

Humboldt-Universität zu Berlin
Kultur-, Sozial- und Bildungswissenschaftliche Fakultät
Institut für Musikwissenschaft und Medienwissenschaft

Masterseminar „Medienbotschaft des Klangs“
Prof. Dr. Wolfgang Ernst
Sommersemester 2020



Die mögliche Kompetenz maschinisierten Komponierens

Raphael J. Tostlebe

Inhalt

I. Präludium.....	2
II. Die Illiac Suite.....	4
III. Stockhausen.....	7
IV. Methode.....	9
V. Kritische Betrachtung.....	11
VI. Finale.....	13
Literaturverzeichnis.....	15
Anhang I - Regelwerk.....	I
Anhang II – Programmablaufplan.....	IV
Anhang III - Programmcode.....	VI
Anhang IV – Stücke.....	VIII

I. Präludium

Der Urknall. Der Impuls, mit dem das Universum begann und sich Raum und Zeit konstituierten. Raum und Zeit sind miteinander verwoben, bedingen einander und bilden gemeinsam die *Raumzeit*.¹ Die „Gesamtheit aller Ereignisse in Raum und Zeit“² umfasst auch die Entstehung aller Materie und somit die Materie an sich. De Broglies postulierte, dass Materie als Wellen dargestellt werden könne,³ ähnlich wie sich Einstein den Welle-Teilchen-Dualismus des Lichts vorstellte. Diese Wellen fanden also ihren Anfang im Urknall, einem Impuls, so wie auch ein ins Wasser geworfener Stein den Anfangsimpuls für die daraus entstehenden Wellen sind. Das Universum besteht somit aus Wellen, die die Ausdehnung desselben in *ihrer* Ausdehnung beschreiben. Die Wellen konstituieren so durch ihre Prozessualität den Raum, in dem sie sich ausbreiten. Die wahrnehmbare Form von Wellen findet sich im Schall wieder. Da Schall somit auch die wahrnehmbare Form der Prozessualität ist, unterliegt jeglichen Prozessen das *implizit Sonische*.⁴

Prozesse und deren Steuerung bzw. Regelung waren vor allem ab den 1960ern unter dem Begriff Kybernetik bekannt.⁵ Die Anfänge moderner Informationsverarbeitungssysteme liegt ebenfalls in dieser Zeit. Mit dem Aufkommen elektronischer Computer wurden aus kybernetischen Systemen in Computern implementierte Algorithmen. Prozesse wurden hier in die Virtualität verlagert, die mit ihren Schaltkreisen und Stromspitzen wiederum in Prozessen und Wellen begründet liegt. Auch dem Computer immaniert somit eine Sonik, die sich hörbar machen lässt.⁶ Das Pendant zu einem Impuls oder Quantum in der Sonik ist bei Computern ein Bit – der kleinste, diskrete Wert.

1956 hat Lejaren Hiller an *University of Illinois* den Versuch unternommen, sich die Ähnlichkeit des Prozesscharakters von Musikkomposition und Informationsverarbeitung zunutze zu machen und in Zusammenarbeit mit Leonard Isaacson in einem Computer einen Algorithmus implementiert, der verschiedene Kompositionsregeln befolgt, um eigene Musik zu schaffen.⁷ Das Ergebnis dieses erstaunlichen Experiments ist die *Illiac Suite*.⁸

1 Spektrum der Wissenschaft. *Raumzeit*. In: Spektrum – Lexikon der Physik. Abgerufen am 27.06.2020 unter: <https://www.spektrum.de/lexikon/physik/raumzeit/12135>

2 Ebd.

3 Spektrum der Wissenschaft. *De-Broglie-Welle*. In: Spektrum – Lexikon der Physik. Abgerufen am 27.06.2020 unter: <https://www.spektrum.de/lexikon/physik/de-broglie-welle/2792>

4 Das *implizit Sonische* ist ein Begriff, den Prof. Ernst im Rahmen des Seminars gebrauchte.

5 Spektrum der Wissenschaft. *Kybernetik*. In: Spektrum – Lexikon der Physik. Abgerufen am 27.06.2020 unter: <https://www.spektrum.de/lexikon/physik/kybernetik/8664>

6 Shintaro Miyazaki erläutert treffend den Zusammenhang Sonik und Algorithmen. Vgl. Miyazaki, Shintaro. *Das Algorhythmische. Microsound an der Schwelle zwischen Klang und Rhythmus*. In: Axel Volmar (Hg.), *Zeitkritische Medien*, Berlin: Kulturverlag Kadmos, 2009. S. 383-396

7 Entwicklungen von Algorithmen, also eindeutigen Handlungsvorschriften, mit deren Hilfe Musik komponiert wird reichen zurück bis ins frühe 11. Jahrhundert, in dem Guido von Arezzo einen ersten Algorithmus zur Musikkomposition entwarf. Vgl. hierzu Nierhaus, G. *Algorithmic Composition – Paradigms of Automated Music Generation*. Wien: Springer-Verlag, 2009. S. 21ff.

8 Hiller, Lejaren A. & Isaacson, Leonard M. *Illiac Suite*. 1957. Abgerufen am 27.06.2020 unter: <https://www.youtube.com/watch?v=fojKZ1ymZlo>

Im selben Zeitgeist entwickelte sich die *Serielle Musik*, deren Ziel es war, nach dem Naziregime einen kompletten Neuanfang in der Musikkomposition zu wagen. Die komplette Ablösung von der bisherigen Musik war der Weg.⁹ Die Sprengkraft der seriellen Musik lag in der absoluten Ablehnung psychologischer bzw. humaner Anerkennung ästhetischer Konzepte und der Verneinung der Unordnung des Zufalles bei der Nutzung von Instrumenten. Tonhöhe, -dauer und -lautstärke sollten nicht mehr vom nur Empfinden des Menschen, sondern vor allem von Zahlen und mathematischen Proportionen abhängig sein.¹⁰

Karlheinz Stockhausen ging noch einen Schritt weiter und negierte sogar die individuellen Eigenschaften von Instrumenten, da z.B. die Klangfarbe dieser auch zufälligen Gegebenheiten unterliegt. Eine reine, synthetische Sinuswelle und ihre Vielfachen bilden den Ausgangspunkt für Stockhausens serielle Kompositionstheorie. Mathematische Ordnung und Skalierungen sind das Regelwerk zum Schaffen dieser.¹¹

Auch wenn sich Stockhausen und Hiller 1963 auf den Darmstädter Ferienkursen begegnet sein dürften,¹² nutzte Stockhausen wohl kaum Computer, um zu komponieren,¹³ gleichwohl es im Sinne seiner Geisteshaltung gewesen sein dürfte.¹⁴

Die Werke Hillers und Stockhausens bilden zwar nicht These und Antithese¹⁵, sollen hier im Sinne Hegels Dialektik¹⁶ dennoch zur Synthese werden. Stockhausens Theorie soll nicht nur in einem Kompositionsprogramm nachgestellt, sondern direkt auf algorithmischer Ebene mit *Python* programmiert werden, um den mathematischen Charakter und die Nähe zur Informationstheorie zu unterstreichen und genauer zu inspizieren. Dass die Leistung Stockhausens, Musik auf Impulse und mathematische Konzepte und Regeln zu reduzieren, und seine Vorreiterrolle in der elektronischen Musik bisher nicht in in Kontext mit Hillers Pionierarbeit gebracht wurden, mag verwundern. Diese Arbeit versteht sich als längst überfälliger Baustein, diese durchaus interessante Lücke zu schließen.

9 Finnendahl, Orm. *Vorwort*. In: Finnendahl, Orm (Hg.), *kontexte – Beiträge zur zeitgenössischen Musik – 01 Die Anfänge der seriellen Musik*, Berlin: Institut für Neue Musik der Hochschule der Künste Berlin, 1999. S. 7ff.

10 Natürlich lassen sich hier auch ästhetische Konzepte aus dem Diskurs nicht verbannen und fanden statt. Vgl. hierzu Gredinger, Paul. *Das Serielle*. In: Eimert, H. (Hg.), *die Reihe – Information über serielle Musik*. Heft 1 – Elektronische Musik, Wien: Universal Edition. A. G., 1955. S.34-41 & Finnendahl 1999: S. 7ff.

11 Vgl. Gredinger 1955: S. 36f.

12 Vgl. die Teilnehmerliste für die Darmstädter Ferienkurse. Abgerufen am 01.10.2020 unter: https://issuu.com/internationales-musikinstitut/docs/darmstaedter_ferienkurse_1946-1966/110

13 Vgl. Hajdu, Georg. *Der Computer als Inspirationsquelle für Komponisten*. In: Enders, B. (Hg.), *Mathematische Musik – musikalische Mathematik*, Saarbrücken: PFAU-Verlag, 2005. S. 52

14 Serielle Musik und ihre Komponisten erarbeiteten nicht nur ein revolutionäres Verständnis von Musik, sondern auch die Grundlagen moderner Komposition mithilfe von Computern dank der Nähe zur Informationstheorie. So wurde Stockhausens *Studie II* von Hajdu mit Max/MSP nachprogrammiert, allerdings fehlt hier die Verbindung zu Hillers generativem Ansatz, den Computer selbst komponieren zu lassen. Vgl. Hajdu 2005: S.53

15 Hiller selbst komponierte mithilfe seines mit Kollegen entwickelten Computerprogramms MUSICOMP (*MUSIC-Simulator-Interpreter for COMpositional Procedures*) „kurze Studien völlig serieller Musik“. Hiller, L. A. *Informationstheorie und Computermusik*. In: Thomas, E. (Hg.), *Darmstädter Beiträge zur Neuen Musik VIII – Informationstheorie und Computermusik*, 1964. S. 44ff. & S. 53

16 Vgl. Prechtel, P. & Burkhard, F.-P. (Hg.): *Dialektik*. In: Metzler Lexikon Philosophie, 3. Aufl. Stuttgart: Springer-Verlag, 2008. S. 109ff.

II. Die Illiac Suite

Hiller ging davon aus, dass Musik ähnlich wie Malerei oder Sprache eine Form der Kommunikation und somit Informationsübertragung ist. Darauf gründete er seine Annahme,¹⁷ dass sie auch mit den Mitteln der Informationstheorie beschreibbar sei.¹⁸ Nach der Informationstheorie muss ein Musikstück einen Informationsgehalt besitzen. Information in einer Nachricht ist direkt abhängig von den vorhandenen Möglichkeiten, aus einer zusammenhängenden Reihe von Symbolen zu wählen.¹⁹ Je mehr Symbole es also gibt, desto mehr Möglichkeiten der Permutation dieser und somit Kompositionen gibt es.

Ein maximal ungeordnetes Stück besitzt auch maximale Entropie, ein maximal geordnetes Stück hingegen maximale Redundanz. Der maximale Informationsgehalt ist $(H_n)_{max} = \log 2N \text{ bits/Symbol}$ und beträgt bei einer chromatischen Oktave 3,59 Bits/Symbol.

Die Formel $R = \frac{H_{max} - H}{H_{max}} \times 100\%$ ergibt die Redundanz. H ist dabei der tatsächliche Informationsgehalt und H_{max} der maximale. Musik befindet zwischen den beiden Extremen Redundanz und Entropie;²⁰ Komposition bringt Struktur in das Chaos²¹ und Kompositionsregeln dienen dazu, das zu leisten.

Da sich Musik mithilfe der Informationstheorie beschreiben lässt, ging Hiller in die Annahme, dass Musik auch in der Anwendung von Informationstechnologie produzierbar ist. Diesen Ansatz hat sich Hiller gemeinsam mit Isaacson zunutze gemacht, um Programme zu implementieren, deren Resultate in der *Illiac Suite* mündeten. 1957 veröffentlichten sie in ihrem Paper *Musical Composition With A High Speed Digital Computer* die Vorgehensweise, wie sie zu ihrem Ergebnis gekommen sind. Sie stellten sich die Frage, wie Kompositionsregeln in Algorithmen zu übersetzen sind. Elemente in den Inputanweisungen, die nicht spezifisch bedacht wurden, blieben zufällig.²²

Grundlegend für die westliche Kunst sei auch „the discovery of polyphony, the art of combining independent melodic lines into interwoven musical texture“²³. Eine essenzielle Eigenschaft westlicher Musik ist also nicht nur eine einfache Melodie, sondern die Vielstimmigkeit, die unabhängige Melodien miteinander bilden.²⁴

Die Illiac Suite beinhaltet vier Stücke, die unterschiedliche vier Experimente Hillers repräsentieren. Im ersten Experiment wurden durch einen Anfangsinput Noten generiert und eine

17 Und belegt sie auch sofort mit Literaturverweisen wie z.B. auf McHose, A.I. *Statistische Analyse von Stilen des 18. und 19. Jahrhunderts*

18 Vgl. Hiller 1964: S. 9f.

19 Hiller, Lejaren, A. & Isaacson, Leonard, M. *Musical Composition With A High Speed Digital Computer*. In: Journal of the Audio Engineering Society. Preprint. 1957.

20 Vgl. Hiller 1964: S. 9f.

21 Vgl. Hiller / Isaacson 1957: S. 3

22 Vgl. ebd. S. 5

23 Ebd. S. 7

24 Vgl. ebd. S.7f.

Grundmelodie komponiert, der *Cantus Firmus*. Dem wurden nach Kontrapunktregeln weitere Noten entgegengesetzt,²⁵ wodurch Polyphonie erreicht wird und die Melodie eine komplexere Struktur erhält. Hiller und Isaacson haben die Regeln genau untersucht und in Code überführt.²⁶

Das zweite Experiment erweiterte das erste, indem Regeln hinzugefügt oder entfernt werden konnten. Es wurden erst zufällig weiße Noten generiert und dann sukzessive mehr Kontrapunktregeln hinzugefügt,²⁷ um schrittweise den Cantus Firmus zu erreichen.²⁸

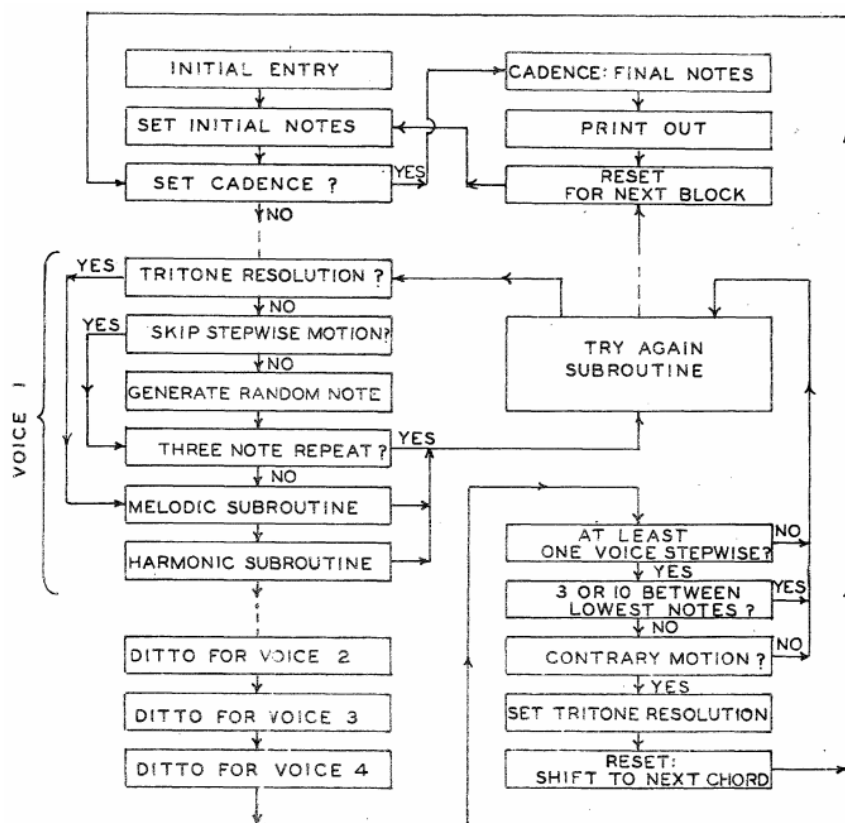


Bild 1: Ablaufdiagramm für das zweite Experiment (Hiller & Isaacson, 1957, Fig. 1)

Im dritten Experiment wurde sich von den Kontrapunktregeln gelöst und nicht nur mit weißen Noten, sondern zusätzlich mit einer chromatischen Reihe gearbeitet. Das Ziel war vor allem Rhythmus und Dynamik in den Melodien zu komponieren.²⁹ Es wurde angenommen, dass auch Rhythmus in Zahlen übersetzt werden kann, wenn das schon mit Tonhöhen funktionier-

25 Zum Beispiel der Kontrapunktlehre *Gradus ad Parnassum*, die 1725 von J. J. Fux veröffentlicht wurde. Vgl. Hiller, L. A. & Isaacson, L. M. *Experimental Music*. New York: McGraw-Hill Book Company Inc., 1959. S. 82

26 Vgl. ebd. S. 84ff.

27 So wurden z.B. zufällig generierte Noten mithilfe allgemeiner Kompositionsregeln wie dem Dreiklang oder einer Akkordfolge eingeordnet und dann angenommen bzw. abgelehnt und fanden somit ihren Weg in die Komposition.

28 Vgl. Hiller / Isaacson 1957: S. 8f.

29 Vgl. Hiller / Isaacson 1959: S. 80

te.³⁰ Für die Tonhöhen wurden erst Zufallsnoten generiert, die später jedoch in simplen Kompositionsregeln ihre Schranken fanden.³¹

Der letzte Versuch basierte auf „mathematical models which (they) feel abstract certain essential of musical structure“³², welche sie als „Markoff chain music“³³ bezeichnen. Es wurden Wahrscheinlichkeitsfunktionen, wie die Übergangswahrscheinlichkeit, genutzt, um aufeinander aufbauende Noten zu generieren, die harmonische Reihen und Melodien von einem „tonal center“³⁴ ausgehend bilden sollten.

In Vorbereitung auf die Programmierung wurde verschiedenen Noten unterschiedliche Zahlwerte zugeordnet. Dann wurde der Computer angewiesen, ganzzahlige Zufallszahlen zu generieren,³⁵ welche den Noten der musikalischen Skala entsprechen. Diese Zahlen wurden, wie oben erwähnt, den Kompositionsregeln entsprechend bewertet und entweder in die Komposition aufgenommen oder wieder verworfen, worauf eine erneute Zufallszahl generiert wurde. Die Kompositionsregeln wurden in drei Gruppen eingeteilt: *melodische Regeln*, welche die Beziehungen aufeinanderfolgender Noten bewerten, *harmonische Regeln*, die die Beziehungen verschiedener melodischen Linien definieren und *kombinierte Regeln*, die komplexere Verhältnisse ausdrücken.³⁶

Um Rhythmen zu erstellen wurden zufällige Binärzahlen erzeugt; eine 1 bedeutet einen Schlag, eine 0 keinen.

30 Vgl. ebd. S. 110

31 Vgl. ebd. S. 80 & S. 118f

32 Vgl. Hiller / Isaacson 1957: S. 11

33 Ebd. S. 11

34 Ebd. S. 12

35 Bei Computern handelt es sich um Pseudozufallszahlen, sofern keine externen Einflüsse die Zahl beeinflussen. Unter denselben Bedingungen kommt bei dem deterministisch arbeitenden Computer auch dasselbe Ergebnis heraus.

36 Vgl. ebd. S. 13 ff

III. Stockhausen

Ist Musik laut Hiller Ordnung und Struktur im Chaos, bezeichnet Stockhausen Musik als „Ordnungsverhältnisse in der Zeit“.³⁷ Zeit kann laut Stockhausen als Veränderungen im Schallfeld wahrgenommen werden, als „Stille-Ton-Stille“³⁸. Die Zeitabstände zwischen den Veränderungen im Schallfeld nennt er *Phasen*, welche er in *Phasengruppen* einteilt. Die Wahrnehmung findet dabei in Proportionen, also in den Verhältnissen zwischen den Phasendauern, statt. Um einen Ausgangspunkt für die Verhältnisse zu setzen, wird ein *Einheitsquantum* bestimmt. Die Phasen werden laut Stockhausen in Höhen und Dauern wahrgenommen. Dabei sind die Phasendauern zwischen Impulsen mit einem größeren Abstand als ca. $\frac{1}{16}$ Sekunde als Dauer und mit einem geringeren Abstand als ca. $\frac{1}{32}$ Sekunde als Tonhöhe hörbar.³⁹ Je geringer der Abstand, desto höher der Ton.

Stockhausen untersucht mit intensiver Gründlichkeit die Abhängigkeit der Wahrnehmung von den Proportionen der Dauern. Für ihn war die Beziehung zwischen Dauern und Höhen noch zu unabhängig voneinander, weshalb er in seiner Untersuchung der Zeitlichkeit von Musik darauf abzielte, die augenscheinlich unabhängigen Bereiche miteinander in eine Beziehung zu setzen. Er schuf eine „durch die gemeinsame Phasenstruktur begründete Einheit von Klang und Dauer“⁴⁰ und bezieht sie „zur Übertragung der entsprechenden Proportionen als Strukturprinzip auf beide Dimensionen und entwickelt ein ‚chromatisches‘ System der Phasenverhältnisse für Dauern (...) und Höhen.“⁴¹ Da jeder Ton eine Abfolge von Impulsen ist und die Tonhöhe in den zeitlichen Abständen zwischen ebendiesen begründet liegt, liegt es nahe, diese Zeitlichkeit als makrozeitliche Rekursion auf die Dauern zu projizieren⁴² und somit eine Beziehung zwischen mikro- und makrozeitlicher Ebene herzustellen.

Genau diese Beziehung erarbeitet Stockhausen, indem er die chromatischen Verhältnisse der Dauern beiseite legt und die Obertonreihe der Tonhöhen auf die Dauern transponiert. Um herauszuarbeiten, wo in harmonischen Dauernbeziehungen in bisherigen Kompositionsarten⁴³ Probleme lagen, seziiert er chirurgisch genau Kompositionsvorgänge serieller Musik und analysiert deren einzelne Bestandteile.⁴⁴ Die Abstände der Töne einer chromatischen Skala ergeben sich dabei immer multipliziert mit $\sqrt[12]{2}$ und resultieren somit in logarithmischen Intervallen. Maßgeblich ist dabei das Verhältnis 2:1, das laut Stockhausen eine Oktave beschreibt.

Er überprüft zwei Varianten in der seriellen Musik, Dauernskalen auf Basis eines Einheitsquantums aufzubauen: Einmal die Multiplikation des Quantums und einmal die Division.

37 Stockhausen, Karlheinz ...*wie die Zeit vergeht*... In: Die Reihe. Information über serielle Musik, Heft 3, Wien / Zürich / London: Universal Edition, 1957. S. 13

38 Ebd.

39 Vgl. ebd.

40 Gruhn, Wilfried. *Integrale Komposition – Zu Bernd Alois Zimmermanns Pluralismus-Begriff*. In: Archiv für Musikwissenschaft, 40. Jg., H. 4, 1983. S. 287-302

41 Ebd.

42 Und vice versa, also die Tondauer in die mikrozeitliche Ebene der Tonhöhe zu projizieren.

43 Stockhausen bezieht sich, seiner Geisteshaltung entsprechend, vor allem auf die serielle Musik.

44 Vgl. Stockhausen 1957: S. 15ff.

Durch die Multiplikation ergibt sich eine *subharmonische Proportionsreihe*, welche Stockhausen zufolge immer noch unzureichend für eine stringent serielle Komposition ist.⁴⁵

Die zweite von ihm untersuchte Methode, die Division, ergibt die *harmonische* oder *Obertonreihe*. Die Höhen der einzelnen Töne einer solchen Reihe begründen sich in der Division einer Grundphase. Dieser Ausformung der in Beziehung gesetzten Zeitstrukturen bezeichnet Stockhausen als *harmonisches Phasenspektrum*, dessen „Bruchteile sich immer wieder zum ganzen Grundwert ergänzen“⁴⁶. Das Phasenspektrum besteht aus einer Grundphase bzw. dem Grundton, auf dem weitere Formanten aufgebaut werden. „Der erste Formant ist demnach die Grundphase selbst, der zweite Formant die Zweiteilung der Grundphase usw.“⁴⁷, wobei „die Einzeldauer in den Formanten (...) sich aus der Ordnungszahl des Formanten, bezogen auf die Dauer der Grundphase (ergibt)“⁴⁸. Die Zusammenstellung verschiedener Formanten zeichnen die Klangfarbe. Treten zwei Phasenmaxima einer Formantkombination einer Grundphase gleichzeitig auf, addieren sich diese zu Intensitätsmaxima. Die Kombination von Dauernformanten wird als Kombinationsdauer wahrgenommen, ähnlich wie kombinierte Tonhöhen als Kombinationston wahrgenommen werden.⁴⁹

Die Anzahl der hintereinander gewählten⁵⁰ Töne findet ebenfalls nach einer bestimmten Struktur statt: „Es wurden übergeordnete Reihen eingeführt, Reihen der Reihen, die für die jeweilige Strukturphase die Auswahl der Elemente vornahmen.“⁵¹

Die Tondauern haben ihren Ausgangspunkt wiederum in den Phasendauern der Obertonreihe. Jeder Tonhöhe wird eine Tondauer zugeordnet, die zu ihr in Proportion steht. Nachdem die Basis für die Dauernbeziehungen konstituiert wurden, erläutert Stockhausen wie die chromatische Dauernskala ähnlich der chromatischen Skala aufgebaut wurde.⁵² Den logarithmischen Intervallen der Tonhöhen kongruent sind auch hier die Abstände logarithmisch auf $\sqrt[12]{2}$, multipliziert mit der Grundphase, basierend. Die chromatische Skala dient zur Erläuterung des Prozesses an sich, aber nicht als Grundlage für die Proportionsverhältnisse der Gruppen. Die Grunddauern werden in Dauerngruppen angeordnet, was bedeutet, dass die Dauer der Grunddauern einer Gruppe gleich lang wie die Grunddauern einer darauf folgenden Grunddauerngruppe sind.⁵³

Stockhausen erweiterte die *Serielle Musik* dahingehend, dass nicht Parameter wie Tonhöhen und -dauern oder Klangfarbe für sich stehen und die Grundbausteine von Musik sind, sondern ein einziger Impuls und dessen Wiederholungen. Diese Impulse müssen den Regeln der Komposition entsprechend angeordnet werden, damit Musik entsteht.

45 Vgl. ebd. S. 18

46 Ebd. S. 19

47 Ebd. S. 20

48 Ebd.

49 Vgl. ebd. S. 21 f.

50 Wie die Auswahl der Elemente stattfindet geht aus Stockhausens Text nicht eindeutig hervor. Da alle jedoch in Proportionen stehen, wird dies im Algorithmus dem Zufallsgenerator überlassen.

51 Ebd. S. 17

52 Vgl. ebd. S. 24 f.

53 Vgl. ebd. S. 26 f.

IV. Methode

Die strikten Regeln, denen serielle Musik folgt, bieten sich an, sie in einen Algorithmus zu übersetzen. Vor allem die konsequente Modifikation seitens Stockhausen legt eine sehr mathematische und damit algorithmisch umsetzbare Herangehensweise an den Tag. Die Erkenntnisse Hillers, mithilfe eines Computeralgorithmus zu komponieren, bilden den Einstieg, an dem sich diese Arbeit orientiert. Dabei wird kein grafisches Kompositionsprogramm wie Max/MSP genutzt, sondern in *Python 3.7.5* die Klänge erzeugt, also auf sprachlich algorithmischer Ebene. Die Regeln zur seriellen Komposition, die Stockhausens in seiner Arbeit ... *wie die Zeit vergeht...* aufstellt, werden in diese Programmiersprache übertragen. Wichtig ist es hierbei, die dafür relevanten Aussagen Stockhausens zu isolieren, dabei aber nicht den Kontext aus dem Auge zu verlieren, da die Regeln die bereits beschriebenen Zeitstrukturen erzeugen sollen, die miteinander in Beziehung stehen. Zwar könnten Aussagen und Terme wie beispielsweise die Intervalle einer Obertonreihe direkt in die Codezeile `Formant = Grundton*Ordnungszahl` übertragen werden, allerdings besteht dann die Gefahr, die Aussagen ohne Bezug zueinander in Code zu übersetzen und dabei den eigentlichen Kern Stockhausens Arbeit – die Beziehung der Elemente zueinander – zu vernachlässigen. Auch werden die Aussagen noch einmal semantisch umformuliert, um sie als eindeutige Regel interpretieren zu können.⁵⁴ Das daraus entstehende Regelwerk wird in drei Teile unterteilt: Die Textpassage bei Stockhausen, Interpretation und Wiedergabe in eigenen Worten und die Übersetzung in Handlungsanweisungen bzw. Pseudocode.

Das Regelwerk und seine Beziehungen werden im Anschluss in einen Programmablaufplan mithilfe des Programms *PapDesigner*⁵⁵ eingearbeitet, um die Struktur des Algorithmus zu manifestieren.⁵⁶ Danach werden sie auf Basis des Diagramms in die Sprache *Python*⁵⁷ übersetzt.

Für den semantischen Zusammenhang und das Verständnis wurde der Text von Stockhausen in Sinneinheiten verfasst, was sich im Programmierablauf jedoch nicht als solches implementieren lässt. Die Regeln zur Komposition müssen hierfür neu geordnet werden.

Angefangen wird bei dem kleinsten kompositorischen Element, um darauf den weiteren Überbau zu setzen. Dabei ist zu beachten, dass sich für den Programmiervorgang die Zeitlichkeit der Musik in zwei Bereiche teilt: Die Tonhöhen und die Rhythmik. Die Tonhöhen finden während des Kompositionsvorgangs in der Rhythmik ihren Platz. Erst werden die Tonhöhen erarbeitet und im Anschluss, auf der Basis dieser Tonhöhen, die Tondauern berechnet.

Im Gegensatz zu Hillers Programm, müssen bei der Komposition nach Stockhausen erst einmal nur die Anfangsnoten per Zufall generiert werden, da der Rest auf Proportionen basieren sollte. Die Töne und deren Dauern werden in Listen⁵⁸ strukturiert, um nicht für jeden Ton eine neue Variable einführen zu müssen und flexibel zu bleiben.

54 Das Regelwerk findet sich im Anhang I.

55 Folkmann, Friedrich. *PapDesigner*. Abgerufen am 04.11.2020 unter: <http://friedrich-folkmann.de/papdesigner/Hauptseite.html>

56 Der Programmablaufplan findet sich in Anhang II.

57 Der Programmiercode findet sich in Anhang III.

58 Vgl. Downey, Allen B. *Programmieren lernen mit Python*. 2. Aufl., Heidelberg: O'Reilly Verlag GmbH & Co. KG, 2014. S. 113 ff.

Als Programmierumgebung dient *Anaconda*⁵⁹ mit Spyder. Hier lassen sich Programme komfortabel implementieren, die Syntax wird automatisch hervorgehoben und es gibt eine intelligente Codingunterstützung. Gearbeitet wird mit den Bibliotheken *pyaudio*⁶⁰, *numpy*⁶¹ und *random*⁶². Diese ermöglichen eine Audioausgabe, mathematische und Zeitoperationen.

Wird mithilfe der Bibliothek *pyaudio* ein Ton generiert, muss die Lautstärke, die Frequenz des Tons und die Samplingrate angegeben werden. Da die Frequenz, also die Tonhöhe, laut Stockhausen sich durch die Häufigkeit der Impulse auszeichnet, wird in diesem Experiment mit der normalen Frequenz gearbeitet und nicht jeder Impuls für sich gesetzt. Nach der Berechnung der Töne und der Rhythmik, wird ein Stream geöffnet, in dem das Stück gespielt wird und mit *Audacity*⁶³ direkt von der Soundkarte aufgenommen und als *Wave*-Datei gespeichert. Das Programm wird mehrmals laufen gelassen, wodurch mehrere Stücke entstehen.

59 Vgl. *Anaconda*. Abgerufen am 10.10.2020 unter: <https://www.anaconda.com/products/individual>

60 Vgl. *PyAudio Documentation*. Abgerufen am 10.10.2020 unter: <https://people.csail.mit.edu/hubert/pyaudio/docs/>

61 Vgl. *Numpy*. Abgerufen am 10.10.2020 unter: <https://numpy.org/>

62 Vgl. *random* – Generate pseudo-random numbers Abgerufen am 10.10.2020 unter: <https://docs.python.org/3/library/random.html>

63 Vgl. *Audacity*. Abgerufen am 10.10.2020 unter: <https://www.audacity.de/>

V. Kritische Betrachtung

Bei der Programmierung ergab sich unter anderem das Problem, dass die Dauernformanten parallel gesetzt werden müssen, damit sich durch die Intensitätsmaxima auch Höhenformanten ergeben.⁶⁴ Parallele Prozessverarbeitung ist dank Multicore-CPU's und Multithreading mittlerweile zwar umzusetzen, aber nicht ohne Weiteres möglich. Entsprechende Bibliotheken ließen sich normalerweise installieren, aber durch die verschiedenen Versionen, die von Python existieren, sind nicht alle untereinander kompatibel. Auch kam es hier zu Problemen der Kompatibilität direkt mit der installierten Version von Python.

Beim Abspielen des Programms war wahrzunehmen, dass zwischen den einzelnen Tönen der Stücke I-IV ein Knacken hörbar ist. Woran das liegt, ist nicht ganz einzugrenzen, liegt vermutlich aber an der Implementierung der Schleifenabläufe mit Python, was eine Pause nach den Tondauern macht. Das Problem ist nicht mehr hörbar, wenn die Spuren übereinander gelegt sind.

Weiterhin war hörbar, dass sich die Zufallswerte der Tonhöhen wahrscheinlich um einen Median herum bilden und die Tonhöhen sich daher in einem oberen Spektrum verteilen, richtige Tiefen also selten vorkommen. Die Streuung ist sehr gering. Formantkomposition hätte dem entgegenwirken können, war aufgrund der oben erwähnten Probleme aber nicht umzusetzen. Um Ergebnisse in einem anderen Spektrum zu erhalten, wurden bei weiteren Durchführungen des Experiments die Parameter für die Maximalhöhe des zufälligen Grundtons nach unten, einmal auf 133Hz⁶⁵ und einmal auf 67Hz⁶⁶, gesetzt. Um ein dem Text zumindest ähnliches Ergebnis zu erreichen, wurden die fünf entstandenen Stücke als Formantspur begriffen und mithilfe von *Audacity* übereinandergelegt. Dabei entstand das Stück *VI_Endkomposition*. Den Anweisungen Stockhausens konnte hier also aufgrund technischer Schwierigkeiten nicht nachgekommen werden, jedoch ein Resultat erzielt werden, das bereits Ähnlichkeiten z.B. mit Stockhausens *Telemusik* aufweist.⁶⁷

Da Stockhausens Abhandlung keine eindeutige Handlungsvorschrift ist, sondern als wissenschaftsprosaischer Text Zusammenhänge zwischen Proportionen und Dauern herstellt, ließen sich auch diese nicht eindeutig implementieren. Proportionen und Elemente werden in Beispielen zwar erläutert, der Weg dahin ist dennoch teilweise unklar. So konnten zum Beispiel die Anordnung der Elemente oder die Proportionen der Dauerngruppen aus dem Text nicht eindeutig rekonstruiert, sondern es musste mit den Schlüssen gearbeitet werden, die die Beispiele zuließen. Stockhausen bezieht sich immer wieder auf ganzzahlige Proportionen, weshalb diese für die Umsetzung in ein Programm maßgeblich waren. Unklare Zusammenhänge konnten hier entweder nicht berücksichtigt, mussten interpoliert⁶⁸ oder, ähnlich Hillers Algo-

64 Vgl. Stockhausen 1957: S. 21f.

65 Stück IV

66 Stück V

67 Vgl. Stockhausen, K. *Telemusik*. Abgerufen am 15.11.2020 unter:
<https://www.youtube.com/watch?v=vdIe2CrorMM>

68 Selbstverständlich handelt es sich hier um keine richtige, mathematische Interpolation, sondern eher ein Abschätzen. In dem Kontext der Programmierung ist der Begriff aber passender als Annahme o.Ä.

rithmus, dem Zufall⁶⁹ überlassen werden. Genannt seien hier die Dauernverhältnisse und die Proportionen bei der Gruppenkomposition⁷⁰ sowie die Auswahl bzw. Permutation der Elemente für die Erstellung von Elementreihen.⁷¹ Folglich bilden das Programm und dessen Ergebnisse kein vollständiges Bild der Kompositionstheorie, sondern es kann nur einen Ausschnitt aufzeigen, welcher das Ästhetikverständnis Stockhausens nur teilweise wiedergibt.

Diese Kompositionstheorie ist eine Struktur komplexer Gedanken, und sie in einem Text zu formulieren, kann dort Schwierigkeiten erzeugen, wo die Worte dafür nicht existieren.⁷² Schließlich handelt es sich bei der Gestaltung der Kompositionstheorie um eine *Techno-logie*, also der Verbindung zwischen Wort bzw. Sinn und Kunst bzw. Handwerk. Stockhausens Text ist also das Wissen, das hinter der Produktion einer seriellen Komposition steht.⁷³ Während des Transfers eines solchen Epistems in Sprache und Worte gehen Informationen verloren. Bei der Interpretation und des Transfers dieser Worte in Code können wiederum nicht alle Informationen übertragen werden.⁷⁴ Ähnlich dem Wirkungsgrad in der Physik, gibt es bei der Übertragung von Informationen von einem Medium in ein anderes einen Verlust, was daran liegen kann, dass die Erstellung von Informationen in einem Medium in der Struktur desselben verankert sind.⁷⁵

Wo diese Informationen fehlen, müssen Entscheidungen gefällt werden. Hieraus ergibt sich eine spannende Erkenntnis: Die Entscheidung wird hier per Zufall getroffen.

69 Solange sich die verschiedenen Phasen auf die Grundphase beziehen, besteht auch unter ihnen eine Proportion. So sollte auch eine zufällige Anordnung der Elemente und Reihen immer noch im Geiste der Arbeit Stockhausens stehen.

70 Vgl. Stockhausen 1957: S. 24ff.

71 Vgl. ebd. S. 17f.

72 Stockhausen hat zur Unterstützung und besseren Nachvollziehbarkeit seiner Entwicklung zwar auch Zeichnungen genutzt, diese erweitern seine Ausführungen jedoch lediglich und komplettieren sie nicht.

73 Vgl. Tulley, R. J. *Is There Techne in My Logos? On the Origins and Evolution of the Ideographic Term—Technology*. In: *The International Journal of Technology, Knowledge & Society*. Vol. 4., Nr. 1., 2008. S. 94 - 104

74 Schließlich ist auch die Informatik ein Produkt menschlichen Denkens und menschlicher Kommunikation. Damit finden Sprache als auch menschengemachte Muster wie Machtstrukturen oder kulturelle Bedingungen Eingang in die Informationstheorie.

75 Wenn z.B. ein Satz auf ein Blatt Papier geschrieben wird, so birgt dieser nicht nur in der Semantik Informationen, sondern auch in der äußeren Form. „Gekritzelt“ lässt zum Beispiel auf Hektik der verfassenden Person schließen, Schönschrift hingegen darauf, dass sich die verfassende Person Zeit genommen hat. Derselbe Satz in einen Computer getippt und gespeichert, lässt solche Rückschlüsse nicht zu. Dafür kann man hier Informationen über das verwendete Office-Programm, den Zeitpunkt des Schreibens usw. in den Metadaten der Datei auslesen.

VI. Finale

Auch wenn die Entscheidung im Computer von einer Zufallszahl⁷⁶ getroffen wird, so gibt sie dem Computer doch eine *Entscheidungsfreiheit*. Ob ein Computer wirklich entscheiden kann, ist stark verknüpft mit der Frage nach dem freien Willen der Menschen. Arbeitet ein Algorithmus deterministisch, so bringt der Zufall ein Moment der Nichtvorhersagbarkeit in diesen Determinismus. Stephen Hawking führt Heisenbergs Unschärferelation ins Feld, wenn es darum geht, gegen ein deterministisches Zeitgeschehen zu argumentieren. Durch die Nicht-Beobachtbarkeit des Zustands eines Teilchens, lässt sich nicht vorhersagen, welche Position und Geschwindigkeit resultieren werden. Demzufolge ist das Universum nicht vorhersagbar und damit auch nicht deterministisch.⁷⁷ Wenn ein Computer in seiner scheinbar doch deterministischen Welt per Zufall entscheidet, schließt sich der Gedanke daran an, ob der freie Wille der Menschen wirklich freier Wille oder auch nur Zufall ist.

Die Begründung serieller Musik offenbart hingegen durch strikt mathematische Zusammenhänge ein halbwegs deterministisches Weltbild der seriellen Komponisten.⁷⁸ Halbwegs deterministisch lässt sich hier mit Schopenhauers Ausspruch „Der Mensch kann zwar tun, was er will, aber er kann nicht wollen, was er will.“⁷⁹ auflösen. Unser Wille ist zwar von äußeren Einflüssen geprägt, die letztendliche Entscheidung darüber bleibt aber bei uns.⁸⁰ Ähnlich wie der Algorithmus innerhalb der Regeln die Entscheidung über die komponierten Noten per Zufall trifft, trifft der Mensch seine Entscheidung innerhalb der Bahnen, die ihm die äußeren Einflüsse vorgeben. Die *Entscheidungsfreiheit* liegt beim Menschen als auch beim Computer ganz ähnlich verortet.

Trotz der Entscheidungsfreiheit des Computers, fehlt ihm zum richtigen Komponieren der *Wille*, ein Werk zu kreieren. Durch einen Algorithmus wird zwar ein Werk erzeugt, allerdings ohne Intention. Die Intention liegt weiterhin beim Autor/der Autorin bzw. der Person, die das Programm erzeugt. Wo die Autorenschaft dafür liegt, ist eine spannende Frage, die in zukünftigen Arbeiten untersucht werden kann.

Hillers Gedanke, Musik mithilfe von Informationstechnologie zu erstellen, trägt auf jeden Fall Früchte, allerdings lässt sich eine Synthese mithilfe eines einfachen Algorithmus nicht ohne Weiteres bewerkstelligen. Auch wenn Stockhausens Text eine einwandfrei mathematische Konstruktion von Musik zu beinhalten scheint, treten in der praktischen Umsetzung andere Effekte in Erscheinung. Um Stockhausens Kompositionstheorie wirklich gerecht zu werden,

76 Hier soll von keiner Pseudozufallszahl ausgegangen werden, sondern von einer tatsächlichen, nicht-deterministisch generierten Zufallszahl. Vgl. hierzu Theiss, Daniel. *Wie die Erzeugung von Zufallszahlen Wissenschaft und Technik bereichert*. Abgerufen am 13.11.2020 unter: <https://www.scinexx.de/businessnews/wie-die-erzeugung-von-zufallszahlen-wissenschaft-und-technik-bereichert/>

77 Hawking, Stephen. *Kurze Antworten auf grosse Fragen*. Stuttgart: J. G. Cotta'sche Buchhandlung Nachfolger GmbH, 2018. S. 118ff.

78 Zwar wird ein deterministisches Weltbild nicht explizit erwähnt, lässt sich jedoch durch die Vororganisation serieller Musik nicht von der Hand weisen, gibt sich doch das „Bild der Ästhetik Serieller Musik als ‚Schönheit im Auftun reiner Struktur‘“ (Finnendahl 1999: S. 10).

79 Zitiert nach Lührs, Greta. *Kann der Mensch wollen, was er will?* In: Hohe Luft. Abgerufen am 11.11.2020 unter: <https://www.hoheluft-magazin.de/2013/08/kann-der-mensch-wollen-was-er-will/>

80 Vgl. ebd.

kann das richtige Werkzeug eventuell ein Neuronales Netz sein, das aufgrund von Stockhausens Werken lernt, richtig seriell zu komponieren. Das funktioniert aber auch nur, wenn Stockhausen seiner Theorie selbst gerecht geworden ist.

Literaturverzeichnis

Anaconda. Abgerufen am 10.10.2020 unter: <https://www.anaconda.com/products/individual>

Audacity. Abgerufen am 10.10.2020 unter: <https://www.audacity.de/>

Darmstädter Ferienkurse. *Teilnehmerliste*. Abgerufen am 01.10.2020 unter: https://issuu.com/internationales-musikinstitut/docs/darmstaedter_ferienkurse_1946-1966/110

Downey, Allen B. *Programmieren lernen mit Python*. 2. Aufl., Heidelberg: O'Reilly Verlag GmbH & Co. KG, 2014.

Finnendahl, Orm. *Vorwort*. In: Finnendahl, Orm (Hg.), *kontexte – Beiträge zur zeitgenössischen Musik – 01 Die Anfänge der seriellen Musik*, Berlin: Institut für Neue Musik der Hochschule der Künste Berlin, 1999.

Gredinger, Paul. *Das Serielle*. In: Eimert, H. (Hg.), *die Reihe – Information über serielle Musik*. Heft 1 – Elektronische Musik, Wien: Universal Edition. A. G. 1955. S.34-41

Gruhn, Wilfried. *Integrale Komposition – Zu Bernd Alois Zimmermanns Pluralismus-Begriff*. In: *Archiv für Musikwissenschaft*, 40. Jg., H. 4, 1983. S. 287-302

Hajdu, Georg. *Der Computer als Inspirationsquelle für Komponisten*. In: Enders, B. (Hg.), *Mathematische Musik – musikalische Mathematik*, Saarbrücken: PFAU-Verlag, 2005.

Hawking. Stephen. *Kurze Antworten auf grosse Fragen*. Stuttgart: J. G. Cotta'sche Buchhandlung Nachfolger GmbH, 2018.

Hiller, Lejaren A. & Isaacson, Leonard M. *Musical Composition With A High Speed Digital Computer*. In: *Journal of the Audio Engineering Society*, Preprint, 1957.

Hiller, Lejaren. A. & Isaacson, Leonard. M. *Experimental Music*. New York: McGraw-Hill Book Company Inc., 1959.

Hiller, Lejaren A. & Isaacson, Leonard M. *Illiac Suite*. Abgerufen am 27.06.2020 unter: <https://www.youtube.com/watch?v=fojKZ1ymZlo>

Hiller, Lejaren A. *Informationstheorie und Computermusik*. In: Thomas, E. (Hg.), *Darmstädter Beiträge zur Neuen Musik VIII – Informationstheorie und Computermusik*, 1964.

Lührs, Greta. *Kann der Mensch wollen, was er will?* In: *Hohe Luft*. Abgerufen am 11.11.2020 unter: <https://www.hoheluft-magazin.de/2013/08/kann-der-mensch-wollen-was-er-will/>

Miyazaki, Shintaro. *Das Algorhythmische. Microsound an der Schwelle zwischen Klang und Rhythmus*. In: Axel Volmar (Hg.), *Zeitkritische Medien*, Berlin: Kulturverlag Kadmos, 2009. S. 383-396

Nierhaus, Gerhard. *Algorithmic Composition – Paradigms of Automated Music Generation*. Wien: Springer-Verlag, 2009.

Precht, P. & Burkhard, F.-P. (Hg.): *Dialektik*. In: Metzler Lexikon Philosophie. 3. Aufl. Stuttgart: Springer-Verlag, 2008.

Spektrum der Wissenschaft. *De-Broglie-Welle*. In: Spektrum – Lexikon der Physik. Abgerufen am 27.06.2020 unter: <https://www.spektrum.de/lexikon/physik/de-broglie-welle/2792>

Spektrum der Wissenschaft. *Kybernetik*. In: Spektrum – Lexikon der Physik. Abgerufen am 27.06.2020 unter: <https://www.spektrum.de/lexikon/physik/kybernetik/8664>

Spektrum der Wissenschaft. *Raumzeit*. In: Spektrum – Lexikon der Physik. Abgerufen am 27.06.2020 unter: <https://www.spektrum.de/lexikon/physik/raumzeit/12135>

Stockhausen, Karlheinz. *Telemusik*. Abgerufen am 15.11.2020 unter: <https://www.youtube.com/watch?v=vdIe2CrorMM>

Stockhausen, Karlheinz ...*wie die Zeit vergeht*... In: Die Reihe. Information über serielle Musik, Heft 3, Wien / Zürich / London: Universal Edition, 1957.

Theiss, Daniel. *Wie die Erzeugung von Zufallszahlen Wissenschaft und Technik bereichert*. Abgerufen am 13.11.2020 unter: <https://www.scinexx.de/businessnews/wie-die-erzeugung-von-zufallszahlen-wissenschaft-und-technik-bereichert/>

Tulley, Ron. J. *Is There Techne in My Logos? On the Origins and Evolution of the Ideographic Term—Technology*. In: The International Journal of Technology, Knowledge & Society. Vol. 4., Nr. 1., 2008.

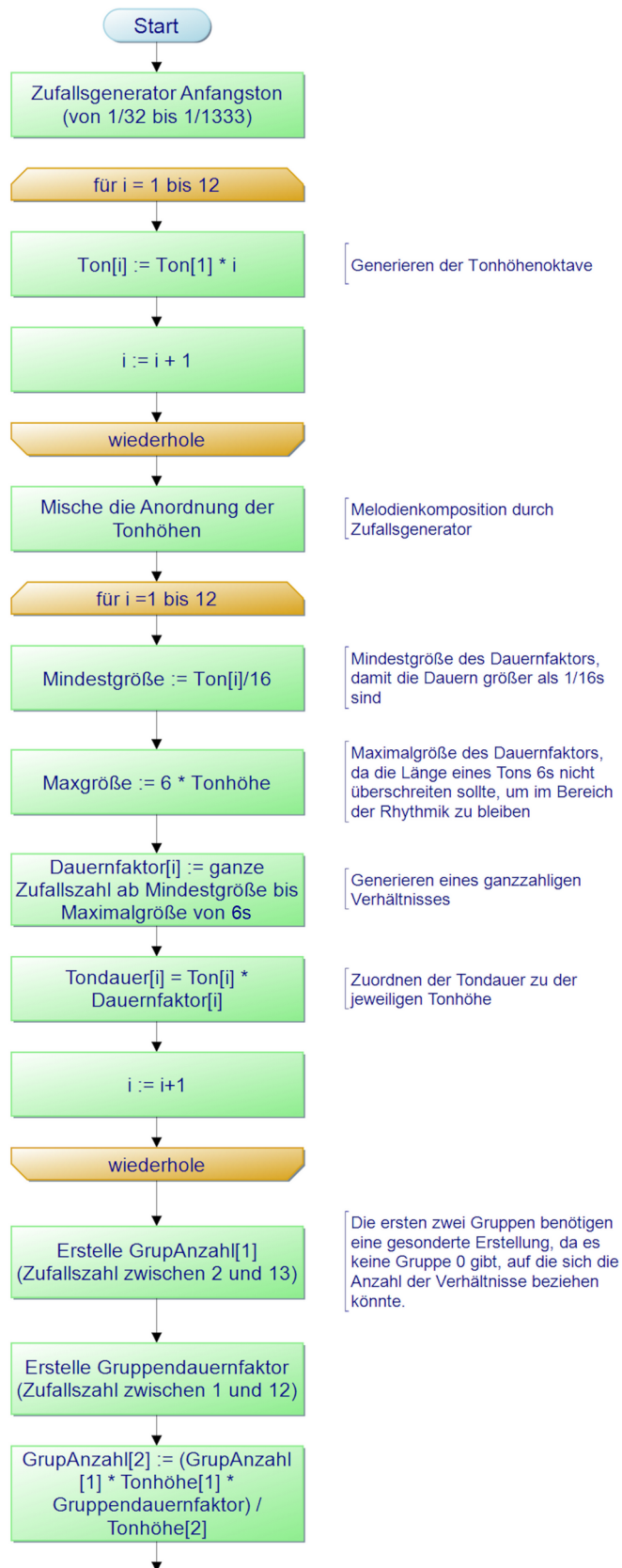
Anhang I - Regelwerk

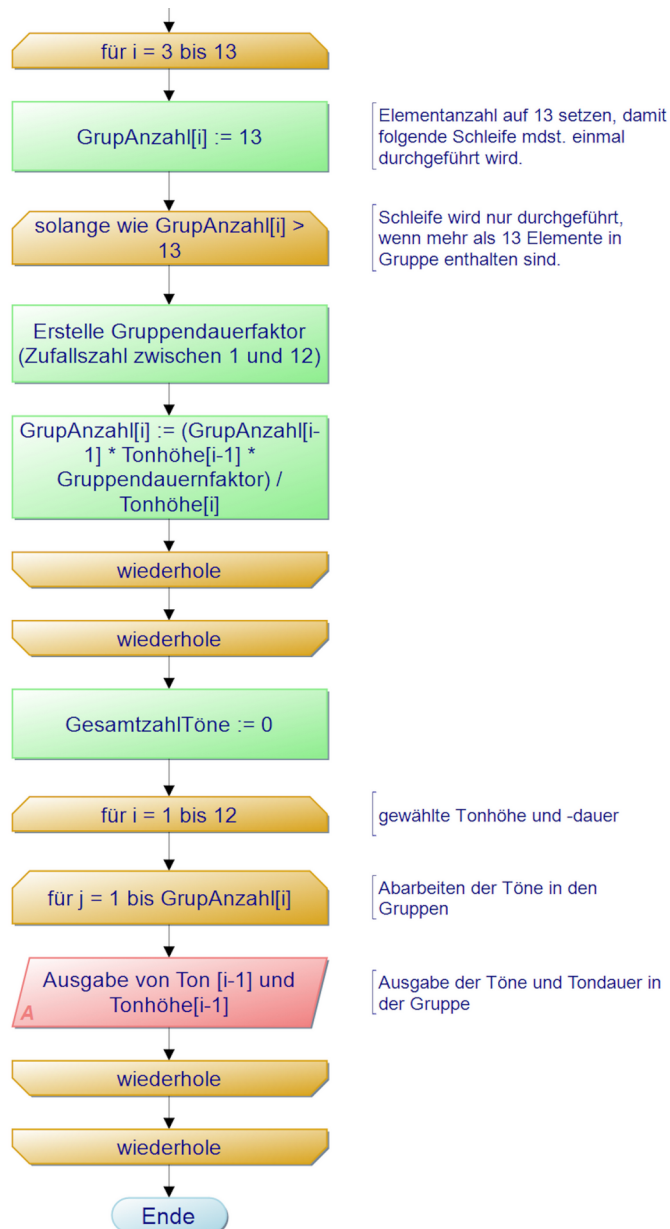
Textstelle	S.	Bedeutung	Implementierung
„...6 Sek bis 1/16 Sek. Phasendauer spielte sich in unserer bisherigen Musik die sogenannte ‚Metrik und Rhythmik‘ ab, die Zeitordnung der Dauern. Von ca. 1/16 Sek. Bis zu ca. 1/32000 Sek. Phasendauer (...) erstreckt sich der Zeitbereich, in dem Phasenproportionen als Tonhöhenbeziehungen in ‚Harmonik und Melodik‘ definiert wurden.“	13	6s - 1/16s → Metrik & Rhythmik	z.B. iterativ
		1/32s - 1/6000s → Harmonik & Melodik (Tonhöhe)	als Tonhöhe (Frequenz)
<p>„Das dominierende Verhältnis der 2 (...) (ist) der ‚Goldene Schnitt‘ der Akustik. Wir empfinden im Bereich der Mikro- und Makrophasen, der Höhen und Dauern, alle Proportionen auf der Basis 2 als die ‚einfachsten‘, als Regulativ. ‚Doppelt oder eineinhalbmal so hoch (eine Tonhöhenoktave), so lang (eine Dauern-Oktave)‘ erscheinen uns als die ‚reinste‘ Proportion, auf die alle anderen bezogen werden.“</p> <p>„Beträgt die Grundphase $\circ = \frac{1}{100}$ Sek., so die halbe Phase $\downarrow = \frac{1}{200}$ Sek., eine Drittelpause $\downarrow^3 = \frac{1}{300}$ Sek. Und eine Zwölftelpause $\downarrow^{12} = \frac{1}{1200}$ Sek. usw.“</p> <p>„Folgerichtig wurden in der bisherigen Praxis als einzelne Proportionen fast nur die 2er-Verhältnisse notiert.“</p>	19	<p>Harmonische Töne liegen entweder im 2-fachen oder deren ganzzahligen Vielfachen der Frequenz des Grundtons.</p> <p>Der 1. Grundton muss in einem Rahmen von 1/16s und 1/2666s sein, damit das höchste Vielfache 1/32000 nicht überschreitet.</p> <p>Hieraus ergibt sich die harmonische oder Obertonreihe.</p>	<p>Generiere Zufallszahl zwischen 1/32 und 1/1333 $\text{Ton}_1 := \text{Zufallszahl}$</p> <p>Wiederhole 12x: $\text{Ton}_i := \text{Ton}_1 * i.$</p>
<p>„Also müssen die Bruchteile sich immer wieder zum ganzen Grundwert ergänzen. Auf eine Grundphase kommen zwei halbe, drei drittel usw. Ein solches Gebilde definieren wir als harmonisches Phasenspektrum, ob es sich um auf Mikrophasen (Höhen) oder Makrophasen (Dauern) bezieht“</p> <p>„Der erste Formant ist demnach die Grundphase selbst, der zweite Formant die Zweiteilung</p>	19 - 20	<p>Ein Phasenspektrum bezieht sich auf eine Grundphase. Das Spektrum ergibt insgesamt wieder den Wert der Grundphase.</p> <p>Der 1. Formant ist die Grundphase, alle weiteren entsprechen der Ordnungszahl:</p> <p>01. Formant 1/1 02. Formant 2/2 03. Formant 3/3 04. Formant 4/4</p>	<p>12malige Wiederholung, wobei i die Zählvariable für den Ton: 12malige Wiederholung, wobei j die Zählvariable für die Ordnungszahl des Formanten: $\text{Formant}_{ij} := \text{Ton}_i / j$</p>

der Grundphase usw.“		05. Formant 5/5 06. Formant 6/6 07. Formant 7/7 08. Formant 8/8 09. Formant 9/9 10. Formant 10/10 11. Formant 11/11 12. Formant 12/12 Sowohl Dauer als auch Tonhöhe besitzen ein Phasenspektrum.	
„Wenn z.B. die Elementreihe so verlief: 12, 11, 9, 10, 3, 6, 7, 1, 2, 8, 4, 5/11, 10, 8, 9, 2, 5, 6, 12, 1...“	17	Zu der Anordnung der Elemente, die nicht die Skala sind, also eine Melodie bilden, lässt sich nur ein Beispiel, aber keine Ausführung dazu finden. Aus diesem Grund wird das an dieser Stelle dem Zufall überlassen. Schließlich sind die Zahlen untereinander proportional, da sie auf derselben Grundphase beruhen.	Mische die Zahlen von 1-12. Weise den Tönen für die Melodie eine neue Ordnungszahl zu.
„Die Dauer eines Phasenspektrums wird durch die Grundphase definiert (...), und die Einzeldauer in den Formanten ergibt sich aus der Ordnungszahl des Formanten, bezogen auf die Dauer der Grundphase“	20	Wenn ein Formant gespielt wird, muss er so oft vorkommen, dass er aufsummiert die Grundphase gibt. Der 8. Formant muss achtmal vorkommen, um die Grundphase zu ergeben.	Schreibe Formant X x-mal hintereinander
„Zwei oder mehr Formanten definieren aber nicht allein sich selbst, sondern ihren gemeinsamen Grundton, und zwar durch den Phasenabstand zwischen den Hauptmaxima, die aus der zeitlichen Überlagerung der Formanten resultieren, wenn zwei oder mehr Phasenmaxima zusammenfallen (...) Einen periodischen Schallvorgang mit mehreren verschieden großen Intensitätsmaxima pro Grundphase nennt man exakterweise nicht mehr einen ‚Ton‘, sondern einen ‚Klang‘ (...) Wichtig ist für den Musiker, daß (...) jene Intensitätskurven aus der Überlagerung von Formanten resultieren; daß ‚Klangfarbe‘ das Ergebnis von Zeitstruktur ist“	21 - 22	Der Grundton selbst muss nicht gespielt werden, sondern kann durch die Formanten gebildet werden. Die Kombination verschiedener Phasendauern bzw. Töne ergibt einen Klang und werden als Kombinationston wahrgenommen, als eben dieser Grundton.	Zwei Formanten eines Tons ergeben einen Kombinationston. Die werden parallel erzeugt. Hierzu muss auch eine parallele Prozessverarbeitung stattfinden. Der Grundton selbst muss nicht, kann aber zusätzlich auch erzeugt werden. Das ändert die Intensität des Grundtons im Klang. Das wird hier per Zufall entschieden.
„Wie sähe eine Skala von Grunddauern aus, die der Skala der Grundtöne entspräche?“ „Wählen wir den einfachsten Fall, daß eine Rei-	23 - 27	Die Dauernoktave konstituiert sich ebenfalls durch die Grundphase. Da jeder Tonhöhe eine Tondauer zugeordnet wird, ergibt sich eine Dauernoktave von 12 Dauern.	Wiederhole: Dauernfaktor := ganzzahlige Zufallszahl zwischen 1 und 12 Wenn Dauernfaktor * Tonhöhe ₁ > 1/16s, dann beende Wieder-

he der Grunddauern einer Reihe der Grundtöne direkt proportional ist.“		Dabei muss die Tondauer höher als 1/16s liegen.	holung Wiederhole 12mal: Tondauer _i := z * Tonhöhe _i
„Stellt man solche Formantproportionen sukzessiv dar, so summieren sich verschieden viele gleich lange Dauern zu Gruppen; diese sind von einer Gruppe zur nächsten gleich lang (die ersten 10 so lang, wie die folgenden 2 usw.). Jede Gruppe ist aber, mit Ausnahme der ersten und der letzten, doppeldeutig; Sie ist nämlich zweites Glied eines 1. Intervall (...) und erstes Glied eines folgenden Intervalls“	26 - 27	<p>Die Dauern einer ersten Gruppe sind genauso lang wie die der darauffolgenden zweiten Gruppe. Die Dauern der darauffolgenden Gruppe sind der Anfang der nächsten Proportion. Insgesamt ergeben die Proportionen wieder eins.</p> <p>Eine (Rhythmus-)Dauer verteilt sich also auf verschieden gleich lange Phasen. Also besteht zum Beispiel eine Gruppendauer aus 10 Grunddauern (also 10:10), woraus eine Grunddauer dann 1/10 der Gruppendauer ist. Die darauffolgende Gruppendauer soll genauso lang sein. Stockhausens Beispiel zufolge ist die Gruppendauer (2:2), eine Grunddauer also 1/2.</p> <p>Da es 12 Intervalle geben muss, laut Stockhausen aber erst ab 2 Phasen eine Beziehung herzustellen ist, muss hier mit 13 Phasendauern gearbeitet werden, da die erste sozusagen entfällt.</p>	<p>Die Anzahl der Dauern einer Anfangsgruppe sei frei gewählt, also per Zufallsgenerator. Eine Gruppe hat zwei Eigenschaften, die sie definiert: Anzahl der Töne, sowie deren Dauer.</p> <p>Die folgende Gruppe ist genauso lang.</p> <p>Fange an mit zufälliger Grunddauer x und einer zufälligen Anzahl Gruppenelemente y</p> <p>Erstelle die erste GrupAnzahl als Zufallszahl der Elemente zwischen 2 und 13 Erstelle Dauernfaktor als Zufallszahl zwischen 1 und 12.</p> <p>Wiederhole 11mal ab GrupAnzahl₂ GrupAnzahl_i := (GrupAnzahl_{i-1} * Tonhöhe_{i-1} * Dauernfaktor) / Tonhöhe_i Wenn GrupAnzahl_i > 13, dann GrupAnzahl_{i-1} := neue Zufallszahl, aber nicht kleiner als GrupAnzahl₂</p>

Anhang II – Programmablaufplan





Anhang III - Programmcode

```
# -*- coding: utf-8 -*-
"""
Created on Fri Oct 02 14:26:07 2020

@author: Raphael J. Tostlebe
"""

import pyaudio
import numpy as np
import random

p = pyaudio.PyAudio()

"""
Lautstärke und Samplerate wird festgesetzt
"""
volume = 0.5      # range [0.0, 1.0]
fs = 44100         # sampling rate, Hz, must be integer
f = 440.0          # sine frequency, Hz, may be float

# for paFloat32 sample values must be in range [-1.0, 1.0]
stream = p.open(format=pyaudio.paFloat32,
                 channels=1,
                 rate=fs,
                 output=True)

#Listen werden erstellt
Tondauer = []
Dauernfaktor = []
GrupAnzahl = []
Gruppendauernfaktor = []
Tonhoehe = []

Tonhoehe = [np.random.randint(32, 1333)] #Anfangston generieren

#12-Tonreihe generieren
for i in range(1,13):
    Tonhoehe.append(Tonhoehe[0] * i)

#Tondauern generieren und zuordnen:
for i in range(0,12):
    Maxgroesse = 6*Tonhoehe[i] #Maximalgröße bei 6s
    Mindestgroesse = Tonhoehe[i]/32 #Mindestgröße sollte bei 1/32s liegen
    Dauernfaktor.append(np.random.randint(Mindestgroesse, Maxgroesse))
    Tondauer.append(1 / Tonhoehe[i] * Dauernfaktor[i])

#Melodiekomposition
random.shuffle(Tonhoehe) #12-Tonreihe mischen

#Gruppenkomposition
GrupAnzahl.append(np.random.randint(2,14))
for i in range(0, 12):
    GrupAnzahl.append(np.random.randint(2,14))
    Gruppendauernfaktor = np.random.randint(1,12)
    MeineVariable = (GrupAnzahl[0] * Tonhoehe[0] * Gruppendauernfaktor) / Tonhoehe[1]

for i in range(2,12):
    GrupAnzahl[i] = 13
    while GrupAnzahl[i] > 13:
        Gruppendauernfaktor = np.random.randint(1,12)
        GrupAnzahl[i] = (GrupAnzahl[i-1] * Tonhoehe[i-1] * Gruppendauernfaktor) / Tonhoehe[i]

#Ausgabe der Komposition
for i in range(0, 12):
    for j in range(1, GrupAnzahl[i]):
        f = Tonhoehe[i]
        duration = Tondauer[i]
        samples = (np.sin(2*np.pi*np.arange(fs*duration)*f/fs)).astype(np.float32)
```

```
        stream.write(volume*samples)
stream.stop_stream()
stream.close()
p.terminate()
```


Anhang IV – Stücke

I_Stück.mp3

II_Stück.mp3

III_Stück.mp3

IV_Stück.mp3

V_Stück.mp3

VI_Endkomposition.mp3

Endkomposition.aup