



universität
wien

DIPLOMARBEIT

Titel der Diplomarbeit

Blassynthesizer – Ihre Geschichte und Funktionsweise

Verfasser

Nikolaus Arampatsis

angestrebter akademischer Grad

Magister der Philosophie (Mag.phil.)

Wien, 2013

Studienkennzahl lt. Studienblatt:

A 316

Studienrichtung lt. Studienblatt:

Musikwissenschaft

Betreuer:

Univ.-Prof. Dr. Christoph Reuter

Vorwort

Meine Motivation mich dieses Themas anzunehmen ist, daß das Feld der Blassynthesizer und Blaswandler ein im Vergleich eher weniger beachtetes Thema ist. Deswegen war es interessant hier einmal hinter die Kulissen zu blicken, bzw. auch angebracht das Feld der Blassynthesizer und Blaswandler im musikwissenschaftlichen Sinn in einer in sich gebundenen Arbeit aufzuarbeiten, zusammenzufassen und auf einen aktuellen Stand zu bringen. Die Verfügbarkeit von Quellen auf diesem Gebiet ist eher spärlich, es zählt sich somit also aus, hier einen Beitrag zu leisten.

Mein aufrichtiger Dank richtet sich vor allem an Univ.-Prof. Dr. Christoph Reuter für die hervorragende Betreuung und unermüdliche Motivation während des gesamten Entstehungsprozesses dieser Arbeit. In gleicher Weise möchte ich mich auch bei meiner gesamten Familie für die unumschränkte Unterstützung und Motivation bedanken. Vielen Dank!

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	7
2	Der Weg über die Klangfarbenforschung zur Impulsformung.....	9
2.1	Der Formant-Begriff.....	10
2.2	Die Schumannschen Klangfarbengesetze.....	11
2.2.1	Formantstreckengesetz.....	11
2.2.2	Formantverschiebungsgesetz.....	12
2.2.3	Formantsprunggesetz.....	13
2.2.4	Formantintervallgesetz.....	13
2.3	Bildung fester Formanten bei Blasinstrumenten.....	14
2.3.1	Die Quelle-Filter-Theorie.....	14
2.3.2	Die Impulsformungstheorie.....	16
2.3.3	Die Rohrblattschwingung als Ausgangspunkt für die Impulsformung.....	17
2.3.4	Ein praktisches Beispiel.....	20
2.3.5	Die Impulsform im Bezug auf die Dynamik.....	21
2.3.6	Modellierung spektraler Hüllkurven mittels Impulsformung.....	23
2.3.7	Klangfarbenmodulation und feinmodulatorische Vorgänge.....	29
3	Einblick in die für Blasinstrumente geeigneten Arten der Klangsynthese.....	34
3.1	Spektrale Synthese.....	34
3.1.1	Additive Synthese.....	34
3.1.2	Formantsynthese.....	35
3.2	Quellenmodellierung.....	36
3.2.1	Simple Quelle-Modifikator-Modelle.....	37
3.2.2	Subtraktive Synthese.....	39
3.2.3	Wavetable Synthese.....	39
3.2.4	Sampling.....	41
3.3	Abstrakte Synthese.....	42
3.3.1	Amplitudenmodulation.....	42
3.3.2	Frequenzmodulation.....	45
3.4	Physical Modelling.....	48
3.4.1	Wellenleitersynthese.....	49
3.4.2	Feder-Masse-Modelle.....	50
3.4.3	digitale Impulsformung.....	52
4	Modelle von Blassynthesizern und Blaswandlern.....	54
4.1	Erste Schritte von Ernst Zacharias.....	54
4.2	Electra-Melodica.....	55
4.3	Martinetta.....	58
4.4	Variophon.....	59
4.5	Lyricon.....	64
4.6	EVI und EWI.....	65
4.7	Syntophone.....	68
4.8	Physical Modelling und die WX-Serie.....	68
4.9	Blaswandler.....	70
5	Zusammenfassung.....	71
6	Quellenverzeichnis.....	72
6.1	Literaturangaben.....	72
	Abstract.....	75
	Lebenslauf.....	76

1 Einleitung

*Musikinstrumente mit elektrischer Schwingungserzeugung sind bekanntlich in ständigem Vordringen begriffen, weil es bei ihnen möglich ist, den Klang hinsichtlich seiner Einzelmerkmale, [...] in wesentlich größerem Maße zu beeinflussen, als dies bei den herkömmlichen Musikinstrumenten der Fall ist.*¹

Zu Beginn werden in Kap. 2.1 und Kap. 2.2 der Formant-Begriff und die Schumannschen Klangfarbengesetze näher erläutert. Formanten und deren Verhalten, aber auch vor allem die Fragestellung nach deren Entstehung in den Spektren von Blasinstrumentenklängen führten schließlich 1975 zur Formulierung der Impulsformungstheorie durch J.P. Fricke. Die Impulsformung entstand also ursprünglich aus der Klangfarbenforschung heraus, deren Wegbereiter vor allem Hermann und Helmholtz waren. Erst durch die Erkenntnisse von Stumpf und Schumann konnten feste Formanten bei Blasinstrumenten erstmals nachgewiesen und deren Verhalten in den Schumannschen Klangfarbengesetzen beschrieben werden.

Formanten entstehen bei Blasinstrumenten bereits in der Anregungsfunktion durch die Rohrblatt- bzw. Lippenschwingung. Die Anregung von Blasinstrumenten erfolgt immer impulsförmig, was sich durch die bloße Visualisierung der Rohrblattschwingung anschaulich beweisen läßt. Durch diese impulsförmige Anregung werden hörbar Formanten bzw. Formantgebiete erzeugt, die sich im zyklisch strukturierten Spektrum durch Maxima und Minima ausbilden. Dies bildet bereits die Grundlage für die Impulsformungstheorie. Mit ihr lassen sich sämtliche Faktoren, die für die natürliche Konstanz der Klangfarben wichtig sind bereits in der Anregungsfunktion erzeugen, was die Impulsformung auch zu so einem effektiven Mittel für die Klangsynthese macht. Diese Sachverhalte werden im Kap. 2.3 genauer beschrieben.

In Kap. 3 werden allgemein weitere Syntheseverfahren vorgestellt, die sich prinzipiell zur Synthese von Blasinstrumentenklängen eignen und werden teilweise auch mit der Impulsformung verglichen. Während aus technischen und finanziellen Gründen in den Anfängen oft spektrale und abstrakte Verfahren zur Klangsynthese eingesetzt wurden, konnten durch die technische Weiterentwicklung neue und effizientere Verfahren wie Quellenmodellierung und Physical Modelling entworfen

¹ Zacharias, E. (1967). *Spielhilfe für ein Musikinstrument mit einem Generator für elektrische Schwingungen*. Patentschrift Nummer: 1 241 244. München: Deutsches Patentamt, Sp. 1

werden. Die Impulsformung kann als ein Vorreiter und eine Sonderform dieser neueren Syntheseverfahren angesehen werden, und bewegt sich mittlerweile ebenso auf einer digitalen Ebene.

In Kap.4 soll ein Überblick über die wichtigsten Instrumente und Stationen der Entwicklung der Blassynthesizer und Blaswandler gegeben werden. Erste Ideen zur Umsetzung eines elektronischen Blasinstruments wurden von Ernst Zacharias ja bereits vor 60 Jahren angewandt. Während dieser Zeit hat sich doch einiges auf dem Gebiet der Blassynthesizer und Blaswandler getan. Abgesehen von den erst relativ spät entwickelten Instrumenten der marktführenden Firmen Akai und Yamaha, die heute noch erhältlich sind, hat es Vorreiter gegeben, die den Weg für die neueren Modelle erst ebneten. Dazu zählen eben nicht nur die Prototypen von Ernst Zacharias, sondern auch die in den 1970er Jahren entwickelten Instrumente wie Lyricon, EVI aber auch Martinetta und Variophon, und das ist nun auch schon 40 Jahre her. Gerade von diesen Instrumenten, aber auch von Modellen anderer Herstellern, die im Verlauf entstanden sind, gibt es nicht mehr viele Exemplare. Deren Erhaltung gestaltet sich schwierig, da viele Firmen (z.B. Realton, Computone etc.) schon länger nicht mehr existieren und auch selten Ersatzteile erhältlich sind. Um diesem Verfall entgegenzuwirken baut z.B. Nyle Steiner bis heute eigenständig seine Version des MIDI-EVI. Ebenso wird momentan noch eine virtuelle Version des Variophon angestrebt, um zumindest das Prinzip dieser Erfindung zu erhalten. In diesem Sinne soll diese Arbeit einen Beitrag dazu leisten, die Geschichte und das Wesen der Blassynthesizer und Blaswandler im musikwissenschaftlichen Sinn aufzuarbeiten und zu erhalten.

2 Der Weg über die Klangfarbenforschung zur Impulsformung

Konstante Klangfarben bei Blasinstrumenten, also die eindeutige und hörbare Identifizierbarkeit von Blasinstrumentenklängen, beruht auf der Konstanz gewisser invarianter Merkmale im Klang und ist hauptsächlich im Spektrum verankert. Wichtig dafür sind neben ähnlicher Hüllkurvenstruktur, dem Einschwingverhalten und den feinmodulatorischen Vorgängen im statistischen Klanganteil (z.B. Vibrato etc. s.Kap. 2.3.7) vor allem gleiche „Vokaleigenschaften“ im quasi-stationären Klanganteil. Formanten zwischen 200 und 4000Hz sind die Voraussetzung für gleiche Vokaleigenschaften, die jedoch nicht alle Instrumentenklänge besitzen müssen. Selbst wenn dem so wäre, muß nicht unbedingt einem Klang direkt und klar ein Vokal zuordenbar sein. Es soll aber bedeuten, daß Instrumentenklänge gleiche, wie bei Vokalen der menschlichen Stimme entdeckte invariante Merkmale besitzen, die durch Formanten hervorgerufen werden. (Fricke 1996, S.194f)

In Spektren einiger Blasinstrumente zeigt sich die Besonderheit, daß die Amplituden der Teiltöne mit steigender Frequenz nicht kontinuierlich abnehmen, sondern sich zwischendurch Maxima und Minima im spektralen Verlauf ausbilden, wobei die Bereiche der Minima sehr schmal ausgeprägt sind. Bei Änderung der Grundfrequenz verschieben sich die Minima auf Teiltöne höherer oder niedriger Ordnungszahl. Dies sind bereits erste Anzeichen für die Existenz von Formanten und infolgedessen für konstante Klangfarben bei Blasinstrumenten. (Auhagen 1987, S.709)

Fricke erklärte das Phänomen fester Formanten und konstanter Klangfarben bei Blasinstrumenten mit der Entstehung zyklischer, instrumententypischer Spektren durch Impulsfolgen (Impulsformungstheorie). Dabei entstehen diese Impulsfolgen durch die periodische Ventilfunktion des Rohrblattes bei Holzblasinstrumenten bzw. der Lippen bei Blechblasinstrumenten, um die Luft im nachfolgenden Hohlraum des Instruments zu Schwingungen anzuregen. (Fricke 1989, S.112)

Aus diesen und weiteren, im folgenden näher zu erörterten, Erkenntnissen wurde im weiteren die Impulsformung als Syntheseverfahren entwickelt. Die Impulsformung hat den Vorteil, daß der Ausgangspunkt zur Klanggenerierung bereits in der Anregungsfunktion liegt und somit im Ergebnis eine naturgetreue Klangqualität gewährleistet werden kann. Ein weiterer Vorteil ist, daß sehr viele Musikinstrumente impulsförmig angeregt werden. D.h., daß sich die Impulsformung als Syntheseverfahren nicht nur besonders für die Generierung von Blasinstrumentenklängen eignet, sondern für die Klänge aller impulsangeregten Musikinstrumente.

2.1 Der Formant-Begriff

Der Formant-Begriff wurde 1894 von Ludimar Hermann eingeführt, und definierte damit einen einzigen vom Grundton unabhängigen Teilton innerhalb eines Vokals, der durch seine Intensität stärker als andere Teiltöne im Spektrum hervortritt und dessen Klangfarbe prägt. Helmholtz erkannte 1896 bei Vokalklängen feste, von der Grundtonhöhe unabhängige Formanten (Absoluttheorie), vermutete aber bei Musikinstrumenten gegenteilig Formanten, die doch an die Grundtonhöhe gebunden seien (Relativtheorie). Stumpf entdeckte jedoch 1926 feste Formanten bei Musikinstrumenten, was Schumann 1929 bestätigte und damit die Helmholtzsche Relativtheorie widerlegte. Aus der Erkenntnis, daß Blasinstrumente feste Formanten in ihrem Spektrum aufweisen entwickelte Schumann infolgedessen in der *Physik der Klangfarben* die Klangfarbengesetze, um deren Eigenschaften und Verhalten im Bezug auf Tonhöhen- und Dynamikänderungen zu beschreiben. (Oehler 2008, S.79f)

Zunächst soll hier eine aktuellere Definition von J.P. Fricke für den Begriff Formant angeführt werden, damit im weiteren Klarheit über diesen Begriff herrscht.

Der Formant-Begriff dient der Beschreibung der klangfärbenden Eigenschaften von Vokalen der menschlichen Stimme aber auch von Musikinstrumenten. Der Begriff Formant an sich ist dabei prägnant hervortretenden Obertönen und Obertongruppen vorbehalten, die sich im Spektrum in Formantstrecken von in etwa der Breite einer Quinte ausbilden und eindeutig klangfärbenden Charakter besitzen. Das setzt jedoch voraus, daß der Hüllkurvenverlauf eines Spektrums eine dementsprechende und deutliche Gliederung solcher Formantbereiche aufweist. Die maximale Ausprägung einer Hüllkurve in einem Bereich von z.B. 800 bis 2000Hz entspricht demnach keinem Formanten. (Fricke 1994, S.66) Die klangfärbende Eigenschaft prägt sich in der spektralen Hüllkurve durch zwischen eng begrenzten Lücken (Minimalstellen) liegenden Maximalstellen aus, die für den instrumententypischen Klang sorgen. (Fricke 1994, S.76) Diese spezifisch klangfärbende Eigenschaft von Formanten ist im weiteren eine von den Hörfunktionen her gegebene Bedingung, wodurch Formanten nur zwischen 200 und 4000Hz liegen können. (Fricke 1994, S.66)

2.2 Die Schumannschen Klangfarbengesetze

2.2.1 Formantstreckengesetz

Das Formantstreckengesetz bezieht sich auf feste Formanten im Instrumentenklang und besagt, daß unabhängig von der Grundtonhöhe die klangfärbenden Spektralanteile (i.e. Maximalstellen im Spektrum) an feste Frequenzbereiche (Formantstrecken) gebunden sind. Steigt also die Höhe des Grundtons bei unveränderter Dynamik (z.B. beim Spielen einer Tonleiter) bleibt das Maximum innerhalb einer Formantstrecke im Spektrum solange ortsfest, bis dieser die obere Grenze der Formantstrecke erreicht. Steigt die Höhe des Grundtons weiter, rückt das Maximum innerhalb der Formantstrecke auf den Teilton nächst niedriger Ordnung bzw. auf den Teilton, der dann gerade von unten in die Formantstrecke eintritt. (Mertens 1975, S.30)

Dies kann seine Richtigkeit aber nur für die unteren ein bis zwei Oktaven des jeweiligen Instrumententyps haben, da dann bei weiterer Erhöhung des Grundtons dieser selbst in den Formantbereich eindringt und das menschliche Gehör die Formantstruktur nicht mehr abbilden kann. (Fricke 1996, S. 190f)

Abb. 2.1 stellt die Spektren einiger Töne (in *forte* gespielt) einer Querflöte aus der C Dur Tonleiter über zwei Oktaven dar, die Erich Schumann über Fourieranalysen ermittelt hat. Auf der linken Seite beginnt die Tonleiter mit c^1 , nach rechts hin folgen d^1 bis schließlich c^3 , während sich das ganze Spektrum durch die aufsteigende Tonleiter nach oben verschiebt. Auf der rechten Seite endet die Tonleiter. Von c^1 bis f^1 ist der dritte Teilton der stärkste, ab g^1 rückt das Maximum dann runter auf den zweiten Teilton, ab f^2 dann sogar auf den ersten. (Mertens 1975, S.33)

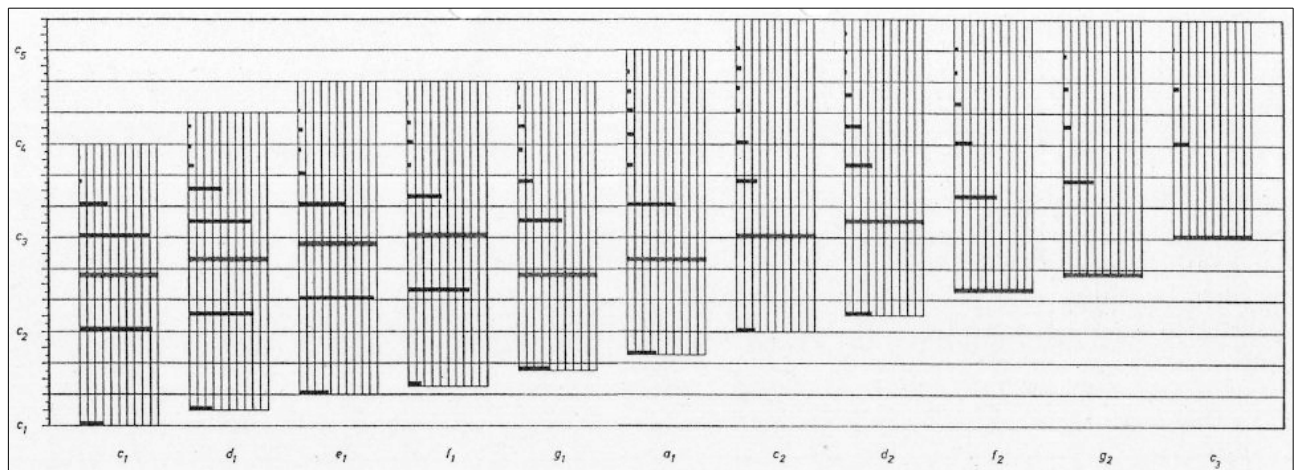


Abb. 2.1: Verschiedene über Fourieranalysen ermittelte Spektren von Tönen einer C Dur-Tonleiter, auf einer Querflöte in *forte* gespielt. (Mertens 1975, S.38f)

2.2.2 Formantverschiebungsgesetz

Mit zunehmender Intensität eines Klanges verlagert sich das Maximum in der Formantstrecke auf höhere Klangkomponenten, während die Stärke der unteren Teiltöne schwächer wird. (Mertens 1975, S.31)

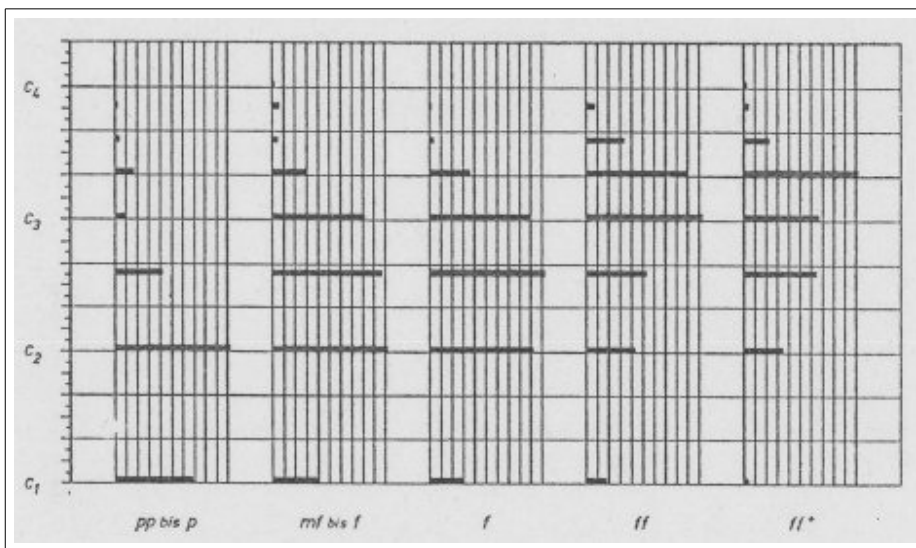


Abb. 2.2: Ergebnisse der Fourieranalysen von c^1 Tönen verschiedener Dynamikgrade einer Flöte.

(Mertens 1975, S.32)

Abb. 2.2 zeigt anschaulich anhand eines erzeugten Tones in vier verschiedenen Dynamikstufen bei nur einem Instrument, daß die charakteristische Klangfarbe eines Instruments nicht davon abhängt, daß immer ein Teilton der gleichen Ordnungszahl bei gleichem Grundton das Maximum einnehmen muß. (Mertens 1975, S. 32) Man sieht, daß sich nach dem Verschiebungsgesetz das Maximum in der Formantstrecke mit steigender Intensität zu höheren Teiltönen verschiebt. In Abb. 2.2 verschiebt sich das Maximum im Formantbereich vom zweiten (bei *pp* bis *p*) bis zum fünften (bei *ff*⁺) Teilton, während die Stärke des Grundtons immer mehr schwindet. (Mertens 1975, S.61)

2.2.3 Formantsprunggesetz

Das Formantsprunggesetz ist eigentlich ein Spezialfall bzw. eine Steigerung des Formantverschiebungsgesetzes und besagt, daß bei größerer Intensitätssteigerung das Maximum die Teiltöne aus der ersten Formantstrecke überspringen kann, und sich auf einen Teilton in der nächsthöheren Formantstrecke verlagert. (Mertens 1975, S. 31)

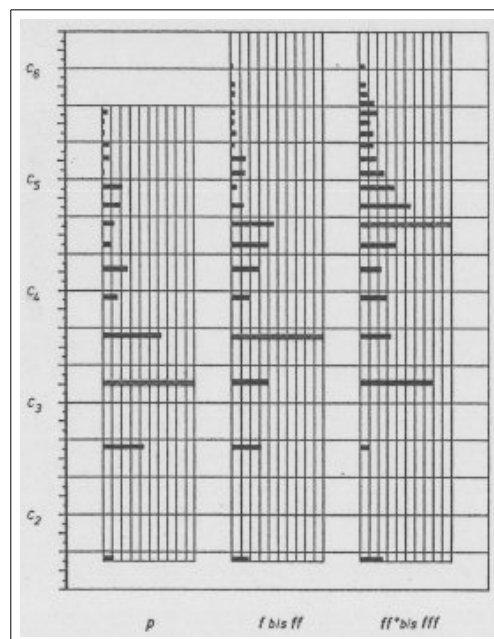


Abb. 2.3: Spektren dreier mit verschiedenen Dynamikgraden angespielten g^1 Tönen auf einer Oboe.

(Mertens 1975, S.64)

In Abb. 2.3 springt von p auf f das Maximum vom dritten auf den vierten Teilton innerhalb der ersten Formantstrecke. Beim fff überspringt das Maximum die übrigen Teiltöne und positioniert sich auf den achten Teilton in der zweiten Formantstrecke.

2.2.4 Formantintervallgesetz

Für jedes Instrument scheint es charakteristische und konstante Beziehungen zwischen den Teiltonordnungszahlen der Maxima in der ersten und zweiten Formantstrecke zu geben, wenn das jeweilige Instrument mindestens zwei Formantstrecken aufweist. Nach Schumann beträgt das Verhältnis z.B. für die Oboe 1:2, für das Englischhorn 2:5 und für das Fagott 3:8. (Mertens 1975, S.31)

In Abb. 2.4. ist zu sehen, daß z.B. bei einem c^1 auf der Oboe in der ersten Formantstrecke der fünfte Teilton das Maximum einnimmt und in der zweiten der 10. Teilton. Für ein f^1 nehmen der vierte Teilton der ersten Formantstrecke und der achte aus der zweiten einen maximalen Wert an.

Tonhöhe	Stärkster PT in Formantstrecke I	Stärkster PT in Formantstrecke II	Schwingungszahlenverhältnis
b_o	6.	13.(12.)	annähernd 1 : 2
c_1	5.	11.	annähernd 1 : 2
c_1	5.	10.	1 : 2
c_1	5.	10.	1 : 2
d_1	5.	10.	1 : 2
d_1	5.	10.	1 : 2
e_1	4.	8.	1 : 2
f_1	4.	9.(8.)	annähernd 1 : 2
f_1	4.	9.	annähernd 1 : 2
f_1	4.	8.	1 : 2
f_{is_1}	4.	8.	1 : 2
f_{is_1}	4.	8.	1 : 2
g_1	4.	8.	1 : 2
g_1	3.	6.	1 : 2
g_{is_1}	4.	8.	1 : 2
a_1	3.	6.	1 : 2
h_1	3.	6.	1 : 2
h_1	3.	6.	1 : 2

Abb. 2.4: Ausschnitt aus der Formantenintervalltabelle einer Oboe. (Mertens 1975, S.67)

Vollends geklärt ist dieses Phänomen allerdings noch nicht, da es zwar Gültigkeit besitzt, es aber fraglich erscheint wie die Konstanz dieser Verhältnisse auch bei Dynamikänderungen aufrecht bleiben kann. Nach dem Formantverschiebungsgesetz (Kap. 2.2.2) nehmen ja die Maxima bei Dynamikänderungen andere Positionen in der Formantstrecke ein. Eventuell könnten die zyklischen Minima im Spektrum dafür verantwortlich sein, die trotz versetzter Maxima ortsfest bleiben. (Oehler 2008, S. 84)

2.3 Bildung fester Formanten bei Blasinstrumenten

2.3.1 Die Quelle-Filter-Theorie

Nachdem Schumann die Existenz von Formanten bei Instrumentenklängen nachgewiesen hatte stellte sich die Frage, wie diese bei Blasinstrumenten entstehen würden. Die Quelle-Filter-Theorie kann die Formantbildung bei Vokalen der menschlichen Stimme und bei Streichinstrumenten

erklären, weshalb dieses Erklärungsmodell zunächst auch für Blasinstrumente angewendet werden sollte. Die Analogie zwischen Rohrblatt bzw. Lippenschwingung und Resonanzrohr bei Blasinstrumenten und Stimmlippen der Glottis und Vokaltrakt würde dies nahelegen. (Oehler 2008, S.84)

Das allgemeine Prinzip der Quelle-Filter-Theorie besagt, daß eine periodische Schwingung $S(t)$ erzeugt wird, deren zeitabhängige spektrale Verteilung $S(j\omega)$ ist. Diese wird auf ein schwingungsfähiges Medium (z.B. Resonanzkörper, Hohlraumresonator etc.), das mit einer klangfärbenden Schallabstrahlung zusammenhängt mit der Übertragungsfunktion $D(j\omega)$ übertragen. Oft übernimmt der Resonanzkörper, wie bei Streichinstrumenten, selbst die Schallabstrahlung mit einer die Klangfarbe beeinflussenden Abstrahlcharakteristik $R(j\omega)$. Wegen des engen Zusammenhangs von $D(j\omega)$ und $R(j\omega)$ werden diese beiden Funktionen oft auch als Filterfunktion $T(j\omega)=D(j\omega) \times R(j\omega)$ zusammengefaßt. (Fricke 1989, S.109f)

Das klangliche Ergebnis $F(j\omega)$ ergibt sich dann aus der Faltung von Anregungsfunktion $S(j\omega)$ und Filterfunktion $T(j\omega)$ und stellt formal die Quelle-Filter-Theorie dar: (Oehler 2008, S.86)

$$F(j\omega)=S(j\omega) \times D(j\omega) \times R(j\omega) \quad (\text{Gl. 2.1})$$

Für die Existenz fester Formanten und der Konstanz der Klangfarbe muß die Filterfunktion $T(j\omega)$ konstant und vom Grundton unabhängig sein, wonach auch die Abstrahl- und Übertragungscharakteristik konstant sein muß. Faßt man den menschlichen Vokaltrakt als einseitig geöffnetes Rohr, entsprechend dem Ansatzrohr eines Instruments auf, läßt sich die Konstanz der Klangfarbe über die konstante vom Grundton unabhängige Filterfunktion der Abstrahlcharakteristik $R(j\omega)$ und Übertragungsfunktion $D(j\omega)$ tatsächlich erklären. Bei Blasinstrumenten ist dies jedoch schwieriger, da sich die gesamte Resonanzstruktur in der Röhre des Instruments mit jedem geöffneten Tonloch verändert, was infolgedessen bedeutet, daß die Filterfunktion $T(j\omega)$ bei Blasinstrumenten nicht unabhängig von der Grundtonhöhe sein kann. Außerdem wird im Spektrum der menschlichen Stimme jeder einzelne Formant wegen der Dämpfung im Rachenraum auch von nur genau einer Resonanzfrequenz des Ansatzrohrs erzeugt. Die Flanken der Resonanzen der Eigenschwingungen im Spektrum verlaufen flach, weswegen die verschiedenen Resonanzbereiche relativ breitbandig sind und dadurch normalerweise mehrere Teiltöne in diese Resonanzbereiche fallen. (Oehler 2008, S.84-86)

J.P. Fricke erkannte 1972, daß die Quelle-Filter-Theorie, die die Klangerzeugung bei der menschliche Stimme erklären kann, nicht einfach und direkt auf die Klangerzeugung bei

Blasinstrumenten übertragen werden kann. (Oehler 2008, S. 88)

Blasinstrumente erzeugen ebenfalls wie Vokale bei der menschlichen Stimme und bei Streichinstrumenten Resonanzen in ihren Spektren, die nach Anregung des Instruments den abgestrahlten Schall bzw. dessen Teiltonspektrum strukturieren. Gegenteilig werden bei Blasinstrumenten die Resonanzen aber direkt zur Tonerzeugung benutzt, bei der der jeweilige Grundton auf einer Resonanz erregt wird, und eben nicht um Obertonstrukturen mit Formantcharakter auszubilden. Das liegt daran, daß Blasinstrumente nach Schumann nachweislich zwar Formanten besitzen, die Resonanzen sich aber mit unterschiedlichen Tonhöhen ändern. Deswegen können Resonanzen hier nicht die Ursache für feste Formanten sein. Der Grund dafür muß vielmehr in der Teiltonstruktur zu finden sein. (Fricke 1989, S.110)

2.3.2 Die Impulsformungstheorie

F. Fransson wies 1966 an der Universität Stockholm als erster nach, daß die Anregungsfunktion bei Doppelrohrblattinstrumenten (i.e. Oboe, Fagott, Englischhorn etc.) in Form von Druckimpulsfolgen den Verlauf des Klangspektrums entscheidend prägt. (Auhagen 1987, S.710)

Nachdem bisherige Erklärungsversuche für feste, von der Grundtonhöhe unabhängige Formanten als grundlegende Voraussetzung für konstante Klangfarben bei Blasinstrumenten scheiterten, formulierte J.P. Fricke 1975 die Theorie der formantbildenden Impulsfolgen bei Blasinstrumenten (i.e. Impulsformungstheorie), wonach die periodischen Impulsfolgen in der Anregungsfunktion der Entstehung zyklischer Spektren zugrunde liegen. Erzeugt werden diese Impulsfolgen durch die Ventilfunktion des Rohrblatts bei Holzblasinstrumenten bzw. durch die Lippenbewegung bei Blechblasinstrumenten, die in weiterer Folge durch periodisches Öffnen und Schließen die Luft im Hohlraum des anschließenden Instruments zu Schwingungen anregt. (Fricke 1989, S.112)

Damit Formanten in festen Frequenzgebieten entstehen können muß aber gewährleistet sein, daß die Öffnungs- und Schließzeiten unabhängig von der Grundtonhöhe konstant bleiben; also bei veränderlicher Impulsfrequenz, die Impulsbreite konstant bleibt. Selbst geringfügige Änderungen der Impulsbreite oder der Impulsform ziehen grundlegende Veränderungen im resultierenden Spektrum und der feinmodulatorischen Vorgänge (s. Kap.2.3.7) hörbar in der Klangfarbe nach sich. (Oehler & Reuter 2009, S.190)

2.3.3 Die Rohrblattschwingung als Ausgangspunkt für die Impulsformung

Daß die Anregung von Blasinstrumenten tatsächlich impulsartig erfolgt, läßt sich besonders anschaulich darstellen:

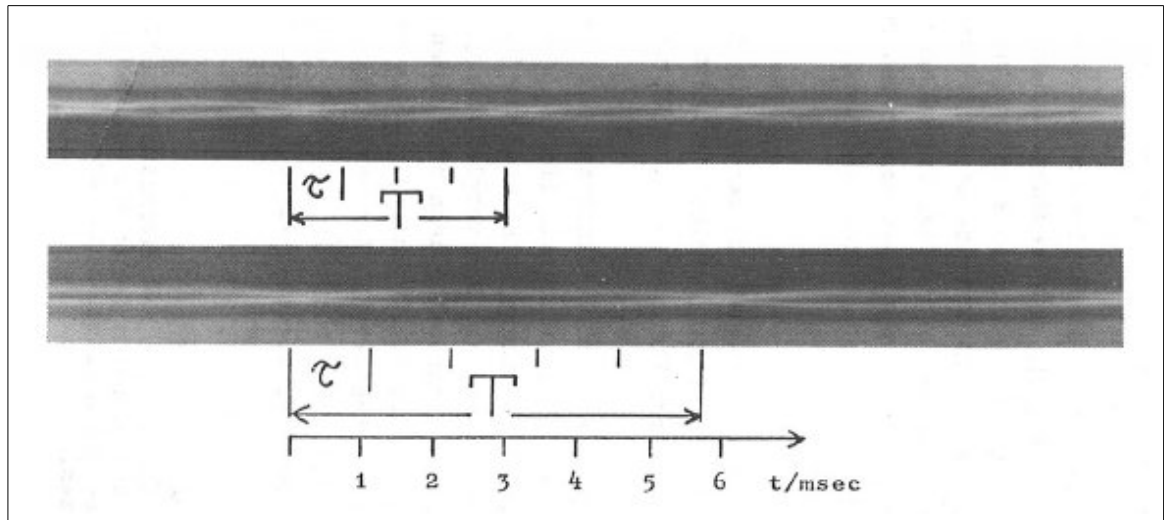


Abb. 2.5: Ausschnitt einer Filmaufnahme der Rohrblattschwingung eines Fagotts Die angeblasenen Töne sind f' (oben) und f (unten) im fortissimo. (Voigt 1975, S.217)

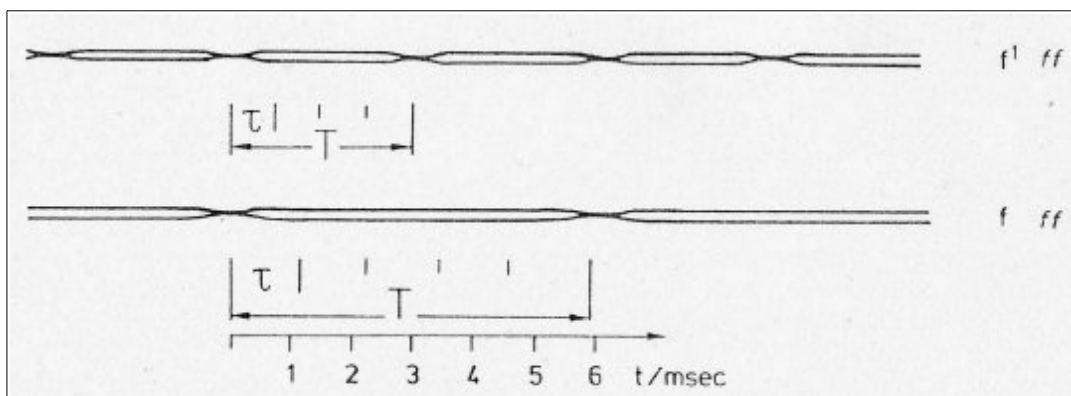


Abb. 2.6: Schematische Darstellung der Öffnungs- und Schließphasen eines Fagottrohrblatts bei f und f' im ff angespielt. (Voigt (1975) in Fricke 1989, S.116)

Abb. 2.5 zeigt den Ausschnitt einer Filmaufnahme von Rohrblattschwingungen eines künstlich angeblasenen Fagotts im fortissimo auf f' (oben) und f (unten). Abb. 2.6 zeigt denselben Vorgang schematisch. Die Verschlussphase τ und die Öffnungsphase ($T-\tau$), in der impulsartig Luft in das

Fagott eingeblasen wird, sind hier deutlich zu erkennen. Die Visualisierung der hier dargestellten Zeitfunktion der Rohrblattschwingung und das daraus resultierende zyklische Frequenzspektrum bilden die Grundlage für die Erklärung fester Formanten bei Blasinstrumenten. (Oehler 2008, S.88f) Es läßt sich zeigen, daß das Frequenzspektrum eines Impulses umso ausgedehnter ist, je kürzer dieser ist. Während also ein unendlich kurzer Impuls ein Spektrum erzeugt, in dem alle Frequenzen von 0 bis ∞ mit derselben Amplitude vorhanden sind, strukturiert sich das Spektrum eines zeitlich ausgedehnten Impulses in Abhängigkeit von Impulsform und -breite zyklisch. (Oehler 2008, S.89)

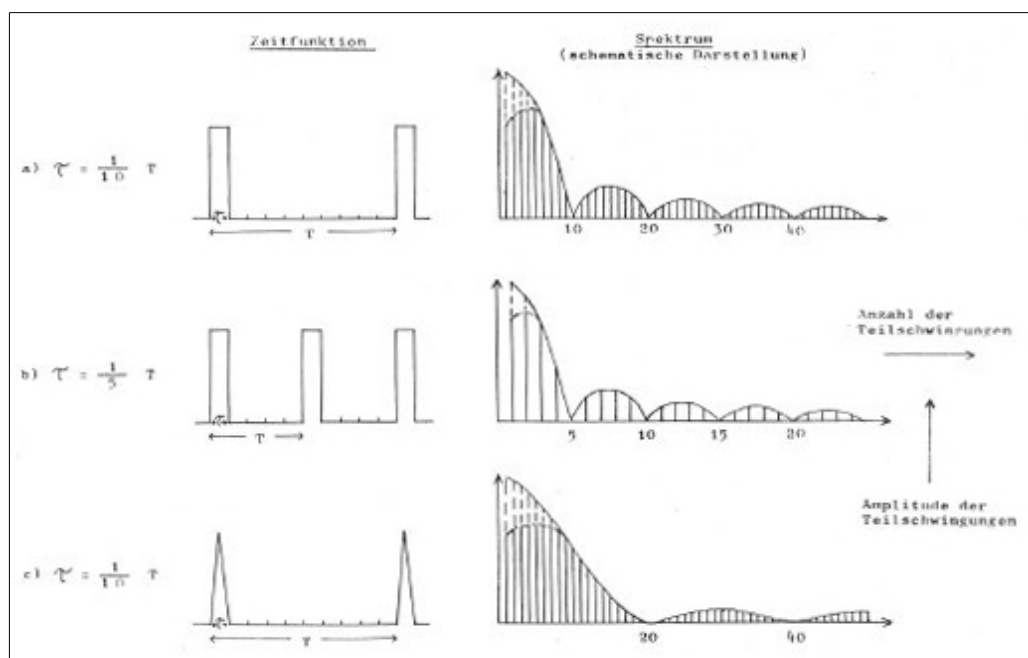


Abb. 2.7: Rechteck- und Dreieckimpulsfolgen mit den jeweilig resultierenden Spektren. (Voigt 1975, S.53)

Abb. 2.7 zeigt schematisch diese Strukturierung. Es ist ersichtlich, daß die Positionen der Minima vom Verhältnis der Periodendauer T zur Impulsdauer τ abhängen. (Oehler 2008, S.91)

Die Minimalstellen lassen sich dann für Rechteckimpulse bei den Teiltönen $n \cdot (T/\tau)$ und für Dreieckimpulse bei den Teiltönen $2n \cdot (T/\tau)$ mit jeweils $n=1,2,3,\dots$ finden. (Oehler & Reuter 2009, S.191) In Abb. 2.7 (a) fallen die Minima demnach auf jeden 10. Teilton, da $\tau=1/10 T$. In Abb. 2.7 (b) ist die Periodendauer im Vergleich zu (a) halbiert, die Frequenz also verdoppelt. Bei gleich bleibender Impulsbreite fallen demnach nur mehr halb so viele Teiltöne in die Formantbereiche unter der Hüllkurve, die Positionen der Minima bleiben jedoch gleich. In Abb. 2.7 (c) sind Frequenz

und damit auch die Periodendauer dieselbe wie in (a), auch die Impulsdauer ist gleich lang. Da jedoch die Fläche unter dem Dreieckimpuls, der von der Form her idealerweise einem gleichschenkeligen Dreieck entspricht, nur mehr halb so groß ist gegenüber dem Rechteckimpuls, fallen die spektralen Minima nur mehr unter jeden 20. Teilton. In allen Fällen bilden die Maxima zwischen den Minimalstellen formantähnliche Zonen aus. (Oehler 2008, S.91)

In Abb. 2.7 sind die Sachverhalte mehr oder weniger ideal bzw. vereinfacht dargestellt. Tatsächlich finden sich die Minima oft zwischen zwei Teiltönen, da T/τ nur selten eine ganze Zahl ergibt. In diesem Fall berechnen sich die Amplituden der Teiltöne (Ordnungszahl $k=1,2,3,\dots$) nach den Formeln (Gl. 2.2) für Rechteckimpulse und (Gl. 2.3) für gleichschenkelige Dreieckimpulse. (Oehler & Reuter 2009, S.191)

$$|C_k| = \frac{2F}{T} \frac{\sin \frac{\pi k \tau}{T}}{\frac{\pi k \tau}{T}}, \quad k_o = \frac{T}{\tau} \quad (\text{Gl. 2.2})$$

$$|C_k| = \frac{2F}{T} \frac{2 \left(1 - \cos \frac{\pi k \tau}{T}\right)}{\left(\frac{\pi k \tau}{T}\right)^2}, \quad k_o = \frac{2T}{\tau} \quad (\text{Gl. 2.3})$$

Dabei berechnet sich die Amplitude $|C_k|$ des jeweils k -ten Teiltönen aus der Fläche F unter dem Impuls in der Zeitfunktion, aus T der Periodendauer, τ der Impulsdauer und k_o als diejenige Ordnungszahl, für die die Teiltonamplitude zum ersten Mal minimal wird. Wie aus den (Gl. 2.2) und (Gl. 2.3) ersichtlich ist, ist k_o bei gleichem T und τ bei Dreieckimpulsen im Vergleich zu Rechteckimpulsen doppelt so groß. (Voigt 1975, S.52)

Des weiteren wäre noch zu erwähnen, daß die Impulsfolgen in der Frequenzdomäne indifferent bezüglich Phasendrehungen um 180° sind. D.h. für die Struktur des Spektrums ist es unerheblich ob ein gleichbleibender Abschnitt während der Impulsperioden einer Öffnungs- oder Schließphase zugeordnet wird. (Voigt 1975, S.54)

2.3.4 Ein praktisches Beispiel

Es lässt sich relativ leicht veranschaulichen, daß die Formeln (Gl. 2.2) und (Gl. 2.3) zur Berechnung der Teiltonamplituden, sowie die schematische Darstellung in Abb. 2.7 in Zeit- und Frequenzfunktion einzelner Impulse ihre Gültigkeit besitzen. Als Beispiel bringt Oehler (2008) einen Versuch, in dem mit Reaktor (i.e Native Instruments Reaktor 5.0) einzelne Rechteckimpulse mit der Abweichung leicht abgeflachter Flanken und der Impulsdauer $\tau = 0,5\text{ms}$ bei einer Periodendauer $T \approx 4\text{ms}$ in Abb. 2.8 (a) (oben) sowie $\tau = 0,5\text{ms}$ und $T \approx 2\text{ms}$ in Abb. 2.8 (a) (unten) synthetisiert wurden. Die Spektren der resultierenden Klänge h (ca. 247Hz) oben und h' (ca.494Hz) unten, sowie deren Zeitfunktionen sind in Abb. 2.8 (b) dargestellt. (Oehler 2008, S.92f)

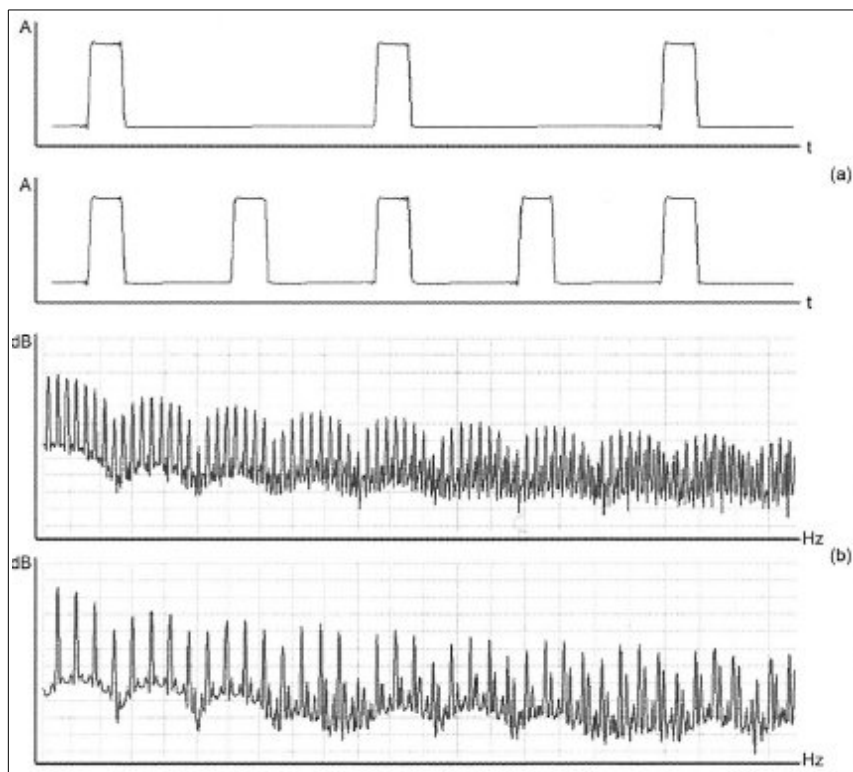


Abb. 2.8: Zeitfunktionen von Rechteckimpulsen und die dazu korrespondierenden Spektren für h (ca. 247Hz) (obere Hälfte) und h' (ca.494Hz) (untere Hälfte). (Oehler 2008, S.93)

In den Spektren ist deutlich zu erkennen, daß die Lagen der Minima bei h ($\tau = \frac{1}{8}T$) und h' ($\tau = \frac{1}{4}T$) auf die gleichen Positionen fallen, also bei h auf ungefähr jeden achten Teilton und bei h' auf ungefähr jeden vierten. Entsprechend fallen bei h doppelt so viele Teiltöne in den Formantbereich unter der Hüllkurve zwischen den Minima als bei h' , was in Abb. 2.7 veranschaulicht wurde. Daß in den Spektren in Abb. 2.8 (b) nicht alle Minima exakt auf jeden achten oder vierten Teilton fallen, liegt an den leicht abgeflachten Flanken was die Impulsflächen entsprechend verkleinert bzw. daran, daß die Periodendauer T in beiden Fällen nicht exakt 4ms bzw. 2ms beträgt. (Oehler 2008, S.92f)

2.3.5 Die Impulsform im Bezug auf die Dynamik

Im vorigen Kapitel (Kap. 2.3.4) wurde die spektrale Abbildung von Impulsfolgen in Abhängigkeit der Tonhöhe untersucht. Es läßt sich aber auch das Verhältnis von Impuls zu dynamischem Grad nach dem Schumannschen Verschiebungsgesetz analysieren.

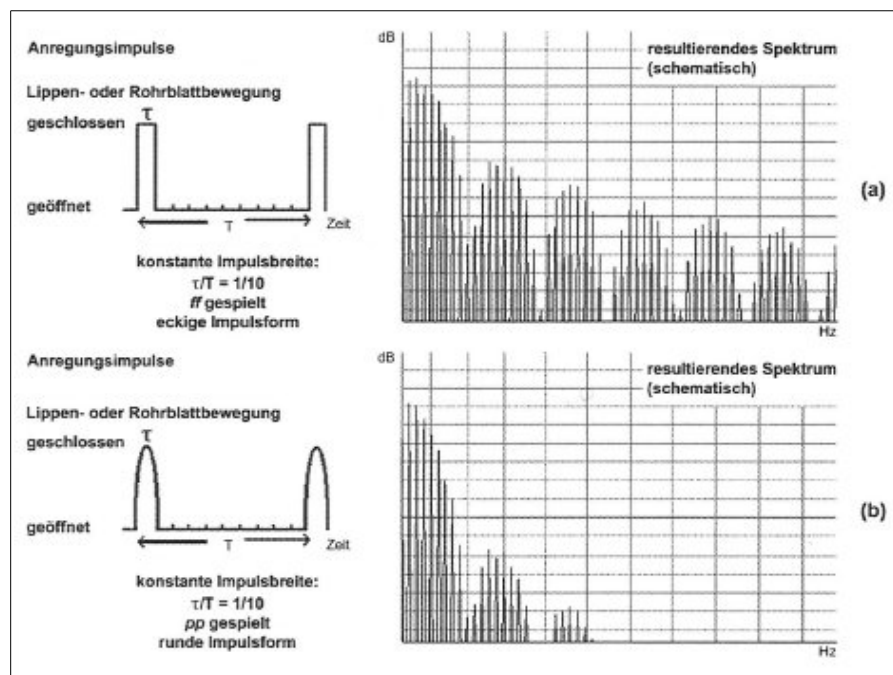


Abb. 2.9: Schematische Darstellung in Zeit- und Frequenzfunktion zweier Rechteckimpulse gleicher Impuls- und Periodendauer aber unterschiedlicher Intensität. (Oehler 2008, S.95)

In Abb. 2.9 werden zwei Rechteckimpulse gleicher Impuls- und Periodendauer jedoch unterschiedlicher Intensität gegenübergestellt. Der Unterschied des Impulses mit geringerer Intensität Abb. 2.9 (b) spiegelt sich in der Zeitfunktion in der vom Rechteckimpuls Abb. 2.9 (a) abweichenden, runderen Form, entsprechend einer glatteren Rohrblattschwingung, wider. (Oehler 2008, S.94f)

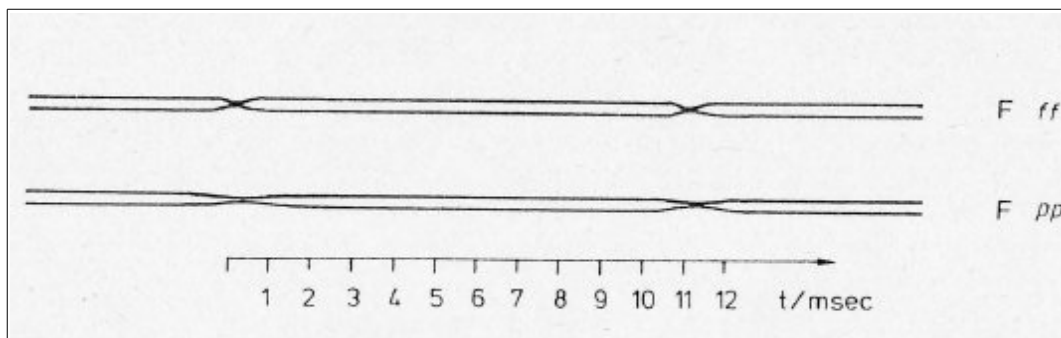


Abb. 2.10: Schematische Darstellung der Öffnungs- und Schließphasen eines Fagottrohrblatts bei einem angespielten F in *pp* und *ff*. (Voigt (1975) in Fricke 1989, S.116)

Abb. 2.10 veranschaulicht im Vergleich zum *pp* (unten) den steileren Übergang der Rohrblattschwingung zwischen Öffnungs- und Schließphase beim F, das in *ff* (oben) angespielt wurde. Die steileren Flanken entsprechen effektiv einer Verkürzung der Impulsdauer, ohne daß sich die Schließzeiten des Rohrblatts grundsätzlich ändern. Ebenso gilt für die Erzeugung eines höheren Tons, daß sich die Pausen zwischen den Schließzeiten (i.e. die Öffnungszeiten, in denen Luft ins Instrument einströmt) verkürzen, ohne daß sich die Schließzeiten dabei ändern. (Fricke 1996, S.207) Es läßt sich sagen, je kantiger ein Impuls ist, desto stärker sind die Amplituden höherer Teiltöne im Spektrum vertreten; bzw. je kürzer die Impulsbreite ist, desto höher wandern die Formantbereiche hinauf, ohne daß die Teiltöne mitziehen, was dem Schumannschen Formantverschiebungsgesetz entspricht. Die Spektren in den Abb. 2.9 und Abb. 2.11 bestätigen, daß bei hoher Intensität (*ff*) die höheren Teiltöne stärker vertreten sind, als bei niedrigerer Intensität (*pp*). (Oehler & Reuter 2009, S.192f)

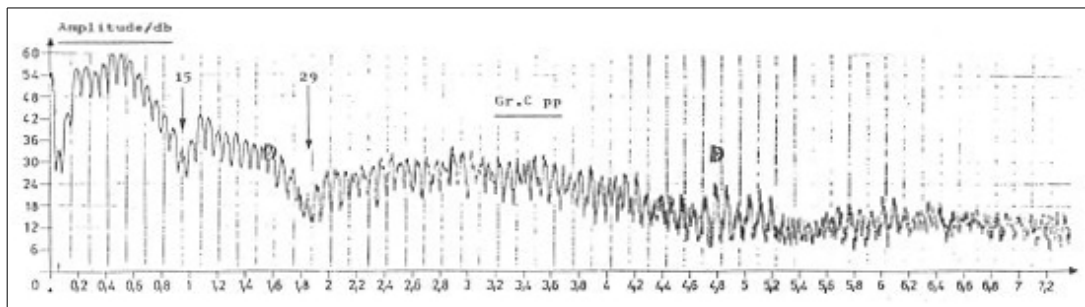


Abb. 2.11: Spektrum eines in *pp* auf C künstlich angeblasenen Fagotts. (Voigt 1975, S.189)

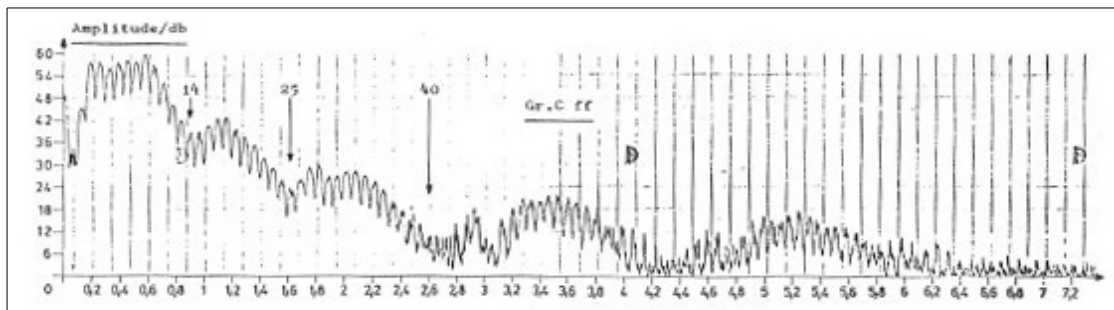


Abb. 2.12: Spektrum eines in *ff* auf C künstlich angeblasenen Fagotts. (Voigt 1975, S.190)

Abb. 2.11 und Abb. 2.12 zeigen Spektren zweier an einem Fagott angeblasenen Töne C in *pp* und *ff*. Beim *ff* (Abb. 2.12) liegen die Minima bei den 14., 25. und 40. Teiltönen, beim *pp* (Abb. 2.11) bei den 15. und 29. Gleichzeitig zeigt sich im Spektrum des *ff* Klangs die Verschiebung der Maxima hin zu höheren Frequenzen. (Oehler 2008, S.96)

2.3.6 Modellierung spektraler Hüllkurven mittels Impulsformung

In den Spektren des Fagotts in Abb. 2.11 und Abb. 2.12 zeigte sich, daß die Positionen der Minima nicht unbedingt regelmäßig auftreten müssen. Spektren aus verschiedenen Untersuchungen bestätigen zwar die Schumannschen Klangfarbengesetze, aber die Abstände zwischen den Minima können oft unregelmäßig sein. (Oehler 2008, S.97)

Der Vorteil an der Impulsformung ist, daß nicht nur absolut regelmäßige Impulse zur Erzeugung von Spektren verwendet werden können, sondern sich mit beliebig oder spezifisch geformten

Impulsen jeder mögliche Hüllkurvenverlauf zyklischer Spektren exakt gestalten läßt. (Oehler 2008, S.97) Die Impulsform bestimmt dabei die Form der Hüllkurve, die Impulsdauer (bzw. die Flankensteilheiten bei Dreieckimpulsen) im Verhältnis zur Periodendauer bestimmt die Positionen der Minimalstellen zwischen den Formantgebieten. (Fricke 1996, S.209)

Nachdem sich reine Rechteckimpulse nur in grober Annäherung zur Nachempfindung einer Anregungsfunktion eignen, da die senkrechten Flanken aufgrund unendlicher Steigung auch unendlich kurze Öffnungs- und Schließzeiten bedeuten würden, verwendete Auhagen (1987) Dreieckimpulse mit ungleich stark an- und absteigenden Flanken. (Auhagen 1987, S.710)

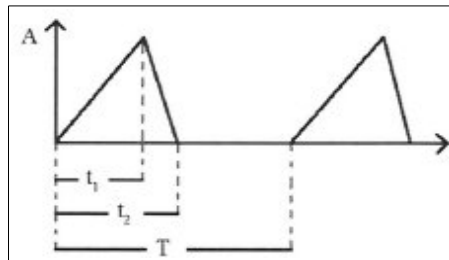


Abb. 2.13: Dreieckimpulsfolge mit der Periodendauer T und ungleich an- und absteigenden Flanken t_1 und t_2 . (Auhagen (1987) in Oehler 2008, S.97)

Die Fourierkoeffizienten S_n und C_n aus der schematisch in Abb. 2.13 dargestellten Dreieckimpulsfolge mit Periodendauer T und Flanken- an- und abstiegszeiten t_1 und t_2 berechnen sich nach folgenden Formeln:

$$S_n = \frac{2}{T} \left(\frac{A \sin n\omega t_1}{t_1(n\omega)^2} - \frac{A \sin n\omega t_2}{(t_2 - t_1)(n\omega)^2} + \frac{A \sin n\omega t_1}{(t_2 - t_1)(n\omega)^2} \right) \quad (\text{Gl. 2.4})$$

$$C_n = \frac{2}{T} \left(\frac{A \cos n\omega t_1}{t_1(n\omega)^2} - \frac{A}{t_2(n\omega)^2} - \frac{A \cos n\omega t_2}{(t_2 - t_1)(n\omega)^2} + \frac{A \cos n\omega t_1}{(t_2 - t_1)(n\omega)^2} \right) \quad (\text{Gl. 2.5})$$

(mit $n=1,2,3,\dots$; $\omega=2\pi f$; $0 < t_2 < T$) (Auhagen (1987) in Oehler 2008, S.98)

Ist dabei $t_1 \neq t_2 - t_1$, sind die Dreieckimpulse asymmetrisch, weisen die Positionen der Minima eine unregelmäßige Verteilung im Spektrum auf. Ungleich zu Abb. 2.7 ist nicht das Verhältnis der Periodendauer zur Impulsdauer T/τ für die Position der Minima bestimmend, sondern das Teilungsverhältnis der Periodendauer zu den An- und Abstiegszeiten der Flanken der Impulse. Dadurch können Impulse unterschiedlicher Breite die gleichen Minimalstellen erzeugen, sofern die An- bzw. Abstiegszeit einer Flanke als gemeinsamer Teiler in einem ganzzahligen Verhältnis konstant gehalten wird. (Auhagen 1987, S.710f)

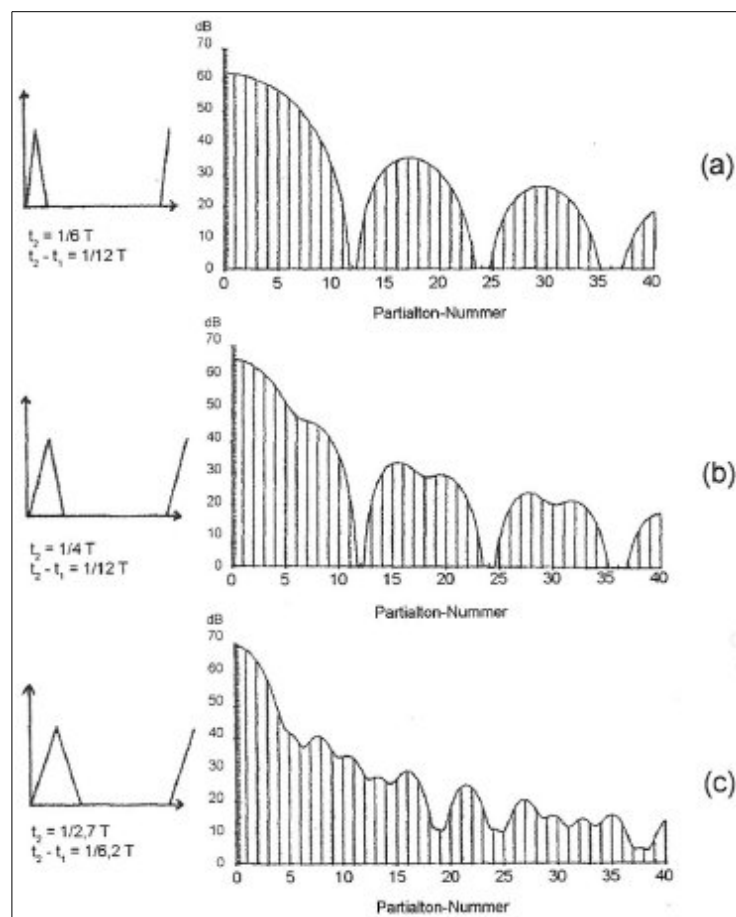


Abb. 2.14: Frequenzspektren unterschiedlicher Dreieckimpulsfolgen mit Periodendauer T und Flankensteilheiten t_1 und t_2 . (Auhagen (1987) in Oehler 2008, S.99)

In Abb. 2.14 (a) liegt ein symmetrischer Dreieckimpuls vor, da aus $t_2 = 1/6 T$ und $t_2 - t_1 = 1/12 T$ folgt, daß $t_1 = t_2/2$ ist. Nach Abb. 2.7 lassen sich die Minima eines symmetrischen Dreieckimpulses an den

Stellen der Teiltöne $2n(\tau/T)$ finden, in diesem Fall bei $12n$ (mit $n=1,2,3,\dots$). In Abb. 2.14 (b) sind zwar die Flanken des Dreieckimpulses ungleich lang ($t_2=1/4T$ woraus sich ergibt, daß $t_1=1/6T$), da aber ein gemeinsamer Teiler konstant bleibt, auch im Verhältnis zur Periodendauer T , die dieselbe ist wie in (a), finden sich die Minima an den gleichen Positionen wie in (a). Die abweichende Struktur der Hüllkurve in Abb. 2.14 (b) entsteht durch die abweichende Impulsform gegenüber (a). In Abb. 2.14 (c) ist der Dreieckimpuls ebenfalls unsymmetrisch, da $t_1 \neq t_2 - t_1$. Es liegt aber auch kein gemeinsamer Teiler unter den Flanken vor, deshalb verteilen sich die Minima im Spektrum nicht regelmäßig. Mit kleinen und einfachen Änderungen der Flankenverhältnisse lassen sich also einfache wie auch komplexe Strukturen von spektralen Hüllkurven formen. (Oehler 2008, S.98f)

Wählt man also die An- und Abstiegszeiten der Flanken t_1 und t_2 von Dreieckimpulsfolgen dementsprechenden, läßt sich im erzeugten Spektrum eine in weiten Teilen übereinstimmende Verteilung der Minima gegenüber derjenigen von Blasinstrumenten erzeugen. Lediglich die Amplitudenrelationen (Ausprägungsgrad der Minima) lassen sich nicht exakt bis in jedes Detail rekonstruieren. Als Beispiel bringt Auhagen (1987) den Vergleich eines synthetisch rekonstruierten Spektrums mit dem gemessenen Spektrum eines Altkrummhorns. Die Flankenparameter der Dreieckimpulsfolge wurden mit $t_1=1/2,14T$ und $t_2=1/1,06T$ gewählt. Zur digitalen Generierung der Dreieckimpulsfolge wurde ein PSI D 3000 Synthesizer verwendet, zur Simulation der Abstrahlfunktion ein Hochpaßfilter mit einer Grenzfrequenz von 2kHz und einer Dämpfung von 6dB/Oktave. Das Ergebnis lieferte hörbar, wie auch im Spektrum sichtbar, eine brauchbare Ausgangsbasis für weitere Forschungsarbeit. (Auhagen 1987, S.712)

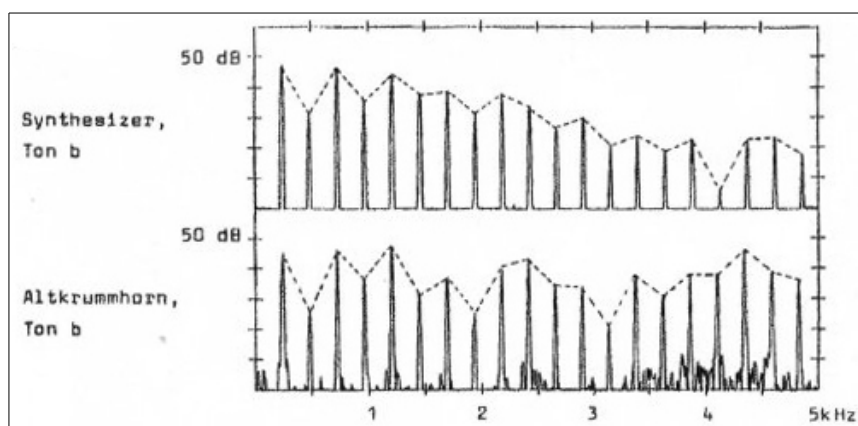


Abb. 2.15: Vergleich der Spektren eines Altkrummhorns (unten) auf b und einer digital erzeugten Dreieckimpulsfolge (oben) mit entsprechend gewählten Parametern t_1 und t_2 . (Auhagen 1987, S.712)

Außer Dreieck- und Rechteckimpulsen lassen sich verschiedene Impulsformen zur gezielten Erzeugung von Spektren nutzen. Regelmäßige Minima, also zyklische Spektren kommen bei Blasinstrumenten normalerweise nicht zwingend vor. Zyklische Spektren sind lediglich die Folge von symmetrischen bzw. weniger oder stärker von der Norm abweichend geformten Rechteckimpulsen. Auch unregelmäßig strukturierte Hüllkurven der Spektren lassen sich durch verschieden geformte Impulsfolgen erzeugen, denn die Impulsform bestimmt ja die Form der spektralen Hüllkurve. Die Positionen der Minima im Spektrum werden durch die zeitliche Anordnung der Impulse innerhalb der Periodendauer bestimmt. Demnach können auch speziell Sinus-Impulse bzw. Kombinationen solcher verwendet werden, die zusammen mit axialer Verzerrung eine große Vielfalt an Möglichkeiten bilden, um gegliederte Spektren gezielt erzeugen zu können. (Fricke 1996, S.208f)

Die wichtigsten Faktoren zur Gestaltung der Impulsform (von Dreieckimpulsen, $\sin^2$ -Impulsen und anderen symmetrischen und unsymmetrischen Impulsformen) sind:

- Die Oberkante des Impulses kann rund, eckig oder spitz sein.
- Der Übergang an der Basis zu Beginn und am Ende des Impulses kann von weich gerundet bis eckig sein.
- Die Schiefe des Impulses, die durch unterschiedliche An- und Abstiegszeiten der Flanken entsteht.

Die geometrischen Grundformen der Rechteck-, Dreieck-, Sinus- und $\sin^2$ -Impulse repräsentieren die vielfältige Auswahl obiger Faktoren. Diese läßt sich aber noch durch Kombinationen der Grundformen, Überlagerung, gegebenenfalls mit der Asymmetrie und den praktisch unendlich vielen Möglichkeiten der Rundungen sowohl an der Basis als auch an der Oberkante der Impulsform zu einem beachtlichen Repertoire der Impulserzeugung erweitern. (Fricke 1996, S.209)

Als Beispiel sei hier eine der Analysen von Blens (1993) genannt, in der zwei Dreieckimpulse zu einem Trapez überlagert werden.

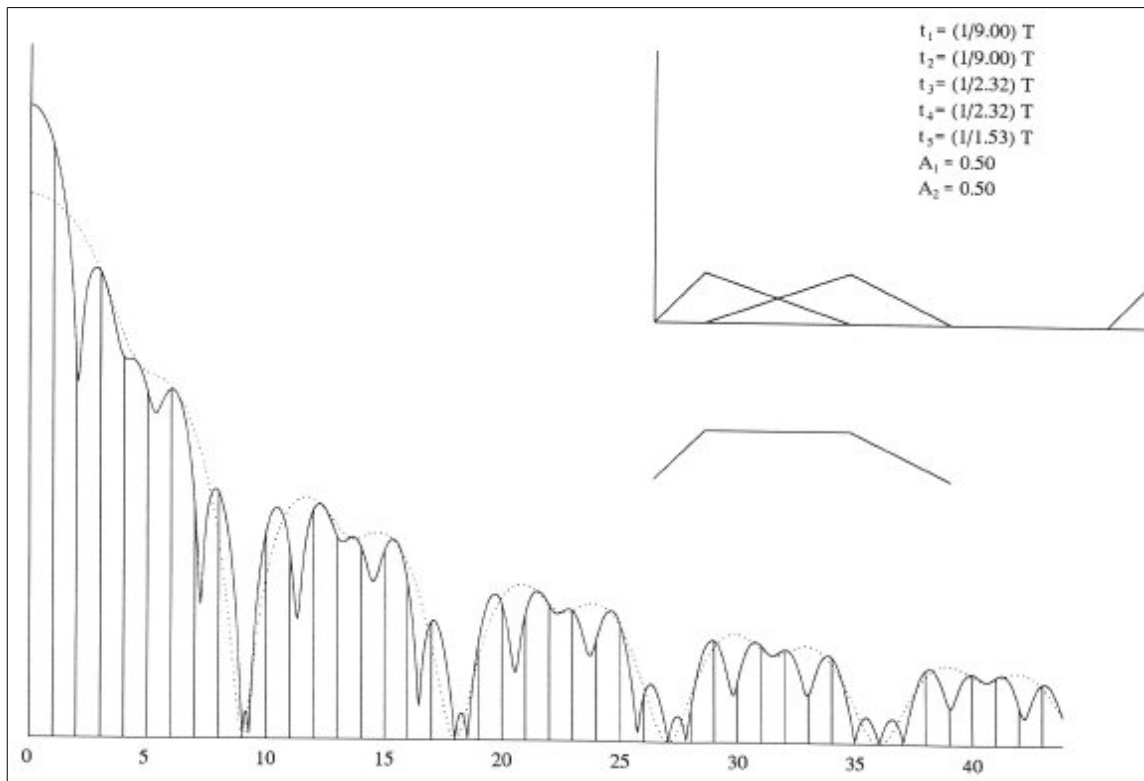


Abb. 2.16: Zwei zu einem Trapezimpuls überlagerte Dreieckimpulse samt zugehörigem Spektrum.

(Blens 1993, S.88)

Die durchgehende Einhüllende entsteht durch die beiden überlagerten Dreiecke zu einem Trapezimpuls, wobei die Minimalstellen bei den 9., 18., 27. und 36. Teiltönen liegen. Die punktierte Einhüllende ergibt sich wenn die beiden Spitzen der Dreieckimpulse zusammengezogen werden, sodaß die aufsteigende Flanke des ersten Dreieckimpulses und die absteigende Flanke des Zweiten einen neuen bzw. anderen Dreieckimpuls ergeben. Man sieht in Abb. 2.16, daß die Minimalstellen fast bei denselben Teiltönen zu finden sind, wie beim Trapezimpuls, die Amplitudenverteilung der Teiltöne unter der Hüllkurve sich hingegen doch relativ stark vom Trapezimpuls unterscheidet. (Oehler 2008, S.100)

2.3.7 Klangfarbenmodulation und feinmodulatorische Vorgänge

Für die Konstanz der Klangfarbe sind neben den Ausgleichsvorgängen und den „gleichen Vokaleigenschaften“ im quasi-stationären Klanganteil noch die nichtperiodischen, statistischen Anteile im quasi-stationären Klang, also „Schwankungserscheinungen“ wie z.B. Vibrato, ein bestimmender Faktor. (Fricke & Blens 1994, S.966) Sie verleihen nicht nur dem Klang eine natürliche Wirkung, sondern sind damit auch für die Klangsynthese von Blasinstrumentenklängen von großer Bedeutung. In der Praxis mindert das Unterlassen oder die unzureichende Berücksichtigung der feinmodulatorischen Vorgänge bei der Klangsynthese die Qualität des generierten Klangs. (Oehler 2008, S.101)

Für die Erzeugung dieser feinmodulatorischen Vorgänge werden bei der Impulsformung ebenso wieder die bereits erwähnten Grundformen (i.e. Rechteck, Dreieck, Sinus etc.) der Impulse samt deren Variationsmöglichkeiten mit einfacher Amplituden-, Frequenz- oder Pulsbreitenmodulation verwendet. (Fricke 1996, S.213)

Die reine Amplitudenmodulation (AM) setzt jeden Teilton um den gleichen Betrag in seiner Amplitude hinauf oder herab, ohne dabei die Frequenz der Teiltöne zu verändern (s. Abb. 2.17). Diese Art der Modulation kommt jedoch in der natürlichen Klangerzeugung nicht vor, da in Frequenz/Amplituden gekoppelten Systemen eine Amplitudenänderung auch immer eine Frequenzänderung bewirkt. (Fricke & Blens 1994, S.966) Das besagt auch schon das Schumannsche Formantverschiebungs- bzw. Formantsprunggesetz. (Oehler 2008, S.101)

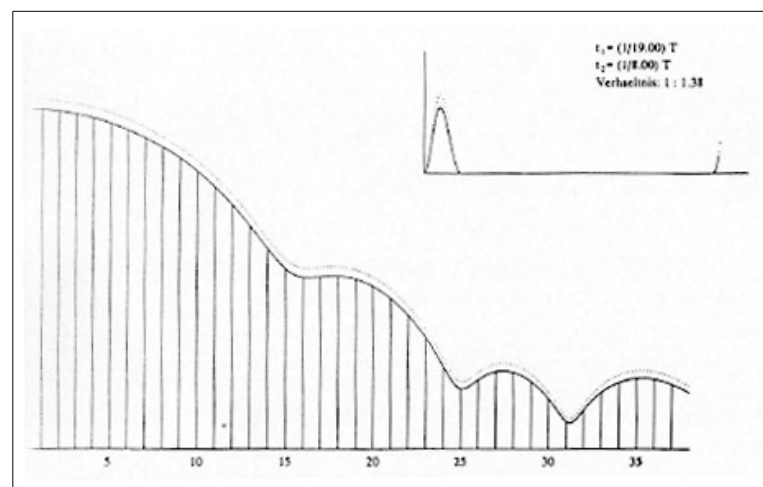


Abb. 2.17: AM mit einer Variation der Amplitude um 20% eines $\sin^2$ -Impulses. (Blens (1993) in Fricke 1996, S.212)

Die reine Frequenzmodulation (FM) bewirkt, daß sich die Teiltöne im Spektrum mitsamt der Einhüllenden im Takt der Modulationsfrequenz hin und her bewegen, ohne deren Amplitude zu beeinflussen (s. Abb. 2.18). Dabei werden Pulsbreite, Pause (i.e. Öffnungs- bzw Schließzeit) und Periodendauer periodisch gestreckt und verkürzt. (Fricke 1996, S.213f)

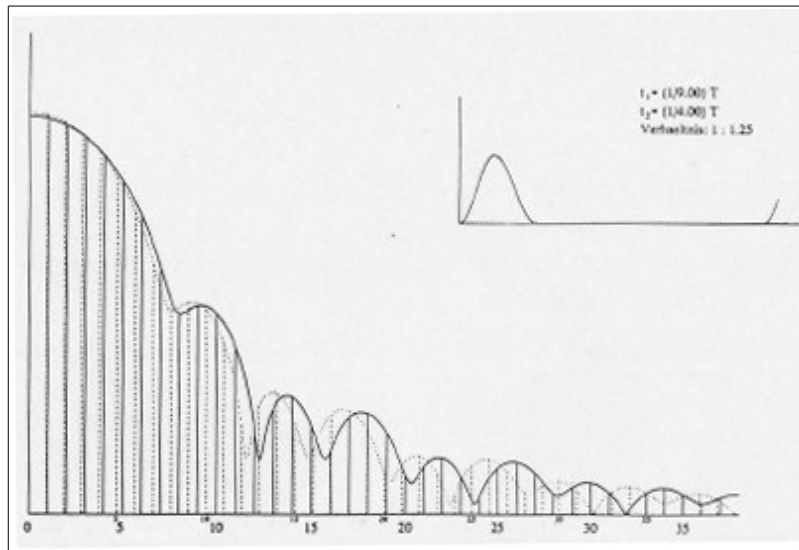


Abb. 2.18: Reine FM mit der Variation der Frequenz um 6%. (Blens (1993) in Fricke 1996, S.211)

Die Frequenzmodulation, in dieser reinen Form, kommt ebenso wie die Amplitudenmodulation in der natürlichen Klangerzeugung normalerweise nicht vor, da die Übertragungskennlinie von herkömmlichen Blasinstrumenten selten absolut eben verläuft. Die reine FM läßt sich im allgemeinen nachträglich recht einfach jedem Klang aufprägen, was vielleicht auch der Grund ist, warum sie trotz ihrer Mängel (s.a. Kapitel 3.3.2) bezüglich Schwankungserscheinungen und natürlicher Klangerzeugung als Syntheseverfahren recht gebräuchlich ist. (Oehler 2008, S.101)

Die weiteren Modulationsarten lassen eine von den drei bestimmenden Größen Periodendauer, Impulsdauer oder Pausendauer (zwischen den einzeln Impulsen einer Folge) konstant. Abb. 2.19 zeigt schematisch die folgenden Variationsmöglichkeiten anhand von Rechteckimpulsen. (Oehler 2008, S.102)

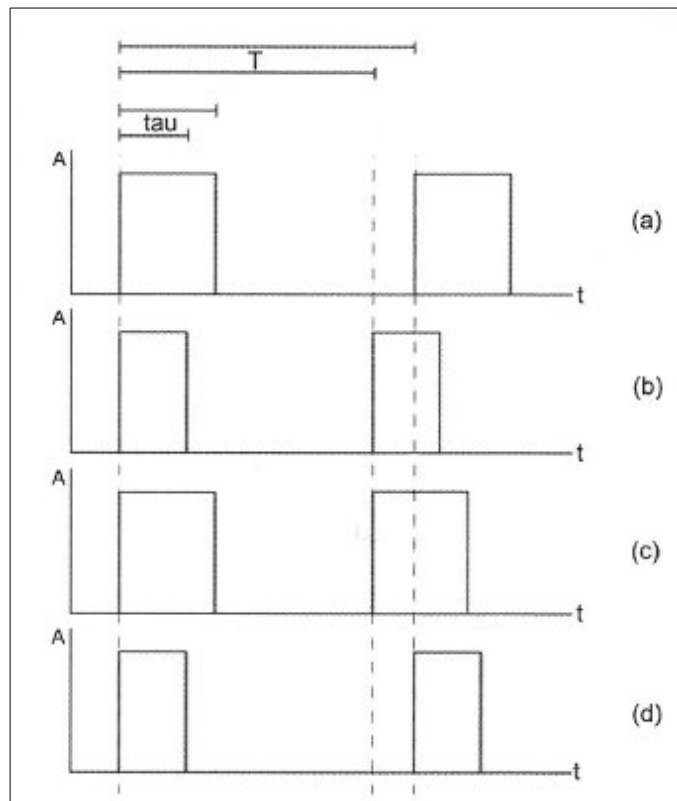


Abb. 2.19: Verschiedene Modulationsarten mit möglichen Variationen von Impuls-, Perioden- oder Pausendauer.

(Oehler 2008, S.103)

Abb. 2.19 (a) zeigt im Vergleich zu den Abb. 2.19 (b) - (d) eine unveränderte Rechteckimpulsfolge.

Abb. 2.19 (d) entspricht einer reinen Pulsbreitenmodulation ohne Frequenzänderung.

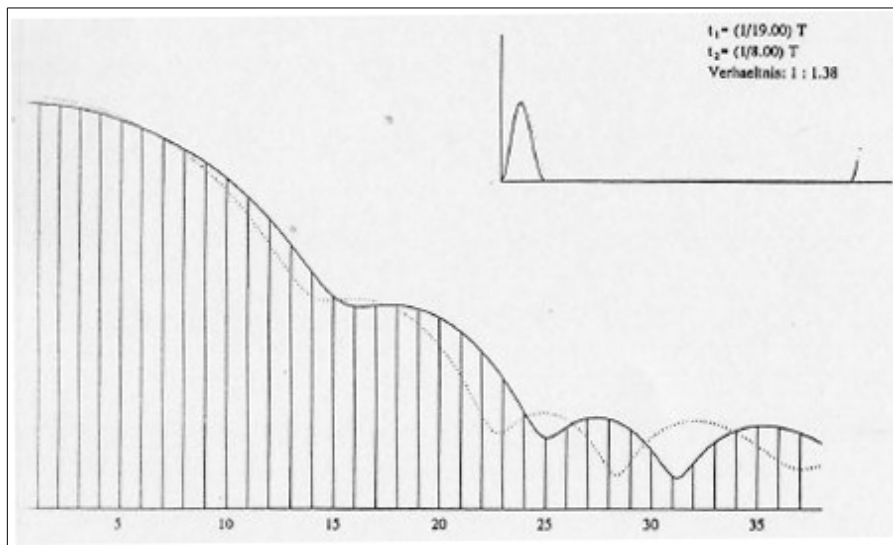


Abb. 2.20: Pulsbreitenmodulation um 10% eines $\sin^2$ -Impulses mit konstanter Frequenz. (Blens (1993) in Fricke 1996, S.212)

Im Spektrum, veranschaulicht in Abb. 2.20 anhand eines $\sin^2$ -Impulses, wird bei der reinen Pulsbreitenmodulation die Hüllkurve entsprechend der Variation des Verhältnisses von Impuls- zu Periodendauer τ/T verschoben, sodaß die Teiltonamplituden dementsprechend erhöht oder gesenkt werden. Ebenso wie die AM und FM kommt auch die reine Pulsbreitenmodulation in der natürlichen Klangerzeugung nicht vor. Als Klangfarbenmodulation ohne Frequenzänderung ist sie nach dem Formantverschiebungsgesetz jedoch die Grundlage für die Klangfarbendynamik. (Oehler 2008, S.102)

Abb. 2.19 (c) stellt den zeitlichen Verlauf einer FM mit konstanter Impulsbreite dar. (Oehler 2008, S.104) Hier wirkt sich die Veränderung der Periodendauer ausschließlich auf die Pausen zwischen den Impulsen aus. Bei konstanter Impulsbreite (s. Abb. 2.21) bleibt die Hüllkurve samt Position der Minima unabhängig von der Frequenz ortsfest. Jedoch wandern die Teiltöne unter der Hüllkurve im Takt der Modulationsfrequenz hin und her, wodurch sich deren Amplitude ständig der gegebenen Hüllkurvenform entsprechend ändert. (Fricke 1996, S.214) Dieser Effekt ähnelt durch kontinuierliche Modulation einem Vibrato, wird aber auch beim diskreten Tonleiterspiel ohne Dynamikänderung beobachtet, in dem die Frequenz kontinuierlich steigt, die Formanten aber nach den Formantstreckengesetz nicht mitwandern. (Oehler 2008, S.104)

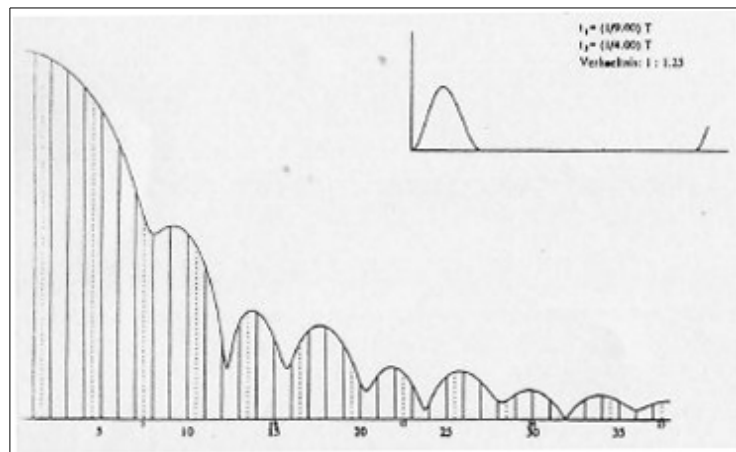


Abb. 2.21: Frequenzmodulation zweier $\sin^2$ -Impulse mit konstanter Impulsbreite für zwei Töne im Quintabstand. Die punktierten Linien stellen die Teiltöne des höheren Tons dar, die um den Faktor 1,5 zu höheren Frequenzen verschoben sind, während die Form der Einhüllenden konstant bleibt. (Blens (1993) in Fricke 1996, S.210)

Bei der in Abb. 2.19 (b) schematisch dargestellten Modulationsvariante ändert sich die Periodendauer T aufgrund der Änderung der Impulsbreite τ , wodurch nur die Pausendauer konstant bleibt. Dadurch werden hier fast alle Parameter laufend verändert, neben der Impulsbreite und der Frequenz auch das Verhältnis τ/T (Oehler 2008, S.104), was genau dem Bild von Schwankungserscheinungen entspricht. (Fricke 1996, S.214) In der Praxis eignen sich für die Analyse und Synthese statistischer, die Anregungsfunktion betreffender Unregelmäßigkeiten der natürlichen Klangerzeugung am ehesten Kombinationen der Varianten (c) und (d), näherungsweise auch Variante (b). (Oehler 2008, S.104)

Es bestätigt sich hier, daß die Simplex-Komplex-Regel, wonach an der Quelle der Klangerzeugung, der Anregungsfunktion, mit möglichst einfachen Mitteln komplexe, der natürlichen Klangerzeugung entsprechende, Strukturveränderungen vorgenommen werden können. D.h. nach dem Minimax Prinzip, mit einfachstem und minimalem Aufwand ein maximaler Effekt erzielt werden kann. (Fricke 1996, S.214) Durch die Impulsformung als allgemeinem Erklärungsmodell für konstante Klangfarben und der Klangerzeugung bei Blasinstrumenten lassen sich also nicht nur natürliche, stationäre Klänge und Schwankungserscheinungen analysieren, sondern auch bereits in der Anregungsfunktion kontrolliert nachvollziehen und mit stark vermindertem Informationsaufwand synthetisieren. (Oehler 2008, S.105)

3 Einblick in die für Blasinstrumente geeigneten Arten der Klangsynthese

Im folgenden soll ein Einblick in die verschiedenen Arten der Klangsynthese gegeben werden, um zumindest die gegebenen Möglichkeiten anzuführen, mit denen Blasinstrumentenklänge prinzipiell synthetisiert werden können. Da es eine sehr große Vielfalt auf diesem Gebiet gibt, deren Systematik und Taxonomie in der Fachliteratur teilweise recht unterschiedlich behandelt wird, soll hier eine Kategorisierung erfolgen, die sich auf diejenigen Syntheseverfahren beschränkt, die in der Vergangenheit zur Synthese von Blasinstrumentenklingen verwendet wurden bzw. auf neuere Verfahren, die sich nach ihrer Art der Synthese zur Erzeugung von natürlich wirkenden Blasinstrumentenklingen überhaupt eignen.

3.1 Spektrale Synthese

Bei dieser Art der analogen Synthese wird rein prinzipiell nur das resultierende Spektrum eines Blasinstrumentenklangs, oder genauer dessen Struktur, mithilfe einer Kombination einzelner Sinusschwingungen unterschiedlicher Amplitude nachgebildet. Die eigentliche Funktionsweise der Klangerzeugung wird hier völlig außer Acht gelassen. Für die Nachbildung von Blasinstrumentenklingen sind diese Syntheseverfahren demnach nur bedingt geeignet. Hier wird deshalb auch nur auf die gebräuchlichsten Arten eingegangen. (Oehler2008, S.110)

3.1.1 Additive Synthese

Nach dem Prinzip der Fourieranalyse, die besagt, daß sich jede periodische Wellenform aus einer Summe von Sinuswellen verschiedener Amplitude und Frequenz zusammensetzen läßt, werden in diesem Verfahren einzelne oder gruppierte Sinusschwingungen aufeinander addiert und zu einem Gesamtklang zusammengesetzt. (Miranda2002, S.50f)

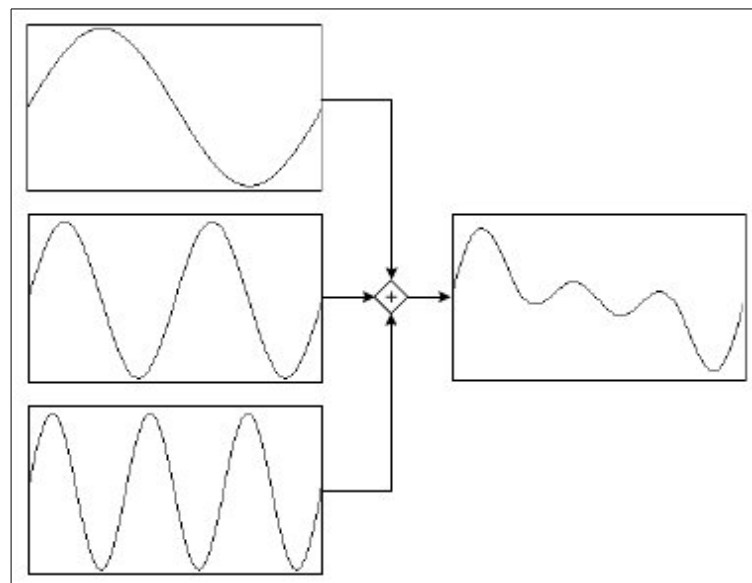


Abb. 3.1: Schematische Darstellung der Erzeugung spezieller Wellenformen durch Aufsummierung einzelner Sinuswellen mittels additive Synthese. (Miranda 2002, S.50)

Oft wird die additive Synthese mit verschiedenartigen Analyseverfahren z.B. STFT (Short Time Fourier Transform), Wavelets- oder Prädiktiver Analyse kombiniert und der Gesamtklang danach aus den Informationen der zuerst analysierten Klänge durch Resynthese erstellt. Im allgemeinen lassen sich mit der additiven Synthese exakte, detailreiche und natürliche Instrumentenklänge erzeugen, sodaß sich eine Nachbearbeitung mit Filtern normalerweise erübrigt. Ein großer Nachteil ist jedoch, daß sich komplexe Klangstrukturen und -verläufe nur unter erheblichem Aufwand erstellen lassen. Schließlich muß für einen zeitlichen Klangverlauf die Amplitude und Frequenz sowie jeder dynamische Phasen- und zeitliche Hüllkurvenwert jedes einzelnen Teiltones exakt bestimmt und verändert werden, um natürliche spektrale Vorgänge realisieren zu können. Eine erhebliche Anzahl von Parametern muß hierbei ständig gleichzeitig geändert werden, wodurch diese Art der Synthese nicht nur schwerfällig in Sachen Handhabbarkeit und Programmierung wird, sondern auch eine enorme Rechenleistung benötigt. (Oehler 2008, S110ff)

3.1.2 Formantsynthese

Eigentlich entstand die Formantsynthese im Zuge der Forschung, die menschliche Stimme, die nachweislich klangfärbende Formanten im Spektrum besitzt, zu simulieren. Zum Beispiel wurde in der Telekommunikation dementsprechend viel geforscht, um die menschliche Stimme indirekt und kostengünstiger über Syntheseparameter zu übertragen anstatt mit dem Originalsignal selbst. In

weiterer Folge zeigte sich aber auch, daß sich das Prinzip der Formantsynthese ebenso für die Erzeugung von Instrumentenklängen eignen würde. (Miranda 2002, S.66)

Ähnlich der additiven Synthese, wird hier das Spektrum durch Zusammensetzung von Sinusschwingungen modelliert und damit ein Instrumentenklang erzeugt. Es werden nur keine einfachen Sinuswellen dafür benutzt, sondern eher formantähnliche Gruppierungen von Teiltönen. Der Ausgangspunkt dieses Syntheseverfahrens ist also auch hier das resultierende Klangspektrum bzw. dessen Formanten. Der eigentliche Entstehungsprozess des Klangs im Instrument wird also auch bei der Formantsynthese nicht berücksichtigt. (Oehler 2008, S.112) Stattdessen werden Oszillatoren eingesetzt, die gezielt Formanten produzieren, um einen gewünschten Hüllkurvenverlauf im resultierenden Klangspektrum zu erzeugen. (Miranda 2002, S.66)

Als Beispiel sei hier das Syntheseverfahren *Fonctions d'Onde Formantique*, kurz FOF, genannt. Es ist eine bis heute bekannte und verwendete Form der Formantsynthese, die von Xavier Rodet entwickelt wurde und Anfang der 1980er Jahre erstmals im Synthesystem *Chant* am IRCAM in Paris zum Einsatz kam. Bei diesem Syntheseverfahren werden als Quellenfunktion beliebig viele Formanten durch ebenso viele einzelne Oszillatoren erzeugt und diese danach zu einem Gesamtsignal zusammengeführt. Dabei erzeugt jeder Formantoszillator Impulsfolgen aus gedämpften Sinuswellen mit fester Impulsbreite und variabler Periodendauer, wodurch das erzeugte Formantgebiet, wie bei der Impulsformung, unabhängig von der Tonhöhe konstant bleibt. Jede Impulsfolge hat dabei ihren eigenen Hüllkurvenverlauf, der die Struktur des daraus entstehenden Formantgebiets bestimmt. Frequenz, Amplitude und der Verlauf der Hüllkurve sind hier also die bestimmenden Parameter. (Oehler 2008, S.112f)

Da die Quellenfunktion bei der FOF keinen direkten Bezug auf den natürlichen Klangerzeugungsprozess nimmt, ist es schwierig, über das resultierende Spektrum unmittelbar auf die Struktur der Hüllkurven der Impulsfolgen zu schließen. Die FOF wäre für die Synthese von Blasinstrumentenklängen prinzipiell gut geeignet, da die bestimmenden Teile der Klangfarbe bereits in der Quellenfunktion erzeugt werden. Deren Vorgang ist aber relativ unspezifisch und abstrakt und läßt dadurch nicht unbedingt eine kontrollierte Synthese zu. (Oehler 2008, S.113f)

3.2 Quellenmodellierung

Die Quellenmodellierung geht von dem Prinzip aus, daß sich ein Musikinstrument allgemein in drei grundsätzliche Einheiten aufspalten läßt: Eine Schallquelle, ein Modifikator (sprich Resonanzkörper), der den erzeugten Schall formt und Kontrollmöglichkeiten (z.B. Tonlöcher) mit

denen der Spieler Einfluß auf den Klangerzeugungsprozess haben kann. Anschaulich läßt sich das speziell für Blasinstrumente darstellen, wo z.B. bei einem Holzblasinstrument ein vibrierendes Rohrblatt (Quelle) mit der Resonanzröhre (Modifikator, Filter) verbunden ist. Das vibrierende Rohrblatt erzeugt Impulswellen, die durch die Resonanzröhre instrumententypisch geformt werden. Durch z.B. Öffnen und Schließen von Tonlöchern lassen sich sowohl Quelle als auch Modifikator beeinflussen. (Russ 2009, S.106)

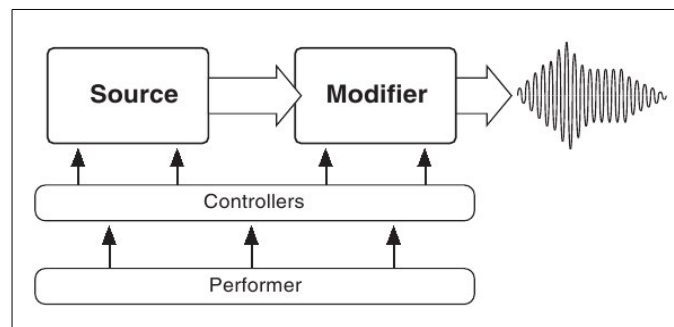


Abb. 3.2: Über Kontrollfunktionen kann der Spieler Einfluß auf Quelle und Modifikator nehmen. (Russ 2009, S.106)

Vor allem für Blasinstrumente ist dies ein intuitives und leicht verständliches Modell. Es geht jedoch im Klangerzeugungsprozess zu wenig ins Detail, als daß es einen solchen schlüssig erklären könnte, was demnach auch dazu führt, daß dieses Modell sich zwar für die Synthese von Blasinstrumentenklangen prinzipiell eignet und auch Verwendung findet, jedoch für z.B. Saiteninstrumente die Sachverhalte nur unzureichend darstellt. (Russ 2009, S. 106)

3.2.1 Simple Quelle-Modifikator-Modelle

Ein weit verbreitetes und überschaubares Arrangement für Analogsynthesizer basiert auf dem Quelle-Modifikator-Modell. Dabei erzeugt mindestens ein Oszillator (VCO-Voltage Controlled Oscillator) zusammen mit einem Rauschgenerator eine rohe Quellfunktion (Anregungsfunktion), die dann in der Modifikatoreinheit durch Filter (VCF-Voltage Controlled Filter) und Verstärker (VCA-Voltage Controlled Amplifier) gesteuert von Hüllkurvengeneratoren (EG-Envelope Generator) die Klangfarbe nach der gewünschten Abstrahlcharakteristik formt. Ein LFO (Low Frequency Oscillator) in der Quelleneinheit soll zyklische Modulation (z.B. Vibrato) simulieren. (Russ 2004, S.130)

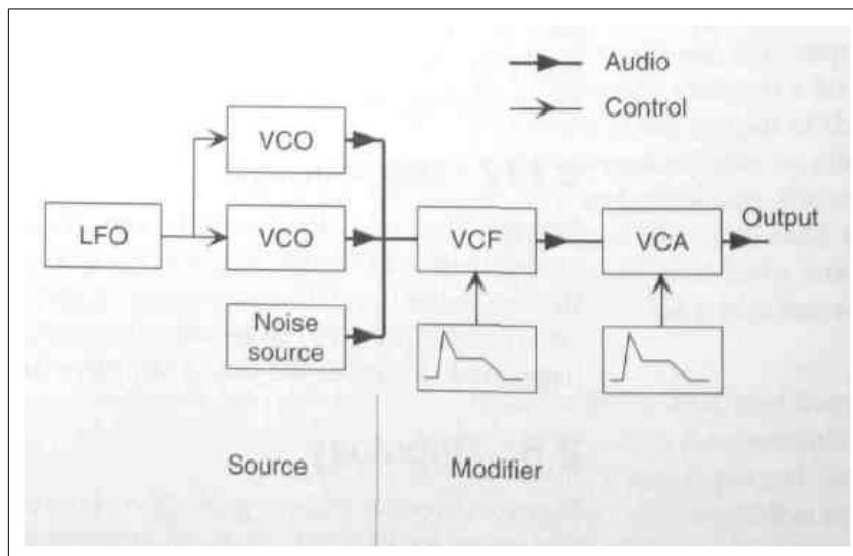


Abb. 3.3: Schematischer Aufbau einer analogen Syntheseeinheit auf Basis des Quelle-Modifikator-Modells. (Russ 2004, S.130)

Abb. 3.3 zeigt einen solchen einfachen Aufbau eines auf dem Quelle-Modifikator-Modell basierenden Analogsynthesizers, der auch aufgrund der leichten Durchschaubarkeit dieses Syntheseverfahrens und der intuitiven Bedienbarkeit solcher Geräte ihren Vorteil widerspiegelt. (Oehler 2008, S.117) Im Grunde eignet sich das Quelle-Modifikator-Modell recht gut dafür, Blasinstrumentenklänge zu erzeugen, schließlich setzt dieses Verfahren ja im Ansatz bei der klangerzeugenden Einheit an. Außerdem war bereits für viele Synthesizer das Quelle-Modifikator-Modell ein gängiges Syntheseverfahren, wodurch diese mit einigen Blasinstrumentenklingen bereits als Presets auf den Markt kamen, was auf eine ausreichend gute Qualität der Ergebnisse dieses Verfahrens hindeutet. Die starre und zu allgemein gehaltene Wellenform der Quellfunktion ist jedoch weniger gut für ein Syntheseverfahren geeignet, speziell im Vergleich zur Impulsformung, die sich an den Schumannschen Klangfarbengesetzen orientiert. Das Quelle-Modifikator-Modell setzt mit mindestens einem Oszillator als Signalquelle zwar bei der klangerzeugenden Einheit an, geht damit aber nicht direkt auf den Klangerzeugungsprozess bzw. auf die Grundzüge der Entstehung der Klangfarbe eines Blasinstruments ein. Als Beispiel wird in Abb. 3.3 ein LFO zur Modulation des Quellsignals benutzt, der aber entweder nur die Frequenz oder die Amplitude der erzeugten Schwingung modifizieren kann. Schwankungen dieser Parameter sind ein grundlegender Faktor für die Konstanz der Klangfarbe (s. Kap. 2.3.7 Klangfarbenmodulation und feinmodulatorische Vorgänge) und für die Klangsynthese von Blasinstrumenten selbst. Egal wie komplex ein System im Vergleich zu Abb. 3.3 aufgebaut ist,

bleiben die Mängel hinsichtlich der Synthese einer natürlichen Klangerzeugung bei Blasinstrumenten vorhanden und hörbar. (Oehler 2008, S.117f)

3.2.2 Subtraktive Synthese

Die meisten Musikinstrumente können vereinfacht als ein System von einem Resonanzkörper, der von einer akustischen Welle mit bestimmten spektralen (und temporalen) Eigenschaften angeregt wird, dargestellt werden. In der Praxis entspricht die Anregung einem breitbandigen nichtlinearen Signal, daß durch den Resonanzkörper geformt wird. D.h. der Resonanzkörper entspricht einem Filter (in der Praxis einer Reihe von Filtern), der das Spektrum des Anregungssignals verändert. Dies wird bei der subtraktiven Synthese simuliert, indem eine breitbandiges Signal (i.e. Rauschen) als Anregungsfunktion entsprechend an einen Filter gelegt wird und dabei verschiedene Frequenzen herausgefiltert, während andere verstärkt werden. Die Filterfunktion kann nach verschiedenen Ansprüchen variiert werden, sodaß das Ausgangsspektrum verschiedenartige Formen annehmen kann. Bei Blasinstrumenten kommt es entsprechend auf die Form und Abmessungen des Resonanzrohrs an, welchen Klang die einströmenden Druckluftimpulse letztendlich erzeugen. Die Klangfarbe wird dann von der Form des Anregungssignals und den Filterspezifikationen bestimmt. In der Praxis werden zur Anregung breitbandige Generatoren verwendet, wie Rauschgeneratoren (über eine großer Bandbreite zufällig verteilte Teiltöne) und Pulsgeneratoren (periodische Wellenform bei bestimmter Frequenz und Teiltönen hoher Energie). Dabei wird die Hüllkurvenform vom Verhältnis Impulsdauer zu Periodendauer bestimmt. Je kleiner das Verhältnis ist, desto schmaler der Impuls und umso größer der Anteil an energiereichen hohen Frequenzen im Spektrum. Der Nachteil an der subtraktiven Synthese ist, daß das Zusammenwirken der nichtlineareren Anregung mit den Filtern nicht berücksichtigt wird, wodurch eine detailreiche instrumententypische Nachgestaltung der Klangfarbe nur unzureichend erfolgen kann. Tatsächlich wird ja bei einem Rohrblattinstrument z.B. die Rohrblattschwingung stark durch Rückkopplungen der Schallwellen aus dem Resonanzrohr beeinflusst. Trotzdem bleibt die subtraktive Synthese ein einfach verständliches und leicht zu handhabendes Syntheseverfahren, daß für manchen Gebrauch auch zufriedenstellende Ergebnisse liefern kann. (Miranda 2002, S.71f)

3.2.3 Wavetable Synthese

Bei der Wavetable-Synthese ist der Speicher der wichtigste Bestandteil. Prinzipiell werden an verschiedenen Stellen im Speicher einzelne Wellen, -teile oder -kombinationen davon abgelegt, um

zur Synthese über einen spezifischen Algorithmus abgerufen zu werden. Jeder benutzte Speicherplatz entspricht dann einer Position in einer Tabelle, daher auch der Name Wavetable. Die einzelnen Speicherplätze können nacheinander, per Zufall oder nach einer streng geordneten Abfolge abgespielt werden, je nachdem welches Ergebnis aus der Synthese der einzelnen Wellenformen erwartet wird oder beabsichtigt ist. (Oehler 2008, S.119f)

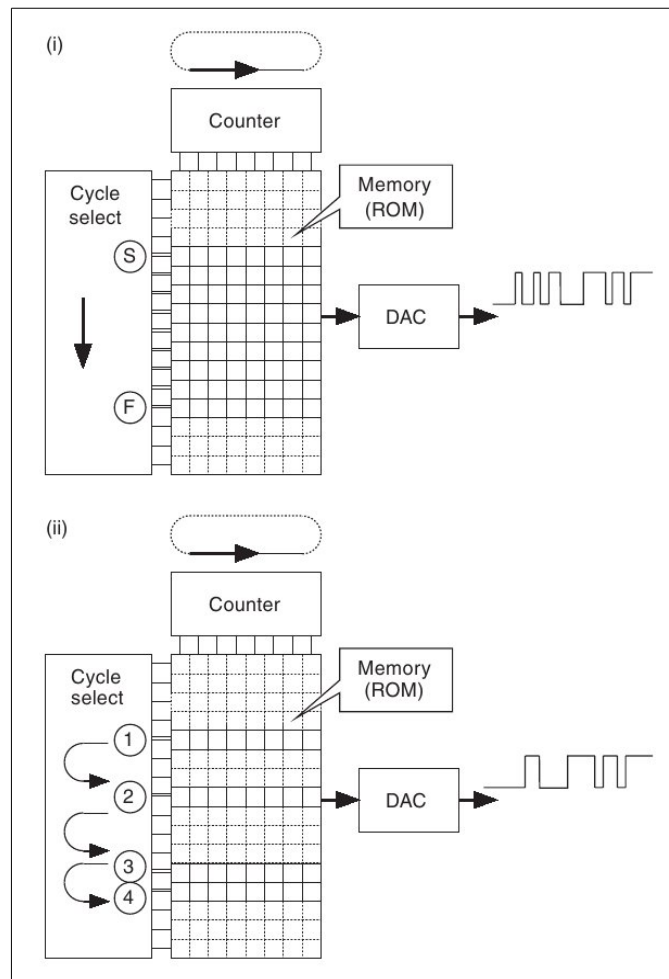


Abb. 3.4: In (i) wird pro gezähltem Durchgang jeder Wellenzyklus von S bis F aus dem Speicher abgespielt und der daraus synthetisierte Klang über den DAC-Wandler ausgegeben. In (ii) werden nur die mit Nummern markierten Speicherplätze nacheinander abgespielt und synthetisiert ausgegeben. (Russ 2009, S.219)

Neben den verschiedenen Möglichkeiten, die einzelnen Speicherplätze anzusteuern, kann auch jeder Speicherplatz mit unterschiedlichstem Klangmaterial belegt werden. Eine Speicherzelle kann dabei einfach periodische Schwingungszyklen (single cycle wavetable) oder mehrfach periodische (multi cycle wavetable) bis hin zu ganzen Sequenzen oder Kombinationen solcher enthalten, um komplexe Wellenformen zu erzeugen. (Oehler 2008, S. 120) Bei der Wavetable Synthese werden pro

Durchlauf nur die jeweils benötigten Wellenformen aus den einzelnen Speicherzellen wiederholt abgerufen. Werden pro Durchlauf wiederholt immer alle Wellenzyklen aus den einzelnen Zellen abgespielt, spricht man von Wavecycle Synthese, einer Sonderform der Wavetable Synthese. (Russ 2009, S.216f)

Die Nachteile der Wavetable Synthese im Bezug auf Blasinstrumentenklänge sind die gleichen wie in Kap. 3.2.1 beschrieben. Zudem kommt noch, daß das Quellmaterial zunehmend unflexibler wird, je umfangreicher der Inhalt der einzelnen Wavetable-Zellen ist. (Oehler 2008, S.120)

3.2.4 Sampling

Seitdem Speicher größer und günstiger zu konstruieren geworden sind, ist auch das Interesse am Sampling gewachsen. Bereits in den 1960er Jahren gab es Instrumente, die mit der Samplingtechnik, also der Wiedergabe aufgezeichneter Klänge, arbeiteten, jedoch in Verbindung mit Bandschleifen und nicht mit digitalem Speicher. Diese große Weiterentwicklung ebnete ab den 1980er Jahren den „herkömmlichen“ Samplern den Weg (z.B. EMU Emulator Serie und AKAI S-Serie), ab den 1990er Jahren wurden diese zu Softwaresamplern (z.B. Steinberg Halion, Native Instruments Contact) weiterentwickelt und zunehmend populärer. Im Gegensatz zur Wavetable-Synthese werden die gespeicherten Einheiten (i.e. Samples) nicht durchgehend, sondern je nach Samplelänge entweder gar nicht oder erst nach einer bestimmten Zeit wiederholt. Oft werden überhaupt nur Ausschnitte aus Samples in eine Schleife miteinbezogen. (Oehler 2008, S.121)

Im allgemeinen lassen sich mit dem Samplingverfahren (v.a. mit modernen Geräten) sehr realistische und natürlich wirkende Instrumentalklangfarben erzeugen. Es ist jedoch sehr aufwändig, gutes Quellmaterial herzustellen. Abgesehen davon, daß die Aufnahmetechnik von größter Qualität sein sollte, müssen schließlich für jede Tonhöhe mehrere Dynamikstufen von ausreichender Dauer aufgenommen werden, da die Qualität des Ergebnisses beim Samplingverfahren direkt von der Auflösung der Einzelklänge abhängt. Hinzu kommt aber noch, daß zwar moderne Softwaresynthesizer darauf ausgelegt sind, große Mengen an Samples abzuspielen, jedoch selbst bei größtmöglicher Auflösung der Einzelklänge die Klangsequenzen starr bleiben. (Oehler 2008, S.121) Dem kann man zwar mit geeigneten Mitteln entgegenwirken. Die für die natürliche Klangwirkung wichtigen Schwankungserscheinungen zwischen den Klangübergängen, die beim Spielen eines Instruments entstehen, können jedoch nicht in der Qualität nachgebildet werden, wie sie im Vergleich etwa bei der Impulsformung schon längst in der Anregungsfunktion beinhaltet sind. (Oehler 2008, S.122)

3.3 Abstrakte Synthese

Die für die Klangsynthese bei Blasinstrumenten wichtigsten Beispiele für abstrakte Syntheseverfahren sind die Amplituden- (AM) und Frequenzmodulation (FM). Im Vergleich zur additiven Synthese (Kap. 3.1.1) ist die abstrakte Synthese deutlich ressourcenschonender, im Vergleich zum Quelle-Modifikator-Modell (Kap. 3.2.1) aber auch beträchtlich uneinsichtiger, bzw. dem Namen nach zu abstrakt. Bezüglich der Klangsynthese bei Blasinstrumenten ist dies aber somit auch schon der größte Nachteil, wenn die Reproduktion des Klangs entsprechend den Schumannschen Klangfarbengesetzen erfolgen soll. Nachdem bis heute immer noch in gängigen Synthesizern mittels AM bzw FM generierte Blasinstrumentenklänge ihren Einsatz finden, sollen diese hier auch erwähnt werden. (Oehler 2008, S.122)

3.3.1 Amplitudenmodulation

Rein prinzipiell wird bei der Amplitudenmodulation ein Audiosignal (Träger, carrier) mit der Amplitude a_c und der Frequenz f_c von einem anderen Audiosignal (Modulator) mit der Amplitude a_m und der Frequenz f_m moduliert. Ein einfaches Beispiel der Amplitudenmodulation zeigen die Abb. 3.5 bis Abb. 3.7.

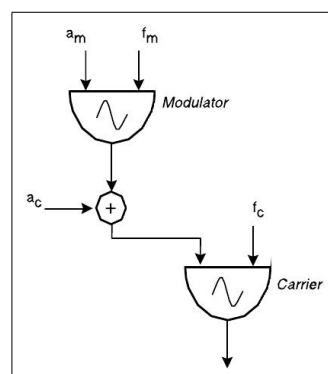


Abb. 3.5: Signalflussdiagramm einer klassischen AM. (Miranda 2002, S.21)

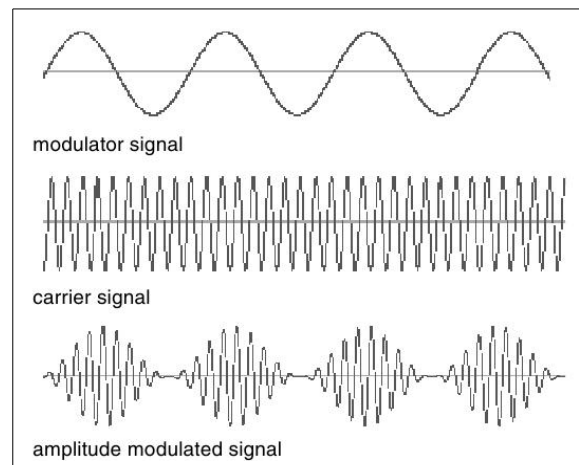


Abb. 3.6: Zeitfunktion einer klassischen AM. (Miranda 2002, S.21)

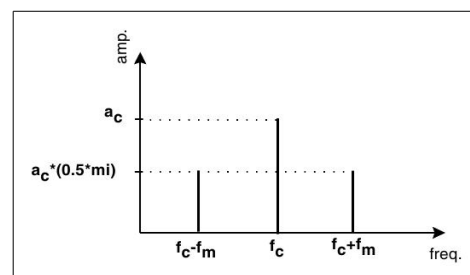


Abb. 3.7: Frequenzfunktion einer klassischen AM. (Miranda 2002, S. 22)

Hier wird neben dem in Abb. 3.5 dargestellten Signalflussdiagramm, in Abb. 3.6 die Zeitfunktion von Modulatorsignal, Trägersignal und dem resultierenden Signal gezeigt, und in Abb. 3.7 das durch diesen Prozess erzeugte Frequenzspektrum veranschaulicht. In Abb. 3.6 ist deutlich zu erkennen, wie das Modulatorsignal die Amplitude a_c des Trägersignals mit seiner Frequenz f_m verändert hat. Dies erzeugt im Frequenzspektrum (Abb. 3.7) zwei Seitenbänder mit den Summen- und Differenzfrequenzen ($f_c - f_m$ und $f_c + f_m$), dabei bestimmt der Modulationsindex mi die Amplitude der Seitenbänder nach $a_c \cdot (0,5 \cdot mi)$ wobei ($mi=1,2,3,\dots$). Ist also z.B. $mi=1$, so ist die Amplitude der Seitenbänder nur halb so groß wie die des Trägersignals. Hörbar bestimmen neben dem Modulationsindex noch die Frequenzen von Träger- und Modulatorsignal, ob die AM dem synthetisierten Klang ein Tremolo oder eine Rauigkeit verleiht oder ob überhaupt ein neuer Klang daraus entsteht. (Oehler 2008, S.122f) Im allgemeinen wird die AM selten an sich als Syntheseverfahren genutzt, sondern eher nur als Effekt innerhalb anderer Verfahren für z.B. einen Tremoloeffekt. Dies aber auch nur bedingt, da sich die reine AM hierfür nur wenig eignet (s. Kap. 2.3.7). Je höher die Modulationsfrequenz desto mehr gibt die AM einem Klang eine hörbare

Rauhigkeit bzw. läßt gleich einen neuen Klang entstehen. Die AM wird dementsprechend wie die FM zur Erzeugung neuer Klangfarben verwendet. Ebenso die Ringmodulation als Spezialfall der AM, nur wird hier die Amplitude des Trägersignals allein vom Modulatorsignal bestimmt (s. Abb. 3.8). Die Frequenz des Trägersignals kommt dann im Frequenzspektrum nicht mehr vor, es bleiben nur mehr die Frequenzen der Seitenbänder übrig (s. Abb. 3.9). (Oehler 2008, S.123f)

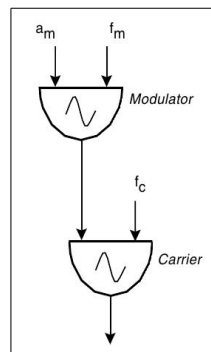


Abb. 3.8: Signalflussdiagramm einer Ringmodulation (Miranda 2002, S. 22)

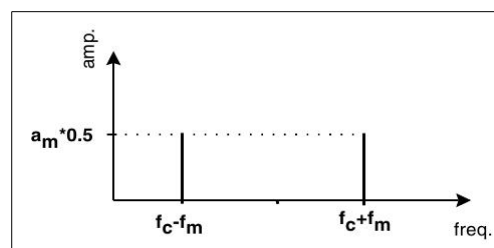


Abb. 3.9: Frequenzfunktion einer Ringmodulation. (Miranda 2002, S.23)

Weiters kann als zusätzliche Variante auch eine Multiplikation der Signale erfolgen, um weitere ringmodulierte Klänge erzeugen zu können. Das Spektrum enthält dann die Summen- und Differenzfrequenzen aller Komponenten der ersten Signalquelle sowie die Frequenzen aller Komponenten der zweiten. (Oehler 2008, S.124)

Die einfache, klassische AM verwendet nur zwei Sinusgeneratoren für jeweils Träger- und Modulatorsignal. Komplexere Varianten der AM können durchaus auch mehr als nur zwei Sinusgeneratoren verwenden. Ebenso können statt Sinusschwingungen auch andere Wellenformen als Träger- oder Modulatorsignal verwendet werden. Je komplexer ein Amplitudenmodulationssystem aufgebaut ist, desto schwieriger wird es, die Beschaffenheit des Ausgangssignals vorherzusagen. (Miranda 2002, S.20)

3.3.2 Frequenzmodulation

Das Prinzip der Frequenzmodulation (FM) ist im Grunde gleich dem der AM, mit dem Unterschied, daß das Modulatorsignal mit seiner Frequenz f_m nicht die Amplitude a_c des Trägersignals moduliert, sondern dessen Frequenz f_c . (Oehler 2008, S.124)

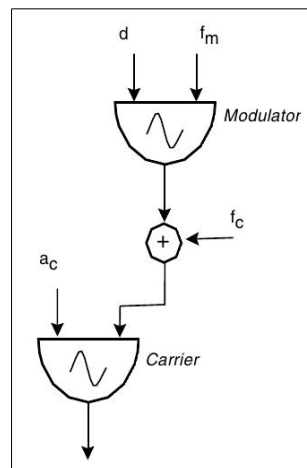


Abb. 3.10: Signalflussdiagramm einer klassischen FM. (Miranda 2002, S.24)

Abb. 3.10 zeigt eine einfache aber effiziente FM Schaltung, mit einem Träger- und einem Modulatoroszillator, mit der sich schon recht verschiedenartige Klänge erzeugen lassen. Es besteht aber auch die Möglichkeit mehrere Oszillatoren auf verschiedene Weise miteinander zu verbinden. Das Ausgangssignal des Modulators wird mit der konstanten Trägerfrequenz f_c überlagert und das Ergebnis dann dazu genutzt, die Frequenz des Trägeroszillators zu steuern. Ist die „Amplitude“ des Modulatorsignals $d=0$, findet keine Modulation statt und das Ausgangssignal des Trägeroszillators ist eine einfache Sinuswelle mit der Frequenz f_c . Ist die „Amplitude“ $d>0$ wird die Frequenz f_c des Ausgangssignals am Trägeroszillator proportional zur „Amplitude“ d moduliert. Die „Amplitude“ d des Modulatorsignals entspricht daher bei der FM einer Frequenzabweichung und wird deswegen in der Einheit Hertz angegeben. Die Auswirkung der Frequenzabweichung d und der Modulatorfrequenz f_m auf das Ausgangssignal des Trägeroszillators wird in Abb. 3.11 veranschaulicht. Beide Parameter haben großen Einfluß auf die Form der Trägerwelle bzw. auf die Periodendauer der Trägerfrequenz. (Miranda 2002, S.24f)

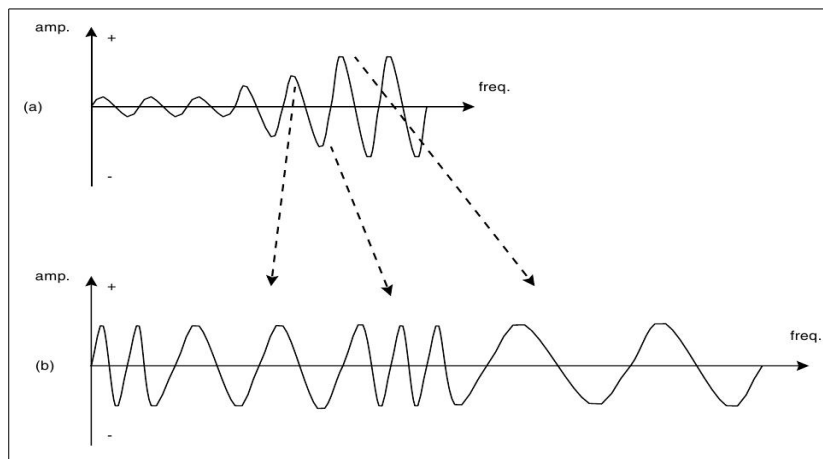


Abb. 3.11: Zeitfunktion einer einfachen FM. Steigt die Frequenzabweichung d wird die Periode des Trägersignals proportional zu d stärker gedehnt und gestaucht. (Miranda 2002, S.25)

Das Frequenzspektrum setzt sich aus der Trägerfrequenz f_c und den resultierenden Seitenbändern zusammen, wobei sich deren Frequenzen mit $f_c + k \cdot f_m$ und $f_c - k \cdot f_m$ (Ordnungszahl $k > 0$) berechnen lassen. (Miranda 2002, S. 26)

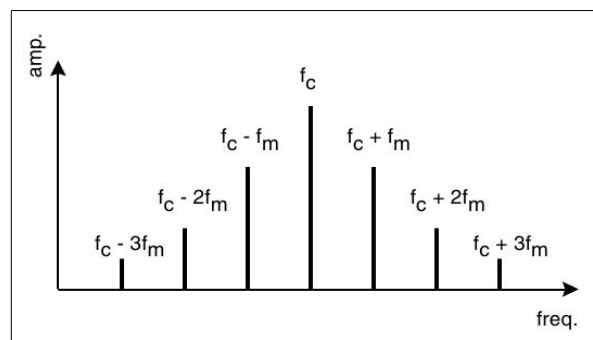


Abb. 3.12: Frequenzfunktion einer einfachen FM. (Miranda 2002, S.26)

Die Anzahl der Seitenbänder und deren Amplituden hängen direkt von der „Amplitude“ d des Modulatorsignals ab. Ist $d=0$ findet keine Modulation statt und es bleibt im Spektrum nur die Frequenz f_c des Trägersignals über. Mit d steigt auch die Zahl der Seitenbänder, jedoch verteilt sich auch die vormals auf f_c konzentrierte Energie auf die Seitenbänder. Über den Modulationsindex $i = d/f_m$ lässt sich die Zahl der Seitenbänder näherungsweise mit $i+1$ vorher bestimmen. Ist z.B. $i=3$, dann werden im Spektrum vier Seitenbänder um f_c vorhanden sein. (Miranda 2002, S.26f)

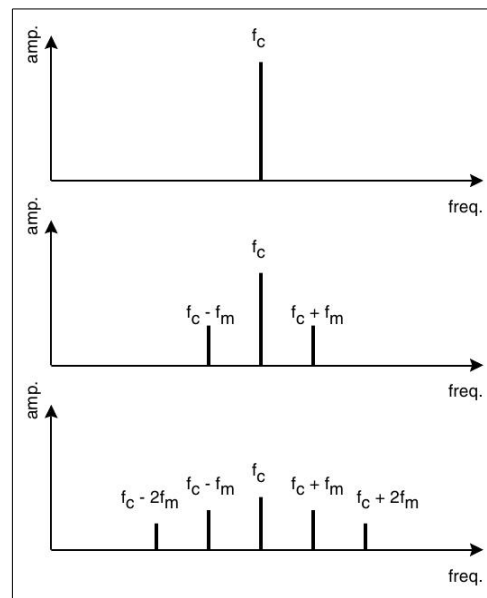


Abb. 3.13: Steigt der Modulationsindex steigt auch die Zahl der Seitenbänder, während sich die Energie des Trägers auf die Seitenbänder verteilt. (Miranda 2002, S.27)

Die Amplituden der Seitenbänder lassen sich im allgemeinen über Besselfunktionen $J_n(x)$ bestimmen. (Miranda 2002, S.27) Hier soll aber nicht weiter auf Besselfunktionen bzw. auf die Berechnung der Seitenbandamplituden eingegangen werden. Näheres dazu ist z.B. bei Miranda (2002) oder Russ (2009) nachzulesen.

Es zeigt sich also, daß sich mit der FM die zeitliche und spektrale Struktur eines Klangs über verschiedene Möglichkeiten bestimmen läßt. Neben dem Modulationsindex i sind das Frequenzverhältnis f_c/f_m und auch die Besselfunktionen für jeden Teilton, gut formbare Parameter mit denen instrumententypische Schwankungserscheinungen (z.B. Vibrato etc.) über einfache mathematische Zusammenhänge das Spektrum derart modifizieren können, daß sie auch dem Schumannschen Formantstreckengesetz entsprechen können. Läßt man das Frequenzverhältnis und den Modulationsindex konstant während man die Trägerfrequenz ändert, ändert sich zwar die Tonhöhe, die spektrale Struktur bzw. die Klangfarbe bleiben aber gleich. Gerade deshalb wurde die FM gerne zur Synthese bei Blasinstrumentenklangen verwendet. Im Vergleich zur Impulsformung hat die FM jedoch das nachsehen. FM setzt nicht beim natürlichen Klangerzeugungsprozess an und verglichen mit der Impulsformung ist für die FM-Synthese doch ein wesentlich höherer Rechenaufwand bzw. sind mehr Anweisungen zu bewältigen, speziell, wenn man im Sinne natürlicher Klangproduktion auch dem Schumannschen Formantverschiebungs- bzw. dem Formantsprunggesetz entsprechen will. (Oehler 2008, S.125f) Lediglich für einen Vibrato-Effekt

läßt sich die FM ganz gut verwenden, sofern man die Modulatorfrequenz unter 20Hz hält. (Miranda 2002, S.24) Wie im Kap 2.3.7 aber bereits geklärt wurde ist die FM als einziger Modulationsparameter für die Produktion solcher Schwankungserscheinungen ungenügend geeignet. (Oehler 2008, S.126)

3.4 Physical Modelling

In derartigen Verfahren wird der Klang nicht selbst synthetisiert, sondern der eigentliche Klangerzeugungsprozess an sich imitiert. Dadurch können im Gegensatz zu den meisten anderen Syntheseverfahren naturgetreue Klänge mit allen möglichen expressiven Elementen (z.B. Atemgeräusche, Gleiten eines Fingers auf einer Saite) realisiert werden. Die Umsetzung der Synthetisierung des physikalischen Klangerzeugungsprozesses kann z.B. über mathematische Formeln, die diesen Klangerzeugungsprozess beschreiben, erfolgen. Dies erfordert jedoch eine hohe Rechenkapazität und ist in den meisten Fällen zu abstrakt und unhandlich. Statt dessen können diese mathematischen Formeln z.B. in eine Art funktionelle Module gepackt werden, aus deren Kombination sich dann im weiteren Instrumentenklang aufbauen lassen. Eine weitere Möglichkeit wäre auch z.B. eine Verfahren mit Filtern und Wavetables. Möglichkeiten gibt es viele, es muß jedoch nicht jede Methode für jeden Instrumentenklang zum gewünschten Ergebnis führen. Das eigentliche Grundprinzip, einen physikalischen Klangerzeugungsprozess mit mathematischen Formeln zu beschreiben und diese zur Klangsynthese zu benutzen, liegt darin, daß sich Systeme mit elektrischen Schwingungen durch Formeln beschreiben lassen, die analog zu den Formeln mechanischer Schwingungssysteme sind. (Miranda 2002, S.69f)

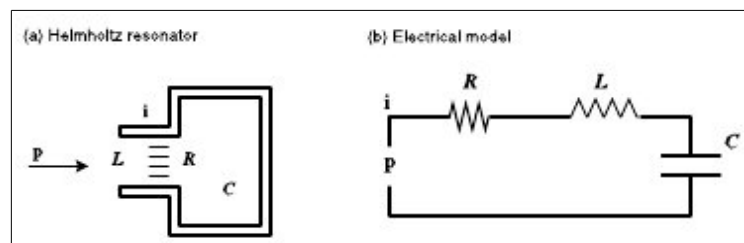


Abb. 3.14: Analogie elektrischer Größen zu mechanischen. (Miranda 2002, S.70)

Im allgemeinen benötigt man für die exakte und ganzheitliche Beschreibung solcher komplexer, physikalischer Schwingungssysteme, aufgrund der vielen relevanten Komponenten eines solche Systems, eine große Menge an Rechenleistung. Um diese zu umgehen wurden verschiedene

Alternativen geschaffen, eine davon ist z.B. die Wellenleitersynthese. (Miranda 2002, S.70)

3.4.1 Wellenleitersynthese

Die Wellenleitersynthese ist verwandt mit der subtraktiven Synthese, hier werden jedoch die Rückkopplungen der stehenden Wellen aus dem Resonator mit der Quelle der Anregung berücksichtigt. Am einfachsten ist die Funktionsweise eines Wellenleiterfilters mit einem Monochord visualisierbar, bei dem eine Saite zwischen zwei Stegen eingeklemmt ist. Wird die Saite an einem Punkt angezupft verlaufen von diesem Punkt aus zwei Wellen in entgegengesetzter Richtung. Erreichen die Wellen jeweils ihre begrenzenden Stege wird dort ein Teil der Energie absorbiert, der andere reflektiert. Treffen die beiden Wellen dann wieder aufeinander entstehen Interferenzen bzw. Resonanzen.(Miranda 2002, S.75)

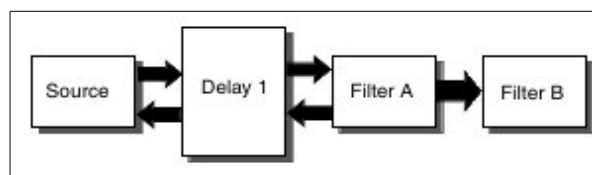


Abb. 3.15: Blockdiagramm eines Wellenleitersystems. (Miranda 2002, S.76)

Abb. 3.15 zeigt das Blockdiagramm eines allgemeinen Wellenleiterfiltersystems. Als Signalquelle (source) dient normalerweise ein Rauschgenerator, der das Eingangssignal über ein Delay zunächst an einen Filter (Filter A) überträgt, der einen Teil der Energie des Eingangssignals an einen weiteren Filter (Filter B) leitet und den anderen Teil über das Delay zurückschickt (reflektiert). Dies entspricht einer Art Hindernis ähnlich einem Tonloch in der Resonanzröhre eines Blasinstruments oder einer gegriffenen Saite. Der andere Filter (Filter B) am Ende der Modulkette formt das Quellsignal durch seine Abstrahlcharakteristik, ähnlich dem Schallsturz eines Blasinstruments. Das über die Filter-Delay-Schleife herumgeführte Eingangssignal, sowie die Modifikationen, die das Eingangssignal über den weiteren Filterweg (Filter B) erfährt prägen eindeutig die Charakteristik des synthetisierten Klangs. Die Wellen, die über die Filterkette vor- und rückwärts laufen, erzeugen klangfärbende Interferenzen und Resonanzen. (Miranda 2002, S.75f)

Das Prinzip der Wellenleitersynthese ist mit den Applikationen der meisten herkömmlichen Syntheseprogrammen kompatibel. Einfache Standardmodule können dabei oft als Bausteine für ein Wellenleiternetzwerk zusammengesetzt werden. (Miranda 2002, S.76)

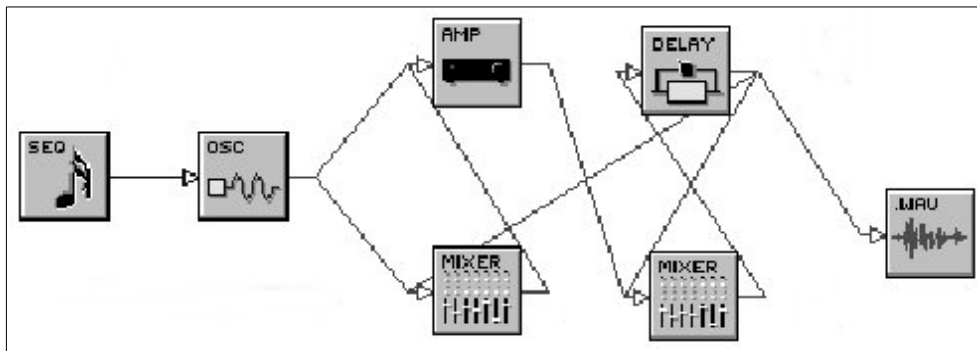


Abb. 3.16: Blockdiagramm einer Wellenleiterschaltung zur Simulation einer einseitig geöffneten Röhre mit Audio Architect. (Miranda 2002, S.76)

Abb. 3.16 zeigt ein Beispiel für eine solche Modulkette für die Simulation einer einfachen, einseitig geöffneten Röhre mit Audio Architect. Entsprechend den physikalischen Gegebenheiten der Klangerzeugung bei einer einseitig geöffneten Röhre repräsentiert ein Oszillator die pulsformig einströmende Luft bzw. dient als Modulator für die reflektierten Schallwellen. Die Schallwellen werden bei einem Blasinstrument an der Öffnung am Ende der Röhre zerstreut. Ein Teil wird nach außen abgestrahlt, der andere Teil wird durch Turbulenzen an der unteren Öffnung reflektiert und läuft zum Mundstück zurück. Dort kann er dann auf ein offenes oder geschlossenes Mundstück (entsprechend der Rohrblatt- bzw. Lippenbewegung) treffen und wird wieder reflektiert. Dieser Vorgang wiederholt sich solange, wie das Instrument angeblasen wird. Dabei kann die reflektierte Welle auf neuerlich einströmende Druckimpulse stoßen (Mundstück offen) oder auf ein geschlossenes Mundstück, je nachdem ergeben sich Interferenzen (Reflexion, Phasendrehung, Auslöschung etc.) wodurch die reflektierte Welle ständig in seiner Amplitude moduliert wird. Dieser Effekt wird mit dem AMP-Modul erzeugt, wobei das Eingangssignal anfangs auf das Filter- (Mixer) und das AMP-Modul geleitet wird, und das Ausgangssignal des Delay-Moduls nicht nur auf sich selbst sondern auch auf das AMP-Modul zurückgeleitet wird. (Miranda 2002, S.76f)

3.4.2 Feder-Masse-Modelle

Eine andere Möglichkeit des physical modelling, um die Eigenschaften akustischer und physikalischer Vorgänge bei Musikinstrumenten zu erfassen, ist ein System aus Federn und Massestücken. Rechnerisch entspricht so ein Feder-Masse-System einem Satz von Differentialgleichungen, deren Lösung die entstehenden Wellen eines solchen Feder-Masse-Systems sind, wenn es in Bewegung ist. Wichtig ist hier der Aspekt, daß Masse und Federkraft (Dämpfung

bzw. Rückstellkraft) wichtige Parameter für die Schwingungen eines solchen Systems sind. Es lässt sich z.B. eine Saite als eine Kombination von durch Federn verbundene Massenstücke darstellen, die im Ruhezustand eine gerade Linie bilden (s. Abb. 3.17). Findet entsprechend einer angeschlagenen Saite eine Auslenkung von mindestens einem Massestück statt, versucht die Rückstellkraft der Feder das Massestück wieder in seine Ruheposition zu bringen und gerät dadurch in Schwingung. Durch die Verbindung des Massestücks zu anderen Massestücken durch Federn werden auch alle anderen Massestücke zum Schwingen angeregt. Das Verhältnis von Masse zu Rückstellkraft bzw. Dämpfung bestimmt dabei die Ausbreitungsgeschwindigkeit der Welle, die Trägheit des Systems und die Zeit, die es braucht, um wieder in den Ruhezustand zurück zu kommen. Oberflächenschwingungen wie beim Fell einer Trommel oder einem Resonanzkörper kann auch durch ein flächiges Feder-Masse-System (s. Abb. 3.18) beschrieben werden. (Miranda 2002, S.80)

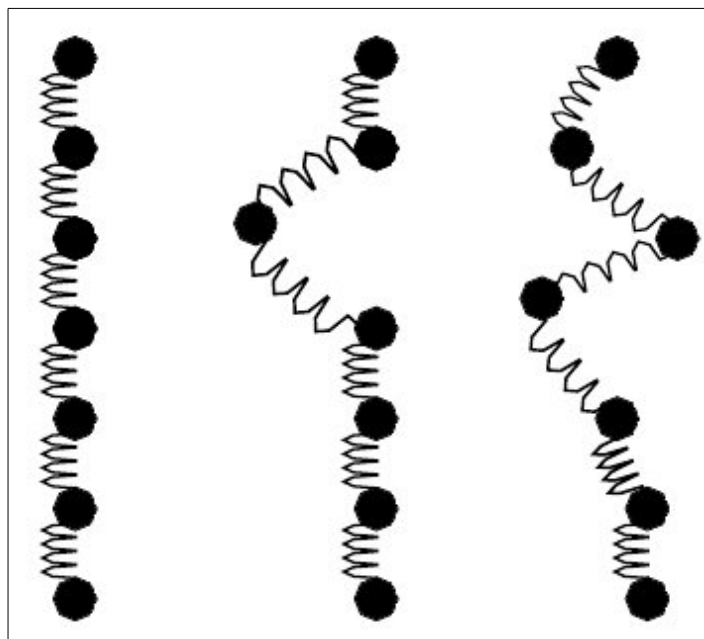


Abb. 3.17: Schematische Darstellung eines Feder-Masse-System zur Simulation der physikalischen Eigenschaften einer in zwei Dimensionen schwingenden Saite. (Miranda 2002, S.81)

Es gibt drei grundlegende Arten des physical modelling. Die allgemeine Form (generic) dient eigentlich dazu rein mechanische Systeme zu simulieren, ist aber flexibel genug, um auch akustische Systeme zu beschreiben. Es fehlen lediglich die nötigen Routinen für akustische Anforderungen, um hoch qualitative Klangergebnisse erzeugen zu können. Dafür gibt es spezielle tools zur Simulation von Musikinstrumenten (dedicated physical modelling systems), die zwar weniger gut für allgemeine Zwecke angewendet werden können, dafür aber ihre speziellen Vorzüge

für Audiomaterial haben. Und letztlich specific physical modelling, das hochwertig fertig simulierte Instrumentenklänge anbietet, die zwar viele Parameteränderungen zulässt, aber nicht die grundlegenden Eigenschaften des vorgefertigten Instruments selbst. (Miranda 2002, S.82)

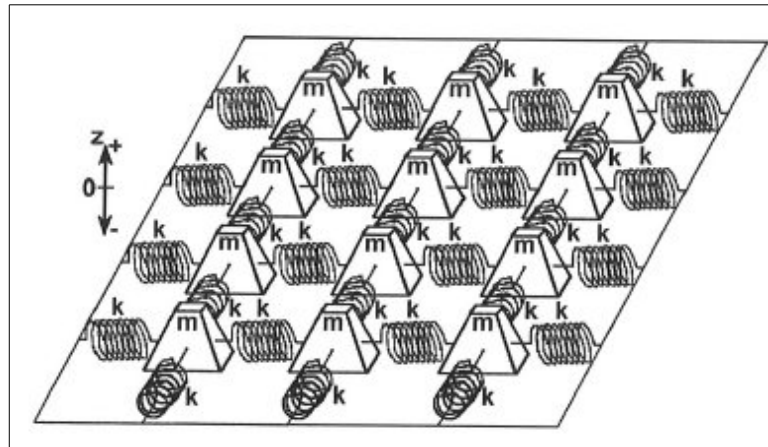


Abb. 3.18: Schematische Darstellung eines Feder-Masse-System zur Simulation der physikalischen Eigenschaften einer in drei Dimensionen schwingenden Membran. Die primäre Auslenkung erfolgt hier in Pfeilrichtung (z_+ und z_-). (Cook 2002, S.132)

Feder-Masse-Modelle eignen sich im allgemeinen gut zur Simulation der Eigenschaften schwingfähiger Systeme bzw. physikalischer Vorgänge im Klangerzeugungsprozess von Blasinstrumenten wie z.B. Lippen- oder Rohrblattschwingungen. Im Vergleich zur Wellenleitersynthese ist jedoch aufgrund der Komplexität solcher Systeme und deren Simulation über digitale Filter zweiter Ordnung eine weitaus höhere Rechenleistung nötig, um den Aufbau eines Blasinstrumentenmodells ganzheitlich erfassen zu können. Feder-Masse-Systeme eignen sich daher eher dafür, nur einen geeigneten Teilaspekt (z.B. die Rohrblattschwingung) eines Musikinstruments zu simulieren und mit z.B. der Wellenleitersynthese zu kombinieren, mit der sich die physikalischen Eigenschaften des Resonanzrohrs effizienter simulieren lassen. (Oehler 2008, S.128)

3.4.3 digitale Impulsformung

Die genauen Eigenschaften, Möglichkeiten und Funktionen der analogen Impulsformung als Syntheseprinzip wurden zwar bereits in Kap 2.3.2 bis Kap. 2.3.7 beschrieben und fallweise in Kap. 3 mit anderen Syntheseverfahren verglichen. Es soll hier aber nochmal zusammenfassend und kurz

auf die Impulsformung als Sonderfall des physical modelling und deren Vorteil eingegangen werden.

Prinzipiell ist das physical modelling, in Hinsicht auf eine natürliche Klangerzeugung, eine auf physikalischen Fakten basierende Methode, und schafft damit eine Qualität, die sich mit anderen, v.a. älteren Synthesemethoden nicht unmittelbar erzielen lassen. (Oehler 2008, S.135f)

Das liegt unter anderem daran, daß der Ausgangspunkt der Impulsformung darin liegt, daß jeder Blasinstrumentenklang in seiner spektralen Struktur auf seine Anregungsimpulse zurückführbar ist. Diese Anregungsimpulse verhalten sich unabhängig von der Grundtonhöhe und konform zu den Schumannschen Klangfarbengesetzen immer nach den gleichen Gesetzmäßigkeiten. Für die natürliche Klangerzeugung sind bei der Impulsformung bereits alle notwendigen Informationen in der Anregungsfunktion (Lippen- bzw. Rohrblattschwingung) enthalten. (Oehler 2008, S.17) Filter oder ähnliche Nachbearbeitungsmöglichkeiten werden nur mehr zur Simulation der Abstrahlcharakteristik benötigt. (Oehler 2008, S.138)

Gerade deswegen und in Hinsicht auf Klangfarbendynamik und Schwankungserscheinungen bietet die digitale Impulsformung den Vorteil, daß zu deren Umsetzung lediglich die Impulsform bzw. Impulsbreite variiert werden muß und sich somit durch minimalen Aufwand maximale Effekte erzielen lassen. Im Vergleich muß z.B. die Wellenleitersynthese in der Anregungsfunktion selbst nicht klingende Parameter wie Anblas- und Lippendruck berücksichtigen und benötigt teilweise schwierig zu konstruierende Filter in den für den Klangerzeugungsprozess so wichtigen bidirektionalen Verzögerungsstrecken, die z.B. die Modulation der reflektierten Schallwellen in der Resonanzröhre simulieren. (Oehler 2008, S.136ff)

Im Zuge der laufenden Digitalisierung des Variophons (Kap. 4.4) wurden die Algorithmen der analogen Klangfarbenmodule aus den frühen 1980er Jahren decodiert und auf eine digitale Plattform transferiert. Vor über 25 Jahren wurden noch Rechteckimpulse zur Impulsformung verwendet, was nicht immer direkt zu der gewünschten Qualität der erzeugten Klangfarben führte. Durch die Digitalisierung konnte das Prinzip der Impulsformung weitaus verbessert werden, da es ab da möglich war die Impulse bis ins kleinste Detail zu formen. Zur Synthese der Anregungsfunktion von Musikinstrumenten können Impulse für ein optimales Ergebnis jede gewünschte Form annehmen, so z.B. auch cosinus- oder sogar polygonartige Impulsformen mit frei wählbarer Flankensteilheit. (Oehler & Reuter 2009, S.193f)

4 Modelle von Blassynthesizern und Blaswandlern

Es soll hier ein Überblick über die verschiedenen Modelle und Stadien der Entwicklung der Blassynthesizer gegeben werden. Ausgehend von den ersten Ideen sowohl in Deutschland als auch später in den USA sollen hier die wichtigsten Instrumente vorgestellt werden. Eine detailreiche Auflistung von Blassynthesizern seit 1956 findet sich z.B. bei Reuter & Voigt (2009).

4.1 Erste Schritte von Ernst Zacharias

Eines der ersten elektronischen Blasinstrumente, das Electronische Bläsle, wurde ab 1956 in ersten Versuchen von Ernst Zacharias entwickelt. Es war der unmittelbare Vorreiter der Electra-Melodica, die Zacharias gemeinsam mit der Firma Hohner 1967 auf den Markt brachte. (Reuter & Voigt 2009, S.236) In einer schriftlichen Mitteilung an Richard Bierl vom 8.10.1963 beschrieb Zacharias das Electronische Bläsle bzw. die Versuche mit denen er seine Ideen umsetzen wollte. Demnach wurde dieses Instrument mit Batterien betrieben und hatte einen kleinen Lautsprecher sowie einen zweistufigen Verstärker eingebaut. Die Griffweise war blockflötenähnlich und der Tonumfang betrug drei Oktaven, zwischen denen ähnlich einer Blockflöte mit dem linken Daumen auf der Rückseite des Instruments umgeschaltet werden konnte. Zur Klangerzeugung benutzte Zacharias zunächst einen Sperrschwinger und dann eine Multivibratorschaltung, die aber beide noch nicht das gewünschte Ergebnis lieferten. Schwierigkeiten hatte Zacharias anfangs nicht nur mit den Tonhöhentasten, sondern vor allem auch mit dem Blaswandler, da es mehrere Versuche benötigte ein System zu finden, daß sich zuverlässig, stabil und dauerhaft in seiner Anwendung zur Umwandlung von Druckluftimpulsen in Spannungsimpulse eignete. Während der ersten Versuche wurde zunächst zur Anregung ein Kolben verwendet, der sich durch das Anblasen auf einer Widerstandsschleifbahn bewegte und damit die Lautstärke regulierte. In weiteren Versuchen verwendete Zacharias zur Anregung verschiedene bewegliche Teile z.B. übereinander verschiebbare Eisenkerne, bewegliche Blenden zwischen Lichtquellen und Fotowiderständen, kapazitive, wie induktive Systeme, ein System aus einer Gummimembran und beweglichen Elektroden, und letztendlich ein System aus einem Phasenschieber-Generator mit Fotowiderständen. (Zacharias 1963ff)

4.2 Electra-Melodica

Zacharias mußte einige Versuche anstellen, um ein seinen Vorstellungen entsprechendes Instrument realisieren zu können. Wichtig war es Zacharias dabei vor allem, daß über die Steuerungsmöglichkeiten die Einzelmerkmale des Klangs wie Lautstärke, Obertonaufbau, Ausgleichsvorgänge und Schwankungserscheinungen unabhängig voneinander verändert werden können. D.h., daß sich der Lautstärkenverlauf nicht auf die Grundfrequenz oder den Obertonaufbau auswirken soll, aber auch umgekehrt durch eine bestimmte Lautstärkenänderung der Obertonaufbau in bestimmter Weise beeinflusst werden kann. (Zacharias 1967, Sp.1) Diese Ideen weisen bereits in Richtung Synthese mittels Impulsformung, die aber erst später bei der Martinetta und dem Variophon umgesetzt wurden. (Reuter & Voigt 2009, S.237) Zacharias war damals schon eine Reihe elektronischer Schaltungen bekannt, mit denen sich die Klänge und die voneinander unabhängige Veränderung ihrer Einzelmerkmale rein prinzipiell durchführen ließen. Die Realisierung scheiterte bislang jedoch daran, daß sich praktisch noch keine Konstruktion finden ließ in der sich sämtliche Klangsteuerungsmöglichkeiten zufriedenstellend kombinieren ließen, ohne auch zu hohe Anforderungen an den Spieler stellen zu müssen. (Zacharias 1967, Sp.1)

Zacharias hatte die Idee, diesen Mangel durch einen Blaswandler zu beheben. Sein Instrument sollte über eine spielwindgesteuerte, pneumatische Spielhilfe verfügen, mit der sich die Steuerungsmöglichkeiten für die einzelnen Klangmerkmale (z.B. Lautstärke) beeinflussen lassen. Nach seiner Idee sollte der Spielwind über ein Zuführungsrohr einen Hohlkörper durchströmen, der luftdicht mit einer Kapseln mit mindesten einer elastischen Wand (i.e. Membran) verbunden ist. (Zacharias 1967, Sp.1f) Abb. 4.1 zeigt eine schematische Darstellung eines solchen Blaswandlers.

Die Ergebnisse seiner Experimente führte Zacharias letztendlich zur Entstehung der Electra-Melodica, eine Erfindung, die er sich 1967 patentieren ließ und mit Hohner in einer Stückzahl von 600 Exemplaren auf den Markt brachte. (Reuter & Voigt 2009, S.236)

Das Instrument an sich entspricht mit seinem dreioktavigen Manual und dem Trompetenmundstück in seiner Spielweise einer Melodika. Die Regelung der Lautstärke erfolgt, wie in Zacharias Patentschrift dargelegt, durch das Anblasen, wodurch eine Membran entsprechend der Druckschwankungen ein darauf montiertes Blättchen auf und ab bewegt und mit diesen Bewegungen mehr oder weniger eine gegenüberliegende Fotozelle abdeckt. (Reuter & Voigt 2009, S.237ff)

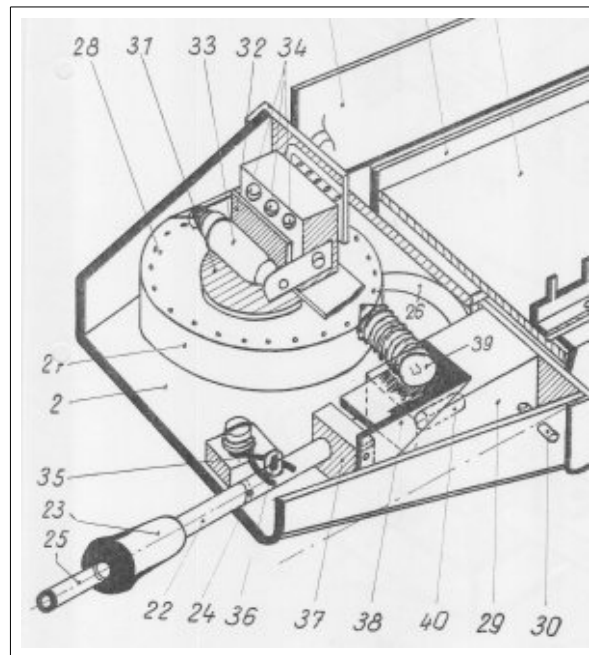


Abb. 4.1: Skizze des für die Electra-Melodica vorgesehenen Blaswandlers. Die über das Mundstück (25) in den flachen Zylinder (28) eingeblasene Luft bewegt korrespondierend zu den Druckschwankungen die Membran (31) auf und ab, wodurch sich das darauf befestigte Blättchen (32) dementsprechend mehr oder weniger zwischen Lämpchen (33) und Fotozellen (34) schiebt und diese verdeckt. (Zacharias 1967, Fig.1)

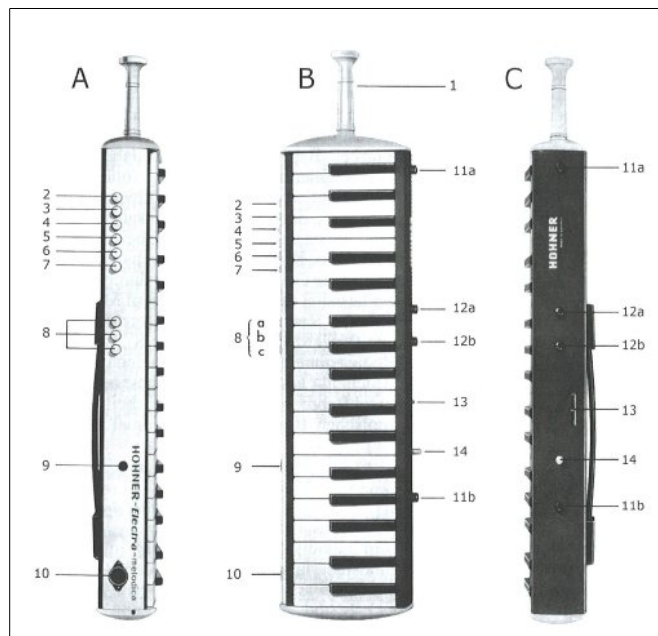


Abb. 4.2: Hohner Electra-Melodica in Seitenansicht von links (A), rechts (C) und oben (B) mit Trompetenmundstück (1), Klangfarbenregisterknöpfe (2-7), Bandpassfilterknöpfe (8a-c), Betriebslampe (9), DIN-Ausgang (10), Stimmregler (11a und b), Vibratoregler (12a und b), Oktavschalter (13) und Wah-Wah-Drücker (14) (Reuter & Voigt 2009, S.238)

Die über eine Multivibratorschaltung erzeugten Klangfarben der Electra-Melodica können über Registerknöpfe angewählt werden. Verfügbar sind die Klangfarben Bassklarinette, Blechbläser, Streicher, Oboe, Flöte und Saxophon. Zuschaltbare Bandpassfilter geben dem Klang eine i-, a- oder u-Färbung, wobei sich die Filtergrenzfrequenz durch einen stufenlosen Druckknopf verändern läßt und für einen „Wah-Wah“-Effekt sorgt (Reuter & Voigt 2009, S.238f), entsprechend einer Trompete oder Posaune, wenn während des anhaltenden Tons der Dämpfer auf- und abgesetzt wird. (Zacharias 1967, Sp.10) Weiters gibt es noch Potentiometer zur Einstellung der Vibratoamplitude und -frequenz sowie zwei Regler zum Stimmen des Instruments, da die Tonhöhenzuordnung noch nicht nach dem Frequenzteilerprinzip erfolgt, daher ist es notwendig in einer mittleren Oktavlage den tiefsten und auch höchsten Ton einzustimmen. Das dreioktavige Manual kann mit einem fünfstufigen Oktavschalter über acht Oktaven von F_2 nach e^5 verschoben werden. (Reuter & Voigt 2009, S.237ff)

Die Electra-Melodica war ihrer Zeit wohl doch ein wenig voraus. Beispiele für ihre Anwendung sind z.B. Yal Zanolfsky von „The Lovin' Spoonful“, der die Electra-Melodica um 1968 spielte und Wolfgang Dauner der sie für verschiedene Jazzprojekte verwendete. Eine allzu große Verbreitung fand die Electra-Melodica zum Ende der 1960er Jahre jedoch noch nicht, und ihre Produktion wurde schließlich nach ca. 600 Stück eingestellt. Die Firma Hohner überlegte an einer Weiterentwicklung zu arbeiten, dies blieb Zacharias jedoch allein selbst vorbehalten. (Reuter & Voigt 2009, S.239)

Als eine solche Weiterentwicklung entstand 1979 die Electra-Clarina, die ebenso melodikaähnlich gespielt wurde. Zacharias baute die Elektronik nach seinen Schaltplänen jedoch aus anderen Schaltungen auf, deren Art und Funktionsweise näher bei Meyer-Eppler (1949) nachzulesen sind. (vgl. Zacharias 1963ff)

In einer Mitteilung vom 7.9.1978 wandte sich Zacharias an die Firma Hohner, um das Konzept der Electra-Melodica mit Verbesserungen durch Bauteile moderner Synthesizer wieder aufzugreifen. Durch das Anblasen soll eine flexible und weit gespannte Dynamik erreicht werden, wie sie sich bei herkömmlichen Synthesizern mit Fußschwellern nur schwer erzielen lassen würden. Ebenso soll durch das Anblasen die Hüllkurve jedes Tons neu geformt werden, was gegenüber handelsüblichen Synthesizern mit Hüllkurvengeneratoren den Vorteil erhöhter Musikalität hätte. (Zacharias 1963ff). Am 7.5.1981 schrieb Zacharias an Hohner, daß die elektronische Ausstattung der weiterentwickelten Electra-Melodica soweit fortgeschritten, daß sie dem Stand eines Analogsynthesizers entsprach und sich keine weiteren Fortschritte mehr ergaben. Zacharias war der Meinung, daß nur mehr eine rein digitale Klangerzeugung unter besonderer Berücksichtigung der

Ein- und Ausschwingvorgänge sowie Schwankungserscheinungen im stationären Klang eine Weiterentwicklung bringen würde. (Zacharias 1967ff)

Mit der Electra-Melodica hatte Zacharias schon die ersten richtungsweisenden Ideen ein elektronisches Blasinstrument nach den Prinzipien der Impulsformungstheorie zu schaffen (Zacharias 1967, Sp.1). Dies wurde jedoch erst 1975 mit der Martinetta von Jürgen Schmitz und 1979 durch die Entwicklung des Variophon durch J.P. Fricke, Jürgen Schmitz und Wolfgang Voigt realisiert. (Reuter & Voigt 2009, S.237)

4.3 Martinetta

Die Martinetta wurde am Musikwissenschaftlichen Institut der Universität Köln von Jürgen Schmitz entwickelt und erstmals am 21.6.1975 während einer Pressekonferenz in Berlin der Öffentlichkeit vorgestellt. (Reichardt 1975, S.1027) Produziert wurde sie von der Ernest Martin KG, woher die Martinetta auch ihren Namen hatte. Mit der Martinetta wurde erstmals der sogenannte „dritte“ Weg der Klangformung beschritten. Bis zum damaligen Zeitpunkt waren nur additive und subtraktive Synthese gebräuchlich, deren Nachteil im Obertonaufbau liegt. Bei der additiven Synthese werden sinusähnliche (Pseudo-Teiltöne) zum gewünschten Klangspektrum zusammengesetzt. Der Nachteil liegt dabei jedoch darin, daß diese Pseudo-Teiltöne der gleichmäßig-temperierten Tonleiter entnommen werden, dadurch aber von den konventionellen und harmonischen Teiltönen des jeweiligen Grundtons in der Tonhöhe etwas abweichen und somit unharmonisch zum Grundton liegen. Bei der subtraktiven Synthese (Kap. 3.2.2) werden im Gegenteil obertonreiche Grundtöne mit echten harmonischen Teiltönen in den Teiltonamplituden durch dem Klangcharakter entsprechende Filter beschnitten. (Reichardt 1975, S.1027f) Für die Entwicklung der Martinetta als Prototyp des Variophons wurde von Schmitz der „dritte“ Weg der Klangsynthese beschritten, der auf der Grundlage von Schumanns Klangfarbenforschung (s. Kap. 2.1 und 2.2), sowie der von Fricke formulierten Impulsformungstheorie (s. Kap. 2.3.2 ff) und den experimentellen Ergebnissen von Voigt (1975) beruhte. (Oehler 2008, S.21f) Die Anregung erfolgte bei der Martinetta über ein kleines Anblasrohr (eigentlich eine Labialpfeife), wonach der Luftstrom elektronisch auf Anblaseffekte und Dynamik impulsmäßig abgetastet und ausgewertet wurde. Durch diese Auswertung sollten die elektronisch erzeugten Töne so beeinflusst werden, daß eine naturgetreue Nachbildung der über Register anwählbaren Instrumentenklangfarben inklusive aller feinmodulatorischen Vorgänge (z.B. Vibrato, Tremolo etc.) entsprechend der Schumannschen Klangfarbengesetze realisiert werden können. (Reichardt 1975, S.1028)

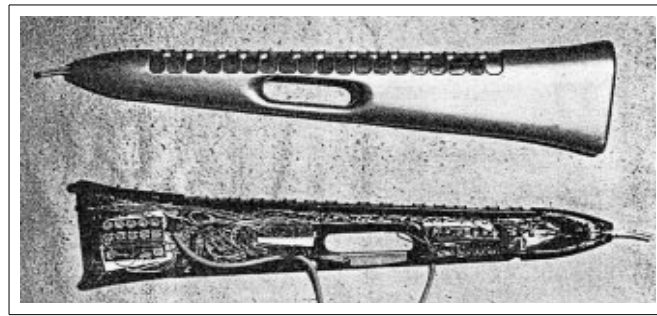


Abb. 4.3: Martinetta in geschlossener Seitenansicht (oben) und offen (unten). (Reichardt 1975, S.1028)

Die Abtastung des angeblasenen Pfeiftones über die Labialpfeife im Anblasrohr erfolgte intern über ein Mikrofon, das die Druckunterschiede in elektrische Spannungsverläufe umwandelte und diese an die interne Impulsgenerierung und die externe Klangerzeugungseinheit weiterleitete. (Oehler 2008, S.22) Die Martinetta war monophon über ein Manual mit 32 Tasten (Berührungskontakte) zu spielen. Über den eingebauten Frequenzteiler konnte die Oktavlage verändert werden und über Register die verschiedenen Klangfarben (z.B. Oboe, Fagott oder Horn) angewählt werden. (Reichardt 1975, S.1028)

Die Martinetta war an sich technisch noch nicht vollständig ausgereift, v.a. der Blaswandler sorgte für Schwierigkeit bzw. genauer, die mit der Luft eingeblasene Feuchtigkeit, die der Labialpfeife selbst und dem Mikrofon schadete. Das Konzept wirkte jedoch viel versprechend und an einer Weiterentwicklung wurde gearbeitet. Daraus entstand um 1979 das Variophon. (Oehler 2008, S.24f)

4.4 Variophon

Um 1978/79 erstand die Firma Realton in Euskirchen die Rechte für das Konzept der Martinetta und übernahm damit auch die Weiterentwicklung in Hauptverantwortung von Jürgen Schmitz und Wolfgang Voigt, sowie Produktion und Vertrieb dieses Blassynthesizers, der schließlich den Namen *Variophon* tragen sollte. (Oehler 2008, S.45) Die Impulsformung als grundlegendes Syntheseprinzip blieb beim Variophon unverändert, man versuchte hauptsächlich die technischen Mängel der Martinetta auszubessern bzw. das Produkt für den Markt attraktiv zu gestalten. Vor allem der Blaswandler wurde stark überarbeitet. (Oehler 2008, S.25) Statt mit Labialpfeife und Mikrofon wurde der Anblasstrom rein elektronisch abgetastet und das fehlende Anblasgeräusch nötigenfalls nachträglich mit einem Rauschgenerator erzeugt. Das hatte jedoch den kleinen Nachteil, daß die Blasstromumwandlung nicht mehr so natürlich und latenzfrei vollzogen werden konnte. (Oehler

2008, S.25f)

Das Variophon läßt sich in drei grundlegende Komponenten aufteilen. Neben dem Tastenblasinstrument (bzw. zusätzlich erhältlicher Klaviatur und eigenem Blaswandler) mit dem Tonhöhe, Dynamik und Schwankungserscheinungen kontrolliert werden konnten, gab es noch die Instrumentenkonsole genannt *Musiccockpit*, die es in drei verschiedenen Varianten (Gig, Standard und Spot) gab und die Module für die verschiedenen Instrumentenklangfarben. (Oehler 2008, S.25)



Abb. 4.4: Verschiedene Variophon-Komponenten: Die Musiccockpits für das Variophon-Spot mit zwei eingesteckten Klangfarbenmodulen (rechts), darunter das Variophon-Gig, mit der optionalen Klaviatur (links) samt eigenem Blaswandler und auswechselbaren Mundstücken, und in der Mitte das Tastenblasinstrument. (Becker 1995, S.92)

Zur Tonhöhensteuerung diente eine chromatische Klaviatur, sodaß das Variophon melodikaähnlich gespielt werden konnte. Statt den Sensortasten der Martinetta wurden Plastiktasten mit einfachen darunterliegenden elektrischen Kontakten verwendet. Zum Anblasen war ein blockflötenähnliches Mundstück auf dem Blaswandler vorgesehen. Auf der Unterseite gab es noch eine Taste für einen Glissando-Effekt, der für ein realistisch wirkendes Spiel maximal eine Terz umspannte. Neben der melodikaähnlichen Klaviatur gab es noch eine Version des Variophon mit Blöckflötenapplikatur,

deren Funktionalität im übrigen gleich der melodikaähnlichen Version war. Für alle Blaswandler-Versionen galt gleichermaßen, daß die Technik gegenüber häufiger Anwendung empfindlich reagierte. Die Tastatur wirkte wenig solide und die Kontakte unter den Tasten sorgten bei längerer Anwendung gelegentlich für Kurzschlüsse oder vielen aus. Das von der Martinetta bekannte Problem, daß mit der Atemluft auch immer Feuchtigkeit in das Instrument kam konnte auch beim Variophon für Fehlfunktionen sorgen. (Oehler 2008, S.26ff)

Das Musiccockpit hatte je Modell unterschiedliche Ausstattung, je nachdem für welchen Zweck es konzipiert war. Die Standard-Version war vor allem für den Heimgebrauch gedacht und hatte dafür als einziges Modell einen 40Watt Verstärker und zwei Lautsprecher eingebaut. Die kompakteste Version (Spot) brauchte wie das, für den professionellen Einsatz entwickelte, Variophon-Gig einen externen Verstärker. Die Standard- und die Spot-Versionen hatten jeweils vier Steckplätze für Instrumentenmodule. Inkludiert waren bei allen Modellen die Klangfarbenmodule Klarinette, Saxophon, Trompete und Posaune. Zusätzlich erhältlich waren noch weitere Module wie z.B. Oboe, Tuba, Fagott, Sopransaxophon und Panflöte. Die Steckmodule wurden per Tastschalter aktiviert, und konnten im Gegensatz zu Spot und Standard beim Variophon-Gig auf den sechs verfügbaren Steckplätzen beliebig miteinander kombiniert werden bzw. ließen sich die Module auch gegeneinander verstimmen, was das Spielen paralleler Intervalle ermöglichte. Alle drei Modelle verfügten über Tasten zum Transponieren, sodaß auch in B, C und Es gespielt werden konnte, sowie über einen dreibandigen Entzerrer, eine LED-Kette und ein Potentiometer zur Kontrolle der Anblasintensität. Wahlweise konnte per Schalter auch ein Dauerton erzeugt werden, wodurch das Instrument auch ohne Anblasen gespielt werden konnte. Allerdings fielen dann auch die damit einhergehenden Modulationsmöglichkeiten weg. Weiters hatten alle Modelle einen zusätzlichen Klinkeneingang zur Einspeisung eines externen Signals, das auch in seiner Eingangsempfindlichkeit justiert werden konnte. Das Variophon-Gig konnte auch statt des Blaswandlers mit 2 ½ oktaviger Tastatur über ein gesondert erhältliches Keyboard mit demselben Tastenumfang gespielt werden. Die für ein Blasinstrument typischen Modulationseffekte konnten dabei über einen zusätzlichen Miniblaswandler realisiert werden, der an den erst später von der Firma Yamaha entwickelten Blaswandler BC-1 erinnert. (Lösener 2003, S.119)

Die Modelle Spot und Standard hatten Stereoklinkenausgänge zur externen Weiterverarbeitung des eigenen Klangs oder auch des über den Eingang vermischten Signals. Hingegen hatte das Variophon-Gig zwei Ausgänge, über die in Mono oder Stereo das eigene oder vermischte Signal bzw. auch pro Kanal einzelne Klangfarben ausgegeben werden konnten. (Oehler 2008, S.29)

Das Variophon-Gig war entsprechend seinem professionellen Status in ein 19-Zoll Gehäuse mit drei

Höheneinheiten eingebaut und hatte weitere Kontrollmöglichkeiten wie Potentiometer zur Regelung der Frequenzmodulation und der Modulation des Obertonspektrums durch die Anblasstärke. Weiters ließ sich der Pegel des Rauschgenerators einstellen bzw. gab es eine Sektion zur Regelung der hohen und tiefen Teiltöne des Instruments mit einstellbarer Formantfrequenz und Formantpegel. (Lösener 2003, S119)

Um möglichst naturgetreue Klangfarben für die Module des Variophon zu schaffen, wurde auf Grundlage der Schumannschen Klangfarbengesetze und der Impulsformung bei Realton intensiv an Klang- und Spektralanalysen gearbeitet. Teilweise war es jedoch nicht so einfach möglich alle gewünschten Klangfarben in allen Details spektral so aufzuschlüsseln, daß auch durchwegs befriedigende Syntheseprodukte erstellbar waren. So ließen sich die Klänge von z.B. Oboe und Fagott gut und einfach synthetisieren, da diese auch annähernd klar strukturierte Spektren aufwiesen. Schwierigkeiten verursachten hauptsächlich die Klangfarben der Blechblasinstrumente, bei denen bis zuletzt auch aufgrund notwendiger Kompromisse nach Ansicht der Entwickler Voigt und Schmitz nur bedingt befriedigende Ergebnisse erzielbar waren. Zu diesen vor allem durch Zeit und Geld erforderlichen Kompromissen zählten damals unter anderem die zur Impulsformung verwendeten Rechteckimpulse, die nicht den tatsächlichen akustischen Vorgängen bei der natürlichen Klangerzeugung von Blasinstrumenten entsprechen (s. Kap. 2.3.6). Dies steht jedoch nicht im Widerspruch zu den Grundsätzen der Schumannschen Klangfarbengesetze und der Impulsformungstheorie, sondern bestätigen diese eher. (Oehler 2008, S.31f) Die Reproduktion einzelner Klangfarben mochte vielleicht nicht in jedem Fall hundertprozentig an den Klangcharakter der zu imitierten akustischen Instrumente heran kommen, aber immerhin hatten sie einen warmen und eigenständigen Analogsound und besaßen im Gegensatz zu starren Samples eine ausdrucksstarke Lebendigkeit. (Lösener 2003, S.119) Über die Kontroll- und Regelmöglichkeiten des Musicockpit in Verbindung mit denen des Blaswandlers konnten bei entsprechender Übung verblüffend echt klingende Bläsersounds erzeugt werden. Die Bläserstimmen des Variophon-Gig klingen im direkten Vergleich zu Sample-Geräten entschieden glaubwürdiger, lebendiger und wärmer. (Becker 1995, S.93)

Das Medienecho auf das Variophon zu seiner Präsentation während der Internationalen Frankfurter Musikmesse (23.2. bis 27.2.1980) war groß, einerseits als Neuheit auf dem Markt andererseits aufgrund seiner innovativen Synthesetechnik, seiner Klänge und instrumentenspezifischen Merkmale (s. Abb. 4.5). So schrieb die Bild-Frankfurt am 21.1.1980 von einem „Tromsaxoboklaripanfagott“ als Weltneuheit und Knüller der aktuell stattfindenden Frankfurter Musikmesse. Die Süddeutsche Zeitung berichtete am 25.2.1980 ebenso über das Variophon als

Weltneuheit und erstem vollelektronischen Blasinstrument, dem große Chancen eingeräumt werden. Es ließe sich mit dem Variophon Oboe, Fagott, Trompete, Saxophon, Posaune, Klarinette und andere Blasinstrumente täuschend echt imitieren und zur Freude der Nachbarn auch über Kopfhörer lautlos üben. (Becker 1995, S.93)



Abb. 4.5: Pressestimmen zur Präsentation des Variophon an der Frankfurter Musikmesse 1980. (Becker 1995, S.93)

Beachtung fand das Variophon nicht nur aufgrund seiner Neuartigkeit, sondern in Folge vor allem auch aufgrund seiner Anwendung durch namhafte Interpreten in der Pop- und Rockmusik. Bekannte Musiker und Bands wie z.B. Led Zeppelin (John Paul Jones), Oscar Peterson, Joan Armatrading, Talk Talk, Novalis, Greenslade aber auch Heino fanden in mancher ihrer Produktionen Verwendung für das Variophon. Trotzdem sah sich die Firma Realton zu Beginn der 1980er Jahre mit dem Problem konfrontiert, daß multinationale Konzerne mit u.a. wiederaufbereiteten Syntheseverfahren relativ günstig Synthesizer und Sampler für den Massenmarkt produzierten. So etwa die Firma

Yamaha, die 1983 den auf FM-Synthese basierenden DX7 herausbrachte, oder auch die Sampler von Akai und EMU zu dieser Zeit auf den Markt kamen. Realton versuchte zwar mit einem eigenen Synthesizer (SSAP-Zero) am Wettbewerb mitzuhalten, hatte aber letztlich nicht die Mittel und Möglichkeiten, diesen auch erfolgreich zu bestreiten. (Oehler 2008, S.34)

4.5 Lyricon

Zu Beginn der 1970er Jahre war der Markt was Blasssynthesizer betrifft noch sehr überschaubar. Voigt und Schmitz beobachteten während der Entwicklungsphase des Variophons in der Anfangszeit der Realton recht aufmerksam den Markt. Erhältliche Blasssynthesizer waren neben der Electra-Melodica der Firma Hohner noch das von Nyle Steiner entwickelte EVI und das Lyricon. (Oehler 2008, S.36) Das von William Bernardi und Roger Noble entwickelte Lyricon war ein analoger Blasssynthesizer mit Bassklarinettenmundstück und hatte zur Tonhöhensteuerung eine spezielle Griffweise nach Art eines modifizierten Böhmssystems. Für das Lyricon I wurde noch additive Synthese (Kap. 3.1.1) zu Klanggenerierung benutzt, der Blaswandler funktionierte optoelektronisch und zudem verfügte die Spieleinheit (Lyricon Body) auch noch über einen Lippendrucksensor. Verbunden mit der Konsole (Lyricon Console) standen noch zahlreiche Klangbearbeitungsmöglichkeiten zur Verfügung. Das erste Lyricon-Modell wurde in einer Menge von ca. 300 Stück von der Firma Computone ab 1972 in den USA produziert und auch vertrieben. Die Klangerzeugung des Nachfolgemodell Lyricon II basierte auf subtraktiver Synthese (Kap. 3.2.2) und wurde in einer Serie zu ca. 5000 Stück produziert. Wie das Variophon-Gig später war das Lyricon II auch zweistimmig zu spielen. Vor dem Lyricon II wurde noch eine separate Spieleinheit entwickelt (Wind Synthesizer Driver), die ähnlich der Keyboard/Blaswandler Kombination des Variophon, mit der in Spannungswerte umgewandelte Parameter wie Lippendruck, Anblasdruck und Tonhöhe an beliebige Synthesizer ausgegeben und diese damit angesteuert werden konnten. Ab 1980 übernahm die Firma Selmer die Weiterentwicklung und den Vertrieb des Lyricon, woraus letztlich noch das Lyricon-MIDI entstand. Es gab auch eine Reihe namhafter Nutzer so z.B. Ian Anderson (Jethro Tull), Wayne Shorter (Weather Report) oder Lenny Pickett (Tower of Power). Trotzdem konnte sich das Lyricon nicht auf Dauer am Markt halten. Einerseits richtete sich das Lyricon im Gegensatz zum Variophon in erster Linie an Musiker mit Blasinstrumenten-Erfahrung, da nicht nur das Bassklarinettenmundstück, sondern auch die spezielle Grifftechnik etwas Können voraussetzte. Andererseits ließ die Qualität der synthetisierten Klangfarben etwas zu wünschen übrig. (Oehler 2008, S.38)

4.6 EVI und EWI

Erste Ideen zum Konzept eines Synthesizers mit der Handhabung einer Trompete hatte Nyle Steiner, selbst Trompeter und Elektronikingenieur, bereits 1964. Mit der Entwicklung begann Steiner dann 1971 bis 1972 der Prototyp des EVI (Electronic Valve Instrument) fertig war. Zusammen mit seinem Kollegen Dick Parker gründete er 1974 in Salt Lake City die Synthesizer Design Firma Steiner-Parker Inc., welche 1975 das EVI samt Klangerzeugungseinheit basierend auf subtraktiver Synthese (Kap.3.2.2) auf den Markt brachte und bis 1979 ungefähr 200 Stück davon verkaufte. Die ersten EVIs hatten noch nicht den heutigen Umfang an Steuerelementen. Abgesehen von einer on/off-Funktion durch Anblasen zur Tongenerierung in einem Synthesizer, gab es noch einen drehbaren Zylinder als Oktavschalter am unteren Ende des EVI und drei Drucktasten zur Tonhöhenwahl auf der Oberseite des EVI entsprechend der Ventile einer akustischen Trompete. Bis zum Ende der 1970er Jahre wurden die Steuerfunktionen noch um eine Dynamikkontrolle über den Anblasdruck, einen Schalter für Vibrato, einen Bißsensor für portamento-Effekte und eine pitch-bend Funktion erweitert. 1979 löste sich die Steiner-Parker Inc. auf und Nyle Steiner, der die gesamten Rechte auf das EVI inne hatte, begann für die nächsten fünf Jahre mit dem italienischen Synthesizerhersteller Crumar zusammenzuarbeiten. 1980 wurde das „Crumar EVI“ mit denselben bisher verfügbaren Funktionen auf den Markt gebracht und verkaufte sich ungefähr 500 Mal. (Cole 1998, S.1ff)



Abb. 4.6: Crumar EVI samt Transportkoffer, Netzteil und Klangerzeugungseinheit. (Becker 1995, S.69)

Nachdem 1982 MIDI als Standardprotokoll für Synthesizer am Markt eingeführt wurde und alle bisherigen Geräte nicht MIDI-fähig waren, fertigte die Firma JL Cooper Electronics (<http://www.jlcooper.com>) MIDI-Adapter bzw. geeignete Software für verschiedene Synthesizermodelle an. Steiner erreichte bei JL Cooper, daß auch für das EVI ein Adapter konstruiert wurde, wodurch das EVI auch MIDI-Funktionen wie note on/off, aftertouch, pitchbend, und breathcontrol zur Verfügung hätte. Die Firma Crumar modifizierte dahingehend jedoch nie selbst das EVI, es wurde auch nie ein anderes Modell des EVI entwickelt, diese Weiterentwicklung blieb Nyle Steiner selbst vorbehalten. Crumar stellte schließlich 1984 die Produktion des Crumar EVI ein. Nach seiner Kooperation mit Crumar setzte Steiner nicht nur die Weiterentwicklung des EVI fort, sondern begann auch mit der Entwicklung des „Steinerphones“, das der Prototyp des EWI (Electronic Woodwind Instrument) war. Das Steinerphone wurde mit der Elektronik des EVI versehen und nach dem Konzept eines Holzblasinstruments, ähnlich einem Saxophon, gebaut. Die nachempfundene Böhmgriffweise verlangte demnach auch mehr Tonhöhentasten, weswegen Steiner platzsparende Kurzschlußschalter einbaute, statt ventilähnlicher Drucktasten. Um beim EVI ebenso Platz zu sparen baute er auch dort Kurzschlußschalter ein, wodurch er neben den drei Kurzschlußschaltern für die Tonhöhe zusätzlich noch „trill keys“ am EVI einbauen konnte, mit denen man leichter bestimmte Töne anspielen bzw. zwischen denen man auch leichter Triller spielen konnte. Die bis 1986 entwickelten EVI und EWI Produktversionen verkaufte Nyle Steiner an die japanische Firma AKAI, die nach weiteren Entwicklungsschritten beide Modelle als reine MIDI-Controller mit den Namen EVI-1000 und EWI-1000 samt zugehörigem MIDI-Synthesizermodul EWV-2000 auf den Markt brachte. (Cole 1998, S4ff)



Abb. 4.7: AKAI EVI-1000 (unten), EWI-1000 (Mitte) und Synthesizer EWV-2000 (oben). (Cole 1998, S.11)

Das EVI-1000 verkaufte sich ca. 2000 Mal, das EWI-1000 im Vergleich jedoch um ein vielfaches mehr, weswegen Akai die Produktion des EVI-1000 mit 1990 einstellte und stattdessen das EWI weiterentwickelte. Es folgten das EWI-3000, das zwischen 1990 und 1995 auf den Markt kam, und ab 1995 das neue Modell EWI-3020. (Cole 1998, S.7) Die Begründung, daß sich das EWI besser verkaufte lag wohl darin, daß die Griffweise und Handhabung des EWI eher der eines akustischen Holzblasinstruments entsprach und für Instrumentalisten somit einen leichteren Zugang schaffte. Das EVI sollte zwar ein MIDI Controller speziell für Trompeter sein, entsprach in seiner Umsetzung aber nicht unbedingt den gängigen Spielgewohnheiten. Schließlich hat eine Trompete z.B. keine „trill keys“ und auch keinen drehbaren Zylinder, mit dem man die Oktavlage anwählen kann. Das EVI konnte zur Tongebung auch nicht direkt angeblasen werden. Das Mundstück ist luftdicht, die Luft zum simulieren des Anblasens strömt zum größten Teil an der Außenseite vorbei, was für Trompeter eher ungewöhnlich ist, wenn man gewohnt ist die Tonhöhe nicht nur durch Griffmuster sondern auch durch die Art des Anblasens zu steuern. Nyle Steiner arbeitete später an seinem EVI selbständig weiter und entwickelte bis 1998 eine reine MIDI Version. Dieses MIDI EVI fertigt er bis heute nur noch speziell auf Anfrage eigenständig an. (Cole 1998, S.8f)

Aktuell hat Akai das EWI-4000s seit Ende 2005 auf dem Markt, das gegenüber seinen Vorgängermodellen einige Neuerungen zu bieten hat. Die grundlegendste davon ist wohl die, daß das EWI-4000s neben der MIDI-Funktion noch mit einem eigenen Soundmodul (Analog Modelling Synthesizer) ausgestattet ist, der vermutlich auf subtraktiver Synthese (Kap.3.2.2) basiert. Zusätzlich verfügt das EWI-4000s noch über Funktionen wie „Octave“ und „Hold“, was auch zweistimmiges Spiel zuläßt, und eigene digitale Effekte wie Reverb, Chorus und Delay. Sämtliche Einstellungen lassen sich über die mitgelieferte Software an einem Computer über MIDI modifizieren und am EWI-4000s speichern.²

2008 kam eine kleinere und günstigere Version, das EWI-USB, auf den Markt. Es ist eigentlich mehr ein USB-Controller, und hat demnach im Gegensatz zum EWI-4000s kein eigenes, integriertes Soundmodul, sondern muß entweder über USB einen Computer mit Software-Synthesizer oder per MIDI einen anderen Synthesizer ansteuern. Das EWI-USB kann deshalb, und weil es auch keine eigene Stromversorgung hat, nicht schnurlos betrieben werden.³

² <http://www.patchmanmusic.com/ewi4000s.html> (Zugriff: 25.1.2013)

³ <http://www.patchmanmusic.com/ewiusb> (Zugriff: 25.1.2013)

Die Anwendung des EVI betreffend, soll hier nur ein Beispiel aus der Filmmusik erwähnt werden. Nyle Steiner wurde als Trompeter und elektronischer Musiker für Arbeiten zur Musik mehrerer Filme engagiert. (s. Cole 1998, S.70ff). Speziell setzte er jedoch das EVI vor allem 1979 bei den Arbeiten zu Francis Ford Coppolas Film „Apocalypse Now“ ein. Der Soundtrack sollte eine Mischung aus zeitgenössischer Populärmusik und symphonisch wirkenden, experimentellen Synthesizersounds sein. Um die Dramatik der Szenen zu unterstreichen, sollte der Soundtrack in der szenentypischen Geräuschkulisse eingebettet werden. Nyle Steiner wurde zusammen mit Patrick Gleeson, Don Preston und Bernie Krause die Aufgabe zuteil, die konventionell komponierte Partitur dementsprechend mit Synthesizersounds zu erweitern. (Moog 1980, S.260ff)

Eine detailreiche Auflistung zur Anwendung des EVI durch verschiedene Interpreten in Film und Musik kann z.B. bei Cole (1998) nachgelesen werden.

4.7 Syntophone

Martin Hurni entwickelte 1981 das Synthophone, das bis heute von der Schweizer Firma Softwind produziert und vertrieben wird. Der frühe Prototyp war zunächst noch eine Art Böhmlöte aus Holz, mit der ein Synthesizer angesteuert werden konnte. Etwas später verwendete Hurni stattdessen ein echtes Alt-Saxophon (Yamaha Altsaxophon YAS-25), in dem auch ab Mitte der 1980er Jahre die gesamte MIDI-Technik untergebracht war. Dieses MIDI-Saxophon verfügte über ein spezielles, nicht schwingendes, Rohrblatt zur Abtastung des Lippen- und Anblasdrucks sowie über Drucksensoren für alle 22 Tasten, und gestattet daher im Vergleich zu anderen Blassynthesizern für Saxophonisten eine mehr oder weniger natürliche Spielweise. (Oehler 2008, S.41f)

4.8 Physical Modelling und die WX-Serie

Seit dem Variophon, dem Lyricon und der Weiterentwicklung des EVI bzw. EWI nach deren Übernahme von Akai Mitte der 1980er Jahre, haben sich betreffend Syntheseverfahren und Kontrollmöglichkeiten keine wesentlichen Neuerungen ergeben. Einzig die von der Firma Yamaha Anfang der 1990er Jahre in Zusammenarbeit mit der Stanford University entwickelten physical modelling (Kap. 3.4.) Synthesizermodule (z.B. VL1, VL7, VL70m etc.) sind neuartig. (Oehler 2008, S.42f) Gemeinsam mit den seit 1993 von Yamaha produzierten physical modelling Synthesizern, die prinzipiell von jedem beliebigen MIDI-Interface angesteuert werden können, bildet die WX-Serie bis heute eine einzigartige Kombination im Bezug auf

Blasinstrumentensynthese. Die grundsätzliche Funktionsweise und die genaueren Ausstattungsmerkmale der einzelnen Controller WX7, WX11 bis zum aktuellen WX5, haben sich über die Zeit seit dem Lyricon nicht grundlegend verändert. Es war damals jedoch ein sehr großer Schritt nach vorne, daß mit dem physical modelling seit der Impulsformung erstmals wieder ein auf den natürlichen Klangerzeugungsprozess orientiertes Syntheseverfahren zum Einsatz kam. Parameter wie Anblas- oder Lippendruck dienen hier nicht mehr der einfachen Steuerung von Filtern oder Verstärkern wie bei früheren Blassynthesizern, sondern werden hier als physikalische und physiologische Parameter wahrgenommen und auch direkt zur Klangerzeugung genutzt. (Oehler 2008, S.43f)

Die meisten seit den 1990er Jahren entwickelten Blassynthesizer und Blaswandler sind eigentlich nur MIDI-Controller und waren größtenteils nur kurz und in stark beschränkter Stückzahl auf dem Markt, sodaß sie in der Geschichte der Blassynthesizer kaum eine Rolle spielen. Beispiele dafür mit Blockflötenapplikatur sind etwa der MidiWind MW-1 von Innovations Fm7 und der MIDI Recorder SRW-100 von Suzuki, das saxophonähnliche MidiSax SX-01 von Artisyn oder der klarinettenähnliche Sting von SSSound Co Ltd. Wobei das Modell EW2 ein reiner MIDI-Controller war und der EW1 ausgestattet mit dem Blaswandler des EW2 in Kombination mit einem externen Soundmodul basierend auf subtraktiver Synthese (Kap.3.2.2) erhältlich war. Beispiele für Blassynthesizer mit integriertem Klangerzeuger (meist subtraktiv oder mit aufgezeichneten Klängen) und Lautsprecher, die oft weniger für den professionellen Gebrauch konzipiert waren sind z.B. die Yamaha Easy Trumpet EZ-TP mit USB-Anschluss, die ab 2004 erhältlich war, bzw. die von der Firma Casio seit den 1980er Jahren hergestellte Digital Horn Serie mit dem DH-10, DH-20, DH-100, DH-200, DH-500 und DH-800. (Oehler 2008, S.42ff)

In Summe ist der Marktanteil an Blaswandlern und Blassynthesizern im Vergleich zu sonstigen Synthesizern ziemlich gering. Viele der bisher genannten Geräte sind längst nicht mehr erhältlich. Kleinere, unabhängige Hersteller wie Softwind (Synthophone) bzw. Nyle Steiner mit seinem MIDI-EVI konnten sich aus verschiedenen Gründen halten. (Oehler 2008, S. 43) Zu erwähnen wären noch die deutsche Firma Deger Pipes, die seit dem Jahr 2000 bis heute einen dudelsackähnlichen (Chanter) Blassynthesizer anbietet, der auf wavetablesynthese (Kap. 3.2.3) basiert, sowie die von Steven Marshall in Kooperation mit James Morrison entwickelte Morrison Digital Trumpet (MDT), die sich seit 2003 als reiner MIDI-Controller auf dem Markt befindet. (Reuter & Voigt 2009, S. 241) Sonst leisten sich nur noch marktführende Firmen wie Akai und Yamaha kleine Produktlinien auf diesem Segment. So sind z.B. heute nur mehr die Modelle EWI 4000s und EWI-USB von Akai

bzw. von Yamaha der WX5 neu zu kaufen. (Oehler 2008, S.43)

4.9 Blaswandler

Blaswandler werden hier nur nebenbei erwähnt und nicht näher erläutert, da sie im Gegensatz zu Blassynthesizern zur Art der Klangerzeugung an sich keine weiteren Kontrollmöglichkeiten (z.B. Mundstück mit Lippensensor oder Schalter für Vibrato, pitchbend etc.) oder grundlegende Funktionen (z.B. Tasten oder Klappen zur Wahl der Tonhöhe etc.) besitzen. Sie dienen lediglich der Abtastung des Anblasstroms, wodurch ein externer Synthesizer bzw. Controller angesteuert werden kann.

Größere Verbreitung fanden z.B. die Blaswandlermodelle der BC-Serie von Yamaha (BC1, BC2, BC3 (A)), wobei die Produktion des letzten davon erhältlichen Modells dem BC 3 mit Oktober 2011 eingestellt wurde. Weiters erwähnenswert wäre noch von Akai der X335 sowie von Casio der BFC-1 für die hauseigenen Keyboards CT-420V und MT-400V. Für kurze Zeit war auch noch Anfang der 1980er Jahre der Crumar/Steiner Master's Touch erhältlich. Es war ein von Nyle Steiner entwickelter Blaswandler für Keyboardsynthesizer der auch einen Bißsensor und einen Fingersensor für Vibrato hatte.⁴

Starr Labs bietet seit 1993 MIDI Guitar Controller an, wovon einige der aktuellen Modelle (Z5-S, Z6-S, Z6, Z7-S) mit einem Blaswandler erweiterbar sind. (www.starrlabs.com)

Eigenlabs entwickelte 2009 den Eigenharp Controller mit der Möglichkeit einen eigenen Blaswandler anzuschließen. (www.eigenlabs.com)

⁴ <http://www.patchmanmusic.com/WindControllerFAQ.html> Zugriff: (5.11.2012)

5 Zusammenfassung

Durch die Klangfarbenforschung wurde die Impulsformung ab 1975 (s. Kap. 2.3.2 bis 2.3.7) als erstes an der Anregungsfunktion orientiertes Syntheseprinzip entwickelt. Dieses kann mit geringem Aufwand überzeugend natürlich wirkende Klangfarben von Blasinstrumenten erzeugen, kam bislang aber nur bei der Martinetta (s. Kap. 4.3) und dem Variophon (s. Kap. 4.4) zur Anwendung. Anfang der 1990er Jahre wurden die ersten Physical Modelling Synthesizer (VL-Serie von Yamaha) entwickelt und zur Synthese von Blasinstrumentenklingen eingesetzt. Physical Modelling (s. Kap. 3.4), das sich ebenso über verschiedene Zugänge am natürlichen Klangerzeugungsprozess orientiert, ist ein ähnlich effektives, praktikables und zukunftsweisendes Syntheseprinzip wie die Impulsformung. Eigentlich läßt sich die Impulsformung als Sonderform oder auch Alternative zum Physical Modelling kategorisieren. Das Prinzip des Physical Modelling setzt zur Klangsynthese allgemein beim Klangerzeugungsprozess an, es nähern sich jedoch die verschiedenen Varianten unterschiedlich an diesen Grundsatz heran. Während bei der Impulsformung in der Anregungsfunktion (Rohrblatt- oder Lippenschwingung) alle nötigen Details zu einer natürlichen Klangerzeugung bereits enthalten sind, muß die Wellenleitersynthese (Kap.3.4.1) etwas kompliziert mit Filtern und nicht klingenden Parametern den natürlichen Klangerzeugungsprozess zunächst erst einmal detailreich simulieren. Feder-Masse-Modelle können recht genaue Ergebnisse liefern, da die Simulation aber über mathematische Zusammenhänge stattfindet kann so ein Modell zur Erfassung der physikalischen Gegebenheiten eines Blasinstruments schnell recht unübersichtlich und schwerfällig werden. Außerdem eignet sich nicht jedes Syntheseverfahren gleichermaßen für jede Art von Instrument. Die Impulsformung hat hier den Vorteil, daß sie sich für jede Art impulsförmig angeregter Musikinstrumente eignet.

Blaswandler und Blassynthesizer nehmen im Vergleich zu Keyboardsynthesizern am Markt keinen maßgeblichen Platz ein. Dies liegt wohl unter anderem daran, daß die Bedienung der meisten Geräte für akustische Instrumentalisten eher gewöhnungsbedürftig ist, andererseits im allgemein Sinn Synthesizer eher mit einem Keyboard assoziiert werden. Durch die Entwicklungen der letzten Jahre hat sich nicht nur die Qualität der „direkten“ und naturgetreuen Klangsteuerungsmöglichkeiten entscheidend verbessert, sondern auch die Qualität der Klangsynthese. Diese Entwicklung ist längst nicht abgeschlossen. Aktuell wird z.B. immer noch an der Umsetzung des digitalen Variophon gearbeitet, und es kommen laufend neue Controller auf den Markt, die auch eine Steuerung durch Blaswandler zulassen. Insofern scheint dieses Thema aktuell zu bleiben und könnte in Zukunft eine weitaus größere Rolle spielen.

6 Quellenverzeichnis

6.1 Literaturangaben

Auhagen, W. (1987). „Dreieckimpuls-Folgen als Modell der Anregungsfunktion von Blasinstrumenten.“ in: *Fortschritte der Akustik: Plenarvorträge und Kurzreferate der 13. Gemeinschaftstagung der Deutschen Arbeitsgemeinschaft für Akustik (DAGA), 23.-26.3.1987*, Aachen, S. 709-712.

Becker, M. (1995). *Synthesizer von Gestern Vol.2*. Augsburg: MM-Musik-Media.

Blens, J. (1993). Die Zuordnung der von Blasinstrumenten bekannten Impulsformen zu ihren Spektren mit Hilfe der Fourieranalyse. Staatsarbeit, Köln 1993.

Cole, R. (1998). The Electronic Valve Instrument: Nyle Steiner's Unique Musical Innovation. Ph.D. Dissertation, University of Washington 1998.

Cook, Perry. (2002). *Real Sound Synthesis for Interactive Applications*. Natick: AK Peters.

Fricke, J.P. (1989). „Die Impulsformung: Ein Erklärungsmodell für die Klangentwicklung und Klangideal bei Holzblasinstrumenten“, in: *Das Instrumentalspiel. Beiträge zur Akustik der Musikinstrumente, Medizinische und Psychologische Aspekte des Musizierens*. G. Widholm und M. Nagy (Hrsg.), Wien/München: Doblinger, S. 109-118.

Fricke, J.P. (1994). „Ein Plädoyer für die Formanten.“ in: *Flöten, Oboen und Fagotte des 17. und 18. Jahrhunderts. 12. Symposium zu Fragen des Instrumentenbaus*. Fleischhauer, G. (Hrsg.), Blankenburg, Michaelstein: Stiftung Kloster Michaelstein, S. 66-77.

Fricke, J.P. (1996). „Die Digitale Klangsynthese auf der Basis von Impulsfolgen“, in: *Neue Musiktechnologie II: Vorträge und Berichte vom KlangArt-Kongress 1993 an der Universität Osnabrück*. Bernd Enders (Hrsg.), Mainz: Schott, S. 188-215.

Fricke, J.P. & Blens, J. (1994). „Digitale Impulsformung – die Methode der Synthese von Musikinstrumentenklängen mit Klangfarbendynamik“, in: *Fortschritte der Akustik: Plenarvorträge und Kurzreferate der 20. Jahrestagung für Akustik (DAGA)*, 14.-17.3.1994, Dresden, S.965-968.

Lösener, B. (2003). „Realton-Variophon“. in: *Keyboards*, 11, S.118-119.

Mertens, P.-H. (1975). *Die Schumannschen Klangfarbengesetze und ihre Bedeutung für die Übertragung von Sprache und Musik*. Frankfurt/Main: Erwin Bochinsky.

Meyer-Eppler, W. (1949). *Elektrische Klangerzeugung. Elektronische Musik und synthetische Sprache*. Bonn: Dümmler.

Miranda, Eduardo Reck. (2002). *Computer Sound Design. Synthesis Techniques and Programming*, Oxford: Focal Press.

Moog, B. (1980). „Soundtrack to Apocalypse Now“. in: *The Art Of Electronic Music*. Darter, T., Armbruster, G. (Hrsg.), New York: GTI Publications, 1984, S.260-267.

Oehler, Michael. (2008). *Die digitale Impulsformung als Werkzeug für die Analyse und Synthese von Blasinstrumentenklängen*. Frankfurt/Main: Peter Lang.

Oehler, M. & Reuter, C. (2009). „Dynamic Excitation Impulse Modification as a Foundation of a Synthesis and Analysis System for Wind Instrument Sounds“, in: *MCM 2007. Communications in Computer and Information Science*, Vol. 3, T. Klouche & T Noll (Hrsg.), Berlin: Springer, S.189-197.

Reichardt, H. (1975). „Elektronisches Blasmusik-Instrument Martinetta“, in: *Das Musikinstrument*, 24, S.1027-1028.

Reuter, C & Voigt, W. (2009). „50 Jahre Blassynthesizer: Die Electra-Melodica und ihre Entstehung“, in: *Musikpsychologie – Jahrbuch der Deutschen Gesellschaft für Musikpsychologie*, Bd. 20, Göttingen: Hogrefe, S.236-242.

Russ, M. (2004). *Sound Synthesis and Sampling*, Second Edition, Oxford: Focal Press.

Russ, M. (2009). *Sound Synthesis and Sampling*, Third Edition, Oxford: Focal Press.

Schumann, E. (1929). *Die Physik der Klangfarben*, Habilitationsschrift, Berlin 1929.

Voigt, W. (1975). „Untersuchungen zur Formantbildung in Klängen von Fagott und Dulzianen“, in: *Kölner Beiträge zur Musikforschung*, Bd. 80, Hüschen, H. (Hrsg.), Regensburg: Bosse.

Zacharias, E. (1963 ff.). *Schaltpläne, Briefe, Fotos sowie Korrespondenzschreiben mit den Mitarbeitern der Hohner AG zur Electra-Melodica und damit verwandten Instrumenten*. Wien: Privatsammlung Reuter.

Zacharias, E. (1967). *Spielhilfe für ein Musikinstrument mit einem Generator für elektrische Schwingungen*. Patentschrift Nummer: 1 241 244. München: Deutsches Patentamt.

Abstract

Im geschichtlichen Überblick wird der Werdegang der Entwicklung von Blassynthesizern beschrieben. Der Überblick beginnt in Deutschland bei den ersten Ideen und Versuchen von Ernst Zacharias, der um 1956/57 das erste elektronische Blasinstrument baute und durch dessen stetige Entwicklungsarbeit verschiedene Blassynthesizer wie z.B. die Electra-Melodica 1967 hervorgingen. Etwas später entstanden aus den Entwicklungen in den USA 1972 das Lyricon und Nyle Steiners EVI, das aber erst ab 1986 bei Akai in seiner Weiterentwicklung als Controller nach Art eines Holzblasinstruments (EWI) bleibenden Marktwert erhielt.

Den größten Fortschritt bildete jedoch die Rückbesinnung auf Syntheseverfahren, die beim natürlichen Klangerzeugungsprozess ansetzen. Es war die Firma Yamaha die dementsprechend Anfang der 1990er Jahre Synthesizer entwickelte, die auf dem Prinzip des Physical Modelling basieren, und in Kombination mit ihren klarinettenähnlichen Controllern der WX-Serie anbot.

Syntheseverfahren, die auf Physical Modelling basieren, liefern allgemein im Vergleich zu den bislang gängigen Syntheseverfahren (z.B. subtraktiv oder additiv) die exaktesten und natürlichsten Klangergebnisse. Ein Sonderfall des Physical Modelling ist die 1975 von J.P. Fricke entwickelte Impulsformung. Dieses Syntheseprinzip setzt bereits bei Anregungsfunktion (Rohrblatt- oder Lippenschwingung) an, und beinhaltet somit alle wichtigen Faktoren für konstante Klangfarben (Formanten, Ausgleichsvorgänge und Schwankungserscheinungen) wodurch sich erübrigt größtenteils eine nachträgliche Weiterverarbeitung durch z.B. Filter erübrigt. Deswegen limitiert sich gerade bei der Impulsformung, vor allem im Vergleich zu anderen auf Physical Modelling basierenden Syntheseverfahren, der Aufwand zur Synthese auf ein Minimum. Als Ergebnis der extensiven Forschung auf diesem Gebiet kann das Variophon gesehen werden, das 1979 durch die Entwicklungs- und Forschungsarbeit von Jürgen Schmitz, Jobst Peter Fricke und Wolfgang Voigt entwickelt wurde und damals zwar überzeugende Klangergebnisse lieferte, dessen Produktion und Weiterentwicklung jedoch aus verschiedenen Gründen nach kurzer Zeit wieder eingestellt werden mußte. Nachdem die Schaltkreise der Klangmodule des Variophon vor wenigen Jahren entschlüsselt wurden und auf eine digitale Ebene übertragen werden konnten, laufen die Arbeiten zur Entwicklung des digitalen Variophon, in dessen Zuge auch die Möglichkeiten der digitalen Impulsformung ausgebaut werden.

Lebenslauf

Persönliche Daten

Nikolaus Arampatsis

Geburtsdatum: 18.2.1975 in Hollabrunn

Staatsbürgerschaft: Österreich

E-Mail: nikolaus.arampatsis@gmx.net

Ausbildung

Juni 1993	Matura am Erzbischöflichen Realgymnasium und Aufbaugymnasium in Hollabrunn
1993-1994	American Institute of Music, Wien
1994-1995	Zivildienst Rotes Kreuz Hollabrunn
1995-1996	Fachhochschulstudiengang Elektronik, TGM Wien 20
1996-2002	Diplomstudium Physik, Universität Wien
2002-2013	Diplomstudium Musikwissenschaft, Universität Wien

Berufserfahrung

seit 1999	FLEX - Kunst- und Kulturverein U.S.W., Wien
seit 2004	fallweise Tätigkeit für die Marketingabteilung von FM4, ORF Wien

Musikalische Ausbildung

1980-1997	Gitarre, Klavier, (Alt-)Blockflöte (Barock Ensemble), Big Band Orchester an der Musikschule Hollabrunn
1993-1994	American Institute of Music (Rock-Guitar, Jazz Harmony and Theory, Eartraining, Rhythm Class, Business Class)