

# Forderungen an ein Datenmodell für Rekombination als Ansatz für Künstliche Kreativität

Jannik Arndt  
 Department für Informatik  
 Carl von Ossietzky Universität Oldenburg  
 Oldenburg, Germany  
 jannik.arndt@uni-oldenburg.de

**Zusammenfassung**—Künstliche Kreativität ist einer der wichtigsten Ansätze für die zukünftige Entwicklung sozio-technischer Systeme. Dieses Paper stellt die Rekombination als Ansatz für musikalische Kreativität vor und leitet aus den Ergebnissen der Arbeit mit Rekombinationsprozessen Forderungen an ein Datenmodell her, das diese Prozesse unterstützt und dem menschlichen in großen Teilen entspricht.

**Index Terms**—Rekombination, Künstliche Kreativität, Algorithmische Komposition

## I. EINLEITUNG

Es gibt bereits viele Ansätze, um musikalische Kreativität zu modellieren. Zu den bekanntesten zählen Markow-Ketten [1]–[3], evolutionäre und genetische Algorithmen [4], Neuronale Netze [5] und Fuzzylogiken [6]. Jeder dieser Ansätze hat jedoch schnell seine Grenzen erreicht und schafft es nicht, die Anforderungen an eine Künstliche Kreativität zu erfüllen. Markow-Ketten zum Beispiel produzieren entweder immer das Gleiche (bei hohem Grad) oder willkürliche Ergebnisse, genetische Algorithmen wandern nur ziellos, mit einem Ergebnis, das zwar musikalisch interpretiert werden kann, aber nicht inhärent musikalisch ist. Neuronale Netze besitzen zwar Potenzial, haben bislang aber noch keine ernsthaften Ergebnisse produziert [7, S. 72] und sind, bei geeigneter Komplexität, auch nicht mehr nachvollziehbar. Fuzzylogiken sind als Teil anderer Algorithmen durchaus hilfreich, haben aber alleinstehend bislang nur bei sehr einfachen Musikstilen und Situationen zu passablen Ergebnissen geführt [6].

In diesem Paper werde ich anhand der Ergebnisse meiner Bachelorarbeit [8] zeigen, dass die Rekombination als datengetriebener Ansatz der vielversprechendste Kandidat für eine Künstliche Kreativität ist. Um den Erfolg zu bewerten, benötigen wir aber zunächst eine Definition dieser Kreativität.

## II. KÜNSTLICHE KREATIVITÄT

Die Definition von Kreativität — egal ob künstlich oder nicht — gestaltet sich denkbar schwer. Ich habe als Grundlage für meine Forschung eine gesucht, welche die geläufigen Definitionen aus Psychologie [9], [10], Informatik [11], [12] und Musikpsychologie [13], [14] erfüllt, dabei eine möglichst Lexikon-geeignete Form hat und eine Anknüpfung an die Intelligenz bietet. Da es keine existierende gab, die allen Ansprüchen genügt, habe ich eine eigene aufgestellt:

“Kreativität ist ein Prozess, in dem mit hoher Arbeitsintensität, auf Basis der Auseinandersetzung mit und Erweiterung, Kombination, Variation und Spezialisierung von Bestehendem, Neues geschaffen wird, wobei durch ein Gespür für Interessantes und eine starke Zielgerichtetheit auf soziale, äußere Akzeptanz Wert gelegt wird und gleichzeitig der Kreativ-Schaffende sich selbst anhand seiner Ergebnisse anpasst und so eine Art “kreative” Intelligenz entwickelt.” [8]

Darauf aufbauend ist Künstliche Kreativität alles, was diese Definition erfüllt und dabei nicht menschlich ist.

Die Musik eignet sich für Betrachtungen von Kreativität besonders, da sie eine von ihrer eigentlichen Form komplett getrennte und über Jahrhunderte entwickelte Syntax besitzt, mit der sie beschrieben werden kann. So können nicht nur kreative Prozesse nachvollzogen werden, sondern auch sehr gut modelliert werden.

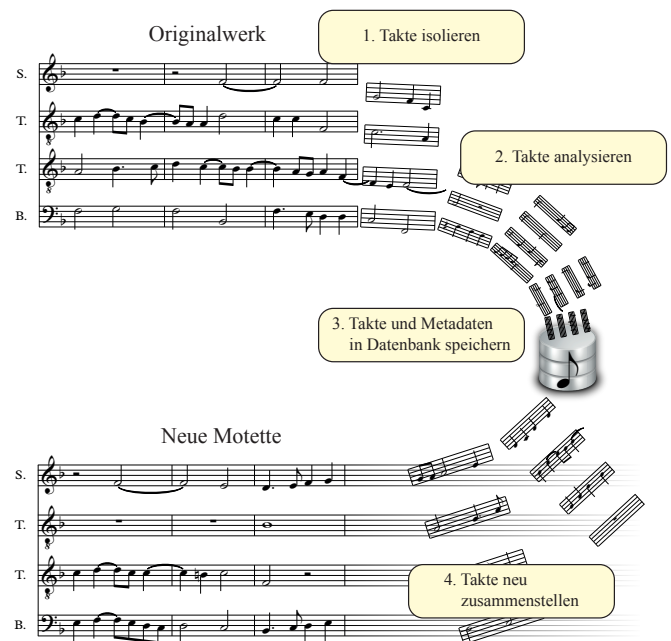


Abbildung 1. Die vier Schritte der Rekombination

### III. REKOMBINATION

Die Idee der Rekombination lässt sich an einem sehr einfachen Beispiel veranschaulichen: Unser Alphabet besteht (ohne Umlaute) aus 26 Buchstaben, also einer *endliche* Menge. Aus dieser Menge werden alle Worte unserer Sprache zusammengesetzt, und diese Worte lassen sich wiederum zu Sätzen und ganzen Romanen neu zusammenstellen. Diese Zusammensetzungen sind neue Kombinationen von existierenden Bestandteilen, also *Rekombinationen*. Natürlich reicht es nicht, diese Zusammenstellung rein zufällig zu machen, nicht einmal eine korrekte Syntax reicht aus, um einen vernünftigen Text zu erzeugen. Gleichzeitig soll die Zusammenstellung aber irgendwie *neu* sein. Es lässt sich feststellen:

Jeder Buchstabe und jedes Wort müssen sowohl im näheren als auch im weiteren Kontext eingebettet “einen Sinn ergeben”.

Rekombination ist also, wenn richtig ausgeführt, eine neue Kombination von Bestehendem unter Beachtung bestimmter Regeln.

Abbildung 1 zeigt abstrakt, wie Rekombination im musikalischen Kontext aussieht: Zunächst müssen einzelne Fragmente (hier Takte) aus bestehenden Werken isoliert werden (siehe IV). Im zweiten Schritt, der Analyse, werden die Charakteristika bzw. Metadaten für jedes Fragment abgeleitet. Fragmente und Metadaten werden im dritten Schritt in einer Datenbank gesammelt und im vierten Schritt neu zusammengestellt.

### IV. FRAGMENTE VON MUSIK

Wie jeder datengetriebene Algorithmus benötigt auch die Rekombination eine große Menge an Ausgangsdaten. Ich habe hierfür Motetten (meist vierstimmige Chorwerke der Renaissance) von Giovanni Pierluigi da Palestrina (wahrsch. 1525–1594) benutzt, da diese einen sehr klaren Satz an Regeln<sup>1</sup> aufweisen. Aus dem Gesamtwerk von 254 Motetten habe ich 55, also insgesamt 4135 Takte (mit jeweils vier Stimmen), als Midi eingespielt und in das MusicXML-Format [15] umgewandelt. Dann habe ich ein Programm geschrieben, dass diese Daten einlesen und verarbeiten kann.

#### A. Analyse

Jeder Takt wurde in meinem Programm beim Einlesen analysiert, um Informationen über seinen bisherigen Kontext zu sammeln. Als näherer Kontext dienen die Stimmführungsregeln, die zum Beispiel Quint- und Oktavparallelen verhindern und nur bestimmte Sprünge zulassen. Abbildung 2 zeigt, welche Metadaten gespeichert werden: Jeweils die ersten Noten des Taktes (*firstNote*) und die ersten des Folgetaktes (*followingNote*), die ID der Ursprungsmotette (*origin*), die Takt Nummer (*measure*) und die Position des Taktes relativ zur Länge des Stückes (*position*), sowie der gesamte Inhalt des Taktes.

<sup>1</sup>Stimmführungsregeln in der Musik bestimmen sowohl den Verlauf einer einzelnen Stimme, z.B. welche Intervalle benutzt werden dürfen, nach welchen Sprüngen Gegenbewegungen einsetzen müssen und welchen Ambitus eine Stimme hat, als auch die Führung der Stimmen zueinander, z.B. dass es keine Überschneidungen geben darf, die Harmonien eingehalten werden, Quint- und Oktavparallelen vermieden werden und Weiteres.

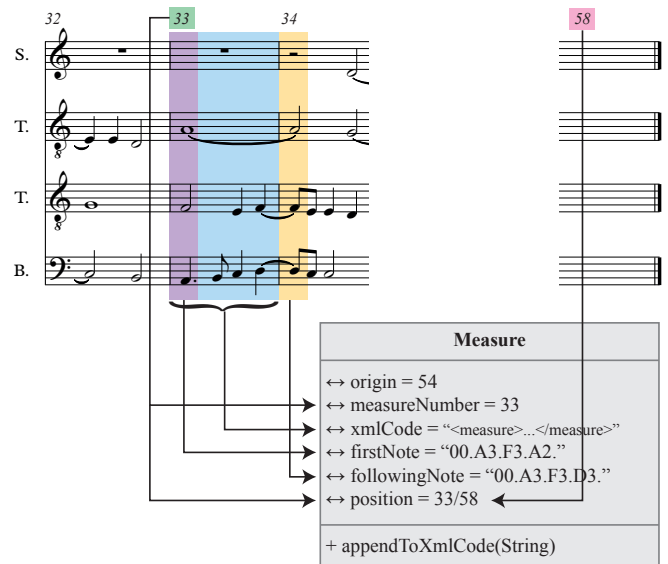


Abbildung 2. Alle Metadaten der Noten werden in der Klasse *measure* gespeichert.

#### B. Nachfolger finden

Am wichtigsten für die Rekombination ist die Einhaltung der Stimmführungsregeln, also konkret welche zwei Takte hintereinander stehen dürfen. Zu einem gegebenen Takt weiß das Programm aus den Metadaten bereits, mit welchen Noten der nächste beginnen muss: die *followingNote* von Takt *n* muss gleich der *firstNote* von Takt *n + 1* sein. Über einen sehr einfachen Vergleich lässt sich so bereits ein Stück erstellen, dass fast alle Stimmführungsregeln erfüllt.

Im Buchstabenbeispiel werden nun aus Worten schon Sätze gebildet, die syntaktisch richtig sind. Daraus alleine ergibt sich aber noch keine Geschichte.

#### C. Evaluation von Nachfolgern

Aufgrund der großen Datenbasis findet das Programm für jeden Takt im Durchschnitt fünf bis sieben Nachfolger, teilweise aber auch bis zu 30, welche die oben genannten syntaktischen Voraussetzungen erfüllen. Nun können weitere Eigenschaften in Betracht gezogen werden. Die einfachste ist die sogenannte “Position im Kontext”. Sie ergibt sich aus der Position des Taktes im Originalstück, der potenziellen Position im neuen Stück und der Position der vorherigen Takte.

Im literarischen Beispiel wären nun Sätze zu einem ähnlichen Inhalt nahe beieinander, und außerdem ähnlich früh oder spät in der Geschichte, wie in ihrem Ursprungstext.

Neben dem direkten, *syntaktischen Kontext* wird nun also auch auf den mittleren, *erzählerischen Kontext* und den weiten, *dramaturgischen Kontext* geachtet.

#### D. Weitere Kriterien

Um das Ergebnis des Algorithmus weiter zu verbessern, habe ich weitere Kriterien definiert, zum Beispiel eine *LookAhead-Funktion*, die für potenzielle Nachfolger wiederum ihre Nachfolger betrachtet. Dies führt mit fast 2 Millionen

zusätzlichen Vergleichen pro Motette zu einer deutlichen Steigerung der Qualität, da Taktwiederholungen und Kopien des Originalverlaufs verhindert werden. Die Regeln werden zum Schluss hin abgeschwächt, um einen realistischen Schluss zu erreichen.

Eine weitere Funktion, die den Verlauf jeder einzelnen Stimme beobachtet, sorgt dafür, dass keine untypischen horizontalen Sprünge auftreten. Dies spielt mit in den *erzählerischen Kontext*.

## V. ERGEBNISSE

Aus allen durch mein Programm erstellten Werken habe ich drei ausgewählt, die ich gesetzt, aufgenommen und analysiert habe. Das Ergebnis sind drei zu Teilen erstaunlich authentische Werke. Sie können unter [8] als Audio (mp3 und midi) und Noten (pdf, sib und xml) zusammen mit dem vom Programm erstellten Protokoll heruntergeladen werden.

Allerdings gibt es auch einige Einschränkungen, die alle auf einen Ursprung zurückzuführen sind: Die Noten sind im Programm nur taktweise vorhanden. Der Grund für dieses Abstraktionslevel ist einfach: Es führt sehr viel schneller zu Ergebnissen. Dabei wird aber alles, was innerhalb eines Taktes vor sich geht, ignoriert. Auch die Akkuratess des *erzählerischen Kontexts* ist verbesserungswürdig. Nicht zuletzt komponieren Menschen ja auch nicht taktweise, sondern notenweise. Gleichzeitig gibt es Fälle, in denen das Abstraktionslevel noch nicht hoch genug ist, denn nachdem Menschen notenweise ein Motiv komponiert haben, denken sie motivweise weiter!

## VI. EIN DATENMODELL, DAS KREATIVITÄT UNTERSTÜTZT

Aus den Problemen lassen sich Forderungen an ein neues Datenmodell ableiten, das einen Rekombinationsprozess ermöglicht, der dem menschlichen ähnlicher ist:

- Die kleinste Dateneinheit muss eine Note sein. Dabei muss egal sein, welchen Notenwert (Ganze, Halbe, Viertel, Achtel, Sechzehntel, ...) sie besitzt.
- Stimmen müssen unabhängig voneinander betrachtet werden können, damit motivische Arbeit ermöglicht werden kann. Die Verbindung zu anderen Stimmen darf jedoch nicht verloren gehen: Zu jeder Note muss gespeichert werden, welche Noten im Original mitklingen.
- Die Vorgänger und Nachfolger einer Note müssen *beliebig* weit verfolgt werden können und unterschiedlich gewichtet in Entscheidungsprozesse einfließen können.
- Für jede Note muss erkannt werden, in welcher Harmonie und in welchem harmonischen bzw. funktionellen Verlauf sie sich befindet.
- Neben dem Noten-Datenmodell wird ein gröberes Datenmodell benötigt, das Motive, Themen, Schlüsse (authentisch und plagal) und weitere strukturgebende Einheiten darstellt. Jede Note muss in dieses Datenmodell eingeordnet werden können.
- Soweit möglich muss das menschliche Empfinden der Musik modelliert werden. Ein Ansatz hierfür bietet David Cope's *SPEAC*-Modell [7].

Dieses Datenmodell ist sehr viel grundlegender an das menschliche angelehnt, da es beliebige Querverweise auf den

Daten sowie variable Abstraktionsniveaus unterstützt. Hierdurch wird es möglich, die Unterteilung in *syntaktischen*, *erzählerischen* und *dramaturgischen Kontext* fließender vorzunehmen.

Die Entwicklung eines Datenmodells hat mehrere Vorteile. Hauptsächlich wird die zweidimensionale Analyse von Noten, also innerhalb einer Stimme und zwischen den Stimmen, auf sehr einfache Weise möglich. Dies ist Grundvoraussetzung für einen fortgeschritteneren Rekombinationsalgorithmus. Aber auch die Entwicklung anderer Algorithmen, die auf genauer Notenanalyse basieren, wird vereinfacht.

Neben diesen sehr spezialisierten Einsatzgebieten würde eine quelloffene Implementierung von Noten auch die Entwicklung von quelloffenen Notensatzprogrammen fördern, die wiederum durch die Anbindung an Kompositionsalgorithmen ganz neue Möglichkeiten bieten könnten.

## VII. ZUSAMMENFASSUNG

Die Künstliche Kreativität ist nicht nur der Schlüssel, um die menschliche Kreativität zu verstehen, sie wird auch Grundlage vieler sozio-technischer Systeme werden. Hierfür wird es nicht nur wichtig sein, die algorithmischen Vorgänge der Kreativität zu entschlüsseln, sondern auch akkurate Datenrepräsentationen liefern zu können, die möglichst nahe am menschlichen Verständnis liegen.

Aus den Ergebnissen meiner Arbeit zur Rekombination habe ich Forderungen an eine solche Repräsentation für Musik hergeleitet, die als Basis für eine Implementierung dienen sollten. Durch diese Arbeit wird die Grundlage aller Kompositionsalgorithmen deutlich einfacher und präziser.

## LITERATUR

- [1] D. M. Franz, "Markov Chains as Tools for Jazz Improvisation Analysis in partial fulfillment for the degree of Industrial and Systems Engineering Markov Chains as Tools for Jazz Improvisation Analysis," Masters Thesis, 1998. [Online]. Available: <http://scholar.lib.vt.edu/theses/public/etd-61098-131249/materials/dmfetd.pdf>
- [2] C. Thornton, "Hierarchical Markov Modeling For Generative Music," *Proceedings of the International Computer Music Conference ICMC*, pp. 49–52, 2009. [Online]. Available: <http://www.sussex.ac.uk/Users/christ/talks/markov-hierarchies-for-gen-music.pdf>
- [3] S. Davismoon and J. Eccles, "Combining Musical Constraints with Markov Transition Probabilities to Improve the Generation of Creative Musical Structures," *Lecture Notes in Computer Science*, vol. 6025/2010, pp. 361–370, 2010. [Online]. Available: <http://www.springerlink.com/p-serv2.bis.uni-oldenburg.de/content/k1v4n13443680223/>
- [4] M. Dostál, "Genetic Algorithms As a Model of Musical Creativity—on Generating of a Human-Like Rhythmic Accompaniment," *Computing and Informatics*, vol. 22, pp. 321–340, 2012. [Online]. Available: <http://www.cai.sk/ojs/index.php/cai/article/viewArticle/381>
- [5] D. Hörnel and W. Menzel, "Learning Musical Structure and Style with Neural Network," *Computer Music Journal*, vol. 22, no. 4, pp. 44–62, 1998. [Online]. Available: <http://www.jstor.org/stable/3680893>
- [6] P. Elsea, "Fuzzy Logic and Musical Decisions," pp. 1–29, 1995. [Online]. Available: [http://artsites.ucsc.edu/ems/music/research/Fuzzy\\_Logic\\_And\\_Music.pdf](http://artsites.ucsc.edu/ems/music/research/Fuzzy_Logic_And_Music.pdf)
- [7] D. Cope, *Computer models of musical creativity*. Cambridge Mass.: MIT Press, 2005.
- [8] J. Arndt, "Rekombination — Einführung in die Künstliche Kreativität," Bachelor's Thesis, Carl von Ossietzky-Universität Oldenburg, 2012. [Online]. Available: <http://www.student.uni-oldenburg.de/jannik.arndt/ekk.html>
- [9] M. Boden, *Dimensions of creativity*. Cambridge Mass.: MIT Press, 1994. [Online]. Available: [http://www.worldcat.org/title/dimensions-of-creativity/oclc/29548603&referer=brief\\_results](http://www.worldcat.org/title/dimensions-of-creativity/oclc/29548603&referer=brief_results)

- [10] P. Vernon, "The Nature-Nurture Problem in Creativity," in *Handbook of Creativity. Perspectives on individual differences*. New York: Plenum Press, 1989, pp. 93–100. [Online]. Available: <http://psycnet.apa.org/psycinfo/1989-98769-005>
- [11] D. Hofstadter, *Fluid Concepts and Creative Analogies: Computer Models of the Fundamental Mechanisms of Thought*. New York: Basic Books, 1995. [Online]. Available: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/summary?doi=10.1.1.30.1277>
- [12] R. Romeike, "Kreativität im Informatikunterricht," Ph.D. dissertation, Universität Potsdam, 2008. [Online]. Available: <http://ddi.cs.uni-potsdam.de/Forschung/Schriften/RomeikeDiss2008.pdf>
- [13] H. Bruhn, R. Kopiez, and A. C. Lehmann, *Musikpsychologie das neue Handbuch*, orig.-ausg ed. Reinbek bei Hamburg: Rowohlt, 2008. [Online]. Available: [http://www.worldcat.org/title/musikpsychologie-das-neue-handbuch/oclc/229447588&referer=brief\\_results](http://www.worldcat.org/title/musikpsychologie-das-neue-handbuch/oclc/229447588&referer=brief_results)
- [14] R. J. Sternberg, *Handbook of Creativity*. Cambridge, U.K.: Cambridge University Press, 1999.
- [15] MakeMusic Inc., "MusicXML 3.0 Specification." [Online]. Available: <http://www.makemusic.com/musicxml/specification>