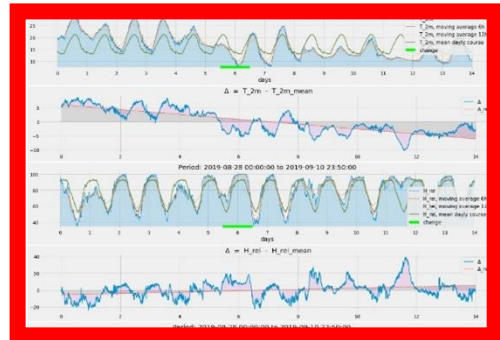


Musik aus Meteo- Daten



Viturin Schuhmacher

**Maturaarbeit 2019
Kantonsschule Wettingen**

**Betreuer: Dr. Markus Kriener
Gegenleser: Rafael Baier**

Wettingen, 5. November 2019



I | Zusammenfassung

Diese Maturaarbeit generiert Musik. Um Musik erklingen zu lassen, muss jede Note eines Stückes mindestens mit den vier physikalischen Parametern eines Tones definiert sein: Tonhöhe, Tondauer, Lautstärke und Klangfarbe. Das für diese Arbeit entwickelte Computerprogramm generiert die Parameter der Noten. Der Anwender setzt beim Arrangieren eines Stückes die Rahmenbedingungen für die Stimmen. Mithilfe dieser Rahmenbedingungen und einer Datenquelle generiert das Programm ein Musikstück. Zufall und Meteodaten werden als Input benutzt. Im ersten Teil dient der Zufall als Input. Der Fokus liegt darauf, Musikstrukturen in das zu generierende Stück einzubauen. Damit Musik auch als solche wahrgenommen wird, sind Strukturen notwendig, an die sich ein Mensch gewohnt ist. Im zweiten Teil liegt der Fokus auf dem Transformieren der Meteodaten in die für die Musikgenerierung notwendige Spannbreite. Die Wetterdaten ersetzen den Zufall Schritt für Schritt als Input.

2 | Vorwort

Musik wird von Menschen für Menschen gespielt und komponiert. Sie löst Gefühle bei uns aus und versetzt uns in eine gewisse Stimmung. Auch bei der elektronischen Musik steht schlussendlich ein Mensch hinter einem Stück. In dieser Arbeit wird viel automatisiert und durch Zufall oder mittels Meteodaten generiert. Doch im Hintergrund steht noch immer ein Mensch, der ein Stück arrangiert und die Rahmenbedingungen festlegt. Dies ist kein Komponieren im eigentlichen Sinne, da die Noten nicht bewusst gesetzt, sondern durch ein Computerprogramm generiert werden.

In den letzten Jahren habe ich eine gewisse Affinität zur Informatik entwickelt. Durch mehrere Projekte habe ich grösstenteils autodidaktisch programmieren gelernt. Gleichzeitig spiele ich bereits seit sieben Jahre Posaune. Stücke in verschiedenen Stilrichtungen befinden sich in meinem Repertoire, wobei ich mich in den letzten Jahren am meisten mit Jazz befasst habe. Durch diese Maturaarbeit habe ich zudem interessante Parallelen zwischen Klassik und Jazz entdeckt.

Ich wollte versuchen, meine beiden Passionen in einer Arbeit zu verbinden. Musikgenerierung verknüpft beides. Allerdings dauerte es eine Weile, bis ich mich wirklich dazu entschliessen konnte. Es gibt einige Projekte, welche versuchen, mithilfe von Künstlichen Intelligenzen und neuronalen Netzwerken Musik zu generieren. Meine Erfahrungen aus dem Praktikum im dritten Jahr der Kantonsschule zeigten mir jedoch, dass diese Netzwerke oft eine Black Box bleiben und nur errahnt werden kann wie diese Netzwerke überhaupt arbeiten. Deshalb werden sie nicht Teil dieser Arbeit sein.

Wichtig zu definieren ist auch, was das Ziel eines Musikgenerators ist. Soll er eher Musik generieren, die möglichst gut klingt, oder soll er Daten darstellen, aus denen Schlüsse gezogen werden können. Das Zweitgenannte wird Sonifikation genannt. Mir ist es in der Arbeit ein Anliegen, dass der Hörer auch die durch Zufall generierte Musik eine Weile gerne anhört, ohne dass sie ihn gleich abschreckt und er sich abwendet. Dazu muss die Musik «gut» tönen. Da ich mich entschieden habe, Meteo-Daten zur Musikgenerierung zu verwenden, setzte ich mir das Ziel, die Daten so zu transformieren, in Strukturen zu weisen und zu arrangieren, dass die entstehende Musik «anhörbar» wird.

Bei dieser Gelegenheit möchte ich Meteo Schweiz herzlich danken. Sie ermöglichten es mir kostenlos Messdaten ihres automatischen Messnetzes zu beziehen und sie für dieses Projekt zu verwenden.

3 | Inhaltsverzeichnis

1	Zusammenfassung	2
2	Vorwort	3
3	Inhaltsverzeichnis	4
4	Einleitung	6
4.1	Entwicklungskonzept	7
4.2	Verwendung der Online-Dokumentation	8
4.3	Arbeitsteile	9
5	Theoretische Vorbereitungen	10
5.1	Was ist «gute» Musik?	10
5.2	Musik Parameter	11
5.2.1	Physikalische Parameter	12
5.2.2	Musiktheoretische Parameter	12
6	Produkt	15
6.1	Technische Komponenten	15
6.1.1	Programm	15
6.1.2	Dokumentation	17
6.2	Musikalische Grundlagen	18
6.2.1	Töne	18
6.2.2	Stimmen und Instrumente	18
6.2.3	Lautstärke	18
6.2.4	Rhythmen und Verzierungen	19
6.3	Struktur und gesteuerter Zufall	19
6.3.1	Gesteuerter Zufall: Pausen und Rhythmus	19
6.3.2	Zufällige Melodie und Skala	20
6.3.3	Melodie mit Intervallen	21
6.3.4	Tonraum definieren	22
6.3.5	Akkordabfolgen	23
6.3.6	Stimmen synchronisieren	24
6.3.7	Ende	25
6.3.8	Arrangieren	26
6.3.9	Beispiele	26
6.4	Meteodaten	30

6.4.1	Vorbereitungen	30
6.4.2	Meteodaten darstellen	32
6.4.3	Daten transformieren	33
6.4.4	Meteomelodie	34
6.4.5	Akkordabfolge	36
6.4.6	Pauke	37
6.4.7	Lautstärke durch Meteo	37
6.4.8	Stimme an- und ausschalten	38
6.4.9	Akkordfolge in Abhängigkeit von Meteodaten wechseln	40
7	Reflexion	42
7.1	Weitere Entwicklungsmöglichkeiten	42
7.1.1	Akkordfolgen	42
7.1.2	Rhythmus	43
7.1.3	Trennung von Tagesschwankungen und Wetterumbrüchen	43
7.1.4	Melodiebildung	43
7.1.5	Stimmen untereinander verknüpfen	44
7.1.6	Künstliche Intelligenz	44
7.2	Schlusswort	45
8	Quellen	46
8.1	Bücher und Artikel	46
8.2	Webdokumente	46
8.3	Abbildungsverzeichnis	47

4 | Einleitung

Ziel der Arbeit ist es, mit einem Computerprogramm aus Meteodaten Musik zu generieren. Das Projekt erhebt keinen Anspruch darauf, Meisterwerke zu kreieren. Ein Hörer soll aber der produzierten Musik gerne eine Weile zuhören wollen. Da die Musik vom Computer synthetisiert ist, wird sie deshalb nie den musikalischen Ausdruck erreichen, wie ein Stück, welches von einem Musiker interpretiert wird. Die verwendeten Meteodaten sollen in der Musik wahrnehmbar bleiben und durch die Transformation nicht komplett verfremdet werden.

Mit der Musikgenerierung wird Musik von einem Computer produziert. Sie grenzt sich deshalb vom klassischen Sinn des Komponierens ab, weil die einzelnen Noten nicht bewusst von Menschenhand geschaffen werden. Dennoch ist das Komponieren nicht nur den Menschen vorbehalten. Komponieren bedeutet eine Komposition zu schaffen.¹ Eine Komposition wiederum ist ein in Noten fixiertes musikalisches Werk.² Ein Computerprogramm ist laut diesen Definitionen durchaus in der Lage zu komponieren. Der Anwender der Software, wird zumindest in diesem Projekt, eher zu einem Arrangeur, da er nur die Rahmenbedingungen festlegt und selbst keine Noten setzt.

Die Tongenerierung lässt sich in zwei grosse Bereiche aufteilen. Auf der einen Seite ist die Tonerzeugung für analytische Zwecke. Auf der anderen die Musikgenerierung als Kunstzweig, welche versucht etwas auszudrücken oder die von Menschen gespielte Musik zu imitieren.

In der Sonifikation müssen von den ausgegebenen Tönen eindeutige Rückschlüsse gezogen werden können. Diese aus dem Englischen übersetzte Definition fasst den Wissenschaftsbereich gut zusammen: «Sonifikation ist die datenabhängige Erzeugung von Schall, sofern die Transformation systematisch, objektiv und reproduzierbar ist und sie damit als wissenschaftliche Methode eingesetzt werden kann.»³ Ziel ist es, Daten nicht nur visuell über Grafiken, sondern auch auditiv mittels des Gehörs aufzunehmen. Einzelne Projekte nutzen Sonifikation als Analysemethode, dennoch hat sie nie den Durchbruch erreicht. Denn sonifizierte Daten zu analysieren muss erst gelernt werden, was oft ein Hindernis für Wissenschaftler bildet.⁴

Ist das Ziel, einen Musikgenerator zu schaffen, so stehen die musikalischen Aspekte im Vordergrund. «Musik ist die Kunst, Töne in bestimmter (geschichtlich bedingter) Gesetzmäßigkeit hinsichtlich Rhythmus, Melodie, Harmonie zu einer Gruppe von Klängen und zu einer stilistisch eigenständigen Komposition zu ordnen»⁵. Sie beeinflusst unsere Stimmung

¹ Duden: Die deutsche Rechtschreibung (Mannheim, Bibliographisches Institut & F.A. Brockhaus AG, 2004)

² a.a.O.

³ Hermann Thomas, «Sonification – A Definition», <https://sonification.de/son/definition/>, Zugriff am 7.10.2019

⁴ Rietz Helga, «Lauschangriff im Namen der Wissenschaft», Neue Zürcher Zeitung, <https://www.nzz.ch/wissenschaft/mit-den-ohren-der-wissenschaft-ld.1320295>, 6.10.2017

⁵ Duden: Die deutsche Rechtschreibung (Mannheim, Bibliographisches Institut & F.A. Brockhaus AG, 2004)

und ruft Emotionen hervor. Die Gesetzmässigkeiten werden durch die Musiktheorie beschrieben.

Der in der Arbeit entwickelte Musikgenerator stellt eine Zwischenform dar. Denn er soll sowohl Wetterdaten erklingen lassen als auch den musikalischen Gesichtspunkten entsprechen. Es handelt sich aber hierbei nicht um Sonifikation, da die auditive Darstellung der Daten nicht das alleinige Hauptziel ist.

Der Musikgenerator soll aus Meteodaten Musik generieren. Dafür müssen die Messdaten transformiert werden, um sie über die musikalischen Schnittstellen zur Generierung zu verwenden. Die Schnittstellen werden durch Musikparameter wie Tonhöhe, Rhythmus oder Harmonik gebildet. Die Musikparameter bilden die Verbindung von den Daten zur Musik. Dabei sollen aber nicht nur Meteodaten, sondern auch musikalische Konzepte zur Musikgenerierung beitragen. Denn ein Hörer soll der erzeugten Musik gerne eine Weile lauschen wollen.

Es existieren verschiedenste Musikgeneratoren im Internet.⁶ Oft dienen neuronale Netzwerke als Grundlage. Dabei wird die Künstliche Intelligenz mit Musikmaterial trainiert, welche dem Genre entspricht, der schliesslich erzeugt werden soll. Ein erfolgreiches Beispiel ist der BachBot.⁷ Mit ihm wird versucht, Choräle, wie jene von J. S. Bach, zu generieren. Das neuronale Netzwerk benötigt aber eine Melodie als Grundlage, welche der BachBot harmonisiert. Künstliche Intelligenzen sind nicht Teil der hier vorliegenden Arbeit. In einer Weiterentwicklung wäre es aber denkbar für einige Funktionen neuronale Netze einzusetzen.

Es existieren bereits Projekte, bei denen Wetter oder Klimadaten in Musik umgesetzt werden.⁸ In der Umsetzung liegt bei einem Grossteil der Projekte eine kompositorische Aufgabe vor. Die Musik wird von Menschenhand aufgrund von Messdaten komponiert, aber nicht automatisch mittels Computer generiert. Oft sind Vertonungen von Daten als Brücke zwischen Wissenschaft und der Öffentlichkeit gedacht. Denn Vertonte Daten erhalten in den Medien mehr Aufmerksamkeit als komplexe Berechnungen.⁹

4.1 | Entwicklungskonzept

Das Wichtigste bei der Softwareentwicklung ist es, von Beginn an ein musikalisches Resultat zu erhalten. So kann nach jedem Entwicklungsschritt die neue oder verbesserte Funktion getestet und das Resultat mit den Erwartungen abgeglichen werden. Dementsprechend werden zuerst die Kernmodule programmiert, welche von der manuellen Eingabe einer Note bis zu deren Wiedergabe und Darstellung in der Partitur notwendig sind.

⁶ «Analyzing Six Deep Learning Tools for Music Generation», The Asimov Institute, <https://www.asimovinstitute.org/analyzing-deep-learning-tools-music/>, Zugriff am 22.10.2019

⁷ The BachBot Challenge, <https://bachbot.com/>, Zugriff am 22.10.2019

⁸ St George Scott, Crawford Daniel, Reubold Todd, Giorgi Elizabeth, «Making climate data sing», <https://experts.umn.edu/en/publications/making-climate-data-sing-using-music-like-sonifications-to-convey>, Zugriff am 24.10.2019

⁹ Rietz Helga, «Lauschangriff im Namen der Wissenschaft», Neue Zürcher Zeitung, <https://www.nzz.ch/wissenschaft/mit-den-ohren-der-wissenschaft-ld.1320295>, 6.10.2017

Die Schaffung eines Dokumentationssystems für die Software ist ebenfalls Teil der ersten Entwicklungsschritte. Die Dokumentation sollte einerseits das Programm Schritt für Schritt erklären sowie die Veränderungen von einer Version zu nächsten aufzeigen. Andererseits muss sie auch als Nachschlagewerk dienen. Denn nicht alle Details und Funktionsweisen können sich vom Entwickler gemerkt werden. Auch dient die Dokumentation als Grundlage, um nach Abschluss dieser Arbeit die Software zu erweitern.

Ein modularer Aufbau erlaubt es das Programm ständig auszubauen. Ohne die übrigen Komponenten zu verändern, sollten einzelne Funktionen ersetzt und verändert werden können. Essenziell sind deshalb die Schnittstellen zwischen den einzelnen Modulen weitsichtig für weitere Entwicklungen zu planen und zu definieren. Begonnen wird nicht mit der Verarbeitung von Meteodaten. Vorab werden musikalische Strukturen und Konzepte eingeführt. Als Inputdaten dienen für diesen ersten Teil Zufallszahlen.

4.2 | Verwendung der Online-Dokumentation

Das Projekt wird online auf [GitHub](#) gehostet und ist somit frei zugänglich einsehbar und weiterentwickelbar. Zum Studieren der Arbeit eignet sich die Online-Dokumentationsseite auf [Read the Docs](#). Dort ist jeder Entwicklungsschritt mit Programmcode festgehalten. Die systematische Dokumentation beginnt mit dem Release [1.04 Start and basics](#). Allerdings empfehle ich der hier vorliegenden schriftlichen Arbeit zu folgen und daraus die entsprechenden Read the Docs Seiten aufzurufen.

GitHub: <https://github.com/schuhva/Music-Generation>

Read the Docs: <https://music-generation.readthedocs.io/en/latest/>

Auf Read the Docs lassen sich die Audiobeispiele direkt anhören und so die Entwicklungsschritte zusammen mit dem Programmcode besser verstehen. Dabei wird zu jedem Audiobeispiel gleich anschliessend der entsprechende Notenauszug visualisiert. Dieser Bericht beschreibt das Projekt und die Konzepte, ohne auf die softwaretechnischen Details einzugehen.

In diesem Dokument wird immer wieder auf Audiobeispiele verwiesen. Diese sind mit einem Link, welcher *blau-kursiv* formatiert ist, mit der GitHub Website verknüpft. Wenn Sie daraufklicken, sollte sich Ihr Browser öffnen und Sie können die Musikdatei abspielen. Eventuell wird die Datei auch in Ihrem Musik-Player geöffnet. Die besten Erfahrungen wurden mit dem Firefox Browser gemacht. Ich empfehle Ihnen, die Beispiele nicht mit den Computerlautsprecher anzuhören. Am besten nutzen Sie Over-Ear Kopfhörer oder eine Stereo Anlage. Diese bieten eine deutlich bessere Musikqualität.

Haben Sie nur den Papierausdruck zur Hand und möchten Sie gleichzeitig das Audiobeispiel auf den Noten verfolgen oder funktioniert die Wiedergabe nicht, dann müssen Sie wie folgt vorgehen:

- Die Links sind immer so aufgebaut: *Version | Audio* (Bsp. [2.07 | tune_S](#)).
- Öffnen sie die [Read the Docs Dokumentation](#) (Link oben).
- Wählen Sie im Inhaltsverzeichnis der Online-Dokumentation die richtige Version und scrollen dann nach unten bis das entsprechende Audio kommt.
- Sollten die Audiobeispiele nicht abgespielt werden können, so bitte ich Sie die Website nochmals neu zu laden.

Auf der Read the Docs Website lässt sich dieser Bericht herunterladen.

4.3 | Arbeitsteile

Diese Maturaarbeit besteht aus folgenden Teilen:

- Die schriftliche Arbeit und
- dem Produkt, bestehend aus:
 - dem Programmcode,
 - den dabei generierten Audiobeispielen und
 - der Dokumentationswebsite auf Read the Docs.

Der Code und die Online-Dokumentation sind in Englisch gehalten.

5 | Theoretische Vorbereitungen

Ehe Musik kreiert wird, sollte eine Vorstellung vorhanden sein, in welcher Art diese abschliessend erklingen soll. Das Ziel dieser Arbeit ist es, Musik zu generieren, der gerne ein Moment zugehört wird, ohne dabei aber den Anspruch an ein Meisterwerk oder den neusten Hit zu stellen. Ebenfalls muss sich ein Komponist bewusst sein, welche Werkzeuge ihm zur Verfügung stehen, um die Musik zu gestalten. Dasselbe gilt auch für eine Musikgenerierung mittels Meteodaten.

5.1 | Was ist «gute» Musik?

Was empfinden wir als gute Musik? Dies ist ein schwierig fassbares Thema, denn es existiert keine Definition oder Formel für eine «gute» Musik. Der Hörer bestimmt, ob er etwas gut oder schlecht findet. Dies hängt stark davon ab, mit welchem Musikgenre er vertraut ist. Gleichwohl haben sich über die Jahre zahlreiche Musikstrukturen entwickelt, die Hörer als angenehm, Spannungsaufbauend und befriedigend erleben.

«Die einzige Wahrheit der Musik liegt in ihr selbst begründet. Die (Musik-) Theorie stellt eine intellektuelle Umkreisung der Musik dar, die versucht, ihre dynamischen Aspekte zu erklären. Sie verändert sich von Epoche zu Epoche und von einem Musiker zum anderen. Obwohl die Evolution des Jazz eine gewisse Kontinuität zeigt, unterscheidet sich die Musik der 20er Jahre eines James P. Johnson grundlegend von der Musik Art Tatum und Fats Waller in den 30ern, von Bud Powell in den 40ern, Bill Evans in den 50ern, McCoy Tyner und Herbie Hancock in den 60ern, Mulgrew Miller in den 70ern, Benny Green in den 80ern usw.»¹⁰

Musik ist wie im Zitat beschreiben eine wandelnde Kunst. Dies gilt nicht nur wie in diesem Fall für den Jazz, sondern für die gesamte Musikentwicklung. Jazz Musik aus den 30ern mit Swing und Dixieland klingt heute für fast jedermann gut. Doch damals wussten nicht alle mit diesem Musikstil etwas anzufangen. Dies, weil die Strukturen und das Genre sich noch nicht in den Köpfen der Menschen etabliert hatten. Das Musikgehör der einzelnen Menschen verändert sich während seines Lebens. So kann eine Person, welche dannzumal nichts mit Dixieland anfangen konnte, 20 Jahre später durchaus Liebhaber dieses Stils sein.

Musik entwickelt sich weiter. Mit jedem Entwicklungsschritt werden die Musikstrukturen komplexer. Die Hörerschaft verkleinert sich ebenso mit jedem Schritt, da ein Teil der Hörerschaft die Strukturen nicht mehr erkennt und die Musik nicht mehr als solche wahrnimmt. Ein gutes Beispiel im Jazz ist dafür der Bebop.

Diese Gesetzmässigkeiten gelten aber nicht nur für die Musik ab dem 20. Jahrhundert, sondern auch für die gesamte Musikentwicklung ab dem Mittelalter. Sobald eine komplexere Struktur entdeckt und von den Menschen verstanden wird, schreitet man nicht wieder zurück.

¹⁰ Levine Mark, Das Jazz Piano Buch (Mainz: advance music GmbH, 1992), S. 8.

Mit der Weiterentwicklung der Instrumente wurde auch die Musik komplexer.¹¹ Sie erlaubten es, neue Strukturen zu verwenden. So werden - ausser bei einem Konzert, in dem eine gewisse Epoche geehrt wird - grundsätzlich die modernen Instrumente verwendet. Die zeitgenössischen Komponisten stellen ihre Besetzungen aus modernen Instrumenten zusammen. Heute werden zum Beispiel kaum noch Lauten eingesetzt, da die Gitarre als Nachfolgeinstrument überlegen ist.

Die Musiktheorie wurde geschaffen, um die in unseren Ohren gut klingenden Musikstrukturen zu erfassen, zu beschreiben und zu definieren. Das heisst, die Theorie entsteht immer nach der Musik. Harmonielehre und Rhythmus, aber auch Melodieführung, Form und weitere Bereiche werden durch die Musiktheorie beschrieben. Diese Theorie kann verwendet werden, um diese Strukturen für die Musikgenerierung zu reproduzieren.

Wenn die musikalischen Strukturen unterbewusst aufgenommen sind, entwickeln sich beim Musikhören Erwartungen, wie diese weiter geht. Mit dieser Erwartungshaltung wird aber ganz bewusst gespielt, in dem ihr nicht entsprochen wird. Das Spielen mit ihr erzeugt Spannungen, welche nach einer Auflösung drängen und somit wieder zu unseren Erwartungen zurückzukommen. Geschieht dies nicht ist die Chance gross, dass etwas nicht mehr als Musik wahrgenommen wird. Jeder Mensch hat andere, einfachere oder komplexere Erwartungen.

Bei den Harmonien existieren eine Handvoll Schemata, welche stark den Erwartungen entsprechen und eine befriedigende Wirkung erzeugen. Quintfall-Sequenzen und Akkordschemen wie I VI II V sind zwei davon. Die Beatles erreichten mit ihren einfachen Melodien und Harmonieschemen ein Millionenpublikum. Dies sicherlich auch, weil die zuhörenden Menschen kein unterbewusstes musikalisches Vorwissen benötigten, um die Musik zu verstehen.

Folglich existiert kein Patentrezept für «gute» Musik. Denn jeder hat andere Erwartungen. Für einen ist ein Stück schon fast reizlos, während es für den anderen zu komplex ist und es nicht mehr als Musik wahrnimmt. Trotz allem scheint es sinnvoll, die musiktheoretischen Konzepte zu beachten und dessen Strukturen in der Musikgenerierung anzuwenden.

5.2 | Musik Parameter

Was für Parameter existieren überhaupt? Diese Frage muss zuerst geklärt werden, um zu wissen, was man überhaupt generieren möchte. Oder, anders ausgedrückt: was muss alles generiert werden, damit schlussendlich Musik herauskommt? Es wird zwischen physikalischen und musiktheoretischen Parametern unterschieden. Die physikalischen Parameter sind essenziell, damit überhaupt ein Ton entsteht. Die musiktheoretischen Parameter erfassen übergeordnete Strukturen. Damit man Musik als Musik wahrnimmt, ist das Vorhandensein von übergeordneten Strukturen entscheidend.

¹¹ Humphries Carl, Das Klavier Handbuch (Bonn: Voggenreiter Verlag GmbH, 2005), Kapitel: Die Geschichte des Klaviers.

Nicht alle Parameter müssen zwingend für die Musikgenerierung verwendet werden. Während von den physikalischen Parametern immer alle verwendet werden müssen, können bei den musiktheoretischen Parametern auch nur einzelne berücksichtigt werden. Die Parameter bilden die musikalischen Schnittstellen zwischen Inputdaten und wahrgenommener Musik. Die Parameter können fix definiert und einprogrammiert werden. Alternativ können auch externe Quellen als Input dienen (z.B. Meteodaten). Die folgende Übersicht stellt eine Auswahl an Parametern dar. Dieser Überblick soll keine musiktheoretische Zusammenfassung sein, sondern aufzeigen, welche Schalter existieren, um die Musik zu verändern.

5.2.1 | Physikalische Parameter

Die physikalischen Parameter¹² sind wie erwähnt zwingend notwendig, damit ein Klang erklingt. Sie sind im Notenschriftbild am offensichtlichsten.

Tonhöhe Die Tonhöhe ist physikalisch durch die Grundfrequenz beschrieben. Sie sagt aus, wie hoch wir einen Ton wahrnehmen.

Tondauer Die Tondauer ist das Zeitintervall, in welcher ein Ton erklingt.

Weitere grundlegende Parameter sind im Schriftbild nicht immer notiert. Sie werden aber – sobald ein Musikstück gespielt wird – durch den Interpreten definiert:

Lautstärke Die Lautstärke definiert wie intensiv ein Ton wahrgenommen wird. physikalisch ist dies die Amplitude.

Klangfarbe Jeder Ton eines Stückes kann eine andere Klangfarbe haben. Sie kann auch innerhalb eines Tones ändern. Hier ist die Klangfarbe eines einzelnen Tones gemeint. Das heisst Klangfarbe ist ein Überbegriff für mehrere weitere Parameter wie die Besetzung (Wahl der Instrumente) und Spielanweisungen wie z.B. pizzicato.

5.2.2 | Musiktheoretische Parameter

Die folgenden Parameter entstanden mit der Entwicklung der Musiktheorie und unserem Musikverständnis. Dies war eine fortlaufende Entwicklung, die je nach Weltregion andere Theorien hervorbrachte. Die hierzulande verwendete Theorie ist aus der abendländischen Musiktheorie entstanden.

Die folgenden musiktheoretischen Parameter erfassen übergeordnete Strukturen, welche sich über einen Abschnitt oder über das ganze Stück ziehen. Es lassen sich zwei Grossgruppen bilden, die Rhythmik und die Harmonik. Dabei beeinflussen gewisse Parameter wiederum andere.

¹² Roederer Juan G., The Physics and Psychophysics of Music: An Introduction (New York: Springer Science+Business Media LLC, 2008), S. 4

5.2.2.1 | Rhythmik

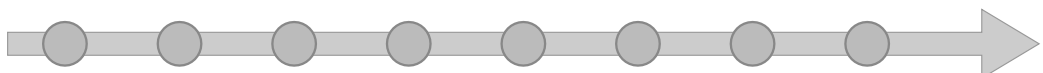
Die Rhythmik ist eine Gruppe von Parametern, welche übergeordnete Strukturen der Grundparameter Notendauer und Lautstärke (z.B. Betonung) definieren.

Tempo/Puls	Der Puls ist der Grundschat. Er gibt gleichmässige Impulse aber keine Betonungen vor. Das Tempo beschreibt, wie schnell der Puls voranschreitet. Es wird oft in Bpm (Beats per minutes) oder in Form von Tempoangaben wie «Andante» oder «Allegro» festgelegt.
Taktart	Die Taktart definiert zweierlei. Sie bestimmt wie viele Pulse in einen Takt zusammengefasst werden. Aber auch was der relative Wert eines Pulses ist. Beispielsweise ob ein Grundschat einer Viertel- oder einer Achtelnote entspricht.
Metrum	Das Metrum bestimmt die Betonung der einzelnen Schläge des Pulses. Oft ist das Metrum bereits durch die Taktartbestimmt. Beispiel 4/4-Takt: Die betonten Zählzeiten sind immer auf <i>Eins</i> und <i>Drei</i> . Allerdings existieren beim 6/8-Takt zwei Möglichkeiten: Die Zählzeit kann entweder auf <i>Eins</i> und <i>Vier</i> sein oder auf <i>Eins</i> , <i>Drei</i> und <i>Fünf</i> erfolgen.

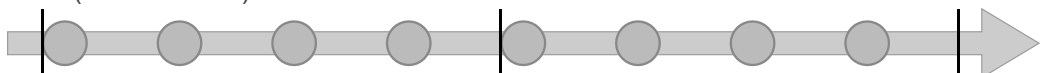
A Zeit fließt dahin



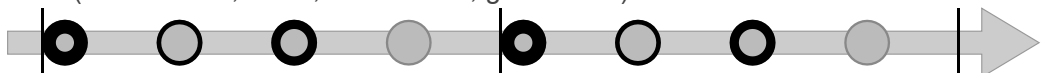
B Grundschat: gleichmässige Impulse



C Takt: Gruppierung von Grundschaten (hier: 4er-Takt)



D Metrum: Betonungsordnung (hier: schwer, leicht, halbschwer, ganz leicht)



E Rhythmus: Akzentmuster über Takt/Metrum (hier: Beispielrhythmus)



ABB. 1 ÜBERSICHT RHYTHMIK

Rhythmus Der Rhythmus ist die Gesamtheit der Notenwerte eines Stückes oder Abschnittes und wie diese zum Puls stehen. Eine Note muss natürlicherweise dabei nicht auf einem Pulsschlag beginnen. Gerade das Spiel mit und gegen den Puls erzeugt Spannungen. Fällt eine Note auf einen durch das Metrum betonten Schlag, so wird diese etwas lauter gespielt.

5.2.2.2 | Harmonik

Die heutige westliche Musiktheorie ist eine Evolution der abendländischen Musiktheorie. Sie hat zur Grundlage, dass die Oktave eine Einheit von zwölf Tönen bildet. Diese Oktaven werden nach unten und oben fortgeführt. Da die Harmonik sich stark entwickelt hat, gibt es verschiedene Analysen- und Beschreibungsmethoden, um die Harmonik zu erklären und verstehen (z.B. Stufen- und Funktionstheorie). Die Harmonielehre ist ein grosses und komplexes Gebiet.

Tonart Die Tonart bestimmt, welche Töne innerhalb einer Oktave zu Melodie und Harmoniebildung verwendet werden. Die Tonart kann innerhalb eines Stückes wechseln und erzeugt damit oft erwünschte Spannungseffekte. Die bekanntesten sind die Dur- und Moll Tonarten.

Akkordfolge Die Akkorde einer Akkordfolge benutzen grundsätzlich die Töne der Tonart. Es existieren eine Handvoll von sehr populären Akkordfolgen. Es ist von Stück zu Stück unterschiedlich, wie viele verschiedene Akkorde verwendet werden, wie schnell sie wechseln und ob die Akkordfolge wiederholt wird.

5.2.2.3 | Weitere Parameter

Instrumentierung Durch eine bestimmte Instrumentierung werden verschiedene Klangfarben und Effekte erzeugt. Der Musikstil kann durch die Instrumentierung wesentlich beeinflusst werden.

Akustik Der Raum in dem gespielt wird, verändert die Klangfarbe. Dazu können heute auch Klangeffekte wie Hall einfach digital hinzugefügt werden.

Spielanweisungen Verschiedenste Spielanweisungen haben auch Einfluss auf den Klang und Rhythmus. Beispiel: Akzente und Artikulationsangaben.

Ambitus Der Ambitus ist der Stimmumfang. Sprich, in welchem Tonraum sich eine (Instrumental-) Stimme bewegt.

Form Die Form besagt, in welcher Abfolge und welchem Formschema die Teile eines Musikstückes angeordnet sind und wiederholt werden.

Melodik Ist die Lehre wie eine Stimme geführt wird. Je nach Form existieren unterschiedliche Melodiebildungs-Prinzipien z.B. mittels Motiven und Phrasen.

6 | Produkt

Dieses Kapitel beschreibt die Entwicklung des Produkts, welches letztendlich aus den generierten Stücken, der Software und der Onlinedokumentation besteht. Zuerst werden die technischen Grundlagen und die konzeptionelle Umsetzung im Programm erläutert. Später werden die Konzepte beschrieben, welche verwendet werden, um die Musik zu generieren. Die aufeinander folgenden Entwicklungsschritte sind aufbauend, d.h. mit jedem Entwicklungsschritt werden jeweils zusätzliche Funktionen hinzugefügt. Die programmiertechnische Umsetzung ist nicht Teil dieses Berichts. Sie ist auf Read the Docs dokumentiert.

6.1 | Technische Komponenten

Bevor mit der eigentlichen Musikgenerierung begonnen wird, müssen die technischen Komponenten ausgewählt und miteinander verknüpft werden. Sie sollen einen möglichst zuverlässigen Unterbau bilden, auf der die Musikgenerierung aufbaut. Das Abspielen von Tönen aus einer Entwicklungsumgebung und deren Ausgabe für eine spätere Wiedergabe zu speichern, ist eine der wichtigsten Kernfunktionen. Ebenfalls sollte ein möglichst einfaches Dokumentationssystem geschaffen werden. Dieser Abschnitt befasst sich deshalb mit der Wahl der technischen Komponenten.

6.1.1 | Programm

Als Programmiersprache wurde Python¹³ gewählt. Diese Programmiersprache habe ich anfangs Kantonsschule im Informatikunterricht erlernt und durch mehrere Projekte meine Kenntnisse verbessert. Um den Fokus in der Arbeit auf die Transformierung von Meteodaten zu Musik legen zu können, war es das Ziel, möglichst wenig Zeitressourcen zur effektiven Tonerzeugung zu verwenden. Deshalb wurden Bibliotheken und Programme gesucht, welche gemeinsame Schnittstellen haben, die zur Tonerzeugung von Nutzen sind.

6.1.1.1 | Python-Bibliotheken

Für die programmtechnische Umsetzung werden zusätzliche Python-Libraries benötigt. Die wichtigsten sind Numpy¹⁴ für jegliche Mathematik- und Matrixoperationen, Matplotlib¹⁵ für das Darstellen der Meteodaten in Diagrammen und Pandas¹⁶ für das Importieren der Messwerte aus der CSV-Datei.

6.1.1.2 | Midi

Vor der Tonerzeugung wird eine MIDI-Datei generiert. MIDI ist eine digitale Schnittstelle für elektronische Musikinstrumente¹⁷. Es ist ein Kommunikationsprotokoll für digitale Instrumente. Die Musikinformationen lassen sich aber auch in einer Datei abspeichern. Dabei werden nur

¹³ Python Software Foundation, <https://www.python.org/>, Zugriff am 7.10.2019

¹⁴ NumPy, <https://numpy.org/>, Zugriff am 7.10.2019

¹⁵ Matplotlib, <https://matplotlib.org/>, Zugriff am 7.10.2019

¹⁶ pandas, <https://pandas.pydata.org/>, Zugriff am 7.10.2019

¹⁷ MIDI Manufacturers Association (MMA), <https://www.midi.org/>, Zugriff am 7.10.2019

die Informationen, wie die Töne gespielt werden, in der MIDI-Datei festgehalten. Da kein Audio gespeichert wird, lässt sich die Datei nicht anhören.

6.1.1.3 | Pyknon

Pyknon¹⁸ ist eine Python-Bibliothek zur Erzeugung von MIDI-Dateien. Sie wurde von Pedro Kroger entwickelt. In seinem Buch «Music for Geeks and Nerds»¹⁹ wird die Bibliothek beschrieben und dokumentiert. Pyknon bildet die Grundlage, auf welcher dieses Projekt aufbaut. Sie ist die Schnittstelle zwischen Python und MIDI. So können die MIDI-Parameter Tonhöhe, Länge und Lautstärke beeinflusst werden. Zusätzlich wird zu jeder Stimme ein MIDI-Instrument ausgewählt. Es ist nicht möglich, gleichzeitig mehrere Töne auf einer Stimme spielen zu lassen, dafür ist eine beliebige Anzahl Stimmen möglich. Über Pyknon kann leider nicht auf das MIDI-Schlagzeug zugegriffen werden.

6.1.1.4 | Soundfont

Soundfonts²⁰ sind Dateien mit vielen kleinen Audio-Samples zu jedem Ton. Dabei bieten sie verschiedene Instrumente zur Auswahl an. Meist werden die 128 General-MIDI²¹ Instrumente verwendet. Es existiert eine grosse Auswahl von Soundfonts, wobei deren Qualität sich stark unterscheidet. Nicht jede Soundfont eignet sich für jeden Musikstil. Oft werden sie genau für eine Musikrichtung entwickelt. Für dieses Projekt wurde mit der Compifont²² gearbeitet.

6.1.1.5 | VLC media player

VLC media player²³ wird für das Abspielen der MIDI-Dateien während der Programmierung benutzt. Dies, weil VLC über ein ausgebautes Kommandozeilen-Interface verfügt. So können die Midi-Dateien ohne Öffnen einer grafischen Oberfläche von Python aus abgespielt werden. Als Soundfont-Synthesizer verwendet VLC FluidSynth²⁴ im Hintergrund. FluidSynth generiert nun aus der MIDI-Datei und der Soundfont ein hörbares Audio, welches direkt abgespielt wird.

6.1.1.6 | Musescore

Musescore²⁵ ist ein Open Source Notensatz-Programm. Es wird zur Generierung von Audiodateien gebraucht, welche so jeweils ohne erneute Synthese in einem gewöhnlichen Audioplayer abgespielt werden können. Musescore verwendet dazu auch FluidSynth, fügt aber noch etwas Hall dazu.

Musescore bietet auch die Möglichkeit MIDI-Dateien als Partitur darzustellen. So kann die generierte Musik nicht nur gehört, sondern auch visuell analysiert werden. Musescore wird ebenfalls direkt von Python über das Kommandozeilen-Interface bedient. Dies hat den

¹⁸ Pyknon, <https://kroger.github.io/pyknon/>, Zugriff am 7.10.2019

¹⁹ «Music for Geeks and Nerds», Pedro Kroger, <https://pedrokroger.net/mfgan/>, Zugriff am 7.10.2019

²⁰ «Soundfont», Musescore, <https://musescore.org/de/node/101>, Zugriff am 7.10.2019

²¹ «General MIDI», Wikipedia, https://en.wikipedia.org/wiki/General_MIDI#Parameter_interpretations, Zugriff am 7.10.2019

²² «Compifont.sf2», <https://pphidden.wixsite.com/compifont>, Zugriff am 7.10.2019

²³ «VLC media player», VideoLAN organization, <https://www.videolan.org/vlc/>, Zugriff am 7.10.2019

²⁴ FluidSynth, <http://www.fluidsynth.org/>, Zugriff am 7.10.2019

²⁵ Musescore, <https://musescore.org>, Zugriff am 7.10.2019

Nachteil, dass Taktart und Vorzeichen nicht richtig bestimmt werden können und diese somit nicht immer korrekt sind. Transponierende Instrumente werden unmittelbar transponiert dargestellt.

6.1.2 | Dokumentation

Die Dokumentation dient dazu, das Programm zu beschreiben, so dass es später oder von Interessierten verstanden wird. Wichtig bei dieser Dokumentation ist es, die verschiedenen Entwicklungsschritte festzuhalten.

6.1.2.1 | JupyterLab

Als Editor eignet sich JupyterLab²⁶ für dieses Projekt am besten. Es wird mit Zellen gearbeitet. Neben Code-Zellen existieren auch Markdown-Zellen. In diesen kann das Programm unmittelbar im selben Dokument beschrieben und dokumentiert werden. Jupyter bietet die Möglichkeit, das Dokument als reStructuredText zu exportieren und so in die Sphinx Dokumentation einzubinden.

6.1.2.2 | Sphinx

Sphinx²⁷ ist ein Dokumentations-Tool, welches aus reStructuredText aber auch aus anderen Formaten Webseiten oder PDFs herstellt.

6.1.2.3 | GitHub

GitHub²⁸ ist eine Software-Entwicklungsplattform mit Versions-Kontrolle. Für Open source Projekte ist dies kostenlos. Der Code wird auf der Website gehostet und ist einsehbar. (<https://github.com/schuhva/Music-Generation>) GitHub ist für die Dokumentation auf Read the docs notwendig und bildet auch ein Backup.

6.1.2.4 | Read the Docs

Die Dokumentationswebsite ist auf Read the Docs²⁹ gespeichert. Read the Docs erkennt, wann eine Version auf GitHub hochgeladen wird. Danach generiert sie mit Hilfe von Sphinx vollautomatisch eine Website. Diese ist direkt Online einsehbar. (<https://music-generation.readthedocs.io/en/latest/>)

Das gute Zusammenspiel der Komponenten macht es einfach, die Software sowohl zu dokumentieren als auch zu sichern.

²⁶ Jupyter, <https://jupyter.org/>, Zugriff am 7.10.2019

²⁷ Sphinx, <https://www.sphinx-doc.org/en/master/>, Zugriff am 7.10.2019

²⁸ GitHub, <https://github.com/>, Zugriff am 7.10.2019

²⁹ Read the Docs, <https://readthedocs.org/>, Zugriff 7.10.2019

6.2 | Musikalische Grundlagen

Um Musik überhaupt aus dem Computer erklingen zu lassen, sind folgende musikalische Grundlagen notwendig. Sie setzen vorwiegend die physikalischen Parameter um und entsprechen den ersten Entwicklungsschritten. Zu Beginn jedes Unterkapitels ist die Version aufgelistet, in der die Funktionen entwickelt werden. Die Versionsnummern sind anklickbar und führen zur entsprechenden Read the Docs-Seite.

6.2.1 | Töne

[Version 1.04](#)

Es werden eine Handvoll Töne manuell bestimmt. Jeder dieser Töne benötigt eine Tonhöhe und eine Tondauer als Notenwert z.B. 1/4. Um diese Töne abzuspielen wird noch ein Tempo benötigt. Dieses liegt während des Projektes weitgehend bei 120 bpm. Dabei wird standartmässig 4/4 als Taktart vom Programm angenommen. Pausen zu generieren ist auch möglich.

Als erstes Beispiel wird eine C-Dur-Tonleiter mit den Tönen C, D, E, F, G, A, H, C verwendet. Dabei wird jedem Ton der Notenwert 1/4 zugewiesen. [1.04 | tune_A](#)

6.2.2 | Stimmen und Instrumente

[Version 1.05](#)

Viele Instrumente können nur einen Ton gleichzeitig spielen. Das Programm ist in dieser Hinsicht ähnlich. Für jeden Ton der gleichzeitig ertönen soll, muss eine eigene Stimme erzeugt werden. Hierbei wird jeder Stimme ein Instrument zugewiesen. Es ist aber auch möglich in jeder Stimme dasselbe Instrument spielen zu lassen. Jeder Stimme muss eine Reihe von Notenhöhen und Pausen, die dazugehörige Notendauer und ein Instrument zugeordnet werden.

Beispiel: Die C-Dur-Tonleiter wird versetzt von verschiedenen Instrumenten gespielt. Den Stimmen, welche später beginnen, werden am Anfang Pausen hinzugefügt. [1.05 | tune_E](#)

♩ = 100



Tenor Saxophone, Track 0

Violoncello, Track 1

Organ, Track 2

ABB. 2 TUNE_E, DAS TENORSAXOFON IST EIN BB-INSTRUMENT

6.2.3 | Lautstärke

[Version 1.06](#)

Bisher wurden die Töne immer in voller Lautstärke gespielt. Nun kann jedem Ton auch eine Lautstärke zugeordnet werden. Anstatt dies bei allen Tönen einzeln zu regulieren, kann mit einer Funktion das Volumen fließend erhöht und gesenkt werden.

6.2.4 | Rhythmen und Verzierungen

Version 1.06

Anstatt nur Viertel zu benutzen, werden nun Rhythmus-Modelle verwendet, welche sich wiederholen. Ebenfalls werden kleine Verzierungen eingeführt, welche auf jedem Ton zur Anwendung kommen. Diese Funktionen Lautstärke, Rhythmen und Verzierungen sind nicht weiterverfolgt worden, da sie in den Folgeversionen nicht mehr genutzt werden.

6.3 | Struktur und gesteuerter Zufall.

Bevor mit Meteodaten gearbeitet wird, müssen Strukturen aufgebaut werden. Die Strukturen sind grundsätzlich durch die Musiktheorie erfasst und beschrieben. Sie sind nötig, damit Musik auch als solche wahrgenommen wird und der Hörer auch gerne eine Zeitlang der Musik folgt. Anstelle von Meteodaten wird zu Beginn mit Zufallsdaten gearbeitet, allerdings nicht durch reinen Zufall entstandene Daten, sondern durch gesteuerten Zufall. Dies, indem die Wahrscheinlichkeits-Verteilung der einzelnen Möglichkeiten vorgegeben wird. So können die Strukturen der Musik angenähert und nachgeahmt werden.

Bis jetzt wurden alle Parameter von Hand gesetzt. Dies wird nun Schritt für Schritt durch gesteuerten Zufall ersetzt. Dennoch wird immer noch «komponiert». Allerdings nicht einzelne Noten, sondern durch bestimmen der Wahrscheinlichkeiten und Arrangieren der Instrumente. Eine Ausnahme bildet bis jetzt eine der wichtigsten Strukturen, die Akkordabfolge. Sie wird momentan noch von Hand festgelegt. Es wurden aber Konzepte entwickelt auch diese durch einen probabilistischen Vorgang zu ersetzen.

6.3.1 | Gesteuerter Zufall: Pausen und Rhythmus

Version 2.01

Bis jetzt wurden Pausen manuell gesetzt. Nun werden einzelne Noten zu Pausen umgewandelt. Dies, in dem die Lautstärke der jeweiligen Noten auf Null gesetzt wird. Mit reinem Zufall würde so durchschnittlich jede zweite Note zu einer Pause verändert. Nun kann mit einer Wahrscheinlichkeits-Verteilung dies näher an die musikalische Realität angepasst werden. Mit der Wahrscheinlichkeits-Verteilung wird bestimmt, wie häufig eine Pause gesetzt oder doch die Note gespielt wird. Im Beispiel 2.01 | *tune_I* beträgt die Wahrscheinlichkeit, dass eine Note in eine Pause umgewandelt wird, 1/6.



ABB. 3 TUNE_I

Ähnlich wird dies für die Notenlängen gehandhabt. Für jede Note wird durch gesteuerten Zufall eine Dauer bestimmt. So hat im zweistimmigen Stück 2.01 | *tune_J* eine Achtelnote die Wahrscheinlichkeit von 4/7, eine Viertelnote von 2/7 und eine Halbenote von 1/7. Die Melodie ist hierbei noch manuell definiert.

Notenwert	1/8	1/4	1/2
Häufigkeit	4/7	2/7	1/7

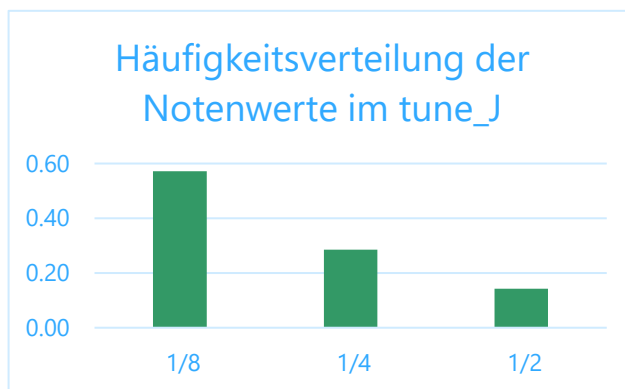


ABB. 5 TUNE_J, HÄUFIGKEITSVERTEILUNG RHYTHMUS

♩ = 120

B♭ Cornet, Track 0

Tuba, Track 1

B♭ Cnt.

Tba.

ABB. 4 TUNE_J

6.3.2 | Zufällige Melodie und Skala

Version 2.02

Mit dieser Version wird die Melodie zufällig generiert. In diesem Fall allerdings ohne gesteuerten Zufall. Es werden willkürlich Notenhöhen ausgesucht. Die Erzeugung der Notenlängen geschieht wie im vorhergehenden Beispiel. Damit bleiben die vorhergehend eingeführten Rhythmusfunktionen in Kraft.

Trotz zufälliger Melodie wird auch eine wichtige Struktur eingeführt, die Tonalität. Im Beispiel 2.02 | [tune_K](#) können nur Töne einer C-Moll-Tonleiter durch den Zufall gewählt werden. Es ist

♩ = 120

Violin, Track 0

Heckelphone, Track 1

ABB. 6 TUNE_K

so möglich, eine Skala zu bestimmen, deren Töne dann gespielt werden können. Jegliche Tonkombination ist umsetzbar. So können z.B. aber auch nur die Töne eines Akkordes vorgegeben werden. Diese Skala ermöglicht Tonalität in einem computergenerierten Stück einzuführen. Dies ist eine wichtige Voraussetzung, damit eine Musik als angenehm empfunden wird.

6.3.3 | Melodie mit Intervallen

Version 2.03

Melodien sind oft nur Stufengänge und haben nur selten Sprünge. Folglich ist das häufigste Intervall die Sekunde. Wobei andere Intervalle immer noch vorkommen, allerdings seltener. Dies kann man sich zunutze machen, um authentischere Melodien zu generieren. Dabei wird wiederum gesteuerter Zufall verwendet. Es wird dazu eine Häufigkeitsverteilung über eine Anzahl Intervalle aufwärts als auch abwärts erstellt. Die Häufigkeitsverteilung bestimmt, wie oft jedes Intervall vorkommt. Sie muss dabei symmetrisch von der Prime aus erfolgen. Ansonsten steigt die Melodie immer weiter hoch oder runter. Das ausgewählte Intervall wird zur letzten Melodienote addiert und bestimmt so die nächste Note. Ein neues Intervall wird wiederum der neuen hinzugefügt, usw. Die Startnote wird vorgegeben. Zu beachten gilt es, wenn keine vollständige Tonleiter verwendet wird, sondern ein Akkord: Die Sekunde meint in diesem Fall nicht eine effektive Sekunde, sondern den nächst höheren oder tieferen Ton in der vorgegebenen Skala.

Im Beispiel 2.03 | *tune_M* wird folgende Häufigkeitsverteilung genutzt:

Intervall	- Terz	- Sekunde	Prime	+ Sekunde	+ Terz
Wahrscheinlichkeit	2/13	4/13	1/13	4/13	2/13

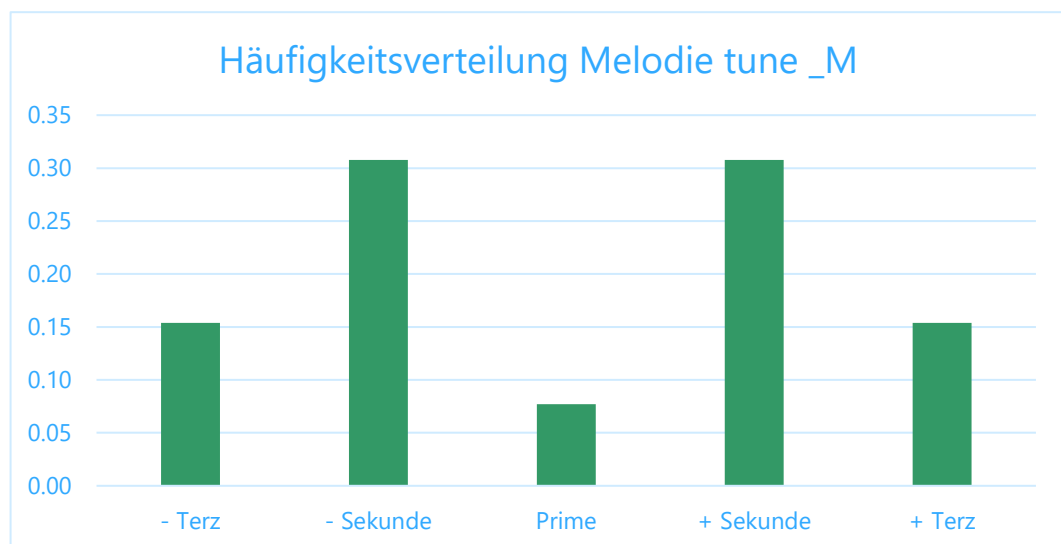


ABB. 7 HÄUFIGKEITSVERTEILUNG MELODIE TUNE_M

$\text{♩} = 120$

Erhu, Track 0

Bassoon, Track 1

7

Eh.

Bsn.

ABB. 8 TUNE_M, LETZTER TAKT ABGESCHNITTEN

6.3.4 | Tonraum definieren

Version 2.05

Mit der Melodieerzeugung durch Intervalle ist es möglich, dass sich eine Melodie immer mehr vom gut klingenden Instrumenten-Tonumfang entfernt. Es wurde davon abgesehen eine feste Ober- und Unterlimite zu definieren. Die Melodie wäre immer wieder an diese Grenze «geprallt», wobei die Töne an dieser Grenze dauernd wiederholt würden. Um dies zu verhindern wird eine «sanftere» Methode verwendet, welche die Melodie wieder zurückführt.

6.3.4.1 | Akzeptanzbereiche

Es wird für jede Stimme ein Akzeptanzbereich manuell definiert. Dabei erhält jede Note im MIDI-Bereich einen Akzeptanzwert. Dafür werden zusammengesetzte lineare Funktionen benutzt. Noten mit dem Wert 100 werden immer akzeptiert, sprich gespielt. Noten mit dem wert Null nie. MIDI-Note Nummer 60 entspricht dem c'.

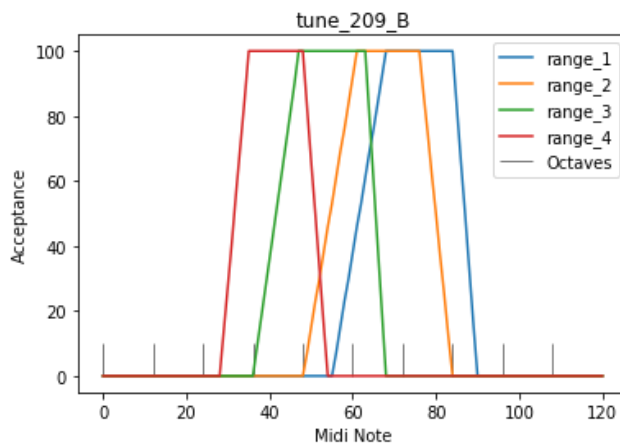


ABB. 9 BEISPIEL: AKZEPTANZBEREICHE

6.3.4.2 | Metropolis-Hastings-Algorithmus

Der Akzeptanzbereich selbst verhindert noch nicht, dass sich eine Stimme aus dem Bereich bewegt. Es ist ein Algorithmus nötig, der mithilfe des Akzeptanzbereiches die Stimmen wieder zurückführt. Dafür wird der Metropolis-Hastings-Algorithmus genutzt.³⁰ Für diese Aufgabe wurde er studiert, angepasst und selbst programmiert.

Grundsätzlich wird durch den gesteuerten Zufall ein nächster Ton vorgeschlagen. Mit dem Metropolis-Hastings-Algorithmus wird entschieden, ob dieser Vorschlag akzeptiert oder abgelehnt wird. Bei Ablehnung wird ein neuer Vorschlag eingereicht, bis ein Ton akzeptiert wird.

- Dazu werden zuerst die Akzeptanzwerte des momentanen und des vorgeschlagenen Tones aus der Akzeptanzbereich-Funktion gelesen.
- Danach wird der Akzeptanzwert des vorgeschlagenen Tons, durch denjenigen der momentanen Note dividiert.
- Ist der Akzeptanzwert der vorgeschlagenen Note grösser als derjenige der momentanen Note, so ist dieser Quotient grösser eins. Ansonsten nicht.
- Ist dieser Quotient grösser als eins, wird die Note akzeptiert.
- Ansonsten wird eine Zufallszahl zwischen Null und Eins generiert und der Quotient damit abgeglichen. Ist der Quotient trotzdem grösser als die Zufallszahl wird, die Note angenommen. Ist dies nicht der Fall, wird das Prozedere mit einem neuen Vorschlag wiederholt.

Durch den Akzeptanzbereich und den Metropolis-Hastings-Algorithmus kann der Stimmumfang einer Stimme eingeschränkt werden, ohne eine starre Grenze zu benutzen.

6.3.5 | Akkordabfolgen

Bis jetzt bewegte sich eine Melodie immer in einer Tonart. Jedoch wechseln die Akkorde in einem Stück innerhalb einer Tonart. Die Akkorde verwenden in den meisten Fällen ausschliesslich Tonart eigene Töne. Durch eine Modulation kann auch die Tonart gewechselt werden. Die Harmonik ist durch die Tonart und die Akkorde zweischichtig aufgebaut. Diese Zweischichtigkeit wird nicht umgesetzt. Viel mehr wird direkt mit den Akkorden gearbeitet, das heisst, diese werden bestimmt und einprogrammiert. Dasselbe Konzept wird bei Leadsheets angewendet, es werden die Akkorde und nicht die Tonarten mit entsprechenden Stufen und notiert.

Umgesetzt wird dies, indem die Skala, welche die zu spielenden Töne bestimmt, während des Stückes geändert wird. Dabei werden nicht mehr ganze Tonleitern in der Skala definiert, sondern Akkordtöne. Zuerst wird der Grundton des Akkordes festgelegt. Dazu wird der Akkordtyp definiert, z.B. Moll, Major Seven, vermindert, etc. Zusätzlich muss dem Akkord eine Länge in Anzahl Takten zugeschrieben werden. Durch das Aneinanderhängen verschiedener Akkorde, entsteht eine Akkordfolge. Ist das generierte Musikstück länger als eine Akkordfolge,

³⁰ «From Scratch: Bayesian Inference, Markov Chain Monte Carlo and Metropolis Hastings, in python», Towards Data Science, <https://towardsdatascience.com/from-scratch-bayesian-inference-markov-chain-monte-carlo-and-metropolis-hastings-in-python-ef21a29e25a>, Zugriff am 31.10.2019

so wird diese wiederholt. [Version 2.06](#), [Version 2.07](#), [Version 2.10](#): Die Akkordfolgen-Programmierung wurde mehrmals verbessert.

Akkordfolgen bilden komplexe harmonische Strukturen und werden deshalb für den Moment manuell definiert oder werden von Musikstücken übernommen. Es wurden aber bereits Konzepte für eine Akkordfolgen-Generierung entwickelt.

Beispiel [2.06](#) | [tune_Q](#): Hier wurde die Akkordfolge | C | Am | Dm | G7 | gewählt. Die Melodie kann nur die Akkordtöne spielen. Der Rhythmus ist durch gesteuerten Zufall kreiert.



ABB. 10 TUNE_Q

6.3.6 | Stimmen synchronisieren.

[Version 2.07](#)

Die Stücklänge wurde bis jetzt über die Anzahl Töne bestimmt. Dies führt bei Mehrstimmigkeit zu Schwierigkeiten. So enden die Stimmen nicht gleichzeitig. Zwar haben die Stimmen dieselbe Anzahl Noten, aber die jeweiligen Notenlängen sind unterschiedlich. Die Summe der Notenlängen ist deshalb nicht bei allen Stimmen gleich. Dies führt zur zeitlichen Verschiebung der Stimmen. Bei der Einführung der Akkordfolgen führte dies zu Dissonanzen, da nicht alle Stimmen gleichzeitig im selben Akkord spielten. Das Problem kann minimiert werden, indem bei der Rhythmus-Generierung für alle Stimmen dieselben Häufigkeitsverteilungen definiert wird. Das heisst die Häufigkeit der jeweiligen Notenwerte ist bei jeder Stimme gleich.

Neu wird die Stücklänge durch Anzahl Takte und Anzahl Schläge pro Takt im Voraus bestimmt. Jeder Stimme kann für den Rhythmus eine andere Häufigkeitsverteilung vorgegeben werden, da nur die Notenlängen für die vorgegebene Taktanzahl generiert werden. Jede Stimme erhält somit eine eigene Anzahl Noten. Die Melodie-Generierung musste ebenfalls angepasst werden, da die Skala für jede Stimme nach einer unterschiedlichen Anzahl Noten geändert werden muss. So spielen alle Stimmen gleichzeitig in derselben Skala, sprich den gleichen Akkord.

Beispiel 2.07 | [tune_S](#): Die Akkordfolge | Cmaj7 | Am7 | Dm7 | G7 | entspricht dem Beginn des A-Teils von George Gershwins «I Got Rythm». In den beiden Stimmen werden unterschiedliche Häufigkeiten für die Melodie- und Rhythmus-Generierung verwendet.

$\text{♩} = 120$

Tenor Saxophone, Track 0

Contrabass, Track 1

5

T. Sax.

Cb.

10

T. Sax.

Cb.

ABB. 11 [TUNE_S](#)

6.3.7 | Ende

Damit ein Stück eine Schlusswirkung erhält, sollte eine bestimmte Struktur eingehalten werden. Zwei Elemente sind wichtig, dass ein Schluss auch als solcher wahrgenommen wird. Eine Schlusskadenz gibt einer Akkordabfolge die abschliessende Wirkung. Sie führt das Stück zum Grundton zurück und löst die harmonischen Spannungen auf. Das Aushalten des letzten Tones betont den letzten Akkord der Schlusskadenz und verhindert ein abruptes Ende. So klingt das Stück aus.

6.3.7.1 | Schlussakkord-Folge

Version 2.08

Mit dieser Version ist es nun möglich eine Akkordabfolge für den Schluss zu bestimmen. Diese Akkordfolge überschreibt die letzten Akkorde, die grundsätzlich im Stück verwendet werden. So bleibt die vorgegebene Stücklänge gleich. Die Schlussakkordfolge kann auch aus nur einem Akkord bestehen. Über den letzten Akkord lässt sich auch der Schlusston steuern. Es ist unerwünscht, dass eine Melodie auf einer Terz oder Sept endet. Durch das Setzen eines Powerchord (Akkord bestehend aus nur Grund- und Quintton) oder nur des Grundtones wird die Melodie gezwungen, auf einen dieser Töne zu enden. Für jede Stimme kann eine andere Schlussakkordfolge definiert werden. So müssen die Begleitinstrumente nicht zwingend auf denselben Tönen enden wie die Melodie.

2.08 | *tune_V ex. 1*

- Das Stück verwendet das Blues-Schema mit folgenden Akkorden: | C7 | F7 | C7 | C7 | F7 | F7 | C7 | C7 | G7 | F7 | C7 | G7 |
- Als Schlussakkord wird der Powerakkord von C benutzt, welcher aus den Tönen C und G besteht. So endet die Melodie mit grosser Wahrscheinlichkeit auf dem C.
- Als Melodieinstrument dient ein Saxofon. Im Gegensatz zu den anderen Instrumenten verwendet es die C-Blues-Skala und nicht die Blues Akkordfolge.
- Drei Klaviere dienen als Begleitung. Sie spielen alle in einem relativen kleinem Tonraum, welcher etwas grösser als eine Oktave ist. Jedes Klavier spielt meist einen anderen Akkordton. So erklingen zusammen die verschiedenen Akkorde.
- Der gezupfte Bass kreiert mit der Akkordfolge eine Basslinie.

6.3.7.2 | Endtonlänge

Version 2.10

Ab dieser Version kann die Länge des letzten Tones bestimmt werden. Dabei wird der letzte Ton auf die gewünschte Dauer verlängert. Da es sich um eine einfache Lösung handelt, kann nicht garantiert werden, dass alle Schlusstöne gleichzeitig enden.

6.3.8 | Arrangieren

Arrangieren meint in diesem Kontext das Wählen der Instrumente, bestimmen der Häufigkeitsverteilungen, festlegen der Akkordfolge, etc. Es ist auch eine Art Komponieren. Allerdings ein völliges anderes Konzept. In diesem Prozess werden zuerst nach den Zielvorstellungen die Instrumente ausgewählt und die Einstellung der einzelnen Stimmen vorgenommen. So ist schnell ein Stück in voller Länge vorhanden. Durch wiederholtes anhören und ändern der Parameter wird das Stück stetig verbessert.

Der Musik Generator enthält Zufall. Deshalb kann mit denselben Parameter-Einstellungen einmal ein besseres und das nächste Mal ein etwas schlechteres Ergebnis resultieren. Im Arrangierungsprozess ist dies hinderlich. Eine Parameterveränderung könnte so nicht direkt mit der vorhergehenden Version verglichen werden. Dies lässt sich umgehen, indem ein Zufalls-Startpunkt gewählt wird, welcher bewirkt, dass bei jedem Durchgang dieselben Zufälle gelten. So lässt sich eine generierte Version eines Stückes reproduzieren.

6.3.9 | Beispiele

Als Abschluss des Projektteils Musik-Generierung ohne Meteodaten wurden mehrere Beispiele erstellt: Zwei längere und vier kurze. Von den kurzen werden hier folgend nur zwei beschrieben:

Es werden bekannte Harmonieschemen für diese Beispiele verwendet und nicht neue kreiert. Die Beispiele C-Dur Präludium und Georgia on My Mind sind deshalb eher als Interpretationen zu verstehen. Sie verwenden dieselbe Akkordfolge wie die Originalstücke.

6.3.9.1 | Streichquartett

Version 2.09

2.09 | [tune_209_B](#)

- Das Streichquartett verwendet eine veränderte Besetzung aus Violine, Bratsche, Cello und Kontrabass.
- Die Stimmen haben unterschiedliche Häufigkeits-Verteilungen für Melodie und Rhythmus. Das Cello und der Kontrabass sind im Rhythmus ruhiger und in der Melodie weniger sprunghaft gestaltet.
- Die Akkordabfolge wird viermal wiederholt: | Cm | A | Dm | G7 |
- Die Schlussakkorde | G7 | Cm | sind identisch mit der normalen Folge und haben deshalb keinen Einfluss.

$\text{♩} = 120$

Violin, Track 0

Viola, Track 1

Violoncello, Track 2

Contrabass, Track 3

5

Vln.

Vla.

Vc.

Cb.

10

Vln.

Vla.

Vc.

Cb.

ABB. 12 [TUNE_209_B](#), STREICHQUARTETT

6.3.9.2 | Jazz Vibraphon

Version 2.09

2.09 | [tune_2.09_D](#)

- Es wird ein oft benutztes Jazz Moll-Harmonieschema verwendet: | Cm | Cm7/Bb | Eb | Ab7 | G7 | C | C/E | F | F#dim | Ab7 | G7 | Cm |
- Der Schluss wird mit den je halbtaktigen Akkorden Cm und C Powerchord gebildet.
- Das Vibraphon als Melodiestimme bespielt wie alle anderen Instrumente auch, die Töne der Akkordfolge.
- Drei Gitarren bilden zusammen durch ihre enge Lage innerhalb einer Oktave die Akkorde.
- Die Orgel spielt nur die Grundtöne der Akkorde.

♩ = 120

ABB. 13 TUNE_2.09_D, JAZZ VIBRAPHON ERSTES SYSTEM DER PARTITUR

6.3.9.3 | J. S. Bach C-Dur Präludium

Version 2.11

Diese Stück verwendet die Akkorde von J. S. Bach C-Dur Präludium, Wohltemperiertes Klavier, BWV 846. Es ist bildet so eine Interpretation dieses Stückes. Da nur das Harmonieschema verwendet wird erhält das Stück einen anderen Charakter. Die typischen Arpeggios werden zum Beispiel nicht übernommen. Die Instrumente und die restlichen Parameter wurden frei gewählt. Das Arrangement der Instrumente ist ähnlich zum vorhergehenden Beispiel:

2.11 | [tune_211_A](#)

- Die Solostimme wird von einer Klarinette gespielt.
- Die drei Mittelstimmen werden von einem sogenanntem Streicherensemble gespielt. Dabei handelt es sich, wie der Name bereits erwähnt, nicht um ein einzelnes Instrument. Es ist eine Zusammensetzung der vier Streichinstrumente Violine, Bratsche, Cello und Kontrabass. Je nach Tonhöhe spielt das Instrument, welches diesen Tonraum bespielen kann. So kann mit einer Streicher-Stimme über einen Raum von fünf Oktaven gespielt werden.

- Da nicht bestimmt werden kann, welcher Akkordton des jeweiligen Akkordes jetzt gespielt wird, sind drei Mittelstimmen im Einsatz. Sie sollen möglichst alle Akkordtöne gleichzeitig spielen, so dass eine Grundlage für die Solostimme gebildet wird. Bei zu vielen Mittelstimmen wird das Stück zu schwer.
- Ein Kontrabass und eine Orgel bilden die Bassstimmen, wobei die Orgel die Töne länger aushält.

$\text{♩} = 120$

A Clarinet, Track 0

Contrabass, Track 1

Violins, Track 2

Violins, Track 3

Violins, Track 4

Hammond Organ, Track 5

ABB. 14 TUNE_211_A, C-DUR PRÄLUDIUM, ERSTES SYSTEM

6.3.9.4 | Georgia on My Mind

Version 2.12

Georgia on My Mind ist ein Jazz Stück des Komponisten Hoagy Carmichael. Der Jazz Standard wurde von zahlreichen Bands interpretiert. Am bekanntesten ist die Version von Ray Charles.³¹

Wiederum wurde das Harmonieschema übernommen. Insbesondere im B-Teil lebt der Jazz-Standard von den Akkordumkehrungen und der so absteigenden Basslinie. Deshalb wurde für die Orgel eine eigene Akkordfolge erstellt, welche aus dem Grundton oder dem tiefsten Ton der entsprechenden Akkordumkehrung besteht.

Die Akkorde wechseln halbtaktig. Durch diese schnellen Akkordwechsel besteht die Gefahr, dass die Akkorde ineinanderfließen und so die Harmonie nicht mehr erkennbar ist. Daher spielen zwei Mittelstimmen nur Achtel, um ein aushalten eines alten Akkordtones in den nächsten Akkord zu verhindern. [2.12 | tune_212_A](#)

- Eine Klarinette spielt die Melodie.
- Zwei der drei E-Piano Mittelstimmen haben nur Achtel als Notenwerte, um die Harmonie stärker hervorzuheben.

³¹ «Georgia on My Mind», Jazz Standards, <http://www.jazzstandards.com/compositions-0/georgiaonmymind.html>, Zugriff am 17.10.19

- Der Bass spielt seine eigene Basstonfolge nur in Viertel, ebenfalls um die Akkorde besser voneinander zu trennen.

♩ = 120

A Clarinet, Track 0

Electric Piano, Track 1

Electric Piano, Track 2

Electric Piano, Track 3

Hammond Organ, Track 4

ABB. 15 TUNE_212_A, GEORGIA ON MY MIND, ERSTES SYSTEM

6.4 | Meteodaten

In diesem Teil der Arbeit handelt es sich um die Synthese der Meteodaten und den Musik Strukturen. Die wichtigen Musik Parameter wurden im vorhergehenden Kapitel programmiert und erklärt. Dabei diente stets der Zufall als Grundlage. Der Zufall als Input wird nun teilweise durch Meteodaten ersetzt.

Die Meteodaten können für unterschiedliche Zwecke bei der Musik-Generierung genutzt werden. Grundsätzlich aber für alle Musikparameter. Am offensichtlichsten ist die Verwendung für die Melodiebildung. Eine Messreihe kann für mehrere Stimmen und Parameter benutzt werden. Umgekehrt ist es auch möglich für eine Stimme verschiedene Meteoparameter zu verwenden.

Es werden nicht alle relevanten Messdaten für die jeweiligen Beispiele in diesem Bericht gezeigt. Deshalb befindet sich bei der Erläuterung des Beispiels jeweils einen [Hyperlink](#) auf die Read the Doks-Seite, auf welcher die Daten dargestellt sind.

6.4.1 | Vorbereitungen

Dank Meteo Schweiz durfte ich auf Bodenstationsdaten³² der Schweiz zugreifen und so für die Arbeit verwenden. Das Datenportal bietet eine umfangreiche Anzahl an Messdaten. Die benutzten Datensätze stammen immer von der Station Kloten/Flughafen Zürich (Stationskürzel: KLO). Diese Messstation hat eine Vielzahl an verschiedenen Messinstrumenten und bietet so umfangreichere Arten von Messwerten als kleinere Stationen. Über das Portal sind auch Datensätze erhältlich, welche bereits weiterverarbeitet worden sind. Einerseits werden mehrere Messdaten verrechnet zum Beispiel für den Windchill: Lufttemperatur und

³² «Datenportal für Lehre und Forschung», Meteo Schweiz, <https://www.meteoschweiz.admin.ch/home/service-und-publikationen/beratung-und-service/datenportal-fuer-lehre-und-forschung.html>, Zugriff am 19.10.2019

Windgeschwindigkeit.³³ Andererseits stehen auch statistisch weiterverarbeitete Daten zur Verfügung wie Tagesmaximum oder Standardabweichung. Hier wurden immer Zehn-Minuten-Daten verwendet, was die Messwerte mit der feinsten verfügbaren Granularität pro Zeiteinheit sind, das heisst sechs Messungen pro Stunde.

Die generierte Musik sollte abwechslungsreich sein, um spannend zu bleiben. Gleichmässige Wetterperioden eignen sich deshalb weniger. Ziel war es, Zyklon-Durchgänge zu verwenden. Sie verändern das Wettergeschehen erheblich innerhalb weniger Tagen und dies mehrmals. Die aufeinander folgenden Wetterphasen einer Zyklone sind für uns gut wahrnehmbar. Schematisch kommt zuerst die Warmfront mit schwachem Regen gefolgt von einem Warmluftsektor mit milden Temperaturen. In den Warmluftsektor stürzt dann die Kaltfront ein, welche Gewitter und Platzregen nach sich zieht.³⁴ Frontendurchläufe haben Einfluss auf verschiedenen Messparameter wie Luftdruck, Temperatur, Windrichtung etc.

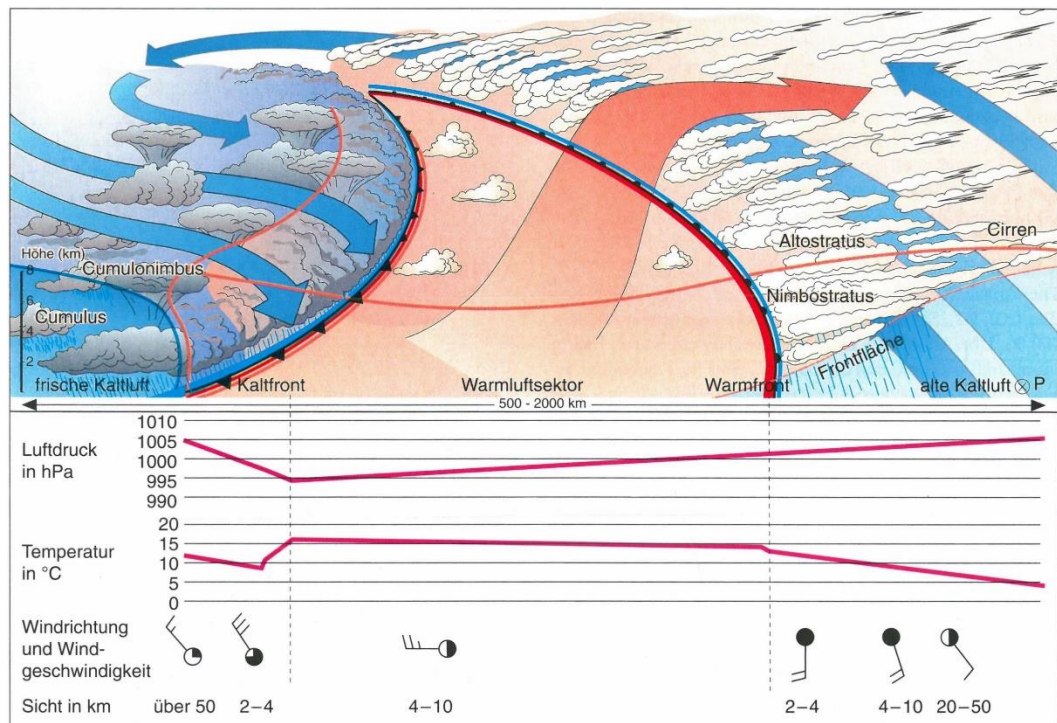


ABB. 16 SCHEMATISCHER DURCHGANG EINER ZYKLONE

Deshalb wurden Frontdurchgänge mittels alter Wetterkarten gesucht. Aus einer Luftdruck- und Frontenkarte ist aber nicht auf den ersten Blick sichtbar, wie stark die lokalen Wetterereignisse ausfielen. Die Recherche über die Medien gestaltete sich erfolgreicher. In Zeitungsberichten wird nur in Fällen von aussergewöhnlichen Wettervorkommnissen berichtet.

Bei der Visualisierung der Messdaten wurden die Frontendurchläufe nicht auf Anhieb gefunden. Dies, weil der Tagesgang ebenfalls grossen Einfluss auf die Messwerte hat. So ist die Temperaturdifferenz zwischen Tag und Nacht durchaus über 10°C. Ein Wetterumbruch

³³ «Windchill», Meteo Schweiz,

<https://www.meteoschweiz.admin.ch/home/wetter/wetterbegriffe/windchill.html>, Zugriff am 19.10.2019

³⁴ Bauer Jürgen, Englert Wolfgang, Meier Uwe, Morgeneyer Frank, Waldeck Winfried, Physische Geographie (Hannover: Schroedel Verlag, 2001), S. 98

verändert die Tages-Durchschnittstemperatur aber oft weniger zum Beispiel um 6°C. Für ein geschultes Auge ist diese Information schnell aus den Tageseinflüssen sichtbar. Für den Computer gestaltet sich dies aber schwieriger. Um die Wetterumbrüche zu finden, müssen sie zuerst von den Tagesschwankungen separiert werden. Dies wurde vorerst nicht umgesetzt.

Um Wetterumbrüche darzustellen, wurde auf Messparameter gesetzt, welche nicht von einem Tagesgang betroffen sind. Dies sind insbesondere der Niederschlag und die Blitze. Der Luftdruck hat auch einen Tagesgang, allerdings einen nicht stark ausgeprägten.

6.4.2 | Meteodaten darstellen

Version 3.01.1, 3.03.1 und 3.04.1

Die Meteodaten werden als CSV-Datei heruntergeladen, was erlaubt damit die Daten relativ einfach maschinell einzulesen zu können. Um zu entscheiden, welche Messreihe während welcher Periode verwendet werden soll, ist es von Vorteil die Daten zuerst visuell darzustellen.

Aus den eigentlichen Messdaten werden auch zwei gleitende Mittelwerte mit einer Spannbreite von drei Stunden dargestellt. Diese werden bei der Transformation der Daten für die Musik-Generierung verwendet. Der grüne Balken wurden manuell gesetzt, er kennzeichnet ein Wetter-Ereignis. Er hat keinerlei Bedeutung für der Musik-Generierung und dient einzig der Visualisierung des markanten Ereignisses in der Grafik. In diesem Fall ist es ein stärkeres Gewitter, welches über den Norden der Schweiz zog.³⁵

Es wurden verschiedene Messreihen heruntergeladen. In der *Version 3.01.1* sind Daten vom 28.8.2019 bis 10.9.2019 abgebildet. Es wurden fürs Erste nur sechs Parameter ausgewählt, um herauszufinden, wie der Datenbezug funktioniert und in welchem Format die Werte ausgegeben werden. Dazu wurde das Programm zur Darstellung entwickelt.

In der *Version 3.03.1* werden 15 verschiedene Parameter derselben Periode gezeigt. Es diente dabei, auszuloten, welche Messreihen für die Musik-Generierung praktikabel sind. Insbesondere Parameter, welche sehr ähnlich zu anderen sind, wurden nicht weiterverwendet, so zum Beispiel Chill und Temperatur.

Die *Version 3.04.1* ist eine andere Messperiode vom 1.8.2019 bis zum 28.8.2019. Zehn Parameter wurden heruntergeladen:

- Lufttemperatur auf 2 m in °C
- Bodentemperatur 20 cm unter der Oberfläche in °C
- Niederschlagsmenge Zehnminutensumme in mm
- Relative Luftfeuchtigkeit auf 2 m in %
- Windgeschwindigkeit Zehnminutenmittel in m/s
- Windrichtung Zehnminutenmittel in °
- Luftdruck auf Stationshöhe in hPa
- Globalstrahlung Zehnminutenmittel in W/m²

³⁵ «40'400 Blitze – zwei Swiss-Maschinen getroffen», Tages Anzeiger vom 6.8.2019, <https://www.tagesanzeiger.ch/panorama/vermischtes/meteorologen-warnen-vor-heftigem-unwetter/story/13365631>, Zugriff 19.10.2019

- Anzahl Blitze in Zehnminuten im Umkreis von 3 – 30 km
- Sichtweite in m

Diese Messparameter verhalten sich grösstenteils unabhängig und haben so wenig Ähnlichkeiten.

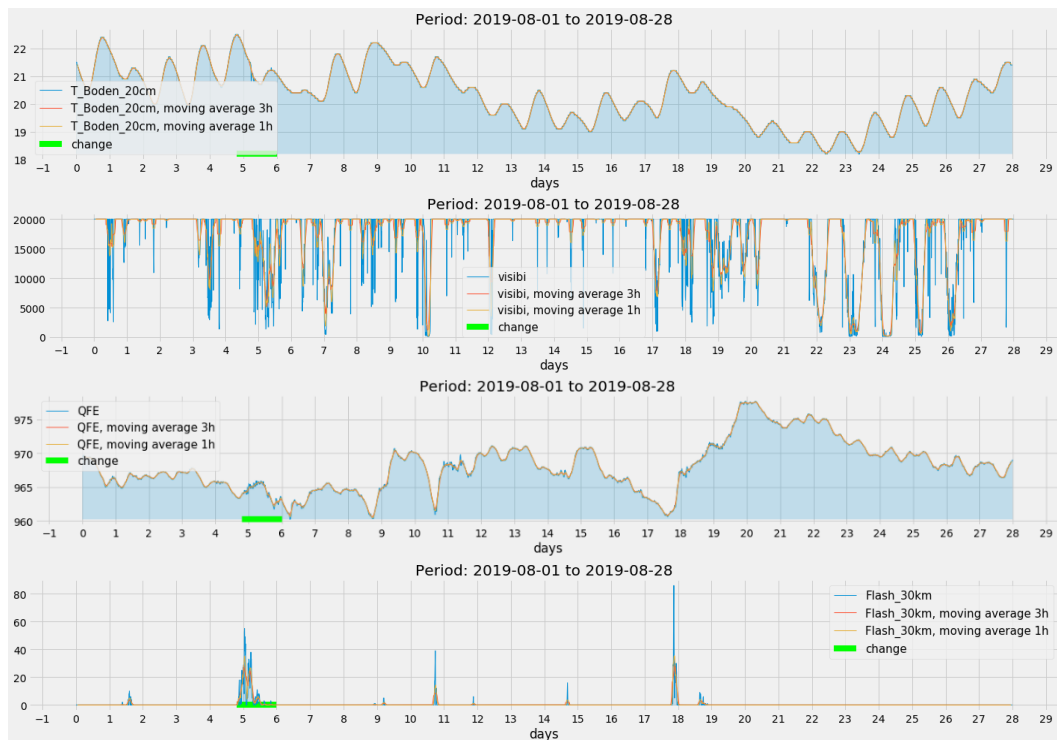


ABB. 17 DREI MESSREIHEN-BEISPIELE VON KLOTEN IM AUGUST 2019. VERSION 3.04.1
BODENTEMPERATUR 20 CM, SICHTWEITE, LUFTDRUCK AUF STATIONSHÖHE, ANZAHL BLITZE IM UMKREIS VON 3 BIS 30 KM.

6.4.3 | Daten transformieren

Version 3.01 und 3.02

Die Daten lassen sich unbearbeitet nicht verwenden. Die Messwerte sind viel zu hoch oder deren Spannbreite zu gross, um sie direkt in eine Melodie zu überführen. Deshalb werden die Messwerte zuerst transformiert. Die wichtigste Aktion dabei ist, die Messreihe mit einem Faktor zu multiplizieren. So erreichen die Werte die gewünschte Spannbreite.

Die Wetterdaten enthalten viele kurzzeitige und kleine Messspitzen, welche ein feines Rauschen auf den Daten verursachen. Damit das Rauschen weniger Einfluss hat, werden die Daten geglättet. Für die Melodie-Generierung wird nicht jeder Messwert verwendet. Mit der der Glättung wird erreicht, dass ein verwendeter Messwert nicht auf eine kleine Messspitze zu liegen kommt und so das Ergebnis verfälscht. Der gleitende Mittelwert wird für die Glättung verwendet. Die Anzahl Messwerte für den gleitenden Mittelwert kann für jeden Parameter eigenständig bestimmt werden. In den meisten Beispielen werden sechs Werte als Mittelwert benutzt, welche zusammen einen Bereich von einer Stunde abdecken.

6.4.3.1 | Zeitverhältnis

Bevor die Meteodaten zu Musik werden, ist die Bestimmung der zeitlichen Verhältnisse notwendig. Sowohl Wetter als auch Musik sind Zeit Ereignisse. Die Wetterveränderungen sind allerdings träger und langsam im Vergleich zur Musik. Deshalb müssen die Wetterdaten zeitlich skaliert werden. Es werden zwei Faktoren eingesetzt. Erstens das Tempo der Musik. Es ist in Schlägen pro Minute angegeben. Abgekürzt bpm (Beats per minutes). Zweitens ein Faktor, der definiert, wie viele Minuten in den Meteodaten pro Musikschlag vergehen sollen. Also Anzahl Minuten pro Schlag. Im Programm wird die eigenkrierte Abkürzung mpb für minutes per beat benützt.

In den Beispielen wird weitgehend das Tempo 120 bpm genutzt. Für die Anzahl Minuten pro Schlag erweisen sich 60 bis 120 mpb als sinnvoll. Bei 70 mpb vergehen somit in einer Minute Musik 8400 Minuten Meteo. Dies entspricht 5 Tagen und 20 Stunden.

$$120 \frac{\text{beat}}{\text{min}_{\text{Musik}}} \times 70 \frac{\text{min}_{\text{Meteo}}}{\text{beat}} = 8400 \frac{\text{min}_{\text{Meteo}}}{\text{min}_{\text{Musik}}}$$

Die Meteodaten haben eine Auflösung von 10 Minuten (sechs pro Stunde). Eine Minute Musik beinhaltet somit 840 Messwerte, was 14 Messwerte pro Sekunde entspricht.

6.4.4 | Meteomelodie

Version 3.01 und 3.02

In diesen Versionen werden erste Versuche mit den Meteodaten gestartet. Zuerst nur für die Melodiebildung. Die restlichen Parameter werden wie bisher manuell gesetzt.

Zuerst wird der Rhythmus durch gesteuerten Zufall erzeugt. Welche Messwerte für die Melodiebildung aus den geglätteten Daten benötigt werden, kann mit den Zeitverhältnissfaktoren ausgerechnet werden. Es ist jeweils immer jener Messwert relevant, welcher dem Zeitpunkt des Notenbeginns gegenübersteht. Die Werte zwischendrin werden nicht beachtet. Da die Messwerte mit dem gleitenden Mittelwert geglättet wurden sind Messespitzen wie ein Blitz auf mehrere Werte verteilt. So werden die Messespitzen, z.B. das Ereignis Blitz nicht «verpasst», auch wenn die Messespitzen zwischen die rhythmisierten Noten zu liegen kommen.

Die Tonhöhe der ersten Note wird von Hand bestimmt. Das Intervall zur nächsten Note wird durch die transformierten Meteodaten ausgerechnet. Zuerst werden die transformierten Messwerte der aktuellen und der folgenden Note ausgelesen. Die Differenz der beiden Werte wird ganzzahlig gerundet und als Intervall verwendet. Die Intervalle beziehen sich nicht auf die Tonleiter mit allen Tönen, sondern auf die vorgegebene Skala. So bedeutet eine Differenz von minus zwei, den Ton zwei weiter unten in der Skala und nicht zwingend eine absteigende Terz.

Der Transformation-Faktor und die Anzahl verfügbarer Noten in der Skala sind entscheidend, wie gross die Intervalle ausfallen. Besteht die Skala aus einer kompletten Tonleiter mit sieben unterschiedlichen Tönen, so kann der Transformations-Faktor etwas grösser sein. Sind hingegen nur drei Akkordtöne in der Skala vorhanden, so bewegt sich die Meteomelodie in einem grösserem Tonraum. Dies, weil die nächst höhere Note folglich direkt eine Terz oder

Quarte ist. Um den wegen der Skala vergrößerten Tonraum anzupassen, wird der Transformation-Faktor verkleinert.

Beispiel [3.02 | tune_U](#)

- Das Stück beginnt am 31.8.2019 um ca. acht Uhr und dauert zwei Tage und acht Stunden.
Daten: [Version 3.01.1](#)
- Tempo 120 bpm
- Anzahl Wetterminuten pro Musik-Schlag: 70 mpb
- Rhythmus ist durch gesteuerten Zufall generiert
- Die glockenähnliche Crotales Stimme wird durch die Windgeschwindigkeit erzeugt. Die Messwerte werden mit dem Faktor 4.5 multipliziert. Es werden jeweils zwei Werte für die gleitenden Mittelwerte benutzt.
- Die relative Luftfeuchtigkeit bildet die Streicherstimme. Der Faktor 0.3 transformiert die Daten in die gewünschte Spannbreite. Der gleitende Mittelwert wird über sechs Werte gebildet.

♩ = 120

Crotales, Track 0

Violins, Track 1

4

Cro.

Vlns.

7

Cro.

Vlns.

11

Cro.

Vlns.

ABB. 18 TUNE_U

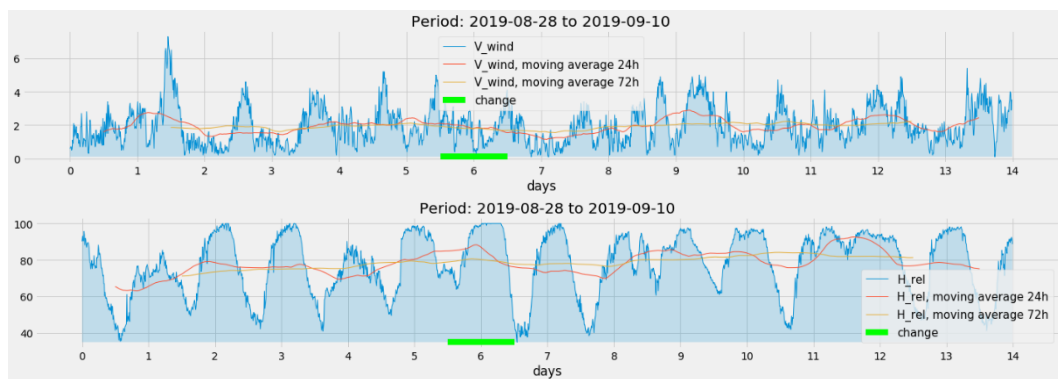


ABB. 19 MESSDATEN KLOTEN: WINDGESCHWINDIGKEIT UND RELATIVE LUFTFEUCHTIGKEIT

6.4.5 | Akkordabfolge

Version 3.03

In dieser Version werden analog, wie in der Musik-Generierung ohne Meteodaten, Akkordfolgen eingeführt. Dabei wird die Skala der spielbaren Töne während eines Stückes gewechselt.

6.4.5.1 | Kontrapunktisches Verhalten

Interessant im 3.03 | *tune_W* ist das Verhalten der Lufttemperatur und der relativen Luftfeuchtigkeit. Während die Luftfeuchtigkeit ihre höchsten Werte nachts erreicht, sind sie bei der Temperatur am Nachmittag. Die Messparameter verhalten sich gegensätzlich. Deshalb verlaufen die beiden Melodien ebenfalls gegenläufig und bilden so kontrapunktische Effekte. Die Stimmen bewegen sich im selben Tonumfang. Dadurch kreuzen sich die Stimmen ständig und wechseln sich in der Oberstimme ab. Damit mehrere Stimmkreuzungen in sinnvoller Zeit geschehen, sind die Anzahl Wetterminuten pro Schlag mit 120 mpb eher hoch.

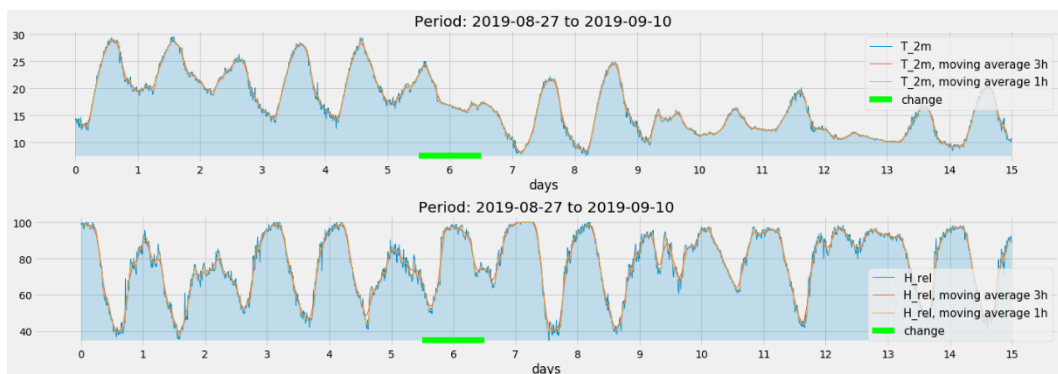


ABB. 20 MESSDATEN KLOTEN: LUFTTEMPERATUR UND RELATIVE LUFTFEUCHTIGKEIT

- Das Stück beginnt am 27.8.2019 um ca. zehn Uhr und dauert fünf Tage. Daten: *Version 3.03.1*
- Folgend Akkordfolge wird wiederholt: | Cm | Ab | Fm | Ddim | G7 | Cm | Fm | G7 |
- Die Temperatur reguliert die Klarinette
- Das Fagot wird von der Luftfeuchtigkeit beeinflusst.
- Beide Stimmen haben dieselbe Rhythmus-Häufigkeitsverteilung.

♩ = 120

Bassoon, Track 0

Bass Clarinet, Track 1

Bsn.

B. Cl.

6

12

ABB. 21 TUNE_W

6.4.6 | Pauke

Version 3.04

Die verwendete Bibliothek Pyknon erlaubt keinen Zugriff auf das MIDI-Schlagzeug. Die Pauke ist eines der wenigen trommelähnlichen Schlaginstrumente. Deshalb wird die Pauke als Rhythmusinstrument genutzt. Es liesse sich auch ein anders Instrument einsetzen. Da in diesem Fall der Rhythmus gleichmässig sein soll, wird er weder durch Meteodaten oder gesteuerten Zufall erzeugt. Der manuell erstellte Rhythmus wird wiederholt und bildet so eine konstante Perkussionsstimme. Die Tonhöhe der einzelnen Noten im Rhythmus kann ebenfalls bestimmt werden. Die Pauke wird stets mit einer Lautstärken-Regulierung durch Meteodaten verknüpft.

6.4.7 | Lautstärke durch Meteo

Version 3.04

Bei der Lautstärkenregelung durch Messwerte müssen diese ebenfalls transformiert werden, damit sie die gewünschte Spannbreite erhalten. Im Gegensatz zur Melodiebildung, werden hier die Messwerte und nicht deren Differenz benutzt. Deshalb wird die Messreihe noch mit einer von Hand bestimmten Zahl addiert, um ungefähr den Bereich zwischen 0 und 127 zu erreichen, denn im MIDI-Format wird das Volumen in diesem Zahlenbereich bestimmt. Werte über 127 werden plafoniert, da sie bereits die höchste Lautstärke überschritten haben. Wie stark sich das Volumen einer Stimme verändert, hängt massgeblich mit dem Transformations-Faktor zusammen.

Im 3.04 | [tune_304_A](#) wird das Volumen der Paukenstimme durch die Regenmenge beeinflusst. Die Intensitätsschwankungen des Niederschlages sind gut zu hören. Für die Pauke wird ein

etwas unkonventioneller Rhythmus von abwechselnd einem Sechzehntel und einem punktierten Sechzehntel verwendet. Die Tonhöhen wechseln hingegen im Dreiertakt zwischen C, Dis und Fis ab. Der Rhythmus wird von Musescore leider «gerundet», so dass er nicht mehr regelmässig ist. Mit der MIDI-Datei kann der Rhythmus korrekt wiedergegeben werden.

- Das Stück beginnt am 5.8.2019 um ca. 20 Uhr und dauert zwei Tage und 12 Stunden.
Daten: [Version 3.04.1](#)
- C-Dur wird als Skala benützt
- Zwei Streicherstimmen erhalten ihre Melodie von der Temperatur und dem Luftdruck.
Beide Stimmen spielen in einem eher grossen Umfang von drei Oktaven.
- Die Lautstärke der Pauke wird von der Niederschlagsmenge definiert.

♩ = 120

Violoncellos, Track 0

Violas, Track 1

Timpani, Track 2

Vcs.

Vlas.

Timp.

ABB. 22 TUNE_304_A, ERSTEN ZWEI SYSTEMEII SYSTEME

6.4.8 | Stimme an- und ausschalten

Alle Stimmen spielen dauernd bis auf einige Pausen, welche durch gesteuerten Zufall eingefügt werden. Um Stimmen auf längeren Abschnitten zu pausieren, können sie in Abhängigkeit von Meteodaten, stummgeschaltet werden. Dafür wird ein Wertebereich definiert. Befindet sich der Messwert innerhalb dieses Bereichs wird die Note in der bereits bestimmten Lautstärke gespielt. Befindet sich der Wert ausserhalb, wird die Note in eine Pause umgewandelt, indem die Lautstärke auf Null gesetzt wird.

Der entsprechende Messwert für die An- und Ausschaltung wird ähnlich wie bei der Melodiebildung, mittels Rhythmus und den Wetterminuten zu Musikschlagverhältnis ausgerechnet. Der transformierte Messwert wird dann mit dem Bereich abgeglichen.

Diese Funktion eignet sich besonders für Meteoparameter, welche teilweise konstant sind. Zum Beispiel Niederschlagsmenge, Blitze oder die relative Luftfeuchtigkeit (nachts oder bei Regen, wenn sie bei 100% liegt).

Im 3.05 | [tune_305_A](#) wird die Globalstrahlung für die Melodiegenerierung und Stummschaltung benützt. Nachts ist die Globalstrahlung, da die Sonne nicht scheint, gleich Null. Sie ist auch bei bewölktem Wetter tiefer. Ohne An- und Ausschaltfunktion würde die Melodie nachts dauernd denselben Ton spielen. Dies ist nicht erwünscht. Deshalb wird die Melodie, sobald die Messwerte eine bestimmte Grenze unterschreiten, stumm geschaltet. Nach oben ist die Grenze so hoch angesetzt, dass sie keinen Einfluss hat. Der Bereich, in dem die Melodie erklingt, ist zwischen 5 und 20'000. Der höchste Messwert der Globalstrahlung für den August 2019 liegt bei 1'000 W/m².

- Das Stück beginnt am 11.8.2019 um ca. 16 Uhr und dauert vier Tage und 11 Stunden.
Daten: [Version 3.04.1](#)
- C-Dur wird als Skala benutzt.
- Die Cortales spielen die Globalstrahlung. Diese wird ausserhalb des Beiches 5 – 20'000 pausiert. Sie sind nachts deshalb pausiert.
- Zwei Pianos spielen die Melodie von Luftdruck und Temperatur.
- Der Cortales- und der Pianorhythmus sind durch gesteuerten Zufall generiert.
- Die Pauke spielt einen regelmässigen Sechzehntel-Rhythmus mit den tönen C und Es. Ihre Lautstärke wird durch die Niederschlagsmenge beeinflusst.

♩ = 120

Piano, Track 0

Piano, Track 1

Timpani, Track 2

Crotales, Track 3

4

Pno.

Pno.

Timp.

Cro.

ABB. 23 TUNE_305_A, ERSTE BEIDE SYSTEME

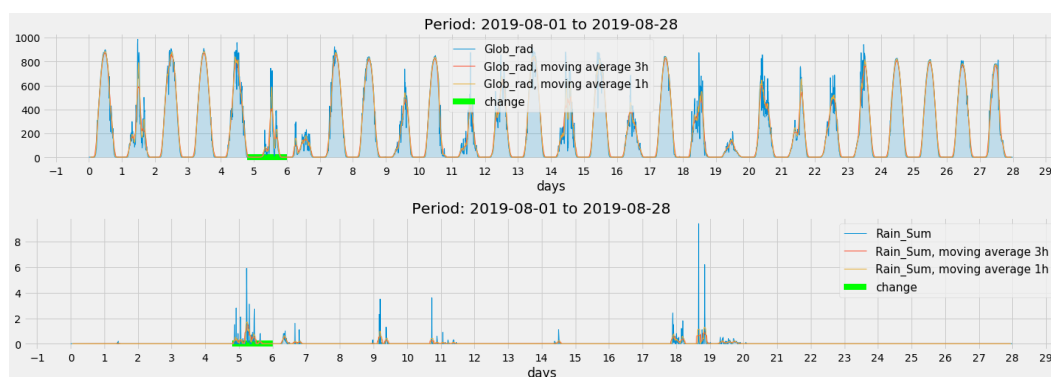


ABB. 24 MESSDATEN KLOTEN: GLOBALSTRAHLUNG UND NIEDERSCHLAGSMENGE IN 10 MIN

6.4.9 | Akkordfolge in Abhängigkeit von Meteodaten wechseln

Version 3.06

Die Akkordfolge kann nun in Abhängigkeit eines Meteoparameters im Stück geändert werden. Dafür werden zwei Akkordfolgen und eine Schlussfolge manuell definiert. Die beiden Akkordfolgen haben Idealerweise einen Zusammenhang wie ein A und B Teil eines Stückes. Möglich ist auch, nur zwei Tonleitern für die beiden Akkordfolgen zu definieren. Beim Wechsel wird dann in eine andere Tonart oder Modus moduliert. Die Akkordfolge wird nur einmal geändert. Der Wechsel erfolgt in Abhängigkeit eines frei wählbaren Messparameters. Dafür muss ein Schwellenwert von Hand definiert werden. Sobald der Schwellenwert in den Transformaten Messdaten überschritten wird, erfolgt der Akkordfolgenwechsel.

Im *tune_306_A | 3.06* dient C-Dur für den Ersten und c-Moll für den zweiten Teil. Sobald sich das erste Mal mehr als 15 Blitze pro 10 Minuten ereignen, wird die Tonart gewechselt. Die Daten stammen vom Gewitter am 6.8.2019. Deswegen erfolgt der Akkordfolgenwechsel zeitgleich mit dem Einsatz der Pauke, da sie durch die Niederschlagsmenge und die Blitzte gesteuert sind.

- Das Stück beginnt am 3.8.2019 um 14 Uhr und dauert 5 Tage und 3 Stunden. Daten: *Version 3.04.1*
- Die Tonart wird von C-Dur zu C-Moll gewechselt sobald es 15 mal innerhalb von 10 Minuten im Umkreis von 3 bis 30 km geblitzt hat.
- Die Cortales spielen die Globalstrahlung. Sie sind nachts Stummgeschaltet.
- Der Oboe wurde der Luftdruck zugewiesen.
- Die Klarinette spielt die Melodie der Temperatur.
- Die Pauke spielt einen regelmässigen Sechzehntel-Rhythmus mit den tönen C und Es. Ihre Lautstärke wird durch die Niederschlagsmenge beeinflusst.
- Alle Rhythmen bis auf die der Pauken sind mit gesteuertem Zufall generiert.

$\text{♩} = 120$

Heckelphone, Track 0

Contrabass Clarinet, Track 1

Timpani, Track 2

Crotales, Track 3

Hph. 4

Cb. Cl.

Timp.

Cro.

ABB. 25 TUNE_306_A, ERSTE BEIDE SYSTEME

7 | Reflexion

Es ist möglich Meteodaten in Musik zu transformieren. Das Ziel der Maturaarbeit ist erreicht worden, was nicht von Anfang an klar war. Mit der entwickelten Software ist es gelungen Meteodaten einzulesen, zu transformieren, musiktheoretische Strukturen einzubauen und die kreierte Musik auch wiederzugeben. Das Entwicklungskonzept wurde eingehalten und ermöglicht eine weitere modulartige Fortsetzung des Projektes. Mit dieser Entwicklungsart konnte bereits ab dem ersten Beispiel das Resultat angehört werden. Das hat sich bewährt, da so der Einfluss von Veränderungen direkt angehört werden konnte.

Die Dokumentation hat gut funktioniert. Die Website kann entweder von Beginn an studiert oder als Nachschlagewerk für die einzelnen Funktionen benutzt werden. Read the Doks hat allerdings Einschränkungen, bezüglich der Konfiguration und der Installation von zusätzlichen Softwarepaketen auf Sphinx. Dies brachte Probleme bei der Syntaxhervorhebung mit sich. Diese konnten aber umgangen werden. Zukünftig würde ich deshalb auf GitHub Pages anstatt Read the Doks setzen.

Die Schwierigkeit dieser Arbeit war, ein Ende zu finden. Es besteht immer noch Verbesserungspotenzial. Das Projekt lässt sich ständig erweitern und neue Prinzipien und Funktionen lassen sich hinzufügen. Wie bei einem Komponisten ist das Endprodukt von dieser Maturaarbeit Musik. Ein Komponist überarbeitet seine Stücke mehrmals. Dennoch gibt es oft Abschnitte, mit denen man noch nicht ganz zufrieden ist. Ähnlich ist es auch bei diesem Projekt. Es existieren noch eine Vielzahl an Ideen, welche in die Musikgenerierung eingebaut werden könnten. Gewisse Ideen öffnen wieder ein grosses Feld für weitere Entwicklungen. Andere versprechen vom Konzept her bessere Resultate, weil sie ein Problem des bisherigen Konzeptes lösen. Ob das neue Konzepte dann die Erwartungen erfüllen wird, steht wiederum in den Sternen.

7.1 | Weitere Entwicklungsmöglichkeiten

Hier wird eine Auswahl an Ideen beschreiben, welche weiterverfolgt werden können. Einige sind gut in das bestehende Programm integrierbar. Andere verfolgen ein neues Konzept für einen Musikparameter, zum Beispiel die Melodiebildung. Manche Ideen bauen auf der Musik-Generierung ohne Meteodaten auf. Verbesserung der Daten-Transformierung steht bei anderen im Vordergrund. Die folgenden Möglichkeiten werden nicht bis ins Detail beschrieben, da es sich bei einigen erst um ungeprüfte Ideen handelt.

7.1.1 | Akkordfolgen

Die Akkordfolgen sind bis jetzt jeweils von Hand fest für ein Stück einprogrammiert worden. Dies finde ich schade, da die Harmonieschemas eine der wichtigsten Musikstrukturen sind, welche wir wahrnehmen. Aber Harmonieschemas sind komplex und erlauben nicht einfach willkürlich Akkorde aneinander zu reihen. Eine Möglichkeit wäre eine sogenannte Überganges Matrix von Akkorden eines Stückes zu kreieren (z.B. des C-Dur Präludiums von J. S. Bach). Dabei würde aus dem Stück analysiert, welche Folgeakkorde eines Akkordes existieren. Zudem

muss gezählt werden wie oft die Folgeakkorde jeweils vorkommen. Von jedem im Stück vorkommenden Akkord wird so eine Häufigkeitsverteilung der Folgeakkorde ausgerechnet.

Beim Generieren einer Akkordfolge würde mittels der Häufigkeitsverteilung des momentanen Akkordes der nächste ausgewählt. So entsteht eine Akkordfolge, die anders ist als die originale, aber mit denselben Akkordwechsel-Häufigkeiten.

7.1.2 | Rhythmus

Der Rhythmus der Melodien wird bis anhin nur durch gesteuerten Zufall kreiert. Es bilden sich dadurch einfach Synkopen oder unkonventionelle rhythmische Formen. In der realen Musik überschreitet der Rhythmus viel seltener den Takt oder gar die Taktmitte als in der in dieser Arbeit generierten Musik. Dies passiert mit der bisherigen Methode relativ oft. Anstatt einzelne Notenwerte, könnten Rhythmspäckchen durch gesteuerten Zufall ausgewählt werden. Die Päckchen bilden halb oder ganztaktige Rhythmus-elemente, die aneinandergereiht würden.

Meteo Daten haben momentan keinen Einfluss auf den Rhythmus. Wenn die Rhythmus-Generierung auf ähnliche Art und Weise wie diejenige der Melodie-Generierung mittels Meteodaten umgesetzt wird, besteht die Gefahr, dass der Rhythmus repetitiv und eintönig wird. Anstatt die Meteodaten geradlinig den Rhythmus kreieren zulassen, könnten sie die Häufigkeitsverteilung der Rhythmus-Generierung während des Stückes beeinflussen. So könnten bei Sturm grundsätzlich etwas kürzere Notenwerte generiert werden, aber nicht ausschliesslich.

7.1.3 | Trennung von Tagesschwankungen und Wetterumbrüchen

Die Tagesschwankungen haben bei vielen Messparametern einen grösseren Einfluss als die Wetterumbrüche. Um Wetter Ereignisse besser in der Musik widerspiegeln zu können, müssten diese von den Tagesschwankungen getrennt werden. Die separierten Messkurven liessen sich mit einem unterschiedlichen Faktor skalieren, um sie danach wieder zusammen zu rechnen. Der Tagesgang und die Wetterlage könnten so unterschiedlich gewichtet werden.

Eine Möglichkeit den Tagesgang zu eruieren, ist den mittleren Tagesgang zu errechnen. Dabei werden immer die Messwerte derselben Uhrzeit über die gesamte Periode gemittelt. Daraus ergibt sich der durchschnittliche Tagesgang.

7.1.4 | Melodiebildung

In der Melodie-Generierung können jeweils nur die in der Skala definierten Töne gespielt werden. Wenn eine ganze Tonleiter in der Skala definiert ist, so können gleichzeitig keine Akkordfolgen gespielt werden. Sind die Akkordtöne in der Skala eingefügt, werden ausschliesslich diese gespielt. Melodien bestehen aber nicht ausschliesslich aus Akkordtönen. Zwar können die einzelnen Skalen der Stimmen variieren, dies hat aber nur beim Blues-Schema mit Bluestonleiter überzeugt.

Folgendes Konzept würde es erlauben, in einer Melodie akkordfremde oder gar tonartfremde Noten mit verringerter Wahrscheinlichkeit, als Durchgangstöne zu nutzen. Dafür würden drei Häufigkeitsverteilungen genutzt:

- Ein Akzeptanzbereich, der einer Stimme den Tonumfang vorgibt, in welcher sich die Melodie bewegen darf. Dies wurde bereits in ähnlicher Form umgesetzt.
- Intervall-Häufigkeiten für die nächste Note. Falls Meteodaten zu Melodiebildung verwendet werden, könnten sie über diese Verteilung Einfluss nehmen. Auch diese Funktion wurde bereits in ähnlicher Form umgesetzt.
- Anstatt einer Skala mit einzelnen Tönen, wären alle Noten in der Skala enthalten. Die einzelnen Noten erhielten aber unterschiedliche Wahrscheinlichkeiten in Abhängigkeit von ihren Funktionen. Akkordtöne bekämen hohe, sonstige Tonleiter-töne mittlere und Tonleiterfremde eine niedrige Wahrscheinlichkeit zugeschrieben.

Die drei Häufigkeitsverteilungen würden auf eine noch eine nicht eruierte Art verrechnet und würden so eine Gesamtwahrscheinlichkeit für die nächste Note bilden.

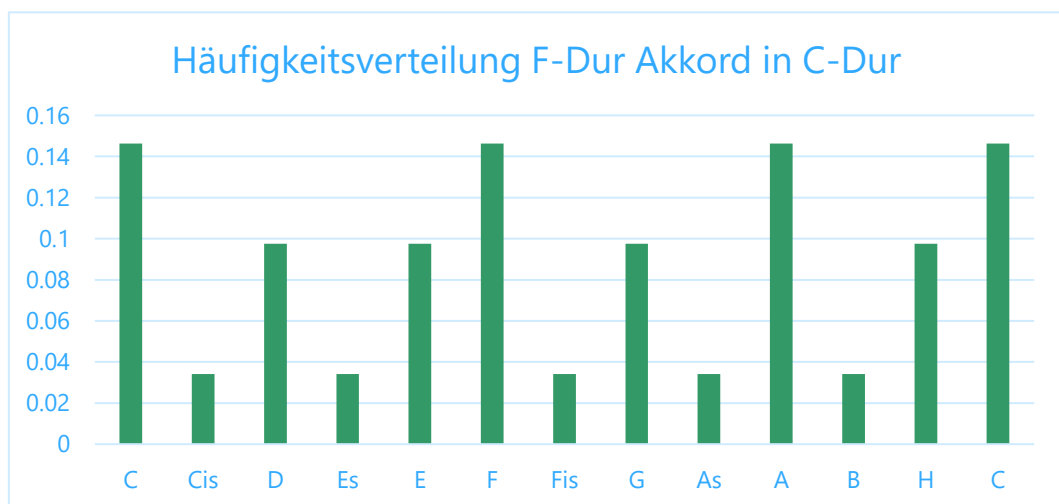


ABB. 26 MÖGLICHE HÄUFIGKEITSVERTEILUNG FÜR EINE SKALA IN C-DUR MIT F-DUR AKKORD

7.1.5 | Stimmen untereinander verknüpfen

Die Stimmen verhalten sich relativ selbständig. Durch das Arrangieren bekommt eine Stimme meistens eine gewisse Funktion zugeteilt. So bildet sie zum Beispiel zusammen mit anderen Stimmen Akkorde oder sie soliert eine Melodie über der Begleitung. Ansonsten sind die Stimmen nicht voneinander abhängig. Dies könnte verbessert werden, in dem zum Beispiel alle Stimmen zusammen einen Akkord in eine bestimmte Umkehrung versetzen. Denkbar ist es auch, Generalpausen für alle Stimmen einzuführen.

7.1.6 | Künstliche Intelligenz

Künstliche Intelligenzen waren ganz bewusst kein Teil der Maturaarbeit. Dies sind Computerbetriebene neuronale Netzwerke, welche selbständige Entscheidungen fällen. Zuerst muss ein neuronales Netzwerk trainiert werden. Für einzelne Musikparameter ist es denkbar, ein neuronales Netzwerk zu verwenden. Gut bietet sich dafür zum Beispiel die Harmonie an. So würde eine künstliche Intelligenz vorerst nur die Akkorde eines Stückes bestimmen.

7.2 | Schlusswort

Das Umsetzen meiner Maturaarbeit hat mir viel Freude bereitet. Mit diesem Projekt konnte meine Programmier- und Musikanalytischen Fertigkeiten verbessern. Ich habe viel Zeit in die Arbeit investiert. Dabei ist ein ganzes Projekt entstanden, welches weitergeführt werden kann. Ich werde meine Arbeit bei Schweizer Jugend Forscht für den Nationalen Wettbewerb anmelden.

8 | Quellen

8.1 | Bücher und Artikel

- Bauer Jürgen, Englert Wolfgang, Meier Uwe, Morgeneyer Frank, Waldeck Winfried, Physische Geographie (Hannover: Schroedel Verlag, 2001)
- Duden: Die deutsche Rechtschreibung (Mannheim, Bibliographisches Institut & F.A. Brockhaus AG, 2004)
- Humphries Carl, Das Klavier Handbuch (Bonn: Voggenreiter Verlag GmbH, 2005)
- Levine Mark, Das Jazz Piano Buch (Mainz: advance music GmbH, 1992)
- Lehmann Florian A., Ruoss Anja, sda, «40'400 Blitze – zwei Swiss-Maschinen getroffen», Tages Anzeiger vom 6.8.2019, <https://www.tagesanzeiger.ch/panorama/vermisches/meteorologen-warren-vor-heftigem-unwetter/story/13365631>, Zugriff 19.10.2019
- Roederer Juan G., The Physics and Psychophysics of Music: An Introduction (New York: Springer Science+Business Media LLC, 2008)
- Rietz Helga, «Lauschangriff im Namen der Wissenschaft», Neue Zürcher Zeitung, <https://www.nzz.ch/wissenschaft/mit-den-ohren-der-wissenschaft-ld.1320295>, 6.10.2017
- St George Scott, Crawford Daniel, Reubold Todd, Giorgi Elizabeth, «Making climate data sing», <https://experts.umn.edu/en/publications/making-climate-data-sing-using-music-like-sonifications-to-convey>, Zugriff am 24.10.2019

8.2 | Webdokumente

- «Analyzing Six Deep Learning Tools for Music Generation», The Asimov Institute, <https://www.asimovinstitute.org/analyzing-deep-learning-tools-music/>, Zugriff am 22.10.2019
- «CompiFONT.sf2», <https://pphidden.wixsite.com/compifont>, Zugriff am 7.10.2019
- «Datenportal für Lehre und Forschung», Meteo Schweiz, <https://www.meteoschweiz.admin.ch/home/service-und-publikationen/beratung-und-service/datenportal-fuer-lehre-und-forschung.html>, Zugriff am 19.10.2019
- «FluidSynth», <http://www.fluidsynth.org/>, Zugriff am 7.10.2019
- «From Scratch: Bayesian Inference, Markov Chain Monte Carlo and Metropolis Hastings, in python», Towards Data Science, <https://towardsdatascience.com/from-scratch-bayesian-inference-markov-chain-monte-carlo-and-metropolis-hastings-in-python-ef21a29e25a>, Zugriff am 31.10.2019
- «General MIDI», Wikipedia, https://en.wikipedia.org/wiki/General_MIDI#Parameter_interpretations, Zugriff am 7.10.2019
- «Georgia on My Mind», Jazz Standards, <http://www.jazzstandards.com/compositions-0/georgiaonmymind.htm>, Zugriff am 17.10.19
- GitHub, <https://github.com/>, Zugriff am 7.10.2019
- Hermann Thomas, «Sonification – A Definition», <https://sonification.de/son/definition/>, Zugriff am 7.10.2019
- Jupyter, <https://jupyter.org/>, Zugriff am 7.10.2019
- Matplotlib, <https://matplotlib.org/>, Zugriff am 7.10.2019
- MIDI Manufacturers Association (MMA), <https://www.midi.org/>, Zugriff am 7.10.2019
- Musescore, <https://musescore.org>, Zugriff am 7.10.2019
- Music for Geeks and Nerds», Pedro Kroger, <https://pedrokroger.net/mfgan/>, Zugriff am 7.10.2019
- NumPy, <https://numpy.org/>, Zugriff am 7.10.2019
- pandas, <https://pandas.pydata.org/>, Zugriff am 7.10.2019
- Pyknon, <https://kroger.github.io/pyknon/>, Zugriff am 7.10.2019

Python Software Foundation, <https://www.python.org/>, Zugriff am 7.10.2019

Read the Docs, <https://readthedocs.org/>, Zugriff 7.10.2019

«Soundfont», Musescore, <https://musescore.org/de/node/101>, Zugriff am 7.10.2019

Sphinx, <https://www.sphinx-doc.org/en/master/>, Zugriff am 7.10.2019

The BachBot Challenge, <https://bachbot.com/>, Zugriff am 22.10.2019

«VLC media player», VideoLAN organization, <https://www.videolan.org/vlc/>, Zugriff am 7.10.2019

«Windchill», Meteo Schweiz,

<https://www.meteoschweiz.admin.ch/home/wetter/wetterbegriffe/windchill.html>, Zugriff am 19.10.2019

8.3 | Abbildungsverzeichnis

Titelbild Wolken, Eigene Aufnahme

Titelbild Diagramme

Titelbild Partitur

Titelbild Orchester, «Vienna Mozart Orchestra», Wikipedia,

https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Vienna_Mozart_Orchestra.JPG, Zugriff am 3.11.2019

Abb. 1 Übersicht Rhythmik; «Metrum-takt-rhythmus», Wikipedia,

<https://de.wikipedia.org/wiki/Datei:Metrum-takt-rhythmus.svg>, Zugriff am 9.10.2019

Abb. 2 tune_E, Das Tenorsaxofon ist ein Bb-Instrument

Abb. 3 tune_I

Abb. 5 tune_J

Abb. 4 tune_J, Häufigkeitsverteilung Rhythmus

Abb. 6 tune_K

Abb. 7 Häufigkeitsverteilung Melodie tune_M

Abb. 8 tune_M, Letzter Takt abgeschnitten

Abb. 9 Beispiel: Akzeptanzbereiche

Abb. 10 tune_Q

Abb. 11 tune_S

Abb. 12 tune_209_B, Streichquartett

Abb. 13 tune_2.09_D, Jazz Vibraphon Erstes System der Partitur

Abb. 14 tune_211_A, C-Dur Präludium, Erstes System

Abb. 15 tune_212_A, Georgia on my mind, Erstes System

Abb. 16 Schematischer Durchgang einer Zyklone Bauer Jürgen, Englert Wolfgang, Meier Uwe, Morgeneyer Frank, Waldeck Winfried, Physische Geographie (Hannover: Schroedel Verlag, 2001)

Abb. 17 Drei Messreihen-Beispiele von Kloten im August 2019. Version 3.04.1 Bodentemperatur 20 cm, Sichtweite, Luftdruck auf Stationshöhe, Anzahl Blitze im Umkreis von 3 bis 30 Km.

Abb. 18 tune_U

Abb. 19 Messdaten Kloten: Windgeschwindigkeit und relative Luftfeuchtigkeit

Abb. 20 Messdaten Kloten: Lufttemperatur und relative Luftfeuchtigkeit

Abb. 21 tune_W

Abb. 22 tune_304_A, Ersten zwei Systeme

Abb. 23 tune_305_A, Erste beide Systeme

Abb. 24 Messdaten Kloten: Globalstrahlung und Niederschlagsmenge in 10 min

Abb. 25 tune_306_A, Erste beide Systeme

Abb. 26 Mögliche Häufigkeitsverteilung für eine Skala in C-Dur mit F-Dur Akkord