Verhältnis 10:3, der Grundton ist das große B. Die 10 positiven Seitenbänder sind die Obertöne 13, 16, 19, 22, 25, 28, 31, 34, 37, 40. Die 10 negativen Seitenbänder sind (in zu-



Beispiel 3.

nehmender Größe dargestellt) die Obertöne 1, 2, 4, 5, 7, 8, 11, 14, 17 und 20.

Mit 120 solcher Analysen, eine für jedes Spektrum, erarbeitete ich eine Art Katalog von allen möglichen FM-Spektren unter Berücksichtigung von 10 Oktaven zu 12 Teilungen pro Oktave. Der Versuch, dieses Material nach Konsonanz- bzw. Dissonanz-Graden zu organisieren, schlug fehl, da ich weder Kriterien noch eine passende Methode fand.

Dieses so analysierte Material bildete das harmonische und melodische Material von *FMELODIES*, nicht nur für die synthetischen Klänge, sondern auch für die instrumentalen Stimmen.

FMELODIES besteht aus 32 Segmenten, die in 4 Teilen gruppiert sind. Jedes Segment benutzt nur ein Spektrum (sehr selten sind 2 Spektren gleichzeitig vorhanden), die Zentral-Frequenzen der Filter sind so programmierbar, daß sie Melodien mit den Tönen des Spektrums bilden können, es entstehen 'Filter-Melodien', *FMELODIES*.

Eine musikalische Analyse des Stückes ist nicht die Absicht dieses Berichts.

DIE REALISATION.

Die Realisation erfolgte 1981 in mehreren Arbeitsterminen, insgesamt in etwa 3 Monaten. Ich benutzte die Maschine '4C'³ mit dem Programm '4CED' (in der Programmiersprache 'C' geschrieben) von Curtis Abbot. Stanley Haynes führte mich in Maschine und Programm ein.

Als erstes mußte die analoge Schaltung mit der '4C' nachgemacht werden. Selbst mit Hilfe eines erfahrenen Programmierers wie Stanley Haynes nahm diese Arbeit leider sehr viel Zeit in Anspruch, etwa 2 Monate.

Die Konstruktion eines gut funktionierenden Filters war sehr zeitraubend. Nach vielen Entwürfen gelang es uns, mit Hilfe von Pepino di Giunio ein dynamisches Filter zu programmieren, und zwar linear zu 10 kHz, mit den 3 klassischen Ausgängen (Hochpaß, Bandpaß, Tiefpaß), mit veränderlicher Güte ('Q') und mit Kontrolle der Zentralfrequenz

³ Pepino di Giunio, Entwicklungsingenieur von IRCAM, hat eine Reihe von digitalen Synthesizern dort entworfen und gebaut: 4A, 4C und 4X. Diese Maschinen weisen zunehmende Komplexität auf. Zur Zeit der Komposition von *FMELODIES* war die '4X' noch in Entwicklung. Die '4C' war die 'offizielle' Maschine. Die '4X' ist inzwischen fertiggestellt und hat faktisch die '4C' ersetzt.

per Software. Die Zentralfrequenz ist programmierbar, sei es in Form einer melodischen Folge von Frequenzen oder in Glissando-Bewegungen oder durch das Profil einer periodischen Schwingung oder durch Kombination all dieser. In der Tat ein sehr schönes Filter.

Um dieses Filter wurde eine Serie von insgesamt 9 'Instrumenten' programmiert, die die analoge Schaltung auf verschiedene Weise nachmachten. Beispiel 4 zeigt uns eine Version mit 2 Filtern, in Serie geschaltet und mit 4 Ausgängen: Der Ausgang der FM-Einheit geht zu Ausgang 2, der Ausgang des ersten Filters zu Ausgang 4, der Ausgang des zweiten Filters zu Ausgang 3 und der Gesamtausgang nach der 'AM'-Einheit zu Ausgang 1.

[Beispiel 4: Siehe folgende Seite.]

Die Software-Schaltungen waren damit fertig. Sie waren nun in der Lage, 'scores' (Notenlisten) hörbar zu machen. Die schon komponierte Partitur konnte kodiert und von der Maschine, mit dem gewünschten 'Instrument' gespielt werden.

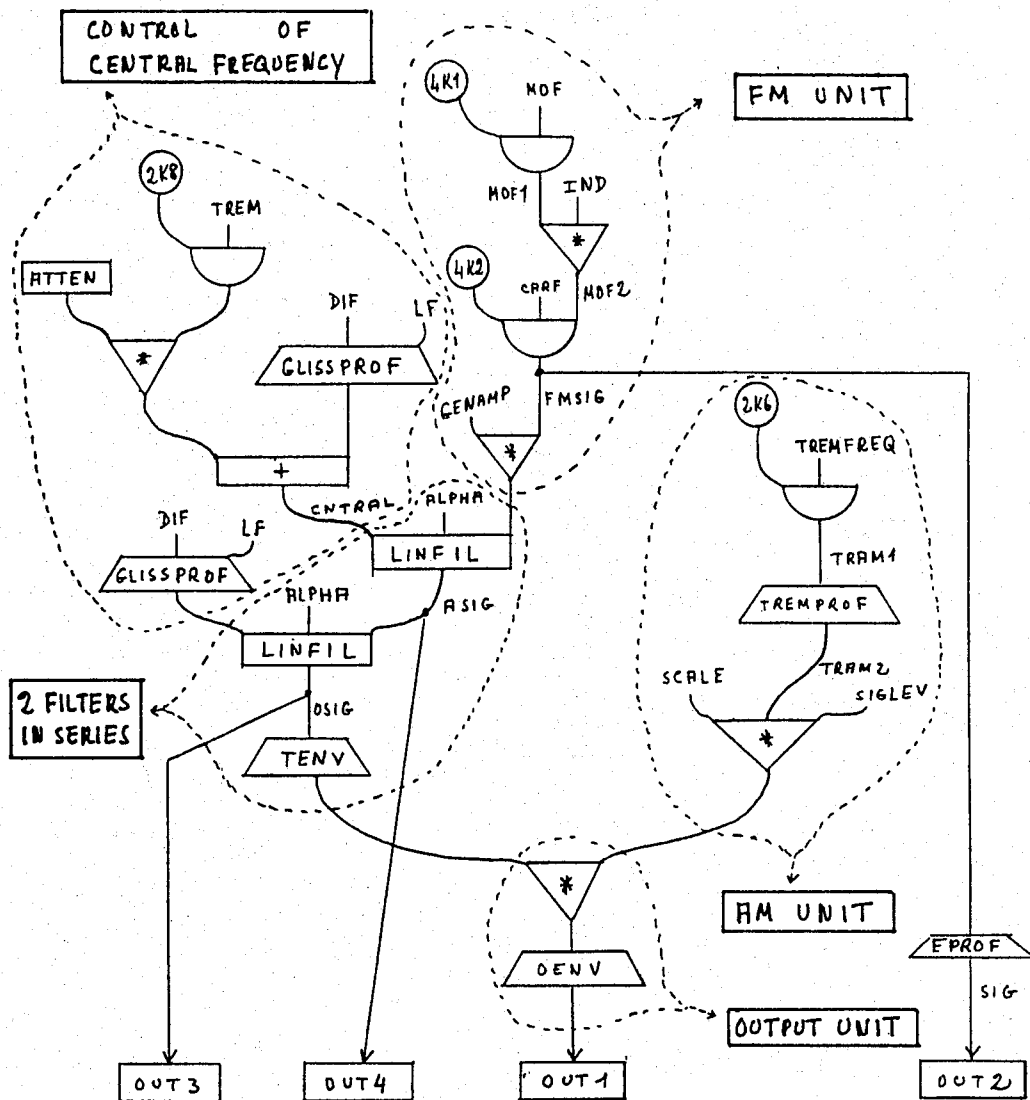
Die Produktion selbst erfolgte dann nach folgendem Schema:

Zunächst mußte das gewünschte Segment der Partitur in einem für den '4C' passenden Format kodiert werden. Nach den nötigen Korrekturen und Feineinstellungen nach Geschmack konnte das Resultat auf 4-Spur-Tonband aufgenommen werden. Zuletzt wurden die verschiedenen 4-Spur-Segmente in der richtigen Reihenfolge auf einem 16-Spur-Mutterband synchronisiert, womit die Produktion des Bandes abgeschlossen war.

RÜCKBLICK.

Auf die Produktionszeit, Proben und Uraufführung von *FMELODIES* zurückblickend möchte ich noch folgendes anmerken:

Die Ausgangsidee, analoge Schaltungen mit digitalem Material nachzumachen und von der Computerpräzision zu profitieren, fand ich im Prinzip gelungen und noch weiterverfolgbar. Enttäuschend war die sehr lange Vorbereitungszeit, die notwendig war, ehe die echte musikalische Arbeit beginnen konnte. Während der Produktion fand ich eine gewisse Trägheit des Systems, die wenig Raum zum Ausprobieren ließ, frustrierend. Kleinste Korrekturen, der Versuch von Alternativen usw. erforderten sehr viel Aufwand.



Pot:	1	2	3	4	5
Name:	TREM	TREMFREQ	ATTEN	SCALE	SIGLEV
Range:	H1 - H30	H1 - H30	$\phi - 1\phi\phi$	$\phi - 1\phi\phi\phi$	$\phi - 1\phi\phi\phi$

Beispiel 4.

Die Rückkopplung 'Mensch - Maschine' war mir zu langsam, was den Weg auf der Suche nach dem 'verlorenen Klang' mühsam machte.

Musikalisch war ich mit dem gesamten Resultat zufrieden. Deutlich zum Ausdruck kamen jedoch folgende musikalischen und praktischen Probleme:

Die synthetischen Klänge waren eher arm an Höhen und Frequenzen, eher matt in der Klangfarbe. Dazu waren Instrumentalklänge komponiert, die zu gleicher Zeit das gleiche Tonreservoir benutzten. Verdeckungseffekte fanden statt, was zu Problemen in der

Dynamik führte: die Instrumente spielten, um gehört zu werden, lauter, das Band wurde wiederum lauter angesteuert etc. etc.

Die geschriebene Musik ist, da Obertonbezogen, nicht temperiert. Ich hatte Achteltöne als kleinsten Raster für die Instrumente vorgeschrieben. Dieser Raster ist derzeit (vor allem bei Bläsern), glaube ich, (noch) unrealistisch. Ein Raster von Viertel-tönen ist schwierig genug zu realisieren.

Eine sehr präzise Synchronisation zwischen Band und Instrumenten (an den Stellen, wo sie erforderlich ist) ist oft noch schwer

zu verwirklichen. Wenn Instrumente spielen, ist es oft schwer für den Dirigenten, das Tonband in allen notwendigen Details zu hören. Die einfachste Lösung (eine 'Synchronisations-Spur' auf Kopfhörer für den Dirigenten) wird von diesen nicht besonders geschätzt.

Alle bereits erwähnten Punkte haben mich angeregt, eine weitere Instrumentalversion des Stückes zu schreiben. Diesmal für sehr kleine Besetzung (bis 4 Instrumente) mit eher kammermusikalischem Akzent.⁴

AUSBLICK.

Interesse an 'spektralem Denken' hatte ich schon vor meiner Arbeit an *FMELODIES*. Die Realisation dieser Arbeit zeigte mir einerseits die Möglichkeiten von Computern für diese Art Komposition. Andererseits sammelte ich wichtige Erfahrungen und Informationen, die mich zur Weiterarbeit in dieser Richtung ermutigten:

- 1982 komponierte ich, mit ähnlichen musikalischen Techniken, *ECOS* für 38 Instrumente und Metallobjekte. Der Hauptunterschied zwischen *FMELODIES* und *ECOS* besteht darin, daß die Komposition nicht 'synthetische', sondern Spektren natürlicher Objekte benutzt.
- Ich arbeite jetzt an einem Stück für 4 Flöten. Harmonisches und melodisches Material wird aus 'FM'-Modellen hergeleitet. Die synthetischen FM-Spektren erklingen nicht real, sondern werden mit den Instrumenten simuliert. Die FM-Modelle werden als abstrakte Generatoren von Tonvorräten verwendet.⁵

SCHLUSSBEMERKUNG.

Die Arbeit an *FMELODIES* hat mir Einsicht in die Möglichkeiten von digitalen Systemen für die Produktion von Musik gewährt. Sie sind faszinierend und ohne Frage vielversprechend. Es gibt aber auch Probleme, speziell aus der Sicht eines Benutzers, eines Komponisten.

Die rasche Erneuerung bzw. Veralterung von digitalen Systemen stellen einen Komponisten vor schwierige Aufgaben. In der Zeit, in der

er ein System kennenlernt und allmählich beherrscht, wird dieses System von einem neuen abgelöst. Der Benutzer, der mit einem System eine gewisse 'Virtuosität' erreicht hat, muß dann fast als Anfänger in ein neues System sich einarbeiten. Der Umgang mit der Maschine bleibt somit oberflächlich. (Man denke, wieviele Mühe und Zeit notwendig sind, um 'Virtuosität' auf einem Instrument, z.B. Klavier, zu erreichen.)

Ähnlich verhält es sich mit der 'Software'. Neue Systeme funktionieren zunächst mit einem Minimum an Software. Früher vorhandene 'Software Libraries' müssen 'übersetzt', angepaßt werden, neue müssen geschrieben werden. Sollte der Komponist nicht in der Lage sein, es selbst zu machen (wie viele Komponisten sind in der Lage es zu tun?), gerät er in Abhängigkeit des Software-Spezialisten.

Was ich meine, ist, daß bei der Fertigstellung einer Maschine mehr getan werden muß, damit der Benutzer über ausreichende Software verfügen kann. (Ich war buchstäblich verzaubert von einer Vorführung der '4C' bei P. di Giunio. Jedoch als ich selbst zu der Maschine kam, war ich schnell entzaubert: ich stellte fest, daß die Maschine ihrer 'Master's Voice' gehorcht hatte und daß sie meine Stimme nicht erkannte, die vorhandene 'users software' war eher gering.)

Der Komponist soll, meine ich, über ausreichende musikalische Kontrolle einer Maschine verfügen, ohne gleichzeitig Software-Spezialist werden zu müssen.

⁴ Als Resultat dieser Überlegung entstand *FMELODIES II* für Violoncello, Schlagzeug und Tonband.

⁵ Daraus wurde *Monodias e Interludios* für 2 Flöten, 2 Klarinetten, Marimba und Basso obligato. Die Komposition wurde in Paris im Mai 1984 durch das Ensemble *2e2m*, Leitung Paul Mefano, uraufgeführt.