

1. Terminologie

Der Titel dieser Arbeit weist gleich eine ganze Reihe von Begriffen auf, deren Bedeutungen zunächst geklärt werden müssen. Es finden sich in der Literatur natürlich mehrere voneinander abweichende Definitionen für *Automation*, *Intuition*, *Entscheidung*, *Algorithmus* und *algorithmische Komposition*. Mir geht es daher hier nicht um eine allgemeingültige Definition, sondern lediglich um eine Begriffsklärung, die im Rahmen dieser Arbeit sinnvoll ist, und zu Übersicht und Verständnis beiträgt. Obwohl manche Begriffe zwar nicht allumfassend erörtert werden – über die Bedeutung von *Intuition* bspw. könnte man sicherlich eine eigenständige Arbeit schreiben – habe ich mich bemüht in diesen Fällen eine Bedeutung wenigstens einzugrenzen, so dass eine Differenzierung zu den anderen Begriffen möglich wird. Zudem erscheint es mir notwendig, auch auf die Termini *Rationalität* und *Zufall* näher einzugehen.

1.1 Algorithmus, algorithmische Komposition und Zufall

Das Wort *Algorithmus* leitet sich aus dem Namen Muhammed al Chorezmi⁴ ab. Chorezmi war Mathematiker am Hofe des Kalifen zu Bagdad.⁵ Um 825 veröffentlichte er das Lehrbuch *Über das Rechnen mit indischen Ziffern*. Aus der lateinischen Übersetzung entstand der Term *algorismus*⁶. Ein Algorithmus kann sinngemäß als Handlungsanweisung oder auch als Verhaltensmuster betrachtet werden. Er beschreibt Regeln zur Lösung eines Problems oder einer Klasse von Problemen in einer endlichen Anzahl von Schritten.

In dieser recht groben Definition, die noch konkretisiert werden soll, steckt bereits ein fundamentaler Aspekt, der zur Entwicklung von Algorithmen wichtig ist: die Formalisierung und Objektivierung eines Sachverhaltes. Um nämlich ein

⁴ * 783; †850; heute meist als Al Khwarizmi oder Al Khwarizmi geschrieben.

Vgl. Martin Supper, *Elektroakustische Musik und Computermusik. Geschichte – Ästhetik – Methoden – Systeme*, Darmstadt 1997, S. 63

⁵ Ebd.

⁶ Vgl. URL: <http://de.wikipedia.org/wiki/Algorithmus> (28.12.2010).

problemverursachendes System⁷ in mehrere miteinander in Beziehung stehende Regeln zu „übersetzen“, erfordert es, je nach Komplexität des Systems, ein mehr oder weniger starkes Maß an Abstraktion.

Die zwei folgenden exemplarischen Modelle sollen zeigen, dass es in der Musikgeschichte immer wieder Versuche der Formalisierung des Kompositionsvorgangs gab.

Der Benediktinermönch und Musiktheoretiker Guido von Arezzo⁸ entwickelte um das Jahr 1026 seine Schrift *Micrologus de disciplina artis musicae*, in der er eine Methode zur Bildung von Choralmelodien anhand lateinischer geistlicher Texte beschreibt. Über einen Ambitus einer Doppeloktave plus Ganzton verknüpft er eine diatonische Skala mit den Vokalen A E I O U. Es ergeben sich daher für jeden Vokal drei Möglichkeiten für eine entsprechende Tonhöhe – bzw. vier für den Vokal A. Diese Wahlmöglichkeit obliegt der subjektiven Entscheidung des Komponisten. So ergibt sich aus einem Text am Ende eine Melodie mit je einem Ton pro Vokal. Die Anzahl aller möglichen Melodien für einen Text mit n Vokalen, wovon m A-Vokale sind beläuft sich also $(3^{n-m}) * 4^m$. Das wären allein 104 976 Möglichkeiten für einen Text mit zwei A-Vokalen unter insgesamt zehn Vokalen. Was zwar viel ist, im Vergleich aber zu den $16^{10} = 1 099 511 627 776$ Möglichkeiten (Oktavierungen eingeschlossen), die dem Komponisten ohne jede systembedingte Einschränkung auf dieser Skala zur Verfügung stünden, schon eine erhebliche Restriktion darstellt.

⁷ Der Begriff wird hier nach Herbert Brüns Definition verwendet. Ein System ist demnach vorhanden, „1) wenn wir ein Ganzes anschauen und davon sagen, daß es eine Konstellation von Teilen oder Elementen darstellt; wenn wir 2) von den Elementen sagen, daß ein jedes mindestens zwei verschiedene Zustände haben kann; wenn wir 3) sagen, daß die Zustandsveränderung auch nur eines Elements den Zustand des Ganzen verändert.“

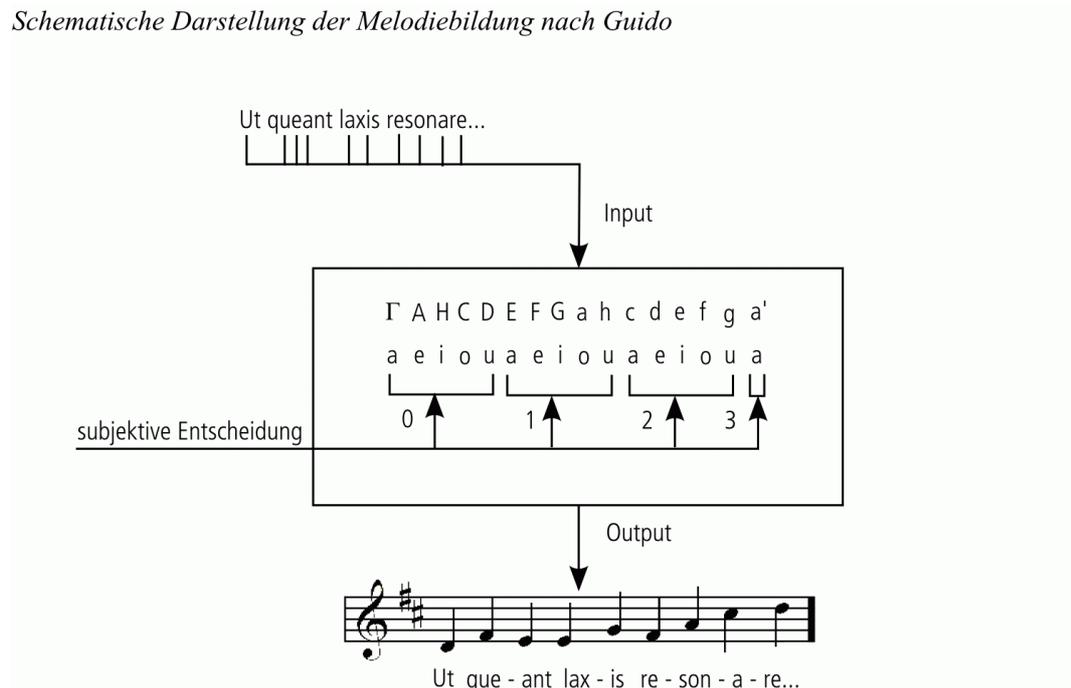
Herbert Brün, *Das zweite Gebot und jenes der Zeit und all das unsägliche Gewimmel*, in: Gianmario Borio / Hermann Danuser (Hrsg.), *Im Zenit der Moderne. Die internationalen Ferienkurse für Neue Musik Darmstadt 1946-1966*, Bd. 3, , Freiburg im Breisgau 1997, S. 131-146, hier S. 133

⁸ * um 992; † unsicher: 1050.

Vgl. URL: http://de.wikipedia.org/wiki/Guido_von_Arezzo (28.12.2010).

Abb. 1⁹:

Schematische Darstellung der Melodiebildung nach Guido



Bleibt festzuhalten, dass hier die Entscheidungsfrage bereits zum Teil objektiviert wurde, da die Regeln bestimmen, welche Töne der Skala *nicht* infrage kommen. Und dennoch ist die subjektive Entscheidung des Komponisten prägend für die Gestaltung der Melodielinie. Dies gilt für die (verbleibende) Wahl der Tonhöhe, wie auch für die Bewertung einer bereits hergeleiteten Melodie – Guido empfiehlt nämlich, die besten Melodieteile aus mehreren Versuchen miteinander zu vereinen.¹⁰

Ist dies eine algorithmische Vorgehensweise? Der oben genannten groben Definition nach, ja. Das Problem stellt die Melodiefindung dar. Die Regeln dazu können so formuliert werden:

⁹ Erstellt vom Verf. Nachempfunden einer Grafik aus Gareth Loy, *Musimathics. The Mathematical Foundations of Music Volume 1*, Cambridge 2006, S. 287

¹⁰ Vgl. ebd., S. 285 ff.

- Wenn kein Buchstabe vorhanden ist, dann endet die Prozedur.
- Wenn kein Vokal vorhanden ist, betrachte den nächsten Buchstaben.
- Ansonsten wähle die entsprechende Tonhöhe aus 0, 1, 2 oder ggf. 3.
- Notiere den Ton.
- Wiederhole die Prozedur mit dem nächsten Buchstaben.

Nach einer Definition von Donald Knuth¹¹ (1973) aber dürfte die Methode von Guido nicht als Algorithmus betrachtet werden. Sie besagt, dass ein Algorithmus die folgenden Kriterien erfüllen muss:

- *Endlichkeit:*
Er darf nicht endlos fortschreiten.
- *Bestimmtheit:*
Jeder Schritt muss eine allgemein verständliche Signifikanz haben.
- *Input:*
Er muss zulässige Eingangsinformationen verarbeiten.
- *Output:*
Er muss wenigstens ein Resultat hervorbringen, das aus der Anwendung der Programmschritte auf den Input hervorgeht.
- *Effektivität:*
Er muss bei selbem Input immer denselben Output produzieren; das Resultat darf nicht von Unbekannten (z. B. Münzwurf) abhängig, noch uneindeutig sein (z. B. Division durch 0).

Es ist das Kriterium der Bestimmtheit, was die Guido-Methode nicht erfüllen kann, da sie, wie oben dargestellt, die Entscheidung des Komponisten mit einbezieht und folglich in diesem Programmschritt nicht allgemein verständlich, d. h. nachvollziehbar, ist. Die subjektive Entscheidungsfindung kann einen intuitiven Prozess darstellen, der letztlich unvorhersehbar ist. Er stellt sich einem Außenstehenden unter Umständen genauso wenig kausal dar, wie ein Münzwurf.

¹¹ * 10. Januar 1938; ist emeritierter Professor für Informatik an der Stanford University und Urvater des Textsatzsystems TeX. Vgl. URL: http://de.wikipedia.org/wiki/Donald_Knuth (28.12.2010).

Anders ausgedrückt: Ein und derselbe Text führt bei zwei Durchgängen nicht zwangsläufig zur selben Melodie, da der Komponist möglicherweise andere Entscheidungen trifft.¹² Somit ist eine Effektivität nicht gewährleistet.

Betrachten wir ein nächstes Modell: das *musikalische Würfelspiel*.

Das erste System dieser Art war wohl Johann Philipp Krinbergers¹³ *Allzeit fertiger Polonaisen- und Menuettenkomponist* aus dem Jahre 1757. Bis 1812 sind mindestens 20 weitere solcher Würfelspiele entworfen worden;¹⁴ unter anderem von Wolfgang Amadeus Mozart¹⁵. Das Prinzip basiert stets auf einer zufälligen Auswahl und Aneinanderreihung eines vorkomponierten Tabelleninhaltes.

Mozarts *Anleitung zum Componieren von Walzern so viele man will vermittelt zweier Würfel*¹⁶ (1973) basiert auf zwei achttaktigen Perioden, von denen jeder Takt durch zwei sechsseitige Würfel ausgewürfelt wird. Über eine Matrix¹⁷ wird die Summe der erwürfelte Augenzahlen einem Material aus der Tabelle zugeordnet. Durch diese Zuweisung wird gleichzeitig ein harmonischer Verlauf gewährleistet:

¹² Dieses indeterministische Moment ist interessanterweise für Gareth Loy das, was Kunst vom Algorithmus differenziert: „We can call methods like Guido’s *nondeterministic methodologies*, but I prefer a more concise name: *art*. The characteristic feature of art of all kinds is that it *combines objective criteria and methods with choice making*. The difference between art and algorithm is that deterministic methodology (algorithm) always produces the same result from the same inputs, whereas nondeterministic methodology may produce variable results even with the same inputs.” (Gareth Loy, *Musimathics. The Mathematical Foundations of Music Volume 1*, Cambridge 2006, S. 289 f.) Eine solch strikte Unterscheidung erscheint nur konsistent, wenn man die Knuth’sche Definition eines Algorithmus vollständig übernimmt. Dass dies nicht immer der Fall sein muss, soll im Folgenden gezeigt werden.

¹³ * 24. April 1721 in Saalfeld/Saale; † 27. Juli 1783 in Berlin; K. war ein deutscher Musiktheoretiker und Komponist. Vgl. URL: http://de.wikipedia.org/wiki/Johann_Philipp_Kirnberger (05.01.11).

¹⁴ Vgl. Gerhard Nierhaus, *Algorithmic Composition. Paradigms of Automated Music Generation*, Wien 2009, S. 36

¹⁵ * 27. Januar 1756 in Salzburg; † 5. Dezember 1791 in Wien; M. war ein Komponist zur Zeit der Wiener Klassik. Vgl. URL: http://de.wikipedia.org/wiki/W._A._Mozart (05.01.11).

¹⁶ KV 294d/516f wurde allerdings erst 1793, also nach Mozarts Tod verlegt. In seinem *Verzeichniß aller meiner Werke* ist sie jedoch nicht enthalten. Es ist unklar, ob das Würfelspiel wirklich von Mozart stammt oder es nur unter seinem Namen veröffentlicht wurde.

Vgl. URL : http://de.wikipedia.org/wiki/Musikalisches_W%C3%Bcrfelspiel (28.12.2010), sowie Fred K. Prieberg, *Musica Ex Machina. Über das Verhältnis von Musik und Technik*, Berlin 1960, S. 113

¹⁷ Siehe Anhang A.

Die Tonika (C) wird nach vier Takten über die Doppeldominante (D7) in die Dominante (G) moduliert, um in der zweiten achttaktigen Periode sechs Takte vor dem Schluss zur Tonika (C) zurückzuführen.¹⁸

Das System ist also zu einem nicht unerheblichen Teil prädestiniert. Indeterminiert bleiben lediglich die Kombinationen des Materials, die sich auf $11^{16} = 45\,949\,729\,863\,572\,161$ Varianten belaufen. Obwohl dieses System vollständig reglementiert ist und es im Gegensatz zur Guido-Methode keine subjektiven Entscheidungen vorsieht, kann es nach der oben genannten Definition eines Algorithmus nicht als solcher gelten, da sich die Zufallsmomente nicht mit dem Charakteristikum der Effektivität vereinbaren lassen. Natürlich ergibt dieselbe Augenzahl immer dasselbe Material, jedoch ergibt das Würfeln nie eine vorhersehbare Augenzahl.

Es sind bei diesen zwei Modellen unbestimmbare, unerklärliche Momente, die sich gegen den Begriff Algorithmus stellen. Aber was genau verbirgt sich hinter dieser Unerklärlichkeit?

Herbert Brün betont in seinem Essay *Das zweite Gebot und jenes der Zeit und all das unsägliche Gewimmel*¹⁹, dass Unerklärlichkeit längst nicht mit Unerklärbarkeit gleichzusetzen ist. Erklärbare Unerklärlichkeit könne man demnach als ein System betrachten, das bisher lediglich nicht oder nur lückenhaft formalisiert, also durch abstrakte Regeln beschrieben wurde. Möglicherweise, weil es so komplex ist, dass dazu niemand in der Lage ist.

„Ganz allgemein ist zu erinnern, daß Unerklärlichkeit kein Beweis für Unerklärbarkeit ist. Um Unerklärbarkeit zu beweisen, genügt es nicht festzustellen, daß kein Algorithmus bekannt ist, der das Unerklärliche erklärt, sondern es muß bewiesen werden, daß es diesen Algorithmus nicht gibt und nicht geben kann.“²⁰

¹⁸ Vgl. Fred K. Prieberg, *Musica Ex Machina. Über das Verhältnis von Musik und Technik*, Berlin 1960, S. 116

¹⁹ In: Gianmario Borio / Hermann Danuser (Hrsg.), *Im Zenit der Moderne. Die internationalen Ferienkurse für Neue Musik Darmstadt 1946-1966*, Bd. 3, Freiburg im Breisgau 1997, S. 131-146

²⁰ Ebd., S. 141

Eine subjektive Entscheidung stellt sich deswegen als nicht nachvollziehbar dar, weil das System, also das Subjekt, dem diese Entscheidung entspringt, so komplex ist, dass es sich dem Beobachter nicht erschließt. Brün geht so weit, dass er sogar den Komponisten an sich als ein solches System zu betrachten in Erwägung zieht:

„Auch der Begriff «Komponist» kann als Bezeichnung eines Systems interpretiert oder zumindest diskutiert werden. (Ha! – schreit da ein Chor – Jetzt will er die Muse zum System denaturieren!) Man muß aber hier Wert darauf legen, daß man da nicht vom Komponisten oder gar vom Menschen persönlich spricht, die, wenn sie gar wirklich Systeme sind, vom vorläufigen Computerstandpunkt [Das war 1965 – gilt aber nach wie vor. (Anm. d. Verf.)] aus jedenfalls, noch zu kompliziert für die komplette Simulation sind.“²¹

Ganz gleich, was der Leser von dieser These halten mag²², sie soll an dieser Stelle lediglich verdeutlichen, dass selbst ein so rationaler Geist wie Brün dem menschlichen Komponisten etwas eingesteht, dass (noch) nicht mit einem Algorithmus abgebildet werden kann.

Hervorzuheben bleibt die Unterscheidung von Erklärlichkeiten und Unerklärlichkeiten.

Wenn wir auch mit der Formalisierung des Systems *menschlicher Komponist* Probleme haben, gelingt es bei anderen Unerklärlichkeiten wie dem Zufall recht gut. Er lässt sich nämlich anhand statistischer Charakteristika analysieren, so dass sich Funktionen konstruieren lassen, die eine ähnliche statistische Verteilung hervorbringen. Es handelt sich dann allerdings um formalisierte Prozesse, die streng genommen nur noch als pseudo-zufällig bezeichnet werden können, effektiv aber dasselbe statistische Verhalten wie die echten Zufälle an den Tag legen. Man versucht also eine Unerklärlichkeit mithilfe einer erklärlichen Funktion zu simulieren. Nebenbei bemerkt, lassen sich solche Pseudo-

²¹ Ebd., S. 142

²² Eine andere These vertritt bspw. Lew W. Tarrasow: „Es gibt kein determiniertes Vorgehen, um Erfindungen hervorzubringen oder Probleme zu lösen. Alles, was wir heute [1984] von den Prozessen wissen, die in unserem Gehirn ablaufen, weist auf die fundamentale Rolle zufälliger Faktoren in diesen Prozessen hin.“

L. Tarrasow, *Wie der Zufall will? Vom Wesen der Wahrscheinlichkeit*, Heidelberg 1998, S. 100

Zufallsfunktionen²³ auch mit dem Knuth'schen Verständnis eines Algorithmus vereinbaren. Das Kriterium der Effektivität ist nämlich wieder gewährleistet, da sie bei gleichem Initialwert (*Seed*) immer dieselbe Zahlenfolge generieren.

Es gibt aber, das sei noch erwähnt, durchaus auch indeterministische, also sozusagen unerklärliche Zufallsfunktionen. Diese können nur funktionieren, indem sie ein unerklärliches System mit einbeziehen. Dazu werden vorzugsweise physikalische Phänomene wie z. B. Impulsschwankungen elektronischer Schaltungen, radioaktive Zerfallsvorgänge etc. verwendet. D. h. diese Funktionen erfüllen das Kriterium der Effektivität natürlich nicht und können damit streng genommen nicht Teil eines Algorithmus sein. Dennoch generieren sie ihren Output nach gleicher relativer Häufigkeit wie ihre deterministischen Pendanten und sind daher statistisch vorhersagbar – sie sind *statistisch stabil*.

Diese Tatsache führt mitunter dazu, dass etwa der Ersatz der zufälligen Faktoren durch ihre Mittelwerte²⁴ oder eine Optimierung im Durchschnitt²⁵ in der Wissenschaft durchaus gebräuchliche Methoden sind, um den Zufall auf einfache aber praktikable Weise mit einzubeziehen. Ich möchte daher im Zusammenhang von Zufallsfunktionen von einer gewährleisteten *statistischen Effektivität* sprechen, und diese als Erweiterung des Knuth'schen Verständnisses von Effektivität im Folgenden als algorithmuskonform betrachten.

Demzufolge können *musikalische Würfelspiele* als Algorithmus betrachtet werden. Bei der Guido-Methode bleiben immer noch die subjektiven, durch den Komponisten ausgelösten Momente, die sich nicht unter der Algorithmus-Definition eingliedern lassen. Ihre besondere Rolle soll später noch erläutert werden.

²³ Siehe dazu Gareth, Loy, *Musimathics. The Mathematical Foundations of Music Volume 1*, Cambridge 2006, S. 300 ff.

²⁴ „Dieses Vorgehen wird oft bei der Lösung verschiedener Aufgaben in der Physik und der Technik verwendet. Fast alle Parameter (Temperatur, Potentialdifferenz, Beleuchtungsstärke, Druck usw.), die in diesen Aufgaben verwendet werden, sind strenggenommen Zufallsfunktionen. In der Regel vernachlässigen wir den zufälligen Charakter der physikalischen Parameter und bedienen uns ihrer Mittelwerte bei der Lösung verschiedener Aufgaben.“

L. Tarassow, *Wie der Zufall will? Vom Wesen der Wahrscheinlichkeit*, Heidelberg 1998, S. 52

²⁵ „Vertretbar ist die Optimierung im Durchschnitt z. B., wenn es darauf ankommt, den beim Warenvertrieb erwirtschafteten Gewinn zu steigern. Dabei gibt es «glückliche» und «unglückliche» Tage, die sich zufällig abwechseln, die Gewinne an allen diesen Tagen werden jedoch addiert, so daß Verluste wettgemacht werden können.“

Ebd.

Nun da wir wissen, was ein Algorithmus ist, können wir uns auch vorstellen, was *algorithmische Komposition* bezeichnet: Musik die durch Algorithmen erzeugt wird. Diese Annahme ist in zweierlei Hinsicht trügerisch:

Erstens, da sie außer Acht lässt, dass sich die Verwendung der Algorithmen insbesondere auf den Kompositionsprozess bezieht. Andernfalls könnte man zu dem Schluss kommen, dass allein die Verwendung eines Automaten, der mithilfe eines Algorithmus Klang erzeugt (z. B. Moog-Synthesizer²⁶ oder auch Csound-Opcode²⁷) zur algorithmischen Komposition zu zählen sei. Gemeint sind nicht algorithmisch erzeugte akustische Phänomene, sondern die Ordnung solcher, sowie eine Struktur- und Formbildung durch Algorithmen.²⁸

Zweitens, da sie suggeriert, dass der Mensch von diesem Kompositionsprozess ausgeschlossen ist. Wie sich der Komponist aber dennoch involviert, soll im zweiten und dritten Kapitel dieser Arbeit gezeigt werden.

Treffender formuliert bezeichnet *algorithmische Komposition* teilweise bis vollständig formalisierte Kompositionsprozesse, die teilweise bis vollständig automatisiert werden können.

Im umgangssprachlichen Gebrauch des Begriffes zeigt sich, dass er speziell auf Verfahren ab 1950, also seitdem der Komposition durch die Fortschritte der Computertechnologie eine Art „algorithmische Revolution“²⁹ widerfahren ist, angewendet wird. Verfahren vor dieser Zeit, wie die Guido-Methode oder *musikalische Würfelspiele*, werden allgemein als eine Art Vorläufer betrachtet.

Im Folgenden will ich *algorithmische Komposition* als Gattungsbegriff verwenden. Dies wird durch Groß- und Kursivschreibung (*Algorithmische Komposition*) gekennzeichnet.

²⁶ Populärer Hersteller vorkonfigurierter Hardware-Synthesizer.

Siehe dazu URL: <http://www.moogmusic.com/>.

²⁷ Software-Synthesizer, mit dem sich Module, sog. Opcodes, beliebig verschalten lassen. Hinter einem Opcode steckt ein bereits entwickelter Algorithmus.

Siehe dazu URL: <http://www.csounds.com/>.

²⁸ Die Grenzen der Form- und Klangbildung verwischen allerdings in Fällen, wo z. B. bei Formproportionen auch auf Obertonspektren angewendet werden.

²⁹ Vgl. Karlheinz Essl, *Algorithmic Composition*, in: Nick Collins / Julio d'Escrivà (Hrsg.), *The Cambridge Companion to Electronic Music*, Cambridge 2007, S. 107-125, hier S. 107 f.

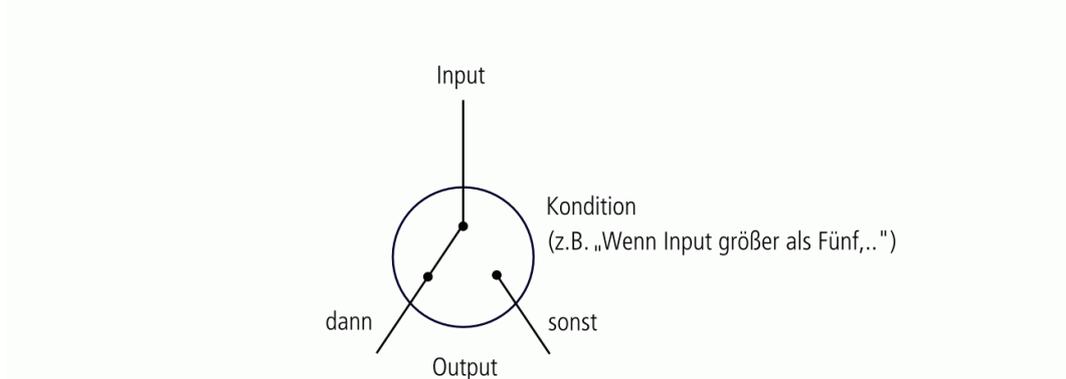
1.2 Entscheidung, Intuition und Rationalität

Es wurde bereits deutlich, dass die *subjektive Entscheidungsfindung*, die wir nicht durchschauen und deshalb nicht formalisieren können, sofern wir unterstellen, dass sie theoretisch als System formalisierbar sei, nicht mit dem Algorithmusbegriff vereinbar ist, weshalb sie einer genaueren Erörterung bedarf.

Entscheidungen können allgemein rationaler, zufälliger oder intuitiver Art sein. Werfen wir doch noch einmal einen Blick auf die soeben formulierten Regelschritte zur Guido-Methode. Wir lesen „Wenn... dann... Ansonsten...“ Dabei handelt es sich um Konjunktionen, die eine Kondition signalisieren. Die Frage ist aber, ob sich für alle Entscheidungsarten eine Kondition formulieren lässt.

Abb. 2³⁰:

Rationaler Entscheid



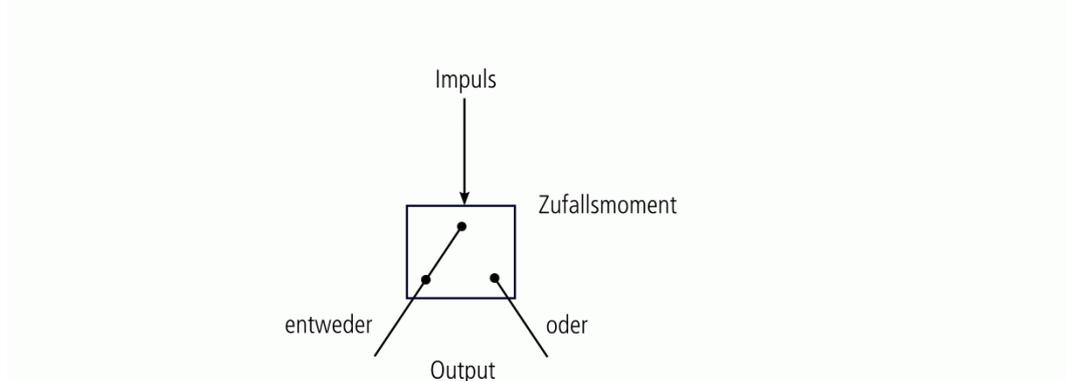
Ein *rationaler Entscheid* lässt sich als *bedingte Entscheidung* darstellen und daher mit einer Kondition verknüpfen. Diese kann erfüllt werden oder nicht, was anhand eines Inputs, einer eingehenden Information, überprüft werden muss. Jeder Bestandteil eines rationalen Entscheides ist definiert und logisch nachvollziehbar. Er ist bestimmt, effektiv und lässt sich daher problemlos in Algorithmen

³⁰ Erstellt vom Verf.

integrieren. Mithilfe der *boole'schen Algebra*³¹ ist es ebenso möglich komplexere Entscheide durch Verknüpfung mehrerer Konditionen zu formalisieren.

Abb. 3³²:

Zufallsentscheid



Betrachten wir den *Zufallsentscheid*. Es liegt *keine* Kondition vor. Sie würde sich in diesem Fall als redundant darstellen. Ein Münzwurf kann Kopf oder Zahl ergeben. Es liegen allein zwei potentielle Entscheidungselemente vor (Kopf oder Zahl, *entweder* oder *oder*, *true* oder *false*, 1 oder 0), die an keine Bedingung gebunden sind, sondern selbst die Entscheidungsalternativen repräsentieren. Ein sechsseitiger Würfel stellt demzufolge eine Entscheidung mit sechs Alternativen dar. Zufallsentscheidungen können aber durchaus an Konditionen gekoppelt werden um bspw. gewichteten Zufall zu erzeugen: Um aus einem sechsseitigen Würfel eine Gewichtung von 0,67 zu 0,33 zu erhalten, muss man sein Ergebnis mit der Kondition „Wenn Augenzahl größer gleich 4,...“ verknüpfen.

Wenn keine Kondition vorhanden ist, wird auch kein Input benötigt, der hinsichtlich dieser getestet werden müsste. Der Zufallsentscheid erfordert allerdings eine Art Impuls, der den Entscheidungsprozess in Gang setzt.

Die Probleme, die der Zufall hinsichtlich Eindeutigkeit und Effektivität mit sich bringt, wurden bereits erläutert. Ebenso wie mit Hilfsmitteln wie Pseudo-

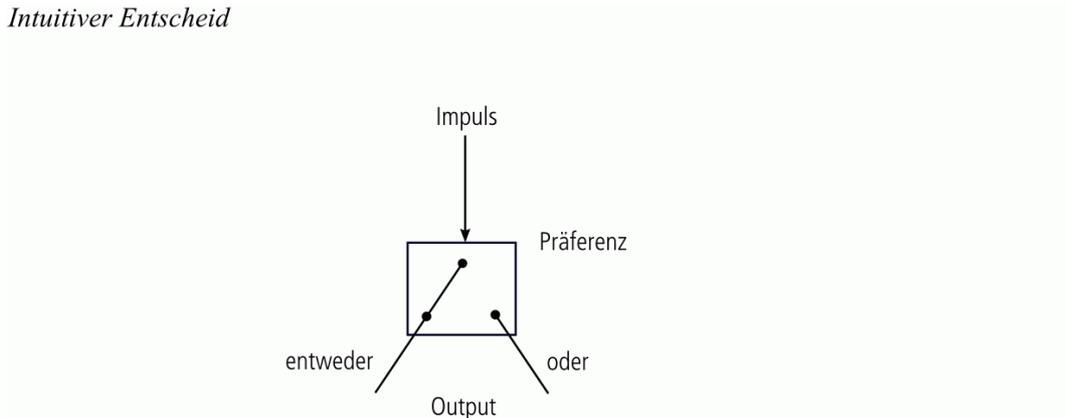
³¹ In der Mathematik ist eine boolesche Algebra eine spezielle algebraische Struktur, die die Eigenschaften der logischen Operatoren UND, ODER, NICHT sowie die Eigenschaften der mengentheoretischen Verknüpfungen Schnittmenge, Vereinigung, Komplement verallgemeinert. Vgl. URL: http://de.wikipedia.org/wiki/Boole%27sche_Algebra (28.12.2010).

³² Erstellt vom Verf.

Zufallsfunktionen oder Einbeziehung externen Zufalls Algorithmen Zufall dennoch implementieren können. Vergleichbare Möglichkeiten stehen dem Menschen ohne Zuhilfenahme von Algorithmen zur Verfügung: Er kann z. B. eine Tabelle mit protokollierten Zufallswerten auslesen oder wie bereits erwähnt, eine Münze werfen.

Abb. 4³³:

Intuitiver Entscheid



In seiner schematisierten Darstellung erscheint der *intuitive Entscheid* dem *zufälligen Entscheid* sehr ähnlich. Das hat seine Berechtigung, da er sich von außen betrachtet, d. h. die zur Entscheidungsfindung führenden Faktoren außer Acht lassend, genauso wenig kausal darstellen mag wie der *zufällige Entscheid*. Er ist nicht nachvollziehbar, da nicht zwingend logisch, und seine Effektivität ist fraglich. Oder wie es Prieberg³⁴ formuliert: „Der psychische Automatismus gleicht dem Automatismus des fallenden Würfels aufs Haar; beiden ist die Anti-Ordnung gemeinsam.“³⁵

³³ Erstellt vom Verf.

³⁴ * 3. Juni 1928; † 28. März 2010; P. war ein deutscher Musikwissenschaftler. Vgl. URL: <http://de.wikipedia.org/wiki/Prieberg> (28.12.2010).

³⁵ Vgl. Fred K. Prieberg, *Musica Ex Machina. Über das Verhältnis von Musik und Technik*, Berlin 1960, S. 122

Man geht davon aus, dass der Mensch bei der Entscheidungsfindung nur Alternativen in Erwägung ziehen kann, die sich aus in seinem Gehirn gespeicherten Informationen ergeben, die er sich entweder vergegenwärtigt oder unbewusst abrufen:

„Auf der psychologischen Ebene hat António R. Damásio herausgestellt, dass der Mensch jedem Begriff und jeder Erinnerung eine Art «emotionalen Marker» zuordnet. (...) Durch diesen «Marker» ergibt sich eine subjektive Gewichtung aller als Argument infrage kommenden Informationen, die in den Gedächtnisspeichern abgelegt sind. (...) Der Mensch nutzt diese Bewertungsfunktion bevorzugt für unbewusste oder spontane Reaktionen «aus dem Bauch heraus». In den emotionalen Markern sind im Prinzip die persönlichen Erfahrungen abgebildet. Aus dieser (Lebens-) Erfahrung erwächst die *Intuition*. (...)

Die Gedächtnisspeicher des Gehirns enthalten eine Unmenge positiver und negativer Argumente, deren eindrucksvollste dem Mann «durch den Kopf schießen», ihm also bewusst wird, von denen viele aber auch nur unbewusst einen gewissen (meist emotionalen) Akzent hinzufügen“³⁶

Es gibt zahlreiche Theorien aus dem Bereich der Philosophie wie Psychologie, die *Intuition* auf unterschiedliche Weise definieren. Im Rahmen dieser Arbeit möchte ich auf eine relativ einfache Bedeutung von Intuition zurückgreifen, die sich wie folgt definiert:

- Sie ist unmittelbar und unbewusst – im Gegensatz zu diskursiven und kognitiven Denkprozessen.³⁷
- Sie ist von emotionalen Aspekten (nach Damásio³⁸ den „emotionalen Markern“) geprägt.
- Sie ist *nicht* rationaler, bestimmter oder effektiver Art.

³⁶ Vgl. URL : <http://de.wikipedia.org/wiki/Entscheidung> (28.12.2010).

³⁷ So der Konsens einiger Nachschlagewerke wie z. B. Der große Brockhaus in einem Band, 2. Auflage, Leipzig 2005, sowie Duden. Die deutsche Rechtschreibung, Bd. 1, Mannheim 2000

³⁸ * 25. Februar 1944 in Lissabon; D. wurde als Neurowissenschaftler vor allem durch seine Arbeiten zur Bewusstseinsforschung bekannt.

Vgl. URL: http://de.wikipedia.org/wiki/Ant%C3%B3nio_Dam%C3%A1sio (05.01.11).

Der *intuitive Entscheid* kann nicht konditionaler Art sein, da eine Bedingung, bzw. der Test eines Inputs auf eine Bedingung, einen kognitiven Vorgang darstellt. Allerdings kann eine bedingte Entscheidungsfrage durchaus Impuls für eine *intuitive Entscheidung* sein.

Beispiel: Unter der Bedingung bis Juni 1000€ angespart zu haben, möchte sich Frau Schneider einen Urlaub leisten. Das Ersparte reicht nicht. Sie entscheidet sich spontan einmal „etwas Verrücktes“ zu tun und verreist trotzdem.

Wenn man nun Intuition zum System deklarierte, müsste man wohl feststellen, dass dieses ungemein komplex ist. Vielleicht *zu* komplex um es in die Form eines Algorithmus zu bringen? Die einen Wissenschaftler und Komponisten (und alles dazwischen) nehmen sich der Herausforderung an und versuchen auf dem Gebiet der künstlichen Intelligenz Algorithmen zu entwerfen, die Emotionen generieren können³⁹, die anderen sehen darin wiederum eine Grenze, die dem Menschen einen exklusiven Entscheidungsbereich sichert: „Nur *die* Fragen, die prinzipiell unentscheidbar sind, können *wir* entscheiden.“⁴⁰ Die Vertreter der letzteren Gruppe dürften mit einer Darstellung wie in Abb. 5 einverstanden sein. Die Anderen mögen kritisieren, dass ihre Algorithmen (zu verstehen als objektiver Entscheidungsträger) wenigstens annähernd intuitives Verhalten simulieren. Abgesehen davon gibt es Theorien, die besagen, dass der Mensch lediglich in der Lage sei *beschränkt rationale Entscheidungen* zu treffen, da er einerseits nie über alle entscheidungsrelevanten Faktoren informiert, andererseits die unbewussten bzw. intuitiven Faktoren auszublenden nicht fähig sei:

³⁹ Siehe dazu Robert Duisberg, *On the Role of Affect in Artificial Intelligence and Music*, in: Perspectives of New Music (Vol. 23, Nr. 1) 1984, S. 6-35

⁴⁰ Heinz von Foerster, *Wahrnehmen wahrnehmen*, in: Philosophien der neuen Technologien, Berlin 1989, S.27ff.

„«only the surface of reason is rational» (...). The very act of knowing involves the ordering of sensory input according to conceptual frameworks, but the development and application of appropriate concept networks is necessarily a creative and intuitive act. (...)
 «...The prevailing conception of science, based on the disjunction of subjectivity and objectivity, seeks – and must seek at all costs – to eliminate from science such passionate, personal, human appraisals of theories or at least to minimize their function... [But] the act of knowing includes an appraisal; and this personal coefficient, which shapes all factual knowledge, bridges in doing so the disjunction between subjectivity and objectivity (...).»

An epistemology which incorporates such passionate appraisal into the heart of factual knowledge suggests itself as an important feature of any realistic mind model that would avoid a specious rational/intuitive dichotomy.”⁴¹

Abb. 5 kann aber dennoch eine nützliche Übersicht sein, da sie eine einfache Zuweisung repräsentiert, wie sie auf viele Kompositionssysteme angewendet werden kann.⁴²

Abb. 5⁴³:

Zuordnung der Entscheidungsarten

Art \ Träger	rational	intuitiv	zufällig
Subjekt	●	●	●
Objekt	●	●	●

- möglich
- möglich mit Hilfsmitteln
- nicht möglich

⁴¹ Robert Duisberg, *On the Role of Affect in Artificial Intelligence and Music*, in: Perspectives of New Music (Vol. 23, Nr. 1) 1984, S. 6-35, hier S. 7

⁴² Was im weiteren Verlauf dieser Arbeit deutlich werden wird.

⁴³ Erstellt vom Verf.

1.3 Automation

Die Kriterien des Algorithmus gewährleisten, dass dieser automatisiert werden kann. Speziell durch die Bestimmtheit wird es möglich die Regelschritte von Maschinen, seien sie mechanischer, elektronischer oder digitaler Art, ausführen zu lassen. Solche Maschinen will ich im Folgenden unter dem Begriff Automaten zusammenfassen.

Automation beschreibt der Brockhaus als „Anwendung von techn. Mitteln, mit deren Hilfe, ohne Einflussnahme des Menschen, Arbeitsmittel teilweise oder ganz nach vorgegebenen Programmen [mit Algorithmen gleichzusetzen (Anm. d. Verf.)] bestimmte Operationen durchführen“⁴⁴.

In der Musikgeschichte finden wir viele Beispiele für die automatische Klang-erzeugung (z. B. Aeolsharfe (Antike), mechanisches Turmglockenspiel (13. Jh.), Pianola (Votey, 1895), Dynamophon (Cahill, 1897), Sphärophon (Magers, 1923), etc.). Dagegen finden sich nur wenige *Kompositionsautomaten*.

Die Guido-Methode oder auch *musikalische Würfelspiele* sind streng genommen keine automatischen Prozesse, da alle Regelschritte noch manuell vom Menschen ausgeführt werden müssen. Man muss allerdings sagen, dass es recht einfach wäre ein *musikalisches Würfelspiel* mit technischen Mitteln zu automatisieren. Der *User-Komponist*⁴⁵, der hier lediglich Handlanger ist, könnte ohne weiteres von Zahnrädern oder Schaltungen ersetzt werden, ohne die Qualität des Outputs zu beeinflussen. Tatsächlich wird daher in der Literatur in solchen Fällen teilweise von Automation gesprochen. So z. B. György Ligeti⁴⁶ über den seriellen Kompositionsprozess:

„Automatik: Elemente und Operationen – einmal ausgewählt – werden wie in eine Maschine geworfen, um automatisch – auf Grund der gewählten Beziehungen – zu Strukturen gewoben zu werden.“⁴⁷

⁴⁴ Der große Brockhaus in einem Band, 2. Auflage, Leipzig 2005

⁴⁵ Mit diesem Begriff meine ich den reinen Anwender des Systems, also nicht seinen Entwickler.

⁴⁶ * 28. Mai 1923 in Sankt Martin, Siebenbürgen, Rumänien; † 12. Juni 2006 in Wien; L. war jüdischer Komponist ungarischer Abstammung und später österreichischer Staatsbürger.

Vgl. URL: http://de.wikipedia.org/wiki/Gy%C3%B6rgy_Ligeti (05.01.11).

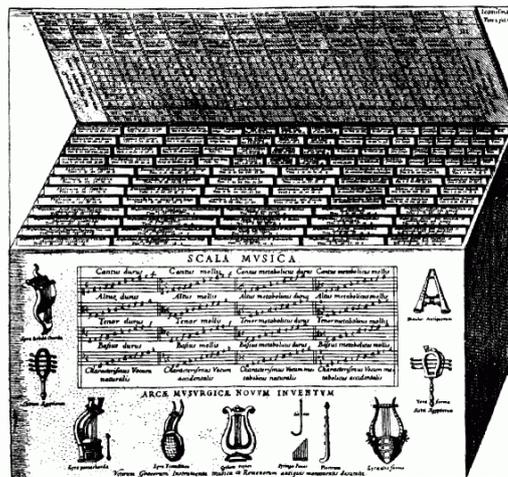
⁴⁷ György Ligeti, *Pierre Boulez*, in: Herbert Eimert (Hrsg.), *Die Reihe*, Bd. 4, Wien 1958, S. 38-64, hier S. 38

Ich möchte in einem solchen Fall aber allenfalls von einer Quasi-Automatik sprechen, um eine Differenzierung zu den mit technischen Mitteln ausgeführten Prozessen zu gewährleisten.

Unter den frühesten musikalischen Beispielen der letztgenannten wäre die *Arca Musarithmica* zu nennen, die der Jesuitenpater Athanasius Kircher⁴⁸ in seinem 1660 gedruckten Buch *Musurgia Universalis* beschreibt. In einem Kasten waren hölzerne Schieber untergebracht, auf denen Zeichen für Töne der Tonleiter, Takt und Rhythmus geschrieben standen. Aus einer beliebigen Kombination der Schieber ergaben sich vier Stimmen, die am Automat selbst abgelesen werden konnten.⁴⁹

Abb. 6⁵⁰:

Athanasius Kirchers Kompositionsautomat ARCA MUSARITHMICA



⁴⁸ * 2. Mai 1602; † 27. November 1680; K. war ein deutscher Jesuit und Universalgelehrter des 17. Jahrhunderts, der die meiste Zeit seines Lebens am Collegium Romanum in Rom lehrte und forschte.

Vgl. URL: http://de.wikipedia.org/wiki/Athanasius_Kircher (28.12.2010).

⁴⁹ Fred K. Prieberg, *Musica Ex Machina*, Über das Verhältnis von Musik und Technik, S. 106f

⁵⁰ Vgl. ebd.

Die Entwicklung der Computertechnologie stellt schließlich einen enormen Fortschritt für die automatische algorithmische Komposition dar. Lejaren A. Hiller⁵¹ und Leonard M. Isaacson waren die ersten, die sich an der *University of Illinois* mit diesem Thema beschäftigten. 1956 stellten sie ihre erste Computer-Komposition vor: die *Illiac Suite*. Ein Computer-Algorithmus generierte die Daten, welche dann von Menschenhand in herkömmliche Notation für Streichquartett transkribiert wurden. Die vier Sätze gehen aus Experimenten mit verschiedenen Regeln hervor⁵²:

- 1. Satz:
einfache Kontrapunktregeln nach Fux
- 2. Satz⁵³:
aufbauende Kontrapunktregeln; Zufallskomposition mit diatonischen Tönen der C-Dur-Tonleiter über Harmonieregeln bis zu Stimmführung
- 3. Satz:
rhythmische, dynamische und spieltechnische Anweisungen und einfache chromatische Regeln
- 4. Satz:
Markov-Ketten⁵⁴

Der Wert dieser Arbeit stellt sich mehr durch die computergestützte Automation dieser Regeln bzw. deren Abstraktion in Form von Algorithmen dar, als durch die Sonorifikation derselben:

„Das musikalische Ergebnis entspricht dabei den Ursprungsregeln: Es ist kaum origineller als jeder nach denselben Regeln verfaßte vierstimmige Satz eines Musikstudenten.“⁵⁵

⁵¹ * 23. Februar 1924; † 26. Januar 1994; H. war ein US-amerikanischer Komponist, Musiktheoretiker und Chemiker.

Vgl. URL: http://de.wikipedia.org/wiki/Lejaren_Hiller_%28Komponist%29 (28.12.2010).

⁵² Vgl. Martin Supper, *Elektroakustische Musik und Computermusik. Geschichte – Ästhetik – Methoden – Systeme*, Darmstadt 1997, S. 74 f.

⁵³ Blockdiagramm hierzu siehe Anhang A.

⁵⁴ „The Markov chain is one of the earliest and most popular strategies for algorithmic composition of music (...). First formulated in 1906 by the Russian mathematician A. A. Markov (1856-1922), a Markov chain is a probability system in which the likelihood of a future event is determined by the state of one or more events in the immediate past.”

Curtis Roads, *The Computer Music Tutorial*, Massachusetts 1996, S. 878

Mitunter solche Wertverschiebungen sind es, die die Frage nach der ästhetischen Rechtfertigung automatischer und formalisierter Kompositionsprozesse aufwerfen. Dieser soll im Folgenden nachgegangen werden.

⁵⁵ Martha Brech, Können eiserne Brücken nicht schön sein? Über den Prozess des Zusammenwachsens von Technik und Musik im 20. Jahrhundert, o.O. 2006, S. 123