

ÜBERLEGUNGEN ZU EINER NEUEN THEORIE DER HARMONIE

GEORG HAJDU

Brauchen wir eine neue Harmonielehre?

In seinem 1983 verfassten, zweiteiligen Aufsatz "John Cage and the Theory of Harmony", versucht James Tenney eine Revision der klassischen Harmonielehre [1]. Er schreibt: "Unfähig, mit den radikalen Änderungen in der Kompositionspraxis mitzuhalten, ist die Harmonielehre kaum mehr als eine Übung in 'historischer Musikwissenschaft' und hat aufgehört, von unmittelbarer Bedeutung für die zeitgenössische Musik zu sein". Er schreibt diese Krise der Harmonielehre einem zu eng gefassten Begriff von "Harmonie" zu, der sich in der klassischen Lehre auf diatonische Terzschichtungen beschränkt. "Es erscheint mir, dass eine echte Harmonielehre von nun an eine Theorie der harmonischen Wahrnehmung sein sollte," fährt Tenney fort. Er stellt drei Bedingungen auf, die die neue Lehre zu erfüllen habe:

Erstens, sie soll *beschreibend* und nicht *vorschreibend* sein.

Zweitens, sie soll allgemein anwendbar sein.

Drittens, sie soll quantitativ und daher überprüfbar sein.

Diese Bedingungen, so Tenney, ließen sich am Werke von John Cage am besten testen - nicht zuletzt, da dieser alte Denkschemata, Annahmen und Definitionen wie kein anderer in diesem Jahrhundert in Frage gestellt habe und als Komponist glaubhaft sei.

Im zweiten Teil seines Aufsatzes nimmt James Tenney ein Zitat Cages zum Ausgangspunkt in der Errichtung eines neuen harmonischen Denkgebäudes: "Das Hören von Klängen, die nur Klänge sind, bringt den theoretisierenden Verstand sofort zum Theoretisieren." [2] Und so entwickelt Tenney ein mehrdimensionales, geometrisches Modell von Tonhöhenverwandtschaften, das sich auf Primzahlverhältnisse stützt.

Am Schluss seines Essays geht er auf die Frage nach der Bedeutung der Obertonreihe auf die harmonische Wahrnehmung ein. Er stellt fest, dass die Psychoakustik [zum Erscheinen seines Artikels] noch keine nennenswerten Fortschritte in der Erklärung der einzigartigen Bedeutung der Obertonreihe gemacht habe, vermutet aber, dass die Einzigartigkeit weniger in der Reihe selbst als vielmehr in den Mechanismen der Wahrnehmung verborgen sei¹.

Perzeption und Kognition

Eigentlich mehr am Rande geht Tenney auch auf die kognitiven Leistungen des Gehirns beim harmonischen Hören ein und schreibt dem Kurzzeitgedächtnis eine besondere Bedeutung bei der Erfassung von Klängen zu. In der kognitiven Psychologie spielt allerdings auch das Langzeitgedächtnis eine eminente Rolle, insofern als sich viele unserer Reaktionen auf Erfahrungen und damit auf Erlerntes zurückführen lassen.

Die Psychologen Krumhansl und Shepard haben in Bahn brechenden Experimenten eine Methode entwickelt, die tonale Hierarchien, die sich im musikalischen Bewusstsein entwickelt haben, ermittelt. Das Prinzip dieser "probe tone method" (Versuchstonmethode) ist einfach darzustellen [3]: Einer Testperson wird eine Skala (Dur, moll oder in vielen nachfolgenden Experimenten auch ethnische Skalen und Modi) vorgespielt, wobei der abschließende Tonikaton fortgelassen und stattdessen nach dem Zufallsprinzip ein beliebiger Skalen- oder skalenfremder Ton präsentiert wird. Die Testperson ist nun aufgefordert, die Akzeptierbarkeit des Versuchstons als Schlussston auf einer Skala von 1 ("passt nicht") bis 7 ("passt sehr gut") zu bewerten.

Krumhansl und Shepard teilten dabei die Versuchspersonen nach dem Grad ihrer musikalischen Vorbildung in drei Gruppen ein, deren Reaktionen sich beträchtlich unterschieden. Die Analyse der Resultate machte deutlich, dass zwei Faktoren die Akzeptanz bestimmen, und zwar für die verschiedenen Gruppen zu unterschiedlichen Anteilen. Während die Gruppe mit der geringsten musikalischen Vorbildung die Akzeptierbarkeit des Schlussstons als Funktion der Tonhöhendistanz zum erwarteten Ton ansahen, so wurde bei der Gruppe mit der größten mu-

¹ Es ist unter anderem meine Absicht mit diesem Aufsatz, auf die von Tenney angemahnten, aber mittlerweile doch erreichten Fortschritte auf dem Gebiet der Psychoakustik und kognitiven Psychologie aufmerksam zu machen.

sikalischen Vorbildung ein anderes Prinzip deutlich: das der tonalen Hierarchien, wie sie auch die Grundlage der abendländischen Harmonielehre ist.

Krumhansl geht in ihrem Buch "Cognitive Foundations of Musical Pitch" [4] der Frage nach, was die treibende Kraft bei der Ausprägung dieser Hierarchien sei und stellt verschiedene Hypothesen zur Diskussion:

- 1.) Sensorische Konsonanz/Dissonanz (nach von Helmholtz) [5]
- 2.) Wahrnehmung virtueller Tonhöhen (nach Terhardt) [6]
- 3.) Statistische Tonhöhenverteilung in tonaler Musik (nach L.B. Meyer) [7]
- 4.) "Kodierung gewisser Eigenschaften von Information durch eine kleine Zahl fundamentaler kognitiver Prozesse ins Langzeitgedächtnis" (nach Hasher & Sacks) [8]

Sie selbst neigt dabei der vierten Hypothese zu, dennoch bleibt zu klären, was genau diese "gewissen" Eigenschaften von Klanginformation sind.

Neuronale Netzwerke

Das Phänomen der tonalen Hierarchien erklärt sich in der Art und Weise, mit der das Gehirn Wahrnehmungen verarbeitet. Es ist daher zu vermuten, dass neuronale Netzwerke in der Lage sind, Aspekte dieser mentalen Leistungen zu simulieren; und in der Tat ist es der Forschung gelungen, viel versprechende Resultate zu liefern: Der amerikanische Psychoakustiker Jamshed Bharucha setzte ein selbst lernendes Netzwerk harmonischen Spektren aus. Nach einer gewissen Zeit erwies sich das Netzwerk nicht nur in der Lage, das Muster zu erlernen und einen Grundton für das gegebene Spektrum zu bestimmen, sondern sogar dazu, fehlende Informationen zu ergänzen [9]: Der Grundton/Residualton konnte sogar noch in Abwesenheit des ersten Partialtons zuverlässig bestimmt werden - eine Leistung, die auch von den meisten Menschen problemlos und unwillkürlich erbracht wird.

Nun könnten die ubiquitären Vokale der menschlichen Sprache mit ihren harmonischen Spektren das "Trainingsmaterial" darstellen, mit denen das Gehirn des heranwachsenden Kindes dazu konditioniert wird, die akustische Gestalt eines Spektrums mit vielen Teiltönen in das einfache mentale Objekt eines Einzeltons zu transformieren. Liegt also hierin der Schlüssel zum Verständnis des harmonischen Hörens und damit der tonalen Hierarchien?

Mentale Objekte

Nähe ("proximity") und Ähnlichkeit ("similarity") sind zwei Prinzipien der Gestaltpsychologie, auf die sich die "auditory scene analysis" des Psychologen Albert Bregman stützt [10]. Hierbei werden akustische Ereignisse als Objekte angesehen, die sich analog zur visuellen Ebene verhalten können. Man kann zum Beispiel ein akustisches Objekt hinter einem anderen verstecken, dieses nach einiger Zeit wieder auftauchen lassen, und somit die Illusion vermitteln, es hätte kontinuierlich fortgedauert.

Auch abstrakte musikalische Phänomene lassen sich als geometrische Objekte darstellen. Was dabei auffällt ist, dass sich diese Darstellungen einander oft ähneln - ein Verweis auf die holistische Natur der Musik.

So konstruiert Tenney in seinem eingangs erwähnten Essay eine trichterförmige Projektion von Teiltönen [1]. Der Trichter spitzt sich dabei auf den Grundton hin zu.

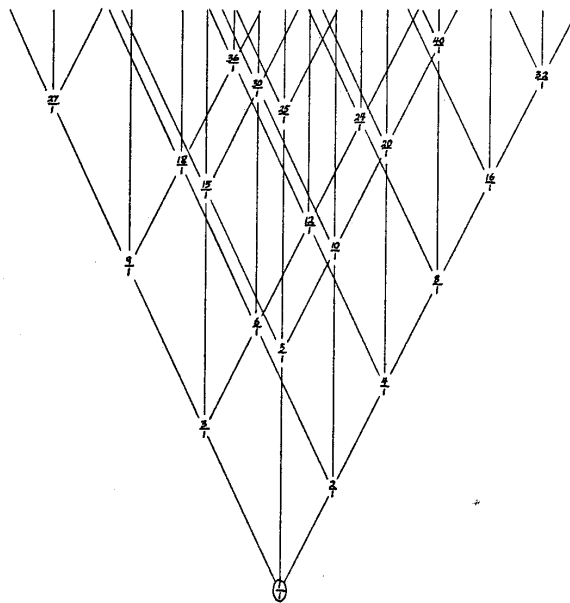


Abbildung 1. Tenneys Trichter aus Teiltonbeziehungen [1]

Einen ähnlichen Trichter, nun allerdings auf der Ebene der Tonarten mit ihren Skalentönen, entwerfen Krumhansl und Kessler. Auf der Spitze befindet sich jetzt der Tonikaton, um den herum sich die anderen Skalen- und skalenfremden Töne organisieren [4].

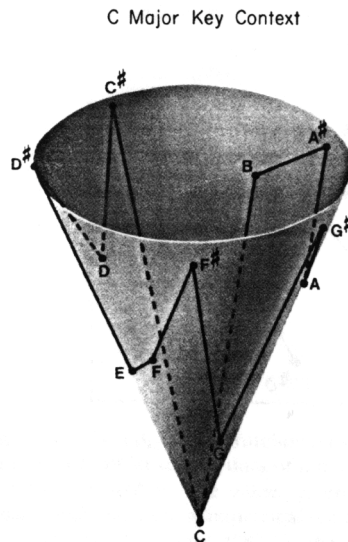


Abbildung 2. Durch die Anwendung des mathematischen Prinzips der multidimensionalen Skalierung gewinnt Krumhansl aus empirischen Daten ein geometrisches Modell von Tonhöhenverwandtschaften [4].

Auch der gesamte Tonartenraum lässt sich als zirkuläres, geometrisches Objekt, diesmal als Torus, darstellen, wobei sich der Quintenzirkel dreimal um ihn herumwindet. Dieser Torus ist wiederum nichts anderes als eine Skalierung der durch die "probe tone method" gewonnenen Daten.

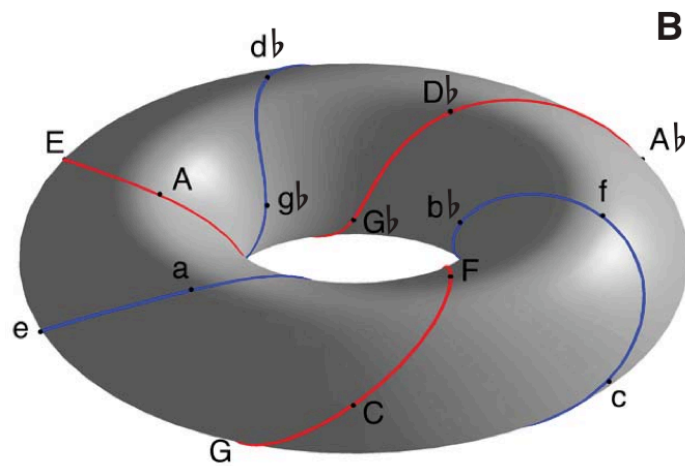


Abbildung 4: Die moll- (Kleinbuchstaben) und Dur- (Großbuchstaben) Tonarten winden sich im Quintenzirkel um die Torusoberfläche [11].

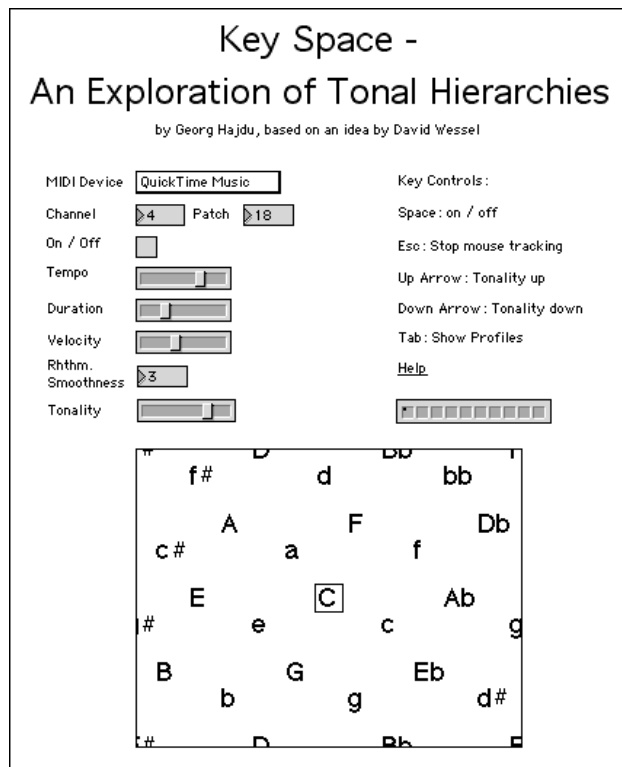


Abbildung 5: Basierend auf dem Prinzip der tonalen Hierarchien hat der Autor 1992 ein interaktives Programm zur Generierung von Tonfolgen geschrieben. Der/die Benutzer/in kann durch Navigieren auf der Oberfläche des in zwei Dimensionen aufgeschnittenen und auf die Bildschirmoberfläche projizierten Torus von Tonart zu Tonart modulieren.[12]

Hinweise, dass das Gehirn bei der Bestimmung von Tonhöhen den Tonraum wie in einer Filmszene in Form von Frames „sieht“, kommen unter anderem von Slaney und Lyon [13] [14]. Die beiden Psychoakustiker haben ein Ohrmodell entwickelt, bei dem der mehrkanalige Output der Cochlea einer Autokorrelation unterworfen wird. Das resultierende Korrelogramm weist bei harmonischen Spektren eine regelmäßige, an Moiré-Muster gemahnende Struktur auf, die sich auf die wahrgenommene Frequenz wiederum trichterartig verjüngt. Frequenzbestimmungen erfolgen dann durch Summation der Bänder.

Über die Bedeutung dieser Trichter lässt sich jetzt nun spekulieren: Möglicherweise stehen zwei Strategien des harmonischen Hörens mit einander im Wettbewerb: Einerseits der vom Grundton ausgehende, sich nach oben öffnende Trichter, der ein harmonisch-melodisches Feld ausbildet, und andererseits ein sich nach unten verjüngender Trichter, der aus einer gegebenen Folge von Melodietönen einen Basston extrapoliert. Interessante musikalische Ergebnisse ergeben sich durch die Dialektik von Kongruenz/Inkongruenz beider, von unserem

Gehirn gleichzeitig zur Anwendung gebrachter Strategien². Experimente in der Tonhöhenerkennung und Residualtonsynthese legen außerdem nahe, dass diese mentalen Trichter nicht beliebig im Tonraum verschoben werden können. Im Gegenteil, sowohl psychoakustische als auch die instrumentatorische Praxis suggerieren die Existenz von fest verankerten, überlappenden Bereichen, die man als residuale, „harmonigene“ und „melogene“ Bereiche (mit einem zusätzlichen perkussiven Bereich in den hohen und höchsten Frequenzen) bezeichnen könnte, deren einfachste Ausprägung man z.B. in der Rockband der 60er Jahre (lead guitar, rhythm guitar, bass guitar und drum set) sehen könnte.

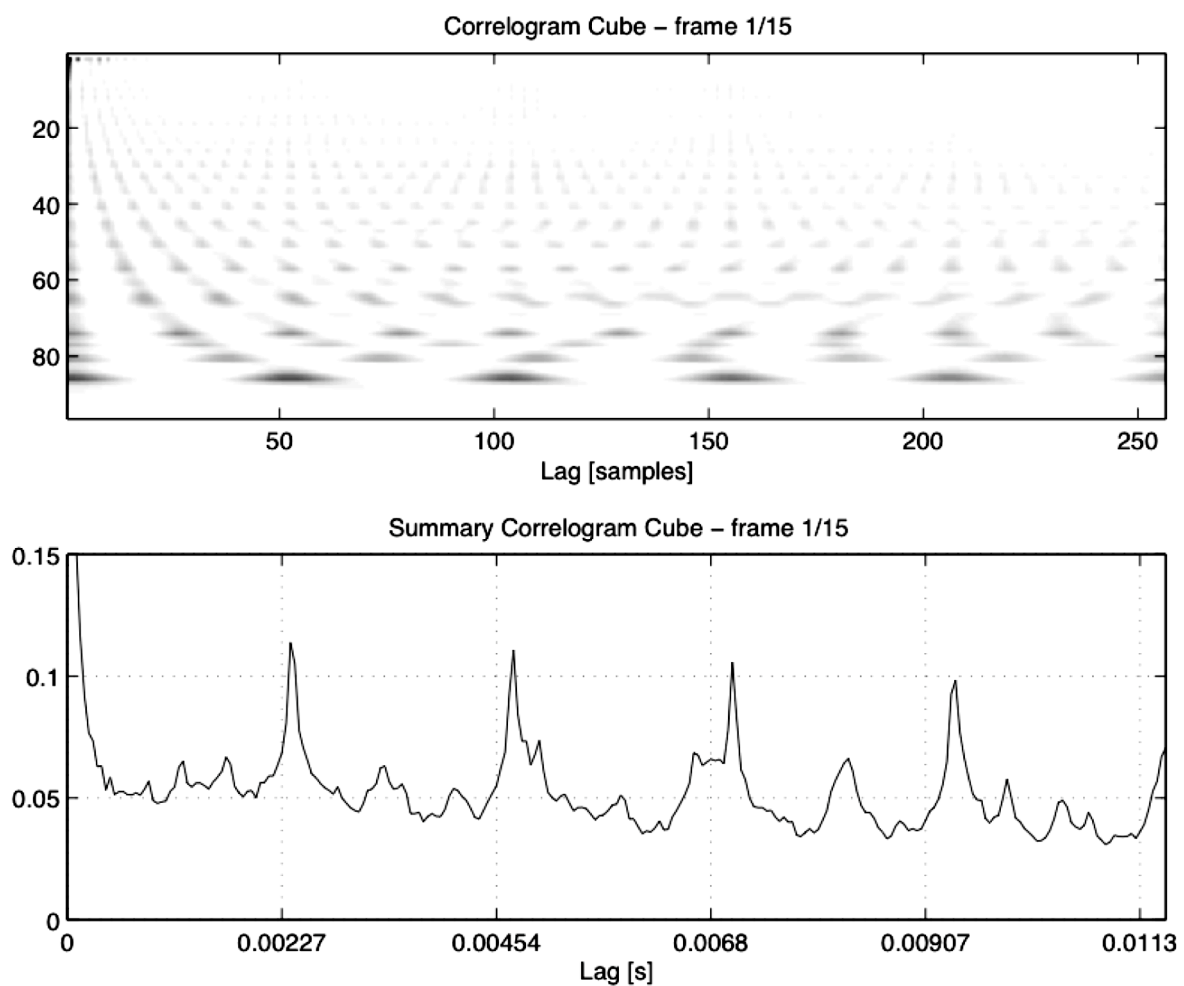


Abbildung 6: Korrelogramm einer Response eines kubischen Resonators [15].

² Es gilt mittlerweile als gesichert, dass das Gehirn beim Hören eine Mehrzahl von Strategien verwendet, die je nach musikalischem Material zu unterschiedlichen Anteilen zur Geltung kommen.

Tonsysteme

In meinem Artikel "Low energy and equal spacing: the multifactorial evolution of tuning systems" [16] bin ich der Frage nachgegangen, welchen Einfluss die Wahrnehmung musikalischer Intervalle auf die Ausbildung von Tonsystemen und musikalischen Stimmungen gehabt haben könnte, und habe ein evolutionäres Modell erstellt, das die Konsonanz eines Intervalls nicht als absolute, kontextunabhängige Größe ansieht, sondern vielmehr auch sekundäre Aspekte wie Klangfarbe oder Hörerfahrung mitberücksichtigt. Der Ausgangspunkt war die Hypothese, dass die Konsonanz eines Intervalls (oder Harmonizität - wie Klarrenz Barlow dieses Phänomen benennt) - quantitativ bestimmbar ist [17].

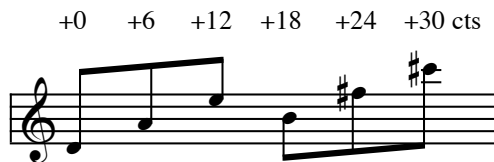
Es ist nicht zu bestreiten, dass bestimmte Intervalle stabiler sind als andere. Stabilität in Physik und Chemie lässt sich als Zustand minimaler Energie auffassen: Energie muss aufgewandt werden, um ein System in seinem Zustand zu verändern. Beim Stimmen von Instrumenten treffen wir auf ein ähnliches Prinzip. Ist ein Intervall rein gestimmt, so erzeugt das Verstimmen eine zunehmende Dissonanzerfahrung, die wieder abnimmt, bis man sich einem anderen stabilen Intervall annähert. Meine Funktion der "harmonischen Energie", die sich von Barlows Harmonizitätsformel ableitet, formalisiert dieses Phänomen des kontinuierlichen Stimmens oder Verstimmens musikalischer Intervalle. Durch Berücksichtigung aller Intervallkombinationen konnte ich auch die "Gesamtenergie" von Tonsystemen bestimmen und graphisch darstellen. Ich habe mich dabei auf äquidistante Systeme beschränkt, da Skalen ganz allgemein (so meine zweite Hypothese) eine Tendenz zur Äquidistanz aufweisen. Es zeigt sich, dass die Stärke des Tonhöhereindrucks ("pitch strength") einen dramatischen Einfluss auf die Stabilität des Systems als Ganzes hat: Ist die "pitch strength" niedrig, so ist die äquidistante Pentatonik am stabilsten, ist sie hoch, so ist es die 12-stufig temperierte Stimmung - Resultate, die im Einklang mit der vergleichenden Musikwissenschaft stehen. (Die äquidistante Pentatonik ist in verschiedenen Kulturen nachzuweisen, in denen Xylophone und andere Instrumente mit verhältnismäßig geringer Tonhöhenstärke vorwiegen.) Damit lässt sich ein evolutionäres Modell dafür entwerfen, wie die zunehmende Fixierung der abendländischen Kultur auf den Parameter der Tonhöhe zu einer Vorliebe für bestimmte Instrumente geführt und die Entwicklung der gleichschwebend-temperierten Stimmung nach sich gezogen hat.

Mikrotonalität

Für den Komponisten/die Komponistin ergeben sich verschiedene Konsequenzen: Er/sie kann alles "beim Alten belassen", da sich unter den gegebenen Bedingungen die 12-tönige Temperierung als überlegen herausgestellt hat, er/sie kann sich in einer Art "artificieller Ethnizität" neuen oder nicht-westlichen Instrumenten zuwenden und ihr Stimmungspotential erforschen, oder nach Stimmungssystemen suchen, die ihren Eigenschaften dem 12-tönig temperierten System verwandt sind, und wo der Reiz in den mehr oder weniger kleinen Abweichungen vom gewohnten Hören liegt.

Ich habe 1987 begonnen, das 17-tönig temperierte System zu untersuchen [18] und in einer Reihe von Stücken eine hauptsächlich lineare, melodische Organisation angestrebt; die Harmonik wurde dabei als Resultat horizontaler Strukturen behandelt. Die Basis für die melodische Konstruktion lieferte ein gegenüber dem pythagoreischen leicht verzerrter Quintenzirkel, der sich nach 17 Quinten schließt³.

In "Heptadecatonic Drops" (1988) [19] ist der Quintenzirkel gestaucht: nach je zwei Quinten aufwärts folgt eine Quarte abwärts.



Es war mir dadurch möglich, alle 17 Töne innerhalb des Tonumfangs eines Klaviers darzustellen. Die Melodik wurde von einem hierarchischen 81-tönigen Vorrat abgeleitet, wobei dem Ton D eine Zentraltonrolle zugewiesen wurde. Die Häufigkeit der anderen Töne wurde von dem Abstand bestimmt, den diese im Quintenzirkel von dem D haben.

³ Die Notation der Musik erfolgte mit Absicht nicht unter Verwendung von Viertel- oder Achteltönen, obwohl diese die mikrotonalen Abweichungen akkurater wiedergegeben hätten. Vielmehr legt die Ableitung der Harmonien aus dem Quintenzirkel eine enharmonische Notation unter ausschließlicher Verwendung von Kreuzen und Bes nahe. Da jede Quinte im Schnitt 6 Cent zu groß ist, hat ein cis eine höhere Tonhöhe als ein des; die enharmonische Verwechslung erfolgt zwischen ais und ces.



In "Two Cartoons" (1988) und "Klangmoraste" (1990) habe ich dann nach folgendem Verfahren eine vierstimmige pseudotonale Harmonik entwickelt:

Zunächst wurden die Tonlücken, die sich aus der Quintfortschreitung ergaben, diatonisch ausgefüllt, wodurch ein nicht-oktavierender Modus gewonnen wurde.



Dann wurde jedem Ton des aufsteigenden Quintenzirkels ein Ton des absteigenden Modus zugeordnet (die Oktavlage ist relativ flexibel):



Und schließlich wurde diese Intervallfortschreitung mit ihrer Umkehrung kombiniert. Es entsteht eine Akkordfolge, die durch die Kombination von Quintfortschreitung und Skalenbewegung eine quasi funktionsharmonische Stringenz besitzt.



Spektrale Musik und Mikrotonalität

In der ersten Szene meiner Oper "Der Sprung" (1994-98) [20] habe ich die so genannte Bohlen-Pierce-Skala verwendet [21] [22]. Diese mikrotonale Skala teilt das Intervall zwischen dem 1. und 3. Partialton der Obertonreihe in 13 gleiche Teile ein und nähert dabei die Tonhöhenverhältnisse, die sich aus den ungeraden Teiltönen 3, 5, 7 und 9 bilden lassen, überraschend genau an.

Stufe	Reine Stimmung			Gleichschwebend temperierte Stimmung		
	n	f_n/f_0	cent	hekt	f_n/f_0	cent
0	1/1	0	0	1,0000	0	0
1	27/25	133	91	1,0882	146	100
2	25/21	302	206	1,1841	293	200
3	9/7	435	297	1,2886	439	300
4	7/5	583	398	1,4022	585	400
5	75/49	737	504	1,5258	732	500
6	5/3	884	604	1,6604	878	600
7	9/5	1018	696	1,8068	1024	700
8	49/25	1165	796	1,9661	1170	800
9	15/7	1319	902	2,1395	1317	900
10	7/3	1467	1003	2,3282	1463	1000
11	63/25	1600	1094	2,5335	1609	1100
12	25/9	1769	1209	2,7569	1756	1200
13	3/1	1902	1300	3,0000	1902	1300

Tabelle 1: Reine und gleichschwebende Temperierung in der Bohlen-Pierce-Stimmung [21]

Melodik und Harmonik wurden nach verschiedenen Gesichtspunkten festgelegt, von denen ich hier jedoch nur zwei erwähnen möchte:

1. Auffächerung von Harmonien, die durch Filterung von harmonischen Spektren durch die Bohlen-Pierce-Skala gewonnen wurden.
2. Entwicklung eines Modus, der sich auf die Intervalle 1:1-9:7-7:5-5:3-9:5-7:3-3:1 stützt und auf jeden Ton des Modus transponiert werden kann.



Abbildung 7. Die virtuose Solopartie in der 1. Szene des 1. Aktes von „Der Sprung“ ist dem *wind controller*, einem elektronischen Blasinstrument übertragen. Der MIDI-Output wird von einem Computer auf die Bohlen-Pierce-Skala gemappt.

Am Schluss der Szene wurde dann ein gestrecktes Spektrum, bei dem der 2ⁿ-te Partialton dem Frequenzverhältnis 3ⁿ:1 entspricht, durch die Bohlen-Pierce-Skala gefiltert und als Schlussakkord instrumentiert. Was hier angestrebt wurde, ist die maximale Übereinstimmung der spektralen und mikrotonalen Dimension (dazu auch [23]).

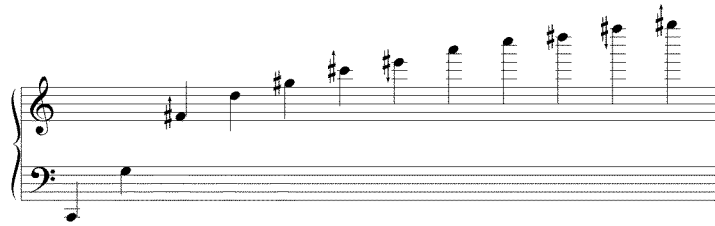


Abbildung 8. Aufgefächerter, auf das große C transponierter Schlussakkord der ersten Szene von „Der Sprung“

Quasi-Äquidistanz

In dem 17,5-minütigen Intermezzo der Oper habe ich Spektren aus dem Rauschen eines auf meinem Anrufbeantworter aufgezeichneten Ferngesprächs benutzt. Das Analyseprogramm war darauf geeicht worden, harmonische oder quasi-harmonische Spektren aus dem stochastischen Material zu extrahieren. Das entspricht etwa der menschlichen Fähigkeit, Töne in das Rauschen von Wasserfällen „hineinzuhören“. Das Resultat war eine Folge von exotischen Spektren, deren Teiltöne durch Skalentöne mit einer durchschnittlichen Schrittgröße von $17.\sqrt[17]{2}$ verbunden wurden. Die daraus resultierenden Systeme entsprachen also Transpositionen eines quasi-äquidistanten 17-Tonsystems. Wie immer man diese Gebilde bezeichnen möchte, die Ergebnisse, die die algorithmisch generierte Musik zeitigte, waren überzeugend. In keinem Moment der Komposition wurde die Verzerrung der Skalen als irritierend empfunden.

Interaktivität

Im Intermezzo agieren die acht Sänger und Sängerinnen wie menschliche Synthesizer: Sie tragen Kopfhörer und stellen die vom Computer gespielten spektralen Töne in genauer Intonation dar. So entstand die Idee eines Netzwerks aus Mensch und Computer, die ich mit meinem vernetzten interaktiven Performance-Environment Quintet.net weiter entwickelt habe [24]. In Quintet.net können bis zu fünf Spieler (oder auch Ensembles) unter der Aufsicht eines Dirigenten über ein Netzwerk oder sogar über das Internet musizieren, wobei die Musikformen von freier Improvisation bis zu notengetreuer Interpretation von Kompositionen reichen. Die Interaktion der Musiker wird durch zwei Faktoren erleichtert: Erstens gibt eine Echtzeit-Notationsoberfläche auf fünf Klaviersystemen eine optische Rückmeldung zusätzlich zu den akustischen Ereignissen. Zweitens

kann der Dirigent während der Aufführung Partiturfragmente (Parts) übertragen, die von den Spielern auszuführen sind. Diese Parts lassen sich von dem Echtzeitspiel auch optisch überlagern. Nun ist ein solches Interaktionssystem, auch was Intonation und Mikrotonalität angeht, keinen Beschränkungen unterworfen: Durch die Übertragung abstrakter Tonhöhen- und Lautstärkeinformationen lassen sich Abstufungen in Cent-Genauigkeit definieren, wobei die in das System eingehenden Töne insgesamt drei Tonhöhenrastern unterworfen werden: Das erste Raster (Tuning) weist einer Taste (oder vielmehr einer MIDI Key Number) eine Stufe aus einem freiwählbaren Tonsystem zu (eine Liste aus Stufen und MIDI-Cent⁴-Paaren). Das zweite Raster (Filter) erlaubt es, die gewählte Stimmung durch eine weitere Tonhöhenmenge (Tonsystem, Spektrum oder auch arbiträre Tonhöhenmenge) hindurchzufiltern, wobei das dritte, derzeit in seiner Auflösung fixierte Raster die resultierenden Tonhöhen an die Achteltonnotation annähert, bevor sie von der Echtzeitnotation dargestellt werden.

Warum dieser Aufwand? Man stelle sich eine Situation vor, bei der die Spieler gleichzeitig in unterschiedlichen Tonsystemen spielen, beispielsweise in einem pentatonischen und heptatonischen System wie in György Ligetis Klavierétude „Désordre“ [25]. Durch das Filtern beider Systeme durch ein gemeinsames Supersystem lassen sich Mikrofluktuationen von Tonhöhen vermeiden, die von den Hörern im Allgemeinen deswegen als unangenehm empfunden werden, weil sie zufällig wirken. Das harmonische Prinzip in „Désordre“ kann analogerweise als das Filtern von zwei äquidistanten Systemen (5TET, 7TET⁵) durch das 12stufige Supersystem verstanden werden.

⁴ Die MIDI-Cent-Skala ist die Kombination aus den absolut fixierten MIDI Key Numbers ($c' = 60$) mit der relativen Centskala, und zwar dergestalt, dass zu der mit 100 multiplizierten Key Number ($c' = 6000$) Cent-Abweichungen einfach addiert und subtrahiert werden können.

⁵ Die Abkürzung nTET bedeutet n-Tone Equal Temperament und wird von mir wegen seiner Griffigkeit gerne benutzt.

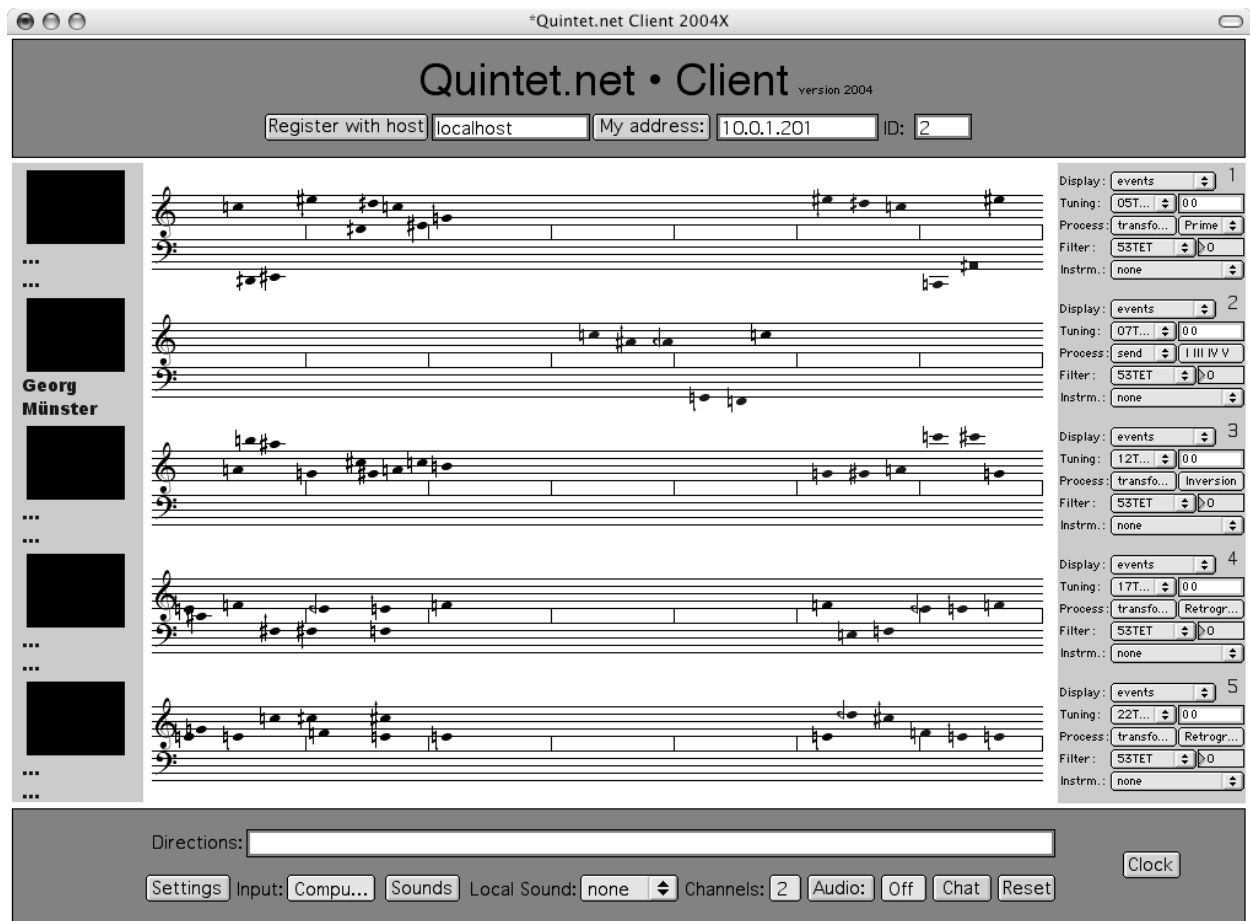


Abbildung 9. Bildschirmfoto der grafischen Benutzeroberfläche des Quintet.net Clients.

Die erste Komposition für Quintet.net, in der das Filtern von Tonhöhen systematisch zur Anwendung gebracht wurde, war Manfred Stahnkes Münchener Biennale-Oper „Orpheus Kristall“ (2002) [26]. Stahnke arbeitet mit einer Fortschreitung von Spektren, die von einfachen bis zu aus unterschiedlichen Spektren zusammengesetzten Teiltonreihen reichen. In der Oper wurden neben einem Ensemble aus Spielern, die im Bühnengraben platziert waren, auch Internetspieler eingesetzt, die live über tausende von Kilometern zur Bühnenmusik improvisierten. Durch das Filtern von Tonhöhen (mit einer maximalen Auflösung von 53TET) konnte gewährleistet werden, dass das harmonisch-melodische Ergebnis der Improvisation zur Bühnenmusik kongruent blieb.

Melodie, Harmonie und Rhythmus

Im Anschluss an meine Oper „Der Sprung“ habe ich zwei Solowerke komponiert, die sich mit Aspekten der reinen Stimmung auseinandersetzen: „Re: Guitar“ für Gitarre (1999) [27] und „Exit“ für Violine und Live-Elektronik (2001) [28]. In „Re: Guitar“ werden die Saiten der Gitarre zu dem Spektrum von

Subkontra-E rein gestimmt, und zwar zu den Teiltönen 4:5:7:9:11:17. Die Gitarre klingt so deutlich resonanter als mit der gewöhnlichen Stimmung aus 3 Quarten, einer großen Terz und einer weiteren Quarte. Die Notation auf sechs unterschiedlichen Systemen in Skordatur erlaubt nun die Darstellungen harmonischer Ableitungen, die mit Oktav-, Quint-, Quart-, Großterz- und Kleinterzflageoletts den Tonvorrat bereichern. Aus diesem Tonvorrat wird zu Beginn der Komposition eine absteigende Skala destilliert, die im Verlauf der Komposition wiederkehrt.

Teilton: 28 27 25 24 22 28 27 25 24 34 22 21 27 25 24 22 21 25 20 18 34 16 35 15

Abbildung 10. Ausschnitt aus dem ersten Teil von „Re: Guitar“. Eine absteigende Melodie wurde aus dem Tonvorrat generiert, der durch die Skordatur und die daraus abgeleiteten Flageolets gebildet wurde.

In „Exit“ habe ich sechs verschiedene Spektren verwendet, die alle den Ton g gemeinsam haben. Dabei ist das g entweder der 3., 5., 7., 9., 11. und am Schluss in der Elektronik als Ultima sogar der 1. Teilton. Die Grundtöne dieser Spektren folgen dabei der absteigenden Untertonreihe g-[g]-c-[g]-es-[c]-a[↑]-[g]-f-[es]-des[↑]⁶. Durch das Einbeziehen von Teiltönen bis zur Ordnungszahl 20 ergibt sich ein Tonvorrat mit über 100 von einander zum Teil nur geringfügig abweichenden Tonhöhen. Ich habe mich daher entschlossen, die Komplexität der harmonisch-melodischen Ereignisse durch das Filtern der Tonhöhen durch 19TET einzuschränken⁷. Die Notation erfolgt achtertönig in 48TET. Es ist zugegebener-

⁶ Die Töne in Klammern bezeichnen die redundanten geraden Teiltöne

⁷ Ich habe dieses von Joseph Yasser [29] beschriebene, attraktive Stimmungssystem zuvor in der dritten Szene des zweiten Akts meiner Oper „Der Sprung“ eingesetzt.

maßen eine Herausforderung für den Spieler/die Spielerin, das ursprüngliche Tonsystem aus der achteltönigen Notation zu extrapolieren, doch bin ich durch meine Erfahrungen mit Mikrotönen auch pragmatisch: Es scheint, dass das Gehirn ohnehin eher Wert auf geordnete Tonhöhenmengen in einem quasi-äquidistanten Tonraum legt. Aus dieser Perspektive ist der Stimmungsfetischismus, der von orthodoxen Vertretern der reinen Stimmung betrieben wird, kaum nachvollziehbar.

Abbildung 11: „Exit“: Geigenstimme ohne Elektronik (fünfter Teil). Die mehrstimmigen Akkorde bilden sich aus Untermengen der fünf Spektren auf c, f, es, a[↑] und des[↑]. Die Umkehrung und Lage der Akkorde wurden so gewählt, dass die Oberstimme bei maximalem harmonischen Kontrast eine absteigende Linie formt.

Die Erforschung rhythmischer Phänomene kommt in einer auf Tonhöhen fixierten westlichen Musikpraxis eher zu kurz [30]. Erst in den letzten Jahren mehren sich die Publikationen, die sich systematisch mit Aspekten von Puls, Metrum, Rhythmus und Tempo beschäftigen⁸.

Ich habe in „Exit“, wie auch in früheren Werken versucht, eine Kohärenz aus Harmonik und Metrik durch die Konstruktion von Rhythmen aus überlagerten Polymetren zu schaffen. Im vierten Teil, dem Höhepunkt der Komposition, wird im Gegensatz zu Ligetis Klavierétude „Automne à Varsovie“, bei die Illusion unabhängiger Tempi durch Stream Segregation bei durchlaufenden Grundpuls entsteht, die Polymetrik zur Generierung eines schroffen Rhythmus genutzt: Vier Metren, die die Proportion 5:7:9:11 mit einer Gesamtgrundpulszahl von

⁸ Symptomatisch für die Verachtung des Körperlichen in der westlichen Kunstmusik ist die Bemerkung Schenkers, dass ein Kontrapunkt nicht „ausgetanzt“ werden kann.

2475 ausbilden, wurden zunächst auf eine Zeitstrecke von 30 Viertel in Zwei- und dreißigstelauflösung projiziert⁹. Die einzelnen metrischen Schichten werden reliefartig immer klarer durch die Zuordnung unterschiedlicher musikalischer Ereignisse: 11er Metrum: Grundton g, 9er Metrum: Sexten und Septimen in der zwei- und dreigestrichenen Oktave, 7er Metrum: Dreiklänge in hoher Lage, 5er Metrum: Zweiklänge um das eingestrichene g.



Abbildung 12. Überlagerung von vier Grundmetren in „Exit“ für Violine und Live-Elektronik (h = 60).

⁹ Man erkennt die Analogie zu den harmonischen Vorgängen: Die Polymetrik entspricht der Arbeit mit Teiltönen, die Projektion auf ein simpleres Metrum ist vergleichbar mit der Annäherung einer rein gestimmten Tonhöhenmenge an ein äquidistantes Tonsystem.

Installationen und generative Algorithmen

Neben Tonband- und live-elektronischer Musik bildet sich in den letzten Jahren die Installation als gleichwertige Kunstform heraus. Während bei den beiden erstgenannten Formen noch intuitives Komponieren in „traditioneller Manier“ möglich ist, bedarf eine Installation eines anderen Zugangs: Die Reaktionen des Systems und die daraus resultierende Musik müssen als Feld von Möglichkeiten vom Autor der Installation reflektiert und durch geeignete Algorithmen weit vor der Aufführung festgelegt werden. Ich habe durch meine Mitarbeit an dem französisch-italienisch-deutschen Projekt „Flying Cities“ (inspiriert von Ideen des russischen Futurismus) entsprechende Erfahrungen gesammelt [31]. In der Installation betritt der Zuschauer/die Zuschauerin einen etwa sechseckigen Raum, in dem sich auf drei Wänden Projektionen eines virtuellen Sternenhimmels sowie an zwei Orten Mikrofone befinden. Die Anwesenden können mit ihrer Stimme nun fliegende Städte generieren, die sich langsam aus Lichtpunkten zu immer komplexeren Gebäuden zusammensetzen, um schließlich als Galaxien zu enden. Die Musik, die denselben Dateninput erhält (hauptsächlich eine durch einen Analysecomputer in Echtzeit ermittelte Auswertung der Sprachereignisse nach den Parametern Lautstärke, Phonemtyp und Einsatzabstand), durchläuft einen Zyklus aus 36 Zuständen, in dem sich jeweils andere musikalische Parameter interaktiv beeinflussen lassen. Sie wird durch einen komplexen autopoietischen Destillationsprozess generiert, an dessen Ausgangspunkt sich die Rezitation der Gedichte von Velimir Chlebnikov [32] befinden (die die Anwesenden auch zu Gehör bekommen): Ein Autosamplingprozess sampelt Konsonanten, sowie kurze Textfragmente, die durch kurze Pausen voneinander abgegrenzt sind, und unterwirft sie digitalen Effekten wie Kammfilter, Flanging, FM- und Granularsynthese. Aus diesen Samples, die zum großen Teil nur noch wenig Ähnlichkeit mit dem Ausgangsmaterial haben, erzeugen fünf Generatoren die eigentliche Musik.

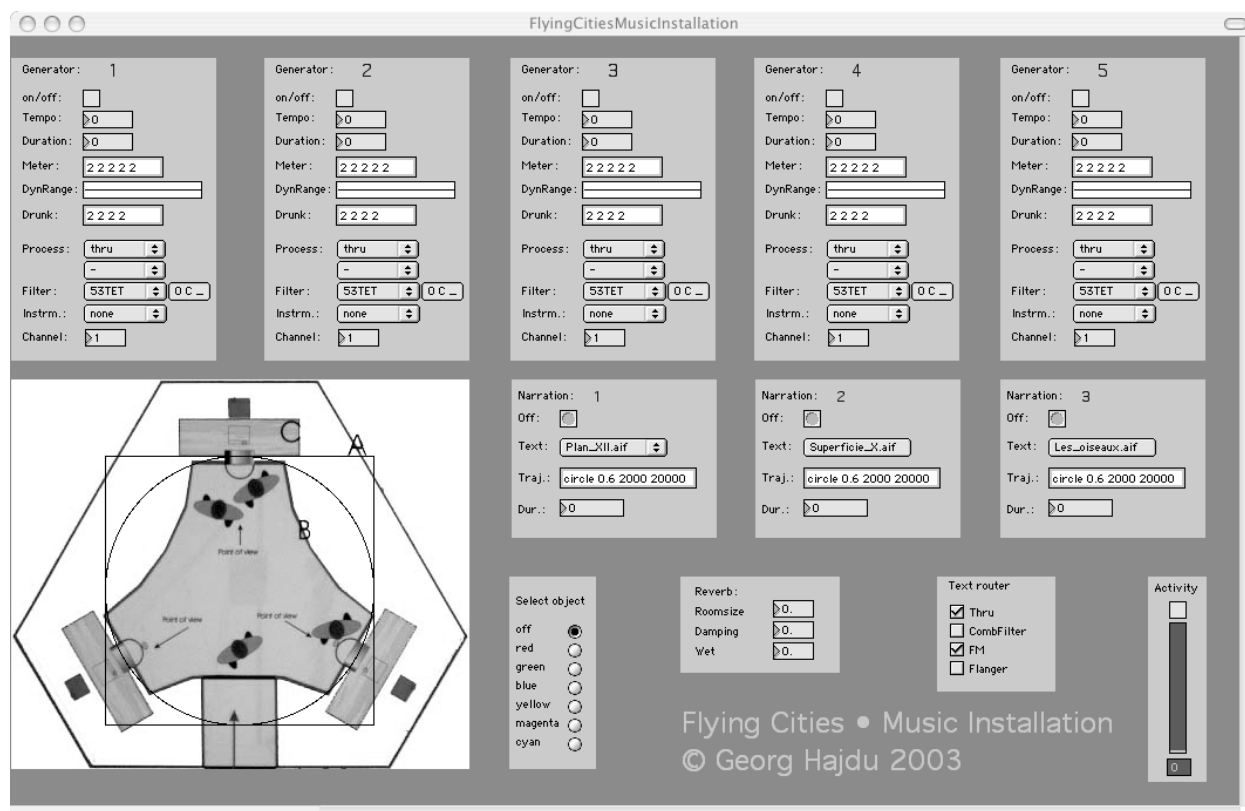


Abbildung 13. Die grafische Benutzeroberfläche der Musikkomponente der Installation „Flying Cities“.

Dabei kommen Algorithmen zur Anwendung, die sich des Prinzips der so genannten Indispensibility (Unverzichtbarkeit) bedienen [17], ein Begriff, der von Barlow im Zusammenhang mit seiner Theorien zu Tonalität und Metrik geprägt wurde. Ausgehend von der Rhythmustheorie von Cooper & Meyer [33] entwickelte er eine Formel, die es erlaubt, aus den Grundmetren 2 und 3 die Priorität der Pulse beliebiger multiplikativer und additiver Metren abzuleiten. Die Pulse hoher Priorität, in der traditionellen Musiklehre als betonte Schläge bezeichnet, werden dabei als weniger „verzichtbar“ angesehen.

Ein stochastisch-generativer Prozess kann sich dieser Theorie durch die Überführung der Prioritäten in Wahrscheinlichkeiten bedienen. Komplexe Rhythmen können nun etwa dadurch erzeugt werden, dass Primzahlmetren wie 3, 5, 7 etc. miteinander multipliziert und Schwellenwerte für das potentielle Erklängen eines Pulses festgelegt werden. Ich habe bereits im Intermezzo meiner Oper „Der Sprung“ ein Metrum aus 105 Pulsen benutzt¹⁰. 105er Metren können in sechsfacher Manier aus der Permutation der Zahlen 3, 5 und 7 gebildet werden; sie un-

¹⁰ Dass der Formteil auch aus 105 10-Sekunden-Segmenten bestand, war Beispiel für ein glückliches Zusammentreffen, das Komponisten/Komponistinnen so schätzen.

terscheiden sich durch ihre Prioritätenfolge¹¹.

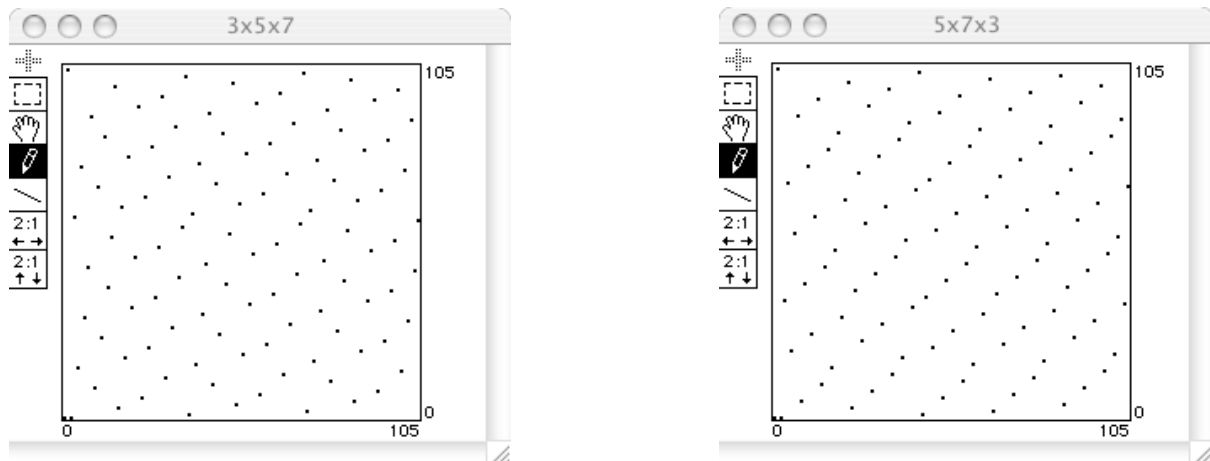


Abbildung 14. Metrische Hierarchien bei komplexen Metren. Die zweidimensionale Darstellung der Prioritäten der Pulse ergeben quasi regelmäßige Muster, die sich auch auf Tonhöhen mappen lassen.

Barlows große Leistung, die in dem Klavierstück *Çogluotobüsisletmesi* [34] offenkundig wird, bestand aus der Zusammenführung der beiden Theorien: Barlow kann durch geschickte Manipulation der Parameter *tonale und metrische Glätte* bestimmen, mit welcher Wahrscheinlichkeit bestimmte Töne auf bestimmten Pulsen erscheinen.

Unverzichtbarkeitswerte können auch als Indizes für Tonhöhenereignisse benutzt werden. Sie ergeben Tonhöhenreihen, die durch ihre Quasi-Symmetrie ausgesprochen attraktiv klingen. Ich habe solche Folgen neben dem Intermezzo und der Flying Cities-Installation auch in meinem jüngsten Klavierstück „Dichrome Bleu“ [35] (aus der Suite „Light Blue“) eingesetzt¹².



Abbildung 15. Ausschnitt aus dem Mittelteil von „Dichrome Bleu“.

¹¹ Diese Zahl kann noch weiter erhöht werden, wenn man auch die Binnenstruktur der additiven Metren 5 (2+3 und 3+2) und 7 (2+2+3, 2+3+2, 3+2+2) berücksichtigt.

Schlussbemerkung

Abschließend möchte ich festhalten, dass die Psychoakustik und die von ihr abgeleitete Quantitative Musiktheorie für mich eine fortlaufende Inspirationsquelle ist. Ich kann mir eine neue Musiklehre nur denken als eine, in der alle musikalischen Theorien Untermengen einer universalistischen, phänomenologischen Beschreibungssprache - ganz im Sinne von James Tenney - sind¹³.

Der vorliegende Aufsatz ist eine revidierte und substantiell erweiterte Fassung des Artikels „Wege zu einer neuen Harmonielehre“, der im Sommersemester 1997 in der Zeitung der Hochschule für Musik Detmold „ad notam“ erschienen ist.

LITERATUR

- [1] Tenney, James. (1984). John Cage and the theory of harmony. *Soundings*, **13**, 55-83.
- [2] Cage, John. (1961). *Silence*. Middletown: Wesleyan University Press.
- [3] Krumhansl, Carol L. & Shepard, Roger N. (1979). Quantification of the hierarchy of tonal functions within diatonic context. *Journal of Experimental Psychology*, **5**, 579-594.
- [4] Krumhansl, Carol L. (1990). *Cognitive Foundations of Musical Pitch*. Oxford: Oxford University Press.
- [5] Helmholtz, Hermann von (1877). *Die Lehre von den Tonempfindungen*, 4. Auflage, Braunschweig
- [6] Terhardt, Ernst, Stoll, Gerhard, and Seewann, Manfred (1982). Pitch of complex signals according to virtual pitch-theory: Tests, examples and predictions. *Journal of the Acoustical Society of America*, **71**, 671-678.
- [7] Meyer, Leonard B. (1957) Meaning in music and information theory. *Journal of Aesthetics and Art Criticism*, **15**, 412-24.
- [8] Hasher, Lynn & Zacks, Rose T. (1979). Automatic and effortful processes in memory. *Journal of Experimental Psychology: General*, **108**, 356-88.
- [9] Bharucha, Jamshed J. (1992). The emergence of auditory and musical cogni-

¹² Die 14 Pulse des 7x2-Metrums wurden in der Oberstimme auf das chromatische System gemappt. Daraus ergibt sich eine 14tönige Reihe, die im zweiten Takt um eine große Sekunde transponiert wird.

¹³ Die Newtonsche Mechanik wird heute schließlich auch als Spezialfall der Quantenmechanik verstanden.

tion from neural nets exposed to environmental constraints. Vortrag gehalten bei der Second International Conference on Music Perception and Cognition.

[10] Bregman, Albert S. (1990). *Auditory Scene Analysis*. Cambridge, MA: MIT Press.

[11] Zatorre, Robert J. and Krumhansl, Carol L. (2002). Mental Models and Musical Minds. *Science*, **298**, 2138-2139.

[12] Hajdu, Georg (1995). Circularity in neural computation and its application to musical composition. *Proceedings of the International Computer Music Conference 1995*, Banff Centre for Arts, Banff, Canada, 363-365.

[13] Slaney, Malcolm. & Lyon, Richard F. (1990). A perceptual pitch detector. *Proceedings of the ICASSP*, **90**, 357-360.

[14] Slaney, Malcolm. & Lyon, Richard F. (1993), On the importance of time – A temporal representation of sound, in *Visual Representations of Speech Signals*, M. Cooke, S. Beete, and M. Crawford, eds., J. Wiley and Sons., Sussex, England, 409–429.

[15] Rocchesso, Davide und Ottaviani, Laura (2001). CAN ONE HEAR THE VOLUME OF A SHAPE? *Proceedings of the 2001 IEEE Workshop on Applications of Signal Processing to Audio and Acoustics*. New Paltz, NY, 19-24 October 2001.

[16] Hajdu, Georg (1993). Low Energy and Equal Spacing; the Multifactorial Evolution of Tuning Systems, *Interface*, **22**, 319-333

[17] Barlow, Clarence. (1987). Two essays on theory. *Computer Music Journal*, **11**, 44-60.

[18] Hajdu, Georg (1992) 17 Tones, *Proceedings of the 18th International Computer Music Conference, San Jose State University*. 449-450

[19] Hajdu, Georg (Hrsg.) (1992). *17 Töne*. Sammelband mit einer Einführung in die siebzehntönig-temperierte Stimmung von Georg Hajdu und Kompositionen von Klarenz Barlow, Carola Bauckholt, Georg Hajdu, Caspar Johannes Walter und Caroline Wilkins sowie einer CD. Thürmchen-Verlag, Köln.

[20] Hajdu, Georg (1998). *Der Sprung – Beschreibung einer Oper*. Partitur. Peer-Verlag, Hamburg. Libretto von Thomas Brasch (Suhrkamp).

[21] Bohlen, Heinz (1978). 13 Tonstufen in der Duodezime. *Acustica*, **39/2**, 76-86.

[22] Mathews, Max V. and John R. Pierce (1991). The Bohlen-Pierce Scale. *Current Directions in Computer Music Research*, The MIT Press, Cambridge/MA-London, 165-173.

[23] Sethares, William (1998). *Tuning, Timbre, Spectrum, Scale*. Springer-Verlag London.

[24] Hajdu, Georg (2003). Quintet.net – A Quintet on the Internet. *Proceedings of the International Computer Music Conference, University of Singapore, Singapore*. October 2003. 315-318.

- [25] Ligeti, György (1985). *Études pour piano: premier livre*. B. Schott's Söhne, Mainz, 1985.
- [26] Stahnke, Manfred (2002). *Orpheus Kristall –Eine Oper in zwei Medien*. Partitur. Stahnke-Verlag, Hamburg.
- [27] Hajdu, Georg (2001). *Exit*. Partitur. Peer-Verlag, Hamburg
- [28] Hajdu, Georg (1999). *Re: Guitar*. Partitur. Peer-Verlag, Hamburg
- [29] Yasser, Joseph (1932). *A Theory of Evolving Tonality*. New York: American Library of Musicology.
- [30] Motte-Haber, Helga de la (1968). *Ein Beitrag zur Klassifikation musikalischer Rhythmen. Experimentalpsychologische Untersuchungen*. Dissertation. Köln: Arno Volk.
- [31] Website: www.flyingcities.com
- [32] Chlebnikov, Velimir (1985). *Werke. Poesie Prosa Schriften Briefe*. Reinbek bei Hamburg: Rowohlt Verlag.
- [33] Cooper, Grosvenor W. and Leonard B. Meyer (1960). *The Rhythmic Structure of Music*. University of Chicago Press, Chicago, Illinois.
- [34] Barlow, Clarence (1978). *Çogluotobüsisletmesi*. Partitur. Feedback-Verlag, Köln.
- [35] Hajdu, Georg (2004) *Dichrome Bleu*. Partitur. Unveröffentlichtes Manuskript.