

Seminarthema  
Musikinformatik

Vortragsthema  
Die stochastische Kompositionstechnik von Iannis Xenakis

schriftliche Ausarbeitung  
von Inga Vehling

## Inhaltsverzeichnis

	Seiten
1. Definition von Komposition und Musik	3
2. Xenakis' Ideen	3
3. Metastasis	4
4. Das ST-Programm	5
1. Allgemeines	5
2. Der formalisierte Kompositionsprozess	6
1. Übersicht über Phase 4-7	7
2. Konstanten/Tafeln (Abschnitt 0)	8
3. Das mathematische Programm	9
1. Instrumentation (Abschnitt 5)	9
2. Tonhöhe (Abschnitt 6)	9
4. Realisation der Komposition	10
3. Zahlenbeispiel	11
5. Quellen	12

## 1. Definition von Komposition und Musik

Eine Komposition ist entweder das Tonstück selbst oder die Schöpfung eines musikalischen Kunstwerks. Darunter fällt die Bestimmung von Tonhöhe, Tondauer, Instrumentenauswahl und vieles mehr.

Der Gedanke an Musik oder Kompositionen führt meistens zu einem eingeschränkten Spektrum an Musik, zum Beispiel an klassische Kompositionen oder an moderne Popmusik.

Dabei ist Musik ganz anders definiert. Musik ist lediglich die organisierte Form von Schallereignissen. Ihr akustisches Signal *soll* sinnvoll geordnet sein und die Töne *können* Melodien bilden – müssen aber nicht.

Xenakis verfolgte ganz neuartige Ansätze. Er schrieb klassische Musik, aber nicht nach Melodie, schönem Rhythmus oder Strophenaufteilung. Dies soll hier erörtert werden.

## 2. Xenakis' Ideen



Iannis Xenakis lebte von 1922 bis 2001 und war als Komponist und Architekt tätig.

Xenakis Vorstellungen von Musik waren sehr neu und innovativ. Er sagte einmal, dass Musik die Aufgabe hat, menschliche Intelligenz durch klangliche Mittel auszudrücken. So verwirklichte er mathematische und physikalische Aspekte wie den goldenen Schnitt oder die brown'sche Molekularbewegung in seinen Kompositionen. Auch kamen architektonische Ideen zum tragen.

Er teilte seine Werke in verschiedene Werkgattungen nach impliziten Methoden des Schöpfungsprozesses. Zu jeder Werkgattung gab es einen anderen Ansatz zum Beispiel „Logische Operationen“, „Markov-Ketten“, „Freie Stochastik“, „Spieltheorie“, „Gruppenalgebra“ oder die hier später vorgestellte Methode „ST (computergestützte Stochastik)“.

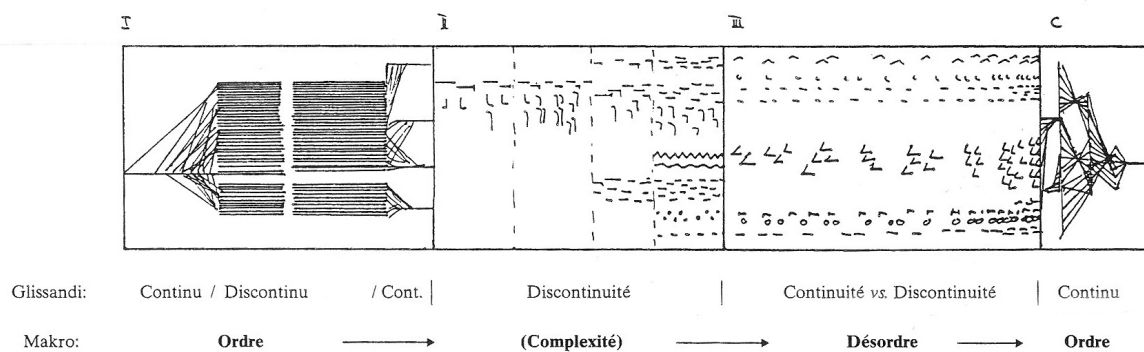
Eines hatten aber alle gemeinsam: es gab keinen lyrischen Ansatz.

„Das Lyrische kommt bei mir tatsächlich nicht vor. Vielleicht hat es das Leben in mir abgetötet, aber vielleicht bin ich auch einfach ohne auf die Welt gekommen. Ich weiß es nicht“ (Varga – Gespräche mit Xenakis; s. 63).

### 3. Metastasis

Zwischen 1953 und 1954 entwickelte Xenakis seine erste Komposition namens „Metastasis“, die zur Werkgattung „serielle, hybride und elektronische Werke“ gehört.

In jeder anderen Komposition war seine Intention die Verarbeitung einer mathematischen oder physikalischen Idee. Dies war die einzige Komposition, in der er ein Erlebnis verarbeitet hat: die Eindrücke aus der Zeit der Besetzung Griechenlands durch die Nazis. Die Deutschen wollten Griechen als Zwangsarbeiter ins Dritte Reich deportieren. Es wurden aber riesige Protestdemonstrationen inszeniert, die diese Aktion letztlich verhinderten. Xenakis verarbeitete die Geräusche der marschierenden Massen, das Skandieren der Parolen und die abgehackten Maschinengewehrsalven der deutschen Panzer in seiner Komposition.



Die Grafik zeigt die klanglichen Ereignisse zur Querachse der Zeit.

Der Einmarsch spiegelt sich unter anderem in den vier Sequenzen wider, in die Metastasis eingeteilt wird. Die Abfolge „Ordnung – Übergang – Unordnung – Ordnung“ ist auch in der Grafik zur Partitur zu erkennen.

Dabei wird nicht nur die Gegensätzlichkeit von Ordnung und Unordnung verarbeitet, sondern auch die Gegenüberstellung von diskontinuierlicher Tonhöhen-Skala einerseits mit dem kontinuierlichem Spektrum aller Frequenzen andererseits (Aufteilung siehe Grafik). Das heißt, dass die Längsachse sowohl die diskontinuierlicher Tonhöhen-Skala als auch das kontinuierlichem Spektrum aller Frequenzen darstellt.

Gleichzeitig wurden aber noch viele andere Konzepte angewandt.

Da er zwischen den Übergängen der Sequenzen zu viele klangliche Ereignisse gleichzeitig kontrollieren musste, behalf er sich der Wahrscheinlichkeitstheorie. Desweiteren können mathematische Aspekte, wie der goldene Schnitt in der Partitur wiedererkannt werden. Beispielsweise ist die Pause in der ersten Sequenz im goldenen Schnitt des langgezogenen gradlinigen Tons.

Der Name Metastasis rührt von meta (jenseits, nah) und stasis (Unbeweglichkeit) her. Dies symbolisiert den Gegensatz von Bewegung und Bewegungslosigkeit (Demonstration – Panzer; Ordnung – Unordnung; kontinuierlich - diskontinuierlich).

Metastasis sah er im Nachhinein als Bindeglied zwischen bekannter klassischer Musik und ihrer mathematisch fundierten Erweiterung, die nun hier teilweise vorgestellt wird.

## 4. Das ST-Programm

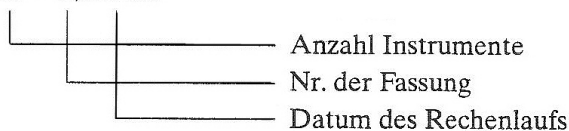
1961 war es eine völlig neue Idee, Musik mittels Computer generieren zu lassen. Aufgrund der damaligen Rechnerleistung war es schwierig und kostenintensiv, weshalb Xenakis auch eine nahe Beziehung zu IBM führte. Mit dem Computer hatte er das adäquate Hilfsmittel gefunden, seine Ideen für Kompositionen präziser und vielfältiger zu gestalten, als es von Hand möglich gewesen wäre.

### 4.1. Allgemeines

„ST“ ist ein Programm mit dem man durch selbst definierte Konstanten Ausgabewerte erhält, die dann in eine Komposition umgesetzt werden können. Der Computer generiert also nicht die Musik und spielt sie, sondern erstellt eine Menge von Zahlen, die in eine Partitur umgesetzt werden. Diese Partitur wird dann von echten Musikern gespielt.

Xenakis Absicht war, eine minimale Anzahl an Regeln festzulegen, die man maximal benötigt, um ein Musikstück zu komponieren und zu beschreiben. Welche Ereignisse brauche ich, um ein Musikstück zu beschreiben? Brauche ich die Definition von einem Tonintervall oder nur die Tonhöhe?

ST/10 – 1,080262



Jede ST-Komposition hat einen Namen, der aus einem bestimmten „Code“ aufgebaut ist (Bsp: ST/10 – 1,080262). ST steht für „musique stochastique“ und ist immer der Beginn des Namens. Die Nummer hinter dem Schrägstrich gibt

Auskunft, für wie viele Instrumente das Stück ausgelegt ist. Darauf folgt ein Nummerncode, der das generierte Einzelwerk genauer bezeichnet. Dieser besteht aus der Nummer der Fassung gefolgt von dem Erstellungsdatum.

Dabei kann ein gleiches Stück, wenn Nummer der Fassung und das Datum des Rechenlaufs gleich sind, auch von einer unterschiedlichen Anzahl an Instrumenten gespielt werden.

Es können also von gleichen Ausgabewerten andere Stücke folgen (ST/4 – 1,080262, ST/10 – 1,080262 und ST/48 – 1,080262). Links zu Hörbeispielen sind in den Quellenangaben zu finden.

## 4.2. Der formalisierte Kompositionsprozess

Hier geht es darum, zu beschreiben, wie generell ein Programm erstellt werden kann, das ein Musikstück generiert. Die einzelnen Phasen zur Erstellung dieses Programms werden mit dem Beispiel des ST-Programms beschrieben. Man kann also auch andere Programme mittels dieses Kompositionsprozesses erstellen.

Der formalisierte Kompositionsprozess wird in 8 grundlegende Phasen aufgeteilt: Die ersten drei Phasen werden unter der Überschrift „Grundlegung“ aufgeführt. Hier werden, wie der Name schon sagt, die grundlegenden Elemente definiert. Die erste Phase beschreibt „Die ursprüngliche Idee (1)“. Bei ST war es die Idee ein Musikstück zu komponieren, das auf einer minimalen Anzahl an Regeln aufbaut. In der zweiten Phase „Definition der vorgesehenen klanglichen Elemente (2)“ wird definiert, welche Regeln betrachtet werden sollen. Zum Beispiel Tonhöhe, Tondauer, Klangfarbe usw. Die „Makrokomposition (3)“ enthält die Definition der Transformationen, welchen diese Elemente unterliegen sollen. Zum Beispiel, wie eine Wahrscheinlichkeitsverteilung definiert ist.

Die „Mikrokomposition (4)“ steht unter der Überschrift „Das mathematische Programm“. Hier werden die einzelnen Abschnitte genau definiert (in dieser Ausarbeitung beispielsweise Instrumentation und Tonhöhenbestimmung).

Die „Realisation der Komposition“ umfasst die Phasen 5 bis 7. In der „Sequentiellen Programmierung des Modells (5)“ werden die festgelegten Definitionen in Programmcode umgesetzt. Die „Ausführung der Rechnoperationen (6)“ umfasst im Wesentlichen das Starten des Programms auf dem Computer. In „Übertragung des numerische ausgegebenen Resultates in Musiknotation (7)“ werden die Ausgaben des Computers in spielbare Partitur umgewandelt.

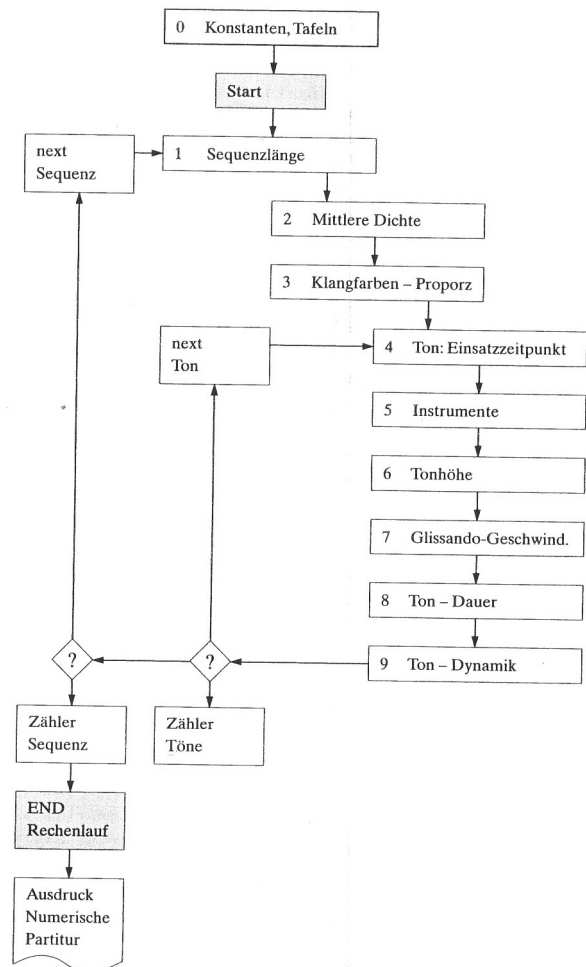
In der letzten Phase, der „Klanglichen Realisation (8)“, wird die eben erstellte Partitur von Musikern gespielt.

### 4.2.1. Übersicht über Phase 4-7

Die Grafik zeigt in einem Flussdiagramm wie aus einer Tafel mit den Eingabekonstanten letztendlich die numerische Partitur entsteht.

Als erstes werden Konstanten (Abschnitt 0: Konstanten, Tafeln) bestimmt, die wesentlich für das klangliche Ergebnis zuständig sind.

Pro Sequenz wird die Sequenzlänge (Abschnitt 1), die Mittlere Dichte (2) und die Klangfarben (3) bestimmt. Dann wird für jeden Ton der Einsatzzeitpunkt (4), das Instrument (5), die Tonhöhe (6), das Glissando (7), die Ton-Dauer (8) und die Ton-Dynamik (9) bestimmt. Ist die Anzahl der Töne für eine Sequenz erreicht, wird eine neue Sequenz erstellt bis die Anzahl an Sequenzen erreicht ist.



#### 4.2.2. Konstanten/Tafeln (Abschnitt 0)

Im Folgenden werden einige Konstanten aufgeführt, wie sie in Tafeln vorliegen, bevor das Programm gestartet wird. Hier ist die „Schraube“, an der gedreht wird, wenn ein neues ST-Stück erstellt werden soll. Alles andere bleibt gleich. Hätte Xenakis etwas an den Definitionen geändert, hätte er wahrscheinlich die Stücke nicht „ST“ benannt.

Da hier der Komponist über das Resultat entscheiden kann, spricht Xenakis bei „ST“ auch von Musik, da er der „Herrscher“ über das Ergebnis ist und nicht der Computer alleine die Komposition bestimmt.

Fortranbezeichnungen und Eingabewerte für ST/10 – 3,060962:

<b>Fortran Bezeichnung</b>		<b>Eingabewerte für ST/10 – 3.060962</b>
$\Delta$	Reziprokwert der durchschn. Dichte $\Delta = 1/c$	40.0
SQPI	Quadratwurzel von PI	1.7724539
ALIM	Maximale Dauer von ai	120.0
KT1	Steuervariable	0
KT2	Maximale Anzahl Loops, div Zwecke	15
KW	Maximale Anzahl Sequenzen	50
KTR	Anzahl Klangfarbenklassen	12
GTNA	Maximale Anzahl Töne pro Sequenz ai	1600
GTNS	Maximale Anzahl Töne im Gesamtwerk (KW Loops)	25000
Variablen		
A	Sequenzlänge	

Die Konstanten KT2, ALIM und  $\Delta$  und Variable A tauchen nachher in der Realisation wieder auf.

### 4.2.3. Das mathematische Programm

#### 4.2.3.1. Instrumentation (Abschnitt 5)

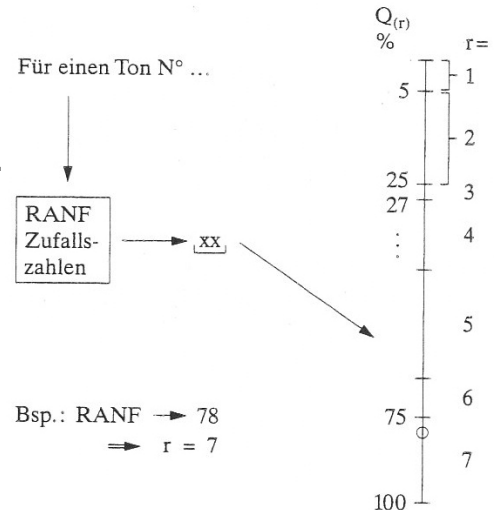
Hier wird festgelegt, welches der im Abschnitt 3 festgelegten Instrumente den im Abschnitt 4 festgelegten Ton spielt.

Für einen Ton wird eine Zufallszahl zwischen 01 und 100 generiert.

Wäre die Zufallszahl 78, würde laut Schema die Klangfarbenklasse 7 ermittelt werden.

Das Schema wurde von Xenakis willkürlich festgelegt. Es gilt also:  $Q(r = 1) = 0,05$  oder 5%. Das heißt die Klangfarbenklasse  $r = 1$  hat eine 5%ige Chance getroffen zu werden, für  $r = 2$  20%,  $r = 3$  2%, ... und für  $r = 7$  25%.

Ist die Klangfarbenklasse ermittelt, muss noch eine Instrumentennummer aus dieser Klasse gewählt werden. Das geschieht analog mit der Variable  $n$  für die Instrumentennummer und  $P(n)$  als Wahrscheinlichkeitsfunktion.



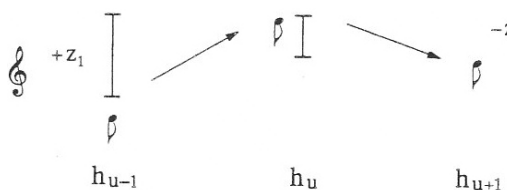
Durch die Art der Verteilungen  $Q(r)$  und  $P(n)$  sind die Erwartungswerte nicht gleich verteilt. Klangfarben mit großem  $Q(r)$  haben eine bessere Chance, getroffen zu werden als solche mit kleinem  $Q(r)$ .

Das Ergebnis hängt also einerseits von der kreativen Willkür Xenakis' ab, die sich in den Schemata niederschlägt, andererseits von den Wahrscheinlichkeitsverteilungen, welche die Schemata auswerten.

Diese kreative Willkür zeigt sich beispielsweise daran, dass gewisse Instrumente dadurch bevorzugt werden, dass sie in verschiedenen Klangfarbenklassen vorkommen und dadurch eine von vornherein größere Wahrscheinlichkeit haben, zum Zuge zu kommen (Beispiel: Violine 1 = 0,42; Tomtom = 0,083 laut einer in Abschnitt 3 festgelegter Tabelle).

#### 4.2.3.2. Tonhöhe (Abschnitt 6)

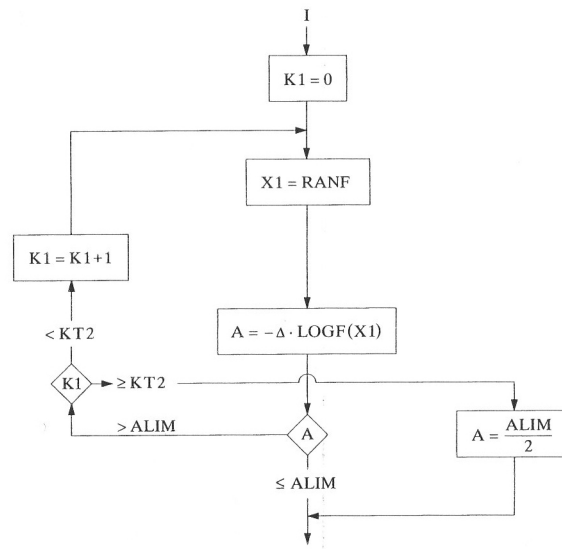
Die Tonhöhenbestimmung ist ein kontinuierlicher Prozess, bei welchem von der im letzten Durchgang bestimmten Tonhöhe  $h_{u-1}$  eine durch Zufall bestimmte Differenz  $z$  zu oder abgezogen wird ( $h_u = h_{u-1} + z$ ). Die Differenz muss innerhalb des Tonumfangs  $s$  des im vorhergehenden Abschnitts gewählten Instrumentes liegen.



Da laut Definition des mathematischen Programms bei der Tonfestlegung nicht immer die gleichen Instrumente hintereinander folgen, wird später in Phase 7 (Übertragung des numerische ausgegebenen Resultates in Musiknotation) wieder nach Instrumenten getrennt.

#### 4.2.4. Realisation der Komposition

Im Folgenden wird die Phase 5 des formalisierten Kompositionsprozesses genauer beschrieben. Dazu wird ein Flussdiagramm, das als Programmiergrundlage diente, zu Hilfe gezogen, welches die Berechnung einer Sequenzlänge A verdeutlichen soll (Abschnitt 1).



$K1 = 0$

Der Zähler für Wiederholungen wird auf Null gesetzt.

$X1 = \text{RANF}$

$X1$  wird als Zufallszahl gezogen.

$A = -\Delta \cdot \text{LOGF}(X1)$

Formel zur Berechnung der Sequenzlänge  $A$

( $\Delta = 1/c$  ( $c =$  mittlere Dichte),  $\text{LOGF}$  entspricht dem Logarithmus naturalis)

if  $A < ALIM$

wenn  $A < ALIM$  wird der nächste Abschnitt (mittlere Dichte) berechnet, sonst wird eine neue Zufallszahl generiert und der Rechenlauf wiederholt.

$K1 = K1 + 1$

Incrementierung von  $K1$ . Dieser Vorgang darf  $KT2$ -mal wiederholt werden.

if ( $K1 \geq KT2$ )

Wenn  $K1 \geq KT2$ , also die Schleife 15 Mal (laut Konstantendefinition in abschnitt 0) durchlaufen wurde, wird  $A$  willkürlich definiert.

$A = ALIM/2$

willkürliche Definition: Sequenz ist halb so groß wie  $ALIM$ .

### 4.3. Zahlenbeispiel

Die ist ein Beispiel für Phase 7 (Übertragung des numerische ausgegebenen Resultates in Musiknotation). Pro Instrument werden die Ausgabewerte nach instrumentspezifischen Wertepaaren aus CLASS(Klangfarbenklasse) und INSTR(Instrument) durchsucht und in Notennotation umgewandelt.

Für die erste Violine sind das die Kombinationen (5,1);(6,8);(7,1);(8,1);(12,1)

↓

N	START	CLASS	INSTRM	PITCH	GLISS1	GLISS2	GLISS3	DURATION	DYNAM
1	0.00	7	1	34.0	0.0	0.0	0.0	0.00	3
2	0.10	10	1	43.2	0.0	0.0	0.0	0.41	50
3	0.11	6	8	81.3	0.0	0.0	0.0	0.63	21
4	0.13	6	3	47.0	0.0	0.0	0.0	0.18	10
5	0.18	1	4	0.0	0.0	0.0	0.0	1.90	29
6	0.25	9	1	48.7	0.0	0.0	0.0	0.51	35
7	0.33	6	7	11.4	0.0	0.0	0.0	0.37	42

N	START	CLASS	INSTRM	PITCH
1	0.00	17	1	34.0
2	0.10	10	1	43.2
3	0.11	6	8	81.3
4	0.13	6	3	47.0
5	0.18	1	4	0.0
6	0.25	9	1	48.7
7	0.33	6	7	11.4
8	0.34	9	1	38.1
9	0.40	1	1	0.0
10	0.41	6	9	55.0
11	0.76	6	7	11.5
12	0.80	8	2	23.2
13	1.00	7	2	26.9
14	1.09	10	1	46.2
15	1.20	6	2	68.2
16	1.24	6	2	68.2
17	1.42	6	1	44.0
18	1.57	10	1	36.2
19	1.65	4	2	32.5
20	1.78	6	8	72.6
21	1.92	6	3	38.9
22	1.94	5	1	74.6
23	2.18	6	1	32.6
24	2.18	6	1	32.6
25	2.20	4	1	20.9
26	2.20	4	1	20.9
27	2.23	9	1	51.0
28	2.32	7	1	36.9
29	2.35	4	1	31.8
30	2.54	1	6	0.0
31	2.57	11	2	12.2
32	2.71	4	1	48.5
33	3.00	4	1	15.9
34	3.00	4	1	15.9
35	3.33	1	7	0.0
36	3.38	5	2	47.3
37	3.55	10	1	31.6
38	3.69	1	9	0.0
39	3.69	5	1	64.3
40	3.64	12	2	52.2
41	3.65	6	5	59.0
42	3.65	6	5	59.0
43	3.60	6	8	78.0
44	3.87	6	2	51.9
45	3.89	6	7	12.1
46	4.15	5	2	43.0
47	4.15	5	1	80.3
48	4.25	9	1	59.9
49	4.31	12	2	40.1
50	4.33	1	10	0.0

Violine I:  
C I

5	1
6	8
7	1
8	1
12	1

Stimme in Partitur

Es ist aber nicht so, dass Xenakis alle generierten Ergebnisse unverändert hin nahm. Er hat regulierend eingegriffen, wenn das Ergebnis für die Musiker unspielbar war, bspw. zu lange Töne bei Blasinstrumenten oder zu enge Abfolge von Tönen. Auch hinderte manchmal die klassische Orchesterbesetzung die Komposition zu spielen oder wenn das Ergebnis ihm einfach nicht gefallen hat. Zum Beispiel zu viele oder zu wenig Pausen, Tonabfolge usw.

## 5. Quellen

Andre Baltensperger – Iannis Xenakis und die stochastische Musik

Balint A. Varga und Iannis Xenakis – Gespräche mit Xenakis

Christoph Schmidt – Komposition und Spiel. Zu Iannis Xenakis

Peter Hoffmann – Amalgam aus Kunst und Wissenschaft

Wikipedia: Stichwort „Musik“

Brockhaus: Stichwort „Komposition“

Musikstücke auf Youtube:

ST/4 : <http://www.youtube.com/watch?v=TSZOAulo82U> und  
<http://www.youtube.com/watch?v=5VHbNn5kcYw>

ST/10 : <http://www.youtube.com/watch?v=1H7JYwmM7vU> und  
<http://www.youtube.com/watch?v=2MhYF2IRAMk>

Metastasis : <http://www.youtube.com/watch?v=SZazYFchLRI>