

Virtuelle Blasinstrumente - die Impulsformung als wiederentdeckte Klangsynthesetechnik

Michael Oehler¹, Christoph Reuter²

¹Institut für angewandte Musikwissenschaft und Psychologie, Köln

²Universität zu Köln, Musikwissenschaftliches Institut, Köln

1. Einleitung

Das Impulsformungsprinzip als Synthesemethode für Blasinstrumentenklänge wurde in den 1970er Jahren am Musikwissenschaftlichen Institut der Universität zu Köln von Jobst Fricke und Wolfgang Voigt entwickelt. Die Methode der Impulsformung ist eine Art Alternative bzw. Ergänzung zu physikalischen Modellen, wie z.B. der Wellenleitersynthese. Der Kerngedanke dieses Prinzips ist, dass jeder Blasinstrumentenklang im Grunde auf seine Anregungsimpulse zurückgeführt werden kann (Schwingungen der anregenden Rohrblätter oder Lippen), die sich unabhängig von der Grundtonhöhe stets nach den gleichen Gesetzmäßigkeiten verhalten und in denen sich klanglich die Schumannschen Klangfarbengesetze widerspiegeln [1]. Fricke [2] und Voigt [3] entdeckten 1975 das Verfahren, auf der Basis von Impulsketten, die durch die Anregungsfunktion von Doppelrohrblattinstrumenten oder Lippen hervorgerufen werden, zyklisch strukturierte Spektren mit typischen festen Formantgebieten und spektralen Minimastellen zu erzeugen. Der erste und bisher einzige auf dem Prinzip der Impulsformung basierende Synthesizer ist das in den 1970/80er Jahren am Musikwissenschaftlichen Institut der Universität zu Köln entwickelte und später von der Realton produzierte Variophon.

2. Das Impulsformungsprinzip

Konstante Öffnungs- und Verschlusszeiten der Rohrblätter und Lippen sind die Voraussetzung für von der Periodendauer unabhängige feste Formantgebiete. Das bedeutet, während sich die Grundfrequenz ändert, bleibt die Impulsbreite gleich. Außer der Impulsbreite beeinflusst jedoch auch die Impulsform das resultierende Spektrum [4,5]. So haben z.B. geringe Änderungen der Impulsbreite oder -form unter Umständen eine deutliche Modifikation des korrespondierenden Spektrums und damit eine hörbare Änderung der Klangfarbe zur Folge.

Bei Betrachtung der Zeitfunktionen der Rechteckimpulse in Abb. 1a und Abb. 1b fällt auf, dass das Verhältnis der Impulsbreite τ und der Periodendauer T die Stellen der spektralen Minima im zugehörigen Frequenzspektrum bestimmt. Mit einer Impulsbreite τ und der Periodendauer T ergeben sich die Minimastellen bei den Partialtönen $n \cdot (T/\tau)$, mit $n \in \mathbb{N}$. Dies entspricht dem Schumannschen Formantstreckengesetz: Unabhängig von der Grundtonhöhe verharren die Minima- und Maximastellen an der gleichen Stelle im Spektrum, da sich auch die Breite der Anregungsimpulse nicht ändert.

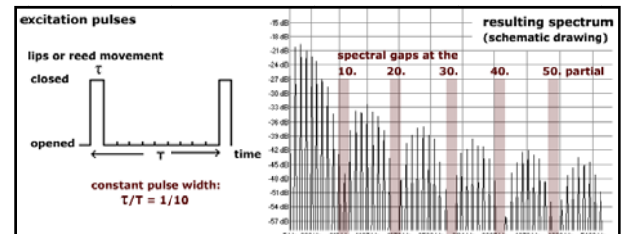


Abb. 1a: Konstante Impulsbreite ($\tau/T = 1/10$) und die resultierende spektrale Einhüllende.

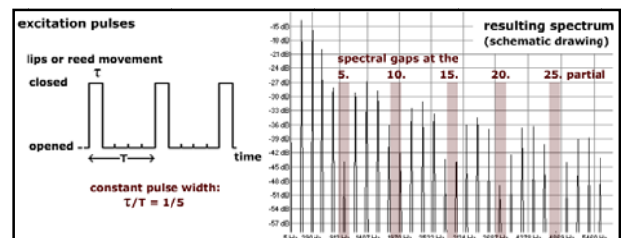


Abb. 1b: Konstante Impulsbreite ($\tau/T = 1/5$) und die resultierende spektrale Einhüllende.

Abb. 2 demonstriert die Abhängigkeit der Minimastellen von der genauen Impulsform. In den Experimenten von Auhagen (1987) konnte gezeigt werden, dass allein durch die Variation des Verhältnisses der steigenden und fallenden Flanke von Dreieckimpulsen weitreichende spektrale Formungsmöglichkeiten bestehen [6].

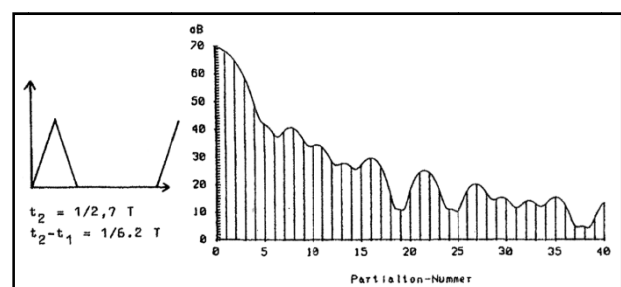


Abb. 2: Dreieckimpulse ($t_2 = 1/2,7 T$ und $t_2 - t_1 = 1/6,2 T$) sowie die resultierende spektrale Einhüllende (nach Auhagen 1987)

Entsprechend des Schumannschen Formantverschiebungs- bzw. des Sprunggesetzes verschieben sich bei höherer Intensität die Maxima innerhalb der Formantgebiete auf die höheren Teiltöne. Innerhalb der Impulsformungstheorie kann dieser Effekt durch eine veränderte Form und Breite der Impulse entsprechend dem gleichfalls veränderten Verlauf der Rohrblattschwingung hervorgerufen werden.

3. Die digitale Impulsformung

3.1 Ziele

Geplant war, die Impulsformung ausgehend von der analogen Version im Variophon zur digitalen Impulsformung weiterzuentwickeln. Dies dient sowohl der Herstellung eines auf der digitalen Impulsformung basierenden Synthesizers, als auch der Konstruktion einer Experimentierplattform für die Klangfarbenforschung, da bestimmte Phänomene, wie z.B. instrumententypische Schwankungserscheinungen, besonders gut auf der Basis der Impulsformung untersucht werden können.

3.2 Methoden

Dazu wurden zunächst die analogen Schaltkreise der verschiedenen Instrumentenmodule des Variophons mittels der Simulationssoftware LTSpice modelliert und in einem zweiten Schritt in der modularen Entwicklungsumgebung NI Reaktor zum digitalen Variophon fortentwickelt, bevor schließlich die entsprechenden Schnittstellen für die geplante Experimentierplattform zur Klangfarbenanalyse implementiert werden konnten.

3.3 Ergebnisse

Die analogen Instrumentenmodule von Oboe und Fagott wurden sowohl in LTSpice als auch in NI Reaktor implementiert. Analysen einiger instrumentenspezifisch generierter statischer und dynamischer Klänge von *pp* bis *ff* in der Zeit- und Frequenzdomäne zeigen eine gute Konkordanz von Variophon und digitalem Variophon. Wie erwartet, weichen die generierten Klänge von natürlichen Klängen auditiv und spektralanalytisch ab, da technische Beschränkungen der verwendeten Analogtechnik der Konstruktion des Variophons zur damaligen Zeit Grenzen setzten.

3.4 Experimentierplattform

Für einen Prototypen der Experimentierplattform zur Klangfarbenanalyse wurden anhand des Fagott-Moduls die gemessenen Abhängigkeiten der Impulskette von Dynamik und Tonhöhe für verschiedene Register (siehe Abb. 3) formalisiert.

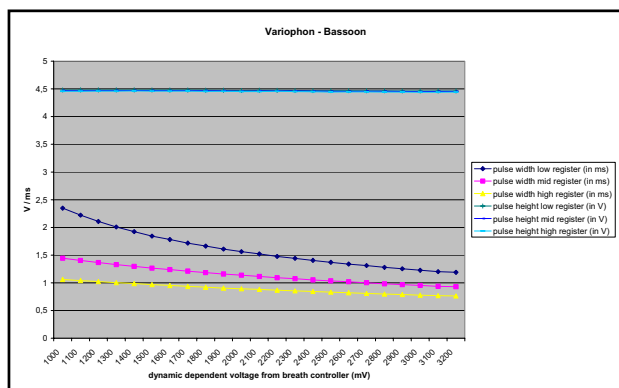


Abb. 3: Impulsbreite und Impulshöhe des Variophon Fagott-Moduls in Abhängigkeit von Tonhöhe und Dynamik.

Mit x für die Dynamik ($1 \leq x \leq 23$, von *pp* bis *ff*), y als gespielte Tonhöhe in Cent, wobei der tiefste Ton des Tonumfangs als Null Cent definiert wird, c als instrumentenspezifischer Tonumfang und k als Exponent,

der den Grad der Tonhöhenabhängigkeit bestimmt, ergibt sich durch die Verknüpfung der registerspezifischen Ergebnisse der Regressionsanalysen

- (1) $f(x)_{low} = -0,00009x^3 + 0,0053x^2 - 0,1292x + 2,457$
- (2) $f(x)_{mid} = -0,00001x^3 + 0,0011x^2 - 0,0419x + 1,48$
- (3) $f(x)_{high} = -0,000004x^3 + 0,0004x^2 - 0,0213x + 1,083$

für die Impulsbreite i die Gleichung

$$(4) i_{x,y,c,k} = f(x)_{low} - \left((f(x)_{low} - f(x)_{high}) \cdot \frac{y^k}{c^k} \right)$$

4. Diskussion

Eine softwarebasierte digitale Version des Variophons ermöglicht es, die Beschränkungen der analogen Version des Variophons, zu umgehen, da auf die Impulsform und -breite als Kern des Syntheseverfahrens wesentlich gezielter Einfluss genommen werden kann. Zudem wird es mittels der digitalen Impulsformung möglich, bestimmte Phänomene der Klangerzeugung bei Blasinstrumenten, wie z.B. Klangfarbenmodulationen oder die multiplikative Verbindung von Anblasrauschen und Anregungsfunktion, innerhalb der Experimentierplattform äußerst detailliert nachzuvollziehen.

Zudem ist geplant, in zukünftigen Versionen der Software andere Instrumentengruppen, deren Anregung impulsförmig geschieht, zu implementieren bzw. zu analysieren, da das Impulsformungsmodell grundsätzlich auch auf andere Instrumente mit typischen festen Formantstrecken anwendbar ist.

5. Acknowledgements

Das Projekt wurde finanziell von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) unterstützt.

6. Literatur

- [1] Schumann, E.: Physik der Klangfarben II. Habilitationsschrift, Berlin 1929. Korrektorexemplar in Xerokopie, Leipzig, 1940.
- [2] Fricke, J. P.: Formantbildende Impulsfolgen bei Blasinstrumenten. Fortschritte der Akustik, 4. DAGA'75 (1975), 407-411.
- [3] Voigt, W.: Untersuchungen zur Formantbildung in Klängen von Fagott und Dulzianen. Regensburg, Bosse, 1975.
- [4] Fricke, J. P.: Die Impulsformung: ein Erklärungsmodell für Klangentwicklung und Klangideal bei Holzblasinstrumenten. Das Instrumentalspiel. Bericht vom Internationalen Symposium Wien, 12.-14. April 1988 (1989), 109-118.
- [5] Reuter, C.: Der Einschwingvorgang nichtperkussiver Musikinstrumente. Frankfurt/M., Lang, 1995.
- [6] Auhagen, W.: Dreiecksimpulsfolgen als Modell der Anregungsfunktion von Blasinstrumenten. Fortschritte der Akustik, 13. DAGA'87 (1987), 709-712.