

## Vergleichende Analyse der Komplexität musikalischer Dimensionen von Klavierwerken europäischer Komponisten anhand von MIDI-Files

Mihail Miller<sup>1</sup>

**Abstract:** Die vorliegende Arbeit analysiert mithilfe von objektiven Metriken Musikwerke namhafter europäischer Komponisten, die für Klavier und Cembalo geschrieben wurden, explorativ in Bezug auf die Komplexität ihrer musikalischen Dimensionen. Die für diese Analyse notwendigen Messungen wurden an 311 annotierten mehrspurigen MIDI-Files vorgenommen. Das Korpus wurde deskriptiv-statistisch untersucht. Abschließend wurden die Ergebnisse auf ihre Plausibilität und ihre Aussagekraft im Bezug auf das zeitgeistige Musikverständnis der erfassten Zeiträume geprüft.

**Keywords:** Komplexität; MIDI-Files; Analyse; quantitativ; Klavier; Cembalo; Komponisten

### 1 Einleitung

Den Musikwerken europäischer Komponisten werden zur Beschreibung ihres Stils von Fachkreisen charakteristische Merkmale zugewiesen. Auch auf epochaler Ebene werden unterschiedliche Eigenschaften musikalischer Strömungen beschrieben. So schreiben Fachkreise der (Wiener) Klassik<sup>2</sup> im Vergleich zum Barock eine einfachere Harmonik zu. Solche oder ähnliche Attribuierungen lassen sich jedoch bisher nur qualitativ aufstellen und sind nur intersubjektiv nachprüfbar. Die Motivation der vorliegenden Arbeit besteht darin, die Komplexität von 311 diachron eingeordneten Klavier- bzw. Cembalowerken namhafter Komponisten europäischer Kunstmusik mithilfe von objektiven Metriken zu berechnen und deskriptiv-statistisch zu untersuchen. Weiterhin sollen Korrelationen der Metriken berechnet werden, um auf eventuelle Interdependenzen schließen zu können. Die Evaluation der Metriken auf ihr Wahrheitsgehalt im Abgleich mit musikwissenschaftlichen Analysen zu den untersuchten Werken ist nicht Teil dieser Arbeit.

---

<sup>1</sup> Universität Leipzig, Wirtschaftsinformatik, Nürnberger Str. 5, 04103 Leipzig, mihail.miller@yahoo.de

<sup>2</sup> Allgemein wird Musik, die vor der Möglichkeit der elektroakustischen Verstärkung im europäischen Raum entstand, vielfach unter dem Begriff „klassische Musik“ zusammengefasst. Im Folgenden soll der Begriff jedoch in seiner eigentlichen Bedeutung als epochale Bezeichnung der (Wiener) Klassik (etwa 1780 - 1820) verstanden werden.

## 2 Verwandte Arbeiten

Das Vorgehen dieser Studie orientiert sich an der Arbeit von Madsen und Widmer von 2015, bei der die Verwendbarkeit von Komplexitätsmaßen zur Erkennung der Melodiespur in mehrspurigen MIDI-Files untersucht wurde. Der Informationsgehalt der MIDI-Files wurde hierbei auf Tonklassen (pitch class), Tonintervalle (melodic interval) und auf den zeitlichen Abstand zwischen zwei Tönen (inter-onset interval) untersucht [MW15]. Die Klassifikation der musikalischen Dimensionen stütze sich dabei wesentlich auf die Arbeiten von Conklin [Co06]. Zur Approximation der Komplexität dieser Dimensionen wurde das Entropiemaß von Claude E. Shannon (1948) genutzt, welches den mittleren Informationsgehalt einer Nachricht angibt. Dabei besteht die Grundannahme, dass ein höherer Informationsgehalt verarbeitungsintensiver und somit komplexer ist. So setzte Youngblood 1958 bei seiner Studie zur Determinierung des musikalischen Stils das Shannonsche Entropiemaß frühzeitig im Kontext von Tonfolgen ein, unter der Annahme, dass Redundanz ein werkprägendes Stilmittel sei [Yo58]. Einen anderen Ansatz wählte Simonton 1984 bei seinen Untersuchungen zur Entwicklung der melodischen Originalität von musikalischen Themen. Dabei wurde ein Korpus von 15.618 Themen auf die Wahrscheinlichkeit des Auftretens eines Tonintervalls im Vergleich zum gesamten betrachteten Zeitraum untersucht [Si84].

## 3 Korpus

Für die Analyse von Musikwerken eignet sich das MIDI-Format aus zweierlei Hinsicht:

1. Die Notation des Musikstücks liegt bereits maschinenlesbar vor; eine Anwendung von verlustbehafteten Methoden wie OMR (Optical Music Recognition) zur Extraktion der Informationen aus den originalverlegten Notenblättern ist somit nicht notwendig.
2. Das Format ist weitverbreitet; Partituren im MIDI-Format sind leicht aufzufinden.

Während in der Theorie sich im MIDI-Format exakte Informationen zur Komposition des Musikstücks abbilden lassen, wird von diesen Eigenschaften sehr heterogener Gebrauch gemacht. Infolgedessen mussten für den Einschluss eines MIDI-Files in die Untersuchung Kriterien festgelegt werden, die verlässliche Aussagen zu den Musikwerken zulassen:

1. Das MIDI-File ist rhythmisch exakt sequenziert (nicht live eingespielt) und enthält korrekte Informationen zur Zeitsignatur und zum Tempo.
2. Das MIDI-File ist vom Format-Typ 1 und somit synchron mehrspurig [MI]. Damit soll die melodische und rhythmische Komplexität besser approximiert werden können.

Als Ausgangsbasis für das Korpus dienten die MIDI-Archive „Classical Disklavier-I(-VII)“, die auf der Seite „Disklavier™ World“<sup>3</sup> zu finden sind. Die ZIP-Archive wurden extrahiert und anschließend mithilfe der Python-Bibliothek Mido<sup>4</sup> auf grundlegende Eigenschaften (Typ, Zeitsignatur, Tempo, Spieldauer) untersucht. Anschließend wurde eine Heuristik eingeführt, um eine erste Filterung der MIDI-Files nach den oben beschriebenen Kriterien vorzunehmen. Der Positiv-Test zum Einschluss eines MIDI-Files in die Untersuchung bestand in der automatisierten Prüfung, ob die MIDI-Datei vom Typ 1 ist sowie eine von den Default-Werten abweichende Angabe der Zeitsignatur (4/4 Takt) und des Tempos (120 BPM) besitzt [MI]. Diese Heuristik könnte zum fälschlichen Ausschluss von MIDI-Files führen, deren Zeitsignatur und Tempo tatsächlich den Default-Werten entsprechen. Relevanter war jedoch die Filterung fälschlich positiv kategorisierter MIDI-Files, also solcher, die trotz Einschluss durch die beschriebene Heuristik, die notwendigen Kriterien nicht erfüllen. Dafür wurden die verbliebenen MIDI-Files in den gefilterten Archiven nochmals unter manueller Einsicht in einer DAW<sup>5</sup> geprüft. Gründe für den Ausschluss fälschlich positiv kategorisierter Files aus der Untersuchung waren diverser Natur: Zum einen enthielten einige MIDI-Files trotz ihrer Festlegung als Typ 1 in der Tat nur eine Spur, wiederum andere effektiv nur eine Notenspur, da die restlichen Spuren missbräuchlich zur Angabe von Metainformationen zum Komponisten oder zum Autor des MIDI-Files genutzt wurden. Weiterhin waren mehrere MIDI-Files trotz der Abweichung von den Default-Werten bei der Zeitsignatur und dem Tempo nicht sequenziert, sondern wurden live eingespielt, obwohl es bei live eingespielten MIDI-Files typischerweise der Fall ist, dass die Default-Werte beibehalten werden. Eine Kombination der Ausschluss-Kriterien war selbstverständlich ebenfalls möglich. Die „False Positives“ wurden als solche gekennzeichnet. Anschließend wurden die Partituren auf ihr redundantes Vorkommen geprüft. Dies erfolgte anhand des Titels, der in den MIDI-Archiven „Classical V“ und „Classical VI“ zumeist eine Werknummer enthält. Mithilfe der beschriebenen Vorgehensweise konnten 308 Titel aus den Archiven „Classical V“ und „Classical VI“ in die Untersuchung eingeschlossen werden. Für die Archive „Classical I“, „Classical II“ und „Classical VII“ wurde eine leicht abgewandelte Heuristik angewandt, da die enthaltenen MIDI-Files bis auf drei Ausnahmen eine Clock Rate von 512820 µs angaben, welches nach [GB03] der Standardwert der offiziellen Disklavier™ MIDI-Files ist. Auch diese MIDI-Files erlauben keine verlässlichen Aussagen zur Komposition des Musikstücks, da auch sie größtenteils live eingespielt wurden und bereits aufgrund der identischen Clock Rate die tatsächliche Information zum Tempo, die für die Bestimmung der Stücklänge notwendig ist, nicht enthalten. Zudem waren die MIDI-Files in den Archiven „Classical I“ und „Classical III“ alle vom Typ 0 und mussten vollständig ausgeschlossen werden, während sich im Archiv „Classical VII“ drei weitere MIDI-Files befanden, welche in die Untersuchung eingeschlossen werden konnten.

<sup>3</sup> <http://www.kuhmann.com/Yamaha.htm>. Zuletzt zugegriffen: 17. Juli 2020. Auf der Webseite sind Informationen zu den Titeln der ZIP-Archive enthalten, welche unter anderem darüber Auskunft geben sollen, ob die MIDI-Files vorwiegend sequenziert oder live eingespielt wurden. Diese ohnehin äußerst wagen Angaben stellten sich bei der Evaluation der MIDI-Files als unverlässlich dar

<sup>4</sup> <https://pypi.org/project/mido/>. Zuletzt zugegriffen: 19. Juli 2020.

<sup>5</sup> DAW = Digital Audio Workstation; Integrierte Software zum Zwecke der Musikproduktion

Für die übriggebliebenen 311 MIDI-Files wurde anhand des Titels nach dem Kompositionsjahr in der Petrucci Music Library (IMSLP<sup>6</sup>) gesucht, falls dieses fehlte wurde das Jahr der Erstveröffentlichung notiert. Falls ein Jahreszeitraum vorzufinden war, wurde zunächst dieses notiert. In einer weiteren Spalte, wurde das Jahr für die Analyse notiert, welches je nach Verfügbarkeit das letzte Kompositionsjahr oder das Jahr der Erstveröffentlichung war.

Die Titel in den Archiven „Classical II“ und „Classical IV“ waren für die eindeutige Identifizierung der Werke nicht ausreichend, weshalb sie bereits vor der beschriebenen Evaluation der Archive ausschieden. Die Evaluation der MIDI-Files und Annotation der Jahre wurde für das jeweilige Archiv in einem CSV-File vorgenommen. Für die Erfüllung einer Eigenschaft wurde jeweils eine 1 angegeben, für die Nichterfüllung eine 0.

## 4 Methodik

Der Hauptansatz für die Messung der Komplexität der MIDI-Files bestand wie zuvor erwähnt analog zu Madsen und Widmer [MW15] in dem Entropiemaß nach Shannon.

Dieses ist gegeben durch:

$$E(x) = - \sum_{x \in X} p(x) \log_2 p(x)$$

Das Maß gibt die negierte Summe des Produkts der Wahrscheinlichkeiten jeder Ausprägung einer bestimmten Zufallsvariable mit dem Logarithmus der jeweiligen Wahrscheinlichkeit an. Analog zur Methodik von Madsen und Widmer wurde die Formel auf die drei musikalischen Dimensionen nach Conklin [Co06] angewandt:

- *Tonklasse*: X ist die Gesamtheit aller Töne unabhängig von ihrer Oktave
- *Tonintervall*: X ist die Gesamtheit aller tonalen Abstände aufeinander folgender Noten
- *Zeitintervall*<sup>7</sup>: X ist die Gesamtheit aller zeitlichen Abstände aufeinander folgender Noten

Der zweite von Madsen und Widmer vorgestellte Ansatz ist die LZW-Kompression, mit der Annahme, dass redundante Strukturen sich stärker komprimieren lassen und somit geringere Komplexität indizieren [MW15]. Der Einsatz dieser Methode entfällt aufgrund der starken Streuung der Spieldauer der untersuchten Werke, welche die Vergleichbarkeit des Komprimierungsgrads verhindern würde. Auch für eine Untersuchung einheitlicher kürzerer Werkausschnitte wäre Kompression als Komplexitätsindikator nicht geeignet, da sie für größere Datenstrukturen optimiert ist.

Neben den Entropiemaßen wurde zusätzlich die „tonale Bestimmtheit“ der Werke gemessen. Diese experimentelle Metrik basiert auf der Funktion `tonalCertainty()` der genutzten

---

<sup>6</sup> International Music Score Library Project. <https://imslp.org/>

<sup>7</sup> Auch: Inter-Onset Interval (IOI) != Notendauer (Pausen fließen bei der Notendauer nicht mit in die Berechnung ein, sind aber für die Berechnung der Rhythmik, als Wechselspiel zwischen Ruhe- und Bewegungsphasen, essenziell)

Python-Bibliothek `music21` und wird in Abhängigkeit der alternativen Interpretationen der Dur-Moll-Tonart des zu analysierenden Musikstücks gemessen [mu20]. Je mehr alternative Tonarten berechnet werden, desto ungewisser ist das Maß.

Die Berechnungen der Tonklassenentropie ( $H_{pc}$ ) und der „tonalen Bestimmtheit“ ( $k$ ) wurden sowohl für die vollständige Sequenz als auch (trotz hoher Laufzeitkomplexität) für alle 16 Takte ausgeführt. Für die zweite Berechnung wurde das arithmetische Mittel gebildet. Der Hintergrund für letzteres besteht in der bereits erwähnten heterogenen Werklänge und dient dem Zweck der besseren Vergleichbarkeit der Ergebnisse. Besonders für die „tonale Bestimmtheit“ ist die Berechnung des Mittelwerts aller 16 Takte des Stücks von Interesse. Somit soll die Frequenz der Modulation angenähert werden. Sobald Tonarten frequentiert gewechselt werden oder es sich gar um ein chromatisches Stück handelt, könnte von einer hohen harmonischen Komplexität ausgegangen werden.

Während  $H_{pc}$  und  $k$  mit der vollständigen Partitur berechnet werden konnten, da es sich um die gesamtheitliche Betrachtung der Harmoniestruktur handelt, wurden die Berechnungen der Tonintervallentropie ( $H_i$ ) sowie der Zeitintervallentropie ( $H_{ioi}$ ) pro MIDI-Spur vorgenommen. Analog wurde die Entropie für die vollständige Spur als auch das arithmetische Mittel der Entropie aller 16 Takte berechnet. Für die nachfolgende Auswertung wurde die Entropie der Spur mit dem höchsten Entropiewert festgehalten. Um die Berechnung von  $H_i$  zu ermöglichen, mussten zunächst alle Tonabstände in ihrer komponierten Abfolge vorliegen. Da auch einzelne MIDI-Spuren polyphon sein konnten und die Tonabstände sich nur zwischen zwei aufeinander folgenden Noten bestimmen lassen, wurde eine Heuristik implementiert, bei der zunächst die höchsten Noten der MIDI-Spur bestimmt wurden. Mithilfe dieser Notenlisten, die jeweils für die gesamte Spur, als auch für alle 16 Takte der Spur bestimmt wurden, konnte  $H_i$  für beide betrachteten Objekte berechnet werden. Die zeitlichen Abstände, die für die Berechnung von  $H_{ioi}$  notwendig sind, konnten anhand der Subtraktion der Spielzeit jeder Note von der Zeit ihrer nachfolgenden bestimmt werden.

Die berechneten Ergebnisse wurden mitsamt der Angabe zum Titel, Jahr und Länge der Komposition zeilenweise in ein CSV-File geschrieben, welches als Grundlage für die deskriptiv-statistische Auswertung dient. Aufgrund von Fehlern bei der Konvertierung der MIDI-Files in Streams, die mithilfe der Bibliothek `music21` behandelt werden können, reduzierte sich die Stichprobe für die weiterführenden Analysen auf 291 Werke.

## 5 Deskriptiv-statistische Analyse der Merkmalsausprägungen

Die folgende Grafik zeigt die Verteilung der Werke im Korpus pro Komponist und Jahr:

Anhand dieser Darstellung lässt sich feststellen, dass vorallem die Diachronie der Klavier- bzw. Cembalowerke von J. S. Bach, W. A. Mozart, L. v. Beethoven und F. Chopin in dem Korpus nachvollzogen werden könnte. Eine diachrone Analyse der Komplexitätsentwicklung im gesamten Korpus würde geringe Aussagekraft besitzen.

## 6 Mihail Miller

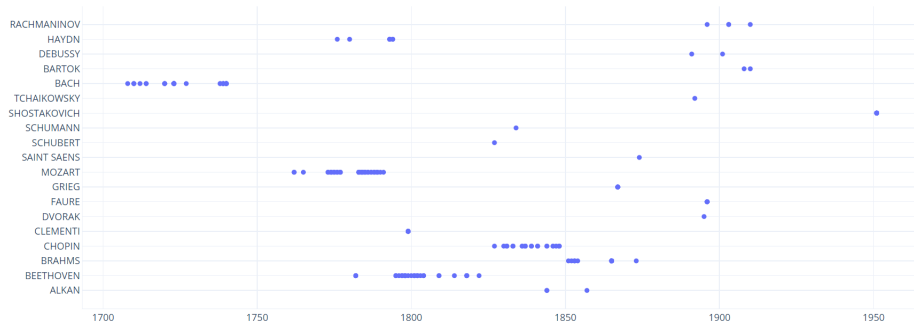


Abb. 1: Werke im Korpus pro Komponist und Jahr

Ein weiterer Aspekt, der bei der Betrachtung der folgenden Ausführungen beachtet werden sollte, ist die Spieldauer der Werke. Die für das vollständige Stück berechnete Komplexität, ist stets unter Einbezug der Spieldauer zu betrachten. Die folgende Grafik zeigt die Verteilung der Spieldauer (in Sekunden) der Werke im Korpus je Komponist:

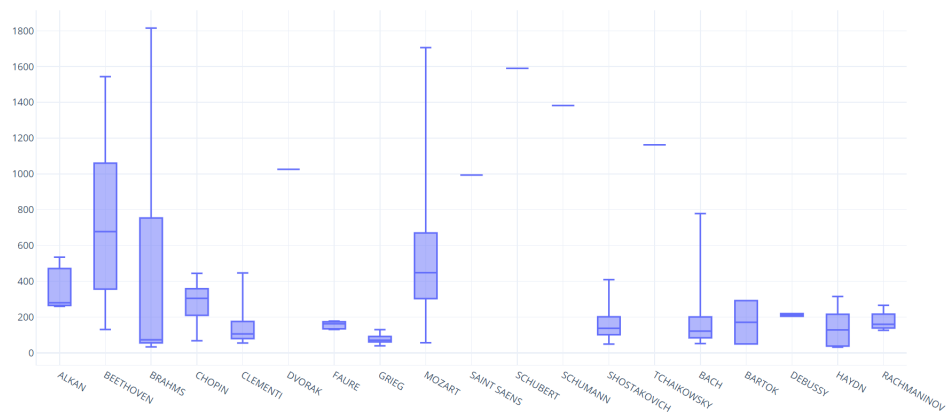


Abb. 2: Spieldauer der Kompositionen pro Komponist

Damit lässt sich erkennen, dass die längste Komposition im Korpus von J. Brahms für eine 30 minütige Spieldauer verfasst wurde. Die größten Spannweiten und Interquartilsabstände der Kompositionsspieldauer sind im Korpus bei L. v. Beethoven, J. Brahms und W. A. Mozart vorzufinden. Hiermit lässt sich aufzeigen, dass die im Korpus vorliegenden MIDI-Files stark heterogen in Bezug auf einzelne Sätze oder vollständige Partituren der Werke vorliegen.

### 5.1 Harmonische Komplexität der Werke

Zunächst soll die Streuung der harmonischen Komplexität der Werke betrachtet werden, die durch  $H_{pc}$  und die tonale Bestimmtheit  $k$  approximiert wurde. Die folgenden Grafiken zeigen die Streuung der beiden Metriken für das vollständige Stück pro Komponist.

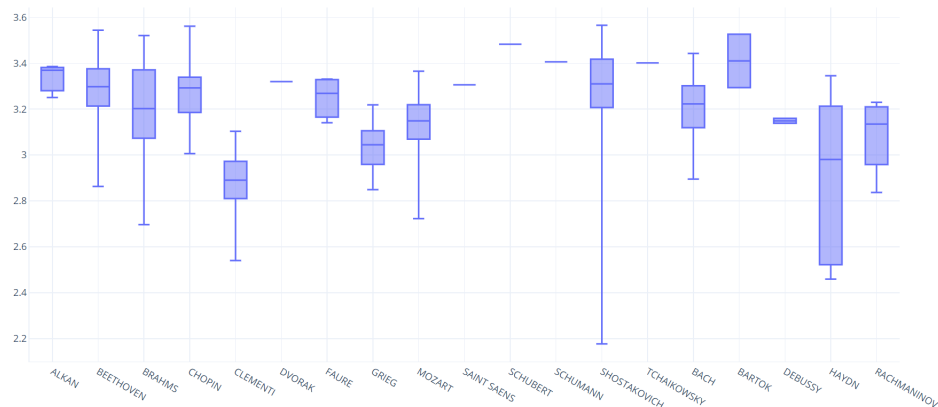


Abb. 3:  $H_{pc}$  für die vollständigen Partituren pro Komponist

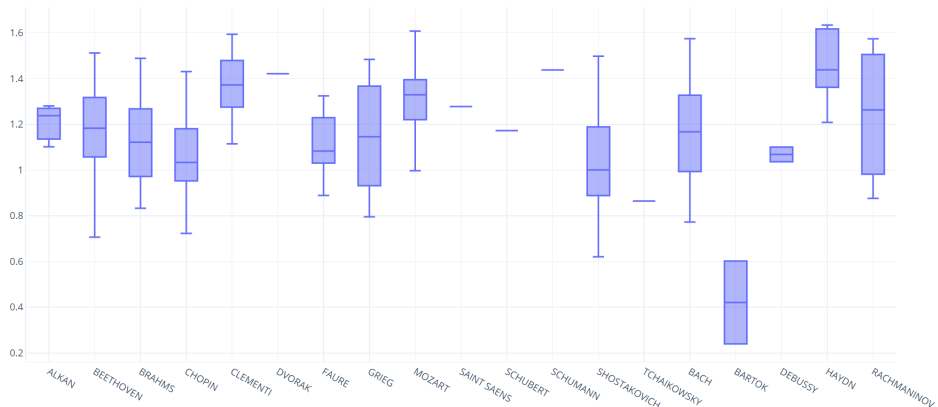


Abb. 4:  $k$  für die vollständigen Partituren nach Komponist

Die erste Auffälligkeit bei der Betrachtung beider Grafiken besteht darin, dass die beiden Metriken der harmonischen Komplexität sich in einem tendenziell inversen Zusammenhang zueinander verhalten, wie es zu vermuten war. Die Korrelation der beiden Metriken für das vollständige Stück ergibt einen Koeffizient von  $r=-0.3385$ , welcher eine schwache negative Korrelation aufzeigt.

Für den Mittelwert der Entropie aller 16 Takte des Stücks ist die Korrelation der beiden

Metriken ebenfalls schwach negativ mit einem Wert von  $r=-0.2938$ . Die Metriken für das vollständige Stück korrelieren mit der analogen Metrik für den Mittelwert aller 16 Takte mit  $r=0.8874$  für  $Hpc$  und für  $k$  mit  $r=0.6254$  positiv. Somit lässt sich diskutieren, ob die Inkaufnahme der hohen Laufzeitkomplexität für die Berechnung des Mittelwerts aller 16 Takte lohnend ist. Besonders auffällig bei dieser Untersuchung ist die hohe Spannweite der Merkmalausprägungen zur harmonischen Komplexität für die Werke von Shostakovich.

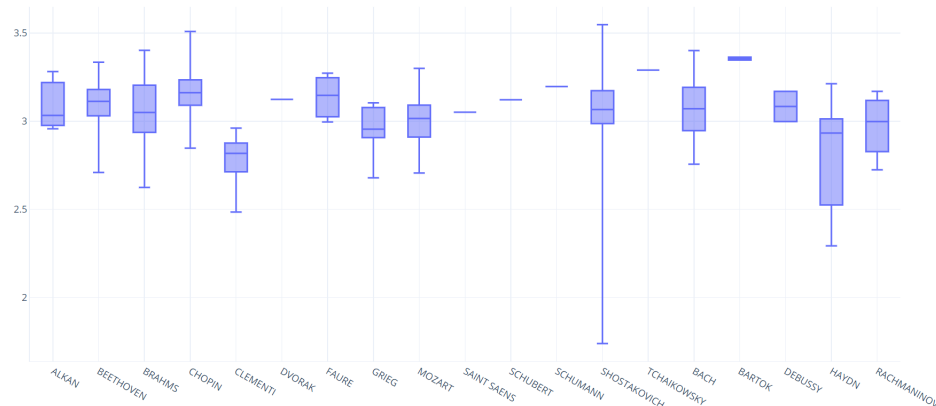


Abb. 5: mittlere  $Hpc$  aller 16 Takte der vollständigen Partituren nach Komponist

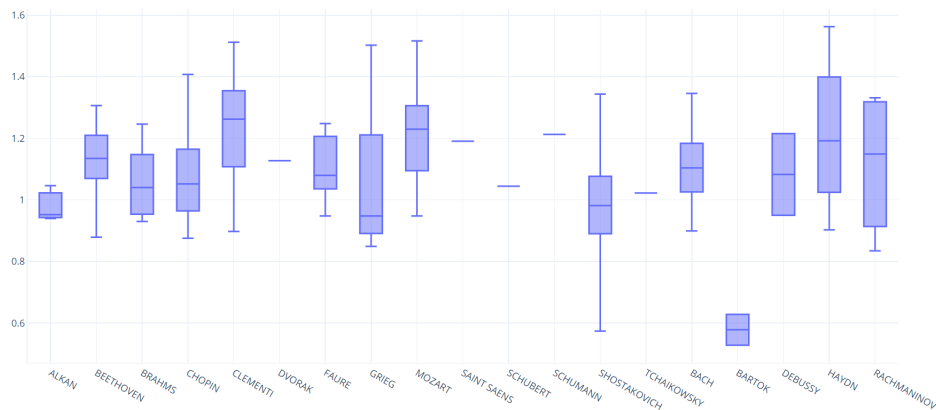


Abb. 6: mittlere  $k$  aller 16 Takte der vollständigen Partituren nach Komponist

## 5.2 Melodische Komplexität der Werke

Die melodische Komplexität der Werke wurde mit  $Hi$  approximiert. Die folgenden Grafiken zeigen die Streuung dieser Metrik für das vollständige Stück und den maximalen Mittelwert aller 16 Takte einer Spur pro Komponist auf.



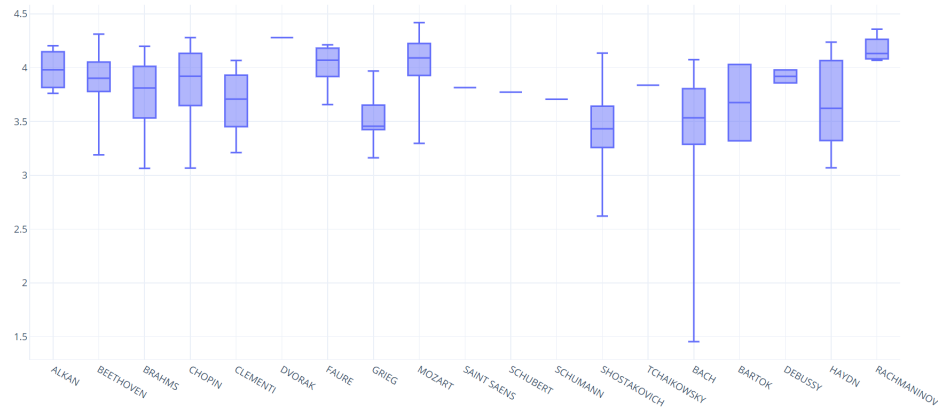


Abb. 7: maximale *Hi* der vollständigen Partiturspuren pro Komponist

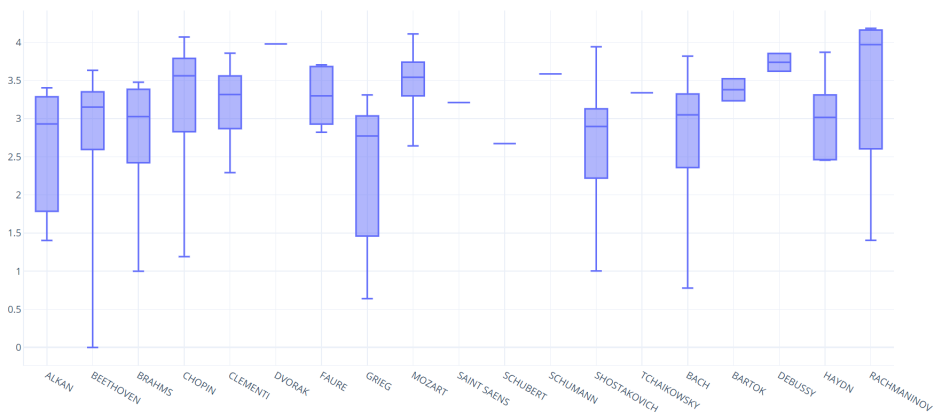


Abb. 8: maximale mittlere *Hi* aller 16 Takte der Partiturspuren pro Komponist

Die Metriken zur Bestimmung der melodischen Komplexität korrelieren mit  $r=0.563$  moderat positiv. Das arithmetische Mittel für die Gesamtheit der berechneten Werte beträgt für das vollständige Stück  $\bar{\phi}=3.728$  und liegt damit über dem Wert der zweiten Metrik ( $\bar{\phi}=3.017$ ). Auffällig ist vor allem die Differenz der Interquartilsabstände der beiden Metriken für die Komponisten Grieg, Rachmaninov und Alkan. Auch die Spannweite der Metriken für die Komponisten L. v. Beethoven, J. Brahms und F. Chopin ist bemerkenswert unterschiedlich.

### 5.3 Zeitintervall-Komplexität der Werke

Die Zeitintervall-Komplexität der Werke wurde mit *Hioi* approximiert. Die folgenden Grafiken zeigen die Streuung dieser Metrik für das vollständige Stück und den maximalen Mittelwert aller 16 Takte einer Spur pro Komponist aufgezeigt.

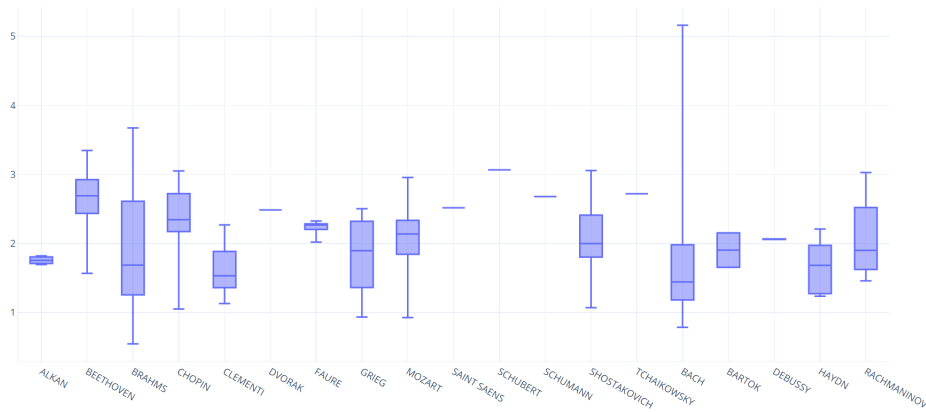


Abb. 9: maximale *Hioi* der vollständigen Partiturspuren pro Komponist

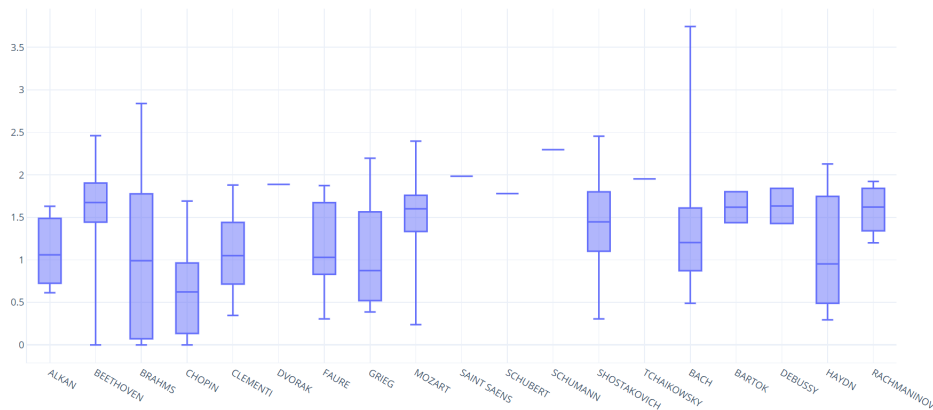


Abb. 10: maximale mittlere *Hioi* aller 16 Takte der Partiturspuren pro Komponist

Die Metriken zur Bestimmung der Zeitintervall-Komplexität korrelieren mit  $r=0.594$  ebenfalls moderat positiv. Das arithmetische Mittel für die Gesamtheit der berechneten Werte beträgt für das vollständige Stück  $\bar{\phi}=2.111$  und liegt damit über dem Wert der zweiten Metrik ( $\bar{\phi}=1.353$ ). Auffällig ist vor allem die Spannweite der Metriken bei den Werken von J. S. Bach.

#### 5.4 Korrelationsanalyse zwischen den musikalischen Dimensionen

Für das vollständige Stück ist die Korrelation zwischen  $H_{pc}$  und  $H_i$  mit einem Koeffizient von  $r=0.0511$  vernachlässigbar.  $H_i$  und  $H_{ioi}$  korrelieren mit  $r=-0.2764$  schwach negativ.  $H_{ioi}$  und  $H_{pc}$  hingegen korrelieren mit  $r=0.3025$  schwach positiv. Für die Berechnung der Mittelwerte aller 16 Takte ist die Korrelation zwischen  $H_{pc}$  und  $H_i$  mit einem Koeffizient von  $r=0.0828$  vernachlässigbar.  $H_i$  und  $H_{ioi}$  korrelieren mit  $r=0.1031$  ebenfalls nicht signifikant positiv.  $H_{ioi}$  und  $H_{pc}$  korrelieren mit  $r=0.1888$  schwach positiv.

### 6 Fazit und Ausblick

Das Entropiemaß nach Claude E. Shannon ermöglichte einen Einblick in die Verteilung der Komplexität und Gewichtung unterschiedlicher musikalischer Dimensionen der Klaviermusik europäischer Komponisten im Zeitraum 1700-1950. Durch die zusätzliche Betrachtung der negativen tonalen Bestimmtheit konnten zudem Abweichungen vom Dur-Moll-System aufgezeigt werden, die indikativ für einen befremdlichen Klang eines Musikstücks sein können. Problematisch zeigte sich hingegen die Datenakquise, da ein den Ansprüchen dieser Arbeit genügender Korpus nur äußerst zeitaufwendig konstruiert werden konnte. Die Datenqualität der Analysen leidet somit an dem geringen Stichprobenumfang. Grenzen dieser Arbeit liegen in ihrem stark explorativen Ansatz. Die Limitationen der Studie liegen weitestgehend in dem geringen Stichprobenumfang sowie der schwer nachprüfaren Korrektheit der analysierten Partituren. Hinzu kommt die heterogene Spieldauer der Kompositionen. Weiterhin bleibt anzumerken, dass das für die Tonintervallentropie  $H_i$  und die Zeitintervallentropie  $H_{ioi}$  die werkglobal bewegteste Spur bestimmt wurde, jedoch die lokale Komplexität, wie sie von Madsen und Widmer [MW15] ebenfalls postuliert wurde, für die Untersuchung interessanter gewesen wäre. Dabei sollte für jedes Zeitfenster die bewegteste Spur in die Analyse einfließen, da diese in der Theorie, die höchste Aufmerksamkeit des Hörers genießt. Jedoch hätte dies zu einer noch höheren Laufzeitkomplexität geführt, welche in ihrer aktuellen Implementierung ohnehin bereits die Extraktion der Merkmalsausprägungen erschwerte.

Zukünftig wäre auch die Analyse längerer struktureller Redundanzen innerhalb eines Werks von Interesse, wofür aktuell eine geeignete Metrik fehlte. Weiterhin wäre die Betrachtung des Auftretens von musikalischen Strukturen im gesamten Zeitraum von Interesse, wie Sie für Tonintervalle bei Simonton [Si84] erfolgte. Demnach müssten besonders selten auftretende musikalische Strukturen die Komplexität eines Werks zusätzlich zu einer geringen werksinternen Redundanz steigern, da sie für den Hörer befremdlicher und somit komplexer erscheinen würden. Weiterhin könnte eine Korrelationsanalyse der Entropiemaße mit dem Schwierigkeitsgrad nach G. Henle zum Zwecke der Erforschung einer Interdependenz zwischen der wahrgenommenen Komplexität eines Musikstücks

und dessen Spielschwierigkeit durchgeführt werden sowie eine Studie zum Vergleich der Ergebnisse mit qualitativen musikwissenschaftlichen Analysen zu Einzelwerken.<sup>8</sup>

## Literaturverzeichnis

- [Co06] Conklin, D.: Melodic analysis with segment classes. *Machine Learning*, 65(2):349–360, 2006.
- [GB03] Goebel, W.; Bresin, R.: A complexity-based approach to melody track identification in MIDI files. 2003.
- [MI] Standard MIDI-File Format Spec. 1.1.
- [mu20] tonalCertainty(). <https://web.mit.edu/music21/doc/moduleReference/moduleKey.html>. 2020-05-10.
- [MW15] Madsen, S.; Widmer, G.: A complexity-based approach to melody track identification in MIDI files. 2015.
- [Si84] Simonton, D. K.: Melodic Structure and Note Transition Probabilities: A Content Analysis of 15,618 Classical Themes. *Psychology of Music*, 12(1):3–16, 1984.
- [Yo58] Youngblood, J. E.: Style as Information. *Journal of Music Theory*, 2(1):24–35, 1958.

---

<sup>8</sup> Das Skript für die Extraktion der Merkmalausprägungen und weitere Ergebnisartefakte wie die Evaluation der MIDI-Archive sind unter folgender URL verfügbar: <https://github.com/MihailMiller/music-complexity>