

# GMTH Proceedings 2016

Herausgegeben von | edited by  
Florian Edler und Markus Neuwirth

## ›Klang‹: Wundertüte oder Stiefkind der Musiktheorie

16. Jahreskongress der | 16th annual conference of the  
Gesellschaft für Musiktheorie  
Hannover 2016

Herausgegeben von | edited by  
Britta Giesecke von Bergh, Volker Helbing,  
Sebastian Knappe und Sören Sönksen



Dieser Text erscheint im Open Access und ist lizenziert unter einer  
Creative Commons Namensnennung 4.0 International Lizenz.



This is an open access article licensed under a  
Creative Commons Attribution 4.0 International License.

## Die Unterscheidbarkeit musikalischer Cluster: Eine wahrnehmungspsychologische Studie

**ABSTRACT:** Die Einbeziehung des Klangs in die analytische Musikbetrachtung erscheint spätestens im 20. Jahrhundert eine unausweichliche Herausforderung an die musiktheoretische Forschung. Ausgangspunkt der hier vorgestellten Studie ist der musikalische Cluster. Cluster markieren die Schnittstelle zwischen tonhöhengeleiteter Harmoniebegriff und geräuschhaften Klangmaterial. Mit Henry Cowells Buch *New musical resources* (1930) existiert zudem eine kompositorische Theorie zur Clustertechnik. Für die wahrnehmungspsychologische Studie wurden zunächst zehn Prototypen von Clustern entwickelt, die teils Cowells Klavierwerken entstammen (z.B. diatonisch, pentatonisch, chromatisch) und teils nach theoretischen Überlegungen konstruiert waren. Mit experimentellen Methoden gingen wir der Frage des Konzept-Perzept-Verhältnisses nach, also ob diese Prototypen auditiv überhaupt unterscheidbar sind, welche Hörexpertise dafür notwendig ist und welche psychoakustischen Eigenschaften die Cluster als Voraussetzung für eine auditive Diskriminierung haben müssen. Das angewandte Paradigma war eine Modifikation des MUSHRA Hörtests (MULTI Stimulus test with Hidden Reference and Anchor, ein Hörtest zur Ermittlung der Audioqualität von datenreduzierenden Algorithmen wie MP3). Die Probanden beurteilten hierbei die Ähnlichkeit der Cluster-Klänge im Vergleich zu einem zuvor festgelegten Referenzklang. Das Ergebnis der Studie zeigte, dass sich die Ähnlichkeitsratings in zwei Gruppen aufteilen lassen: (a) Cluster, deren perzeptuelle Ähnlichkeitseinschätzung von ihrer Clusterdichte abhängen und (b) Cluster, deren Klangstruktur eine perzeptuelle Sättigung aufwies, was die Differenzierung erschwerte. Auch die psychoakustischen Untersuchungen der Stimuli korrelierten stark mit den Ergebnissen des Ähnlichkeitsratings. Die Beobachtungen ermöglichen es, die Wirkung von Clustern empirisch fundiert zu beschreiben. Das Ziel der weiteren Forschung wird es sein, den Zusammenhang der Clustertheorie mit anderen Klangformen zu untersuchen.

The musical tone cluster is a prototypical sound of avant-garde music in the twentieth and twenty-first centuries. Tone clusters mark a boundary between pitch-related techniques of composing in earlier epochs to the use of sound-based materials in avant-garde music. The composer Henry Cowell offered the first theoretical reflection on the structure of tone clusters with a focus on tone density, which relies on the number of tones and the ambitus of a cluster (Cowell, 1930). Using experimental methods, we investigated whether participants were able to discriminate between various types of tone clusters (e.g., pentatonic, diatonic or chromatic) and how they evaluated their similarities. We also questioned whether a timbre-based approach using psychoacoustical methods of analysis could be used to explain the perception of avant-garde music sounds. Ten different prototypical tone cluster chords varying in density were presented in two studies. Additionally, the relation between similarity ratings and psychoacoustic features was examined. The design of the study was based on an adaption of the Multi Stimulus with Hidden Reference and Anchor (MUSHRA) paradigm (International Telecommunication Union, 2014). With this method, participants rated the similarity

between a firstly chosen reference tone cluster and the other cluster sounds. The tone clusters could be grouped into two classes of sounds based on the similarity ratings of the participants: (a) those clusters with a high grade of perceptual discrimination depending on the cluster density and (b) those clusters of a more aurally saturated structure, making it difficult to separate and evaluate them. The results also showed congruency between theoretical features of the cluster structure, results of the timbre feature analysis, and perceptual evaluation of stimuli. The findings can provide valuable insights into aural training methods for avant-garde music. In future research, there will be a need to identify more variables influencing the aural perception of musical sounds to aid in listening to and understanding avant-garde music.

Schlagworte/Keywords: aural perception; contemporary music; Henry Cowell; Hörwahrnehmung; Musikalischer (Ton-)Cluster; Neue Musik; psychoacoustics; Psychoakustik; tone cluster

## Einleitung

Seit dem 20. Jahrhundert ist der Aspekt ›Klang‹ ein bedeutender Bestandteil der Kompositionstechnik geworden. In den frühen 1910er Jahren hat der amerikanische Komponist Henry Cowell (1897–1965) den musikalischen Cluster (sogenannte ›tone-cluster‹) als Klangkonzept etabliert. Darüber hinaus hat Cowell mit dem Buch *New Musical Resources*<sup>1</sup> eine basale Theorie für die Clustertechnik geliefert. Der musikalische Cluster markiert einen musikhistorischen Umbruch: Er bildet das Bindeglied zwischen traditioneller Harmonik und geräuschhaften Klangbildungen. Die klassischen Kategorien ›Konsonanz‹ und ›Dissonanz‹ sind zur harmonischen Qualitätsbeurteilung in dieser Entwicklung nicht mehr hinreichend. Insbesondere um das Jahr 1960 wurde das Konzept des musikalischen Clusterklangs in Orchesterwerken wie György Ligetis *Atmosphères* oder Krzysztof Pendereckis *Anaklasis* aufgegriffen.

Das Ziel der hier vorgestellten Studie soll ein erster Ansatz<sup>2</sup> zur Erforschung der Wahrnehmung von Clusterklängen als grundlegendem Prototyp für die Klangbildung des 20./21. Jahrhunderts sein. Die bisherige Forschung setzte in erster Linie auf ›klassische‹ Theoriebildung über die Harmonizität<sup>3</sup>, die Interpretation grafischer bzw. schematischer Notationen<sup>4</sup> oder sonographischer Analy-

1 Cowell 1930.

2 Weiterführende Monographie: Ong 2019.

3 Dies ist auch bei Cowell selbst der Fall. Siehe auch Schönberg 1922.

4 Siehe z.B. Salmenhaara 1969.

sen.<sup>5</sup> Im Gegensatz dazu wird hier auf die empirischen Methoden der Musikpsychologie zurückgegriffen, um Rückschlüsse auf die klangliche Wahrnehmung der musikalischen Avantgarde vornehmen zu können. Darüber hinaus sind psychoakustische Analysen über die Stimulusclusterklänge der Studie zur Anwendung gekommen.

Als abhängige Variable wendet die Studie das psychologische Paradigma der ›Ähnlichkeit‹ an. Daneben ist auch die ›Interessantheit‹ abgefragt worden, welche die subjektive Einschätzung der Klänge in den Blick nimmt. Als Ausgangshypothese für die Bewertung der klanglichen Ähnlichkeit verschiedener Clusterklänge geht die Studie davon aus, dass die Ähnlichkeitseinschätzung beim Hören zweier musikalischer Cluster von der Clusterdichte abhängig ist: je kleiner die Differenz der Dichten der Clusterklänge, desto ähnlicher werden sie eingeschätzt. Das Maximum der Ähnlichkeitseinschätzung ist demnach bei einer Differenzdichte von  $\Delta D = 0$  zu finden, um dieses Maximum herum fällt die Beurteilung der Ähnlichkeit ab (siehe Abb. 1, Hypothese 1)

Abweichend zu der Grundhypothese kann auch angenommen werden, dass mit steigender Clusterdichte ein Sättigungseffekt einsetzt, welcher den Einfluss der Clusterdichte auf die Ähnlichkeitswahrnehmung überdeckt, so dass die Ähnlichkeitseinschätzung stagniert (siehe Abb. 1, Hypothese 2).

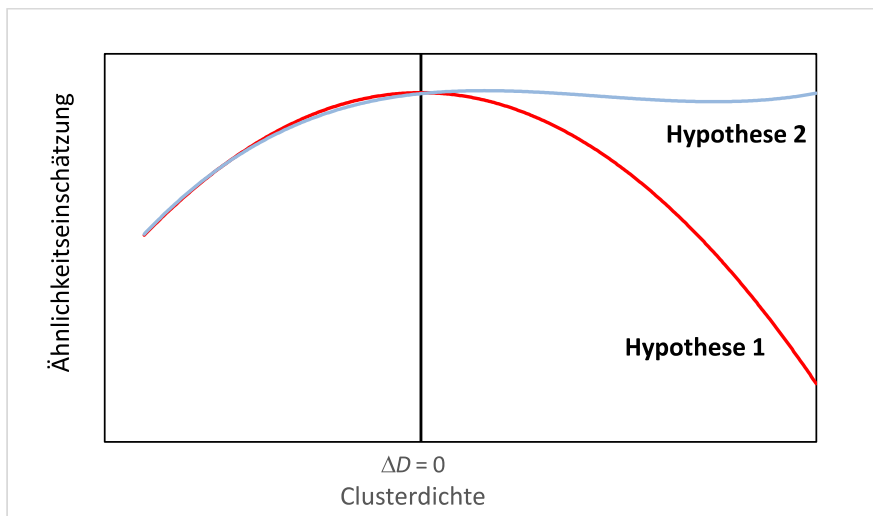


Abbildung 1: Hypothesen zur Ähnlichkeitseinschätzung

5 Siehe z.B. Schneider / Beurmann 1991.

## Theorie

### Definition des musikalischen Clusters

Laut Definition von Werner Grünzweig sind Cluster:

... in der Musik ein aus mehreren sehr dicht nebeneinander liegenden Tönen (vorwiegend Sekunden, aber auch Mikrintervalle) zusammengesetztes, an das Geräusch grenzendes Klanggebilde, dessen Bestandteile nicht mehr im einzelnen wahrgenommen werden (auch nicht als Teile selbständiger Stimmen).<sup>6</sup>

Henry Cowell selbst gab folgende Definition an: »Tone-clusters, then, are chords built from major and minor seconds, which in turn are derived from the upper reaches of the overtone series and have, therefore, a sound foundation.«<sup>7</sup> Cowell bezeichnete die vier (im zwölftönigen Tonsystem) möglichen dreitönigen Sekundschichtungen als ›cluster-triads‹ und vergleicht den Aufbau von Clusterklängen mit den Prinzipien der tonalen Harmonielehre. Größere Kombinationen dieser elementaren ›cluster-triads‹ bilden entsprechend größere Clusterklänge: »These four triads are the basis of all larger clusters, which can have great variety, owing to the many different possible juxtapositions of the triads within larger clusters.«<sup>8</sup> Daneben zählte Cowell auch Klanggebilde zu den musikalischen Clustern, die sich an dem Aufbau von Skalen orientieren. Diese Sichtweise bildet im Prinzip die Gegebenheiten auf der Klaviertastatur ab. Clusterklänge auf der Basis der pentatonischen Skala werden entsprechend als ›schwarze Cluster‹, diatonisch aufgebaute auch als ›weiße Cluster‹ bezeichnet. Hier zeigt sich die pragmatische Herangehensweise Cowells, auch wenn er versuchte, eine akustisch-theoretische Fundierung der Theorie der ›tone-clusters‹ unter Zuhilfenahme der höheren Obertonregionen zu finden. Über die sukzessive Erschließung der Obertonreihe leitete er das historisch Unausweichliche ab, welches in der Entwicklung des musikalischen Clusters als harmonisches Konzept liegt.

6 Grünzweig 1995, 917.

7 Cowell 1930, 117.

8 Ebd., 118.

## Clusterdichte

Die grundlegende Idee des musikalischen Clusters ist, wie bereits dargestellt, die Aufschichtung von mehreren Sekundintervallen in einem Klang. Das Einzelintervall ist im Klang nicht mehr herauszuhören. Dies macht es notwendig, eine alternative Erklärung zur qualitativen Beurteilung von Clusterklängen zu finden. Der Begriff ›Dichte‹ wurde von Mauricio Kagel als Spezifikation der ›cluster-triad‹-Theorie Cowells vorgeschlagen.<sup>9</sup> Mathematisch kann die Clusterdichte als Quotient zwischen Tonanzahl und Ambitus des Clusterklangs (die nach Kagel so genannte Clusterbreite) mit folgender Gleichung dargestellt werden:

wobei  $D$  die Clusterdichte,  $N$  die Tonanzahl und  $W$  der Ambitus des Klangs sind. Der Faktor 12 normiert den Dichtewert auf Tonanzahl pro Oktave. Der so ermittelte Dichtewert berücksichtigt nicht die Oktavidentität, im Gegensatz zur Vorgehensweise in anderen Harmonielehren – so, wie es auch bei Allen Forte zu finden ist.<sup>10</sup> Dies bedeutet, dass alle Töne im Klang gewertet werden, auch gleichnamige Töne in den verschiedenen Registern.

## Experimentalmethodik der Studie

### Stimuli

Für die Wahrnehmungsstudie wurden zehn Clusterklänge mit unterschiedlichen Clusterdichtewerten, aber gleichem Ambitus, als Stimuli ausgewählt. Die Klänge wurden mit gesampelten Klavierklängen der Soundlibrary »The Giant« von *Native Instruments* erstellt.<sup>11</sup> Der Ambitus aller Stimulusklänge umfasst 24 Halbtöne (zwei Oktaven), die Tonlage ist auf  $c$  bis  $c^2$  (181,1 – 523,3 Hz) fixiert. Aufgrund seines prototypischen Charakters in den Kompositionen Cowells wurde die diatonische Clusterklangversion im Set als Referenzklang (REF) ausgewählt. Dieser Referenzklang hat eine Clusterdichte von  $D_{REF} = 7,0$  Tönen pro Oktave. Die Auswahl der übrigen Clusterklänge im Stimulusset richtete sich danach, verschiedene Dichtegrade zwischen 3,5 und 12 Tönen pro Oktave zu repräsentieren. Abbildung 2 zeigt einen Überblick über das Stimulusset.

9 Kagel 1959.

10 Forte 1973.

11 Baronowsky / Hermes 2012.

The image shows a musical score for piano with ten clusters. The clusters are labeled REF, VC1, VC2, VC3, VC4, VC5, VC6, VC7, VC8, and VC9. The score is written in treble and bass clefs. The REF cluster is a single note. VC1 is a pentatonic cluster. VC2 is a pentatonic cluster. VC3 is a pentatonic cluster. VC4 is a pentatonic cluster. VC5 is a pentatonic cluster. VC6 is a pentatonic cluster. VC7 is a pentatonic cluster. VC8 is a pentatonic cluster. VC9 is a pentatonic cluster.

Abbildung 2: Clusterklänge der Studie in klassischer Notationsdarstellung

Neben dem Referenzklang wurden auch ein pentatonischer (VC2) und ein ganztöniger Klang (VC3) in die Auswahl aufgenommen. Dazu kamen ein septakkordähnlicher, in Terzen geschichteter Klang, der strenggenommen kein Clusterklang ist (VC1), sowie ein Klang, der aus zwei komplementären, diatonischen Skalen kombiniert ist (VC5). Die Klänge mit steigenden Clusterdichten von 8,0 bis 10,5 Tönen pro Oktave sind theoretische Konstruktionen (VC6 – VC8), die dazu dienen, das Set um nicht repräsentierte Clusterdichtewerte zu vervollständigen. Der letzte Clusterklang ist der chromatische Cluster (VC9) mit der maximal möglichen Clusterdichte von 12,0 Tönen pro Oktave.

## Demografie der Versuchspersonen

Insgesamt nahmen  $N = 50$  Studierende (davon 26 weiblich) der *Hochschule für Musik, Theater und Medien Hannover* an der Studie teil. Das Durchschnittsalter lag bei  $M = 21,9$  Jahren (Standardabweichung  $SD = 2,6$ ) mit einer Spannweite von 19 bis 29 Jahren. Die Studierenden studierten in den Bereichen Musikpädagogik, Musikwissenschaft und in künstlerischen Studiengängen. Sie spielten zumeist mindestens ein Instrument (16 Pianist\*innen, 11 Sänger\*innen, 10 Gitarrist\*innen oder Streicher\*innen. Hinzu kamen Schlagzeuger\*innen, Trompeter\*innen, Flötist\*innen oder Saxophonist\*innen). Die Studiumsdauern betragen von einem Semester bis zu 15 Semestern.

## Versuchsdesign und Prozedur

Als Kontrollvariable wurde in der Studie zusätzlich die musikalische Erfahrung unter Verwendung der deutschen Version des *Goldsmith Musical Sophistication Index* erhoben.<sup>12</sup> Dabei beschränkte sich die Befragung auf den 18 Items umfas-

12 Schaal / Bauer / Müllensiefen 2014.

senden ›General Factor‹ und die musikalische Ausbildung (ein zusätzliches Item). Die Fragen des Fragebogens wurden von den Versuchsteilnehmern als Grad der Zustimmung zu einzelnen Itemaussagen auf einer Sieben-Punkt-Likert-Skala beantwortet. Der Fragebogen wurde von den Versuchspersonen vor dem eigentlichen Hörversuch ausgefüllt.

Das Experimentaldesign sah vor, dass die Versuchspersonen zwei abhängige Variablen zu beurteilen hatten: Interessantheit und Ähnlichkeit. Die Probanden wurden gebeten die Klänge unter diesen Aspekten zu beurteilen. Das Experiment fand im Labor am Computer statt und war in zwei Abschnitte unterteilt. Operationalisiert wurde der Hörversuch mithilfe der Computersoftware STEP.<sup>13</sup> Im ersten Abschnitt sollten die Versuchspersonen die Clusterklänge parallel beurteilen. Auf dem Bildschirm bekamen die Versuchspersonen folgendes zu sehen (Abbildung 3).

Die Instruktion lautete: »Beurteilen Sie die zehn Klänge A bis J auf einer Skala von 0 (›sehr uninteressant‹) bis 100 (›sehr interessant‹).« Der Referenzklang spielte in diesem Abschnitt der Studie noch keine Rolle. Die Teilnehmer konnten sich über den Computer die Klänge wiederholt anhören und sie direkt miteinander vergleichen. In dieser Phase des Experiments konnten die Versuchspersonen sich mit dem Stimulusmaterial vertraut machen. Der zweite Abschnitt des Experiments ist eine Adaption des Paradigmas »Multi Stimulus test with Hidden Reference and Anchor« (MUSHRA), wie es in der Empfehlung BS.1534-2 der International Telecommunication Union dokumentiert ist.<sup>14</sup> In diesem Versuchsdesign wurde der Referenzclusterklang REF als Anker verwendet. Die Versuchspersonen wurden gebeten, den Anker mit den übrigen neun Stimuli zu vergleichen. Zusätzlich wurde der Referenzklang als so genannte ›versteckte Referenz‹ mit unter die Vergleichsklänge gemischt, so dass der Anker mit sich selbst verglichen wurde. Dieses Vorgehen wurde zur zusätzlichen Reliabilitätskontrolle gemacht. Die Vergleichsstimuli wurden in zufälliger Reihenfolge mit dem Referenzklang präsentiert. Auf dem Bildschirm bekamen die Versuchspersonen diesmal folgendes zu sehen (Abbildung 4).

Die Instruktion lautete hier: »Beurteilen Sie die Ähnlichkeit des Bewertungsklanges A mit dem Referenzklang REF auf einer Skala von 0 (›sehr unähnlich‹) bis 100 (›sehr ähnlich‹).«

13 Quakenbusch 2004.

14 International Telecommunication Union 2014.



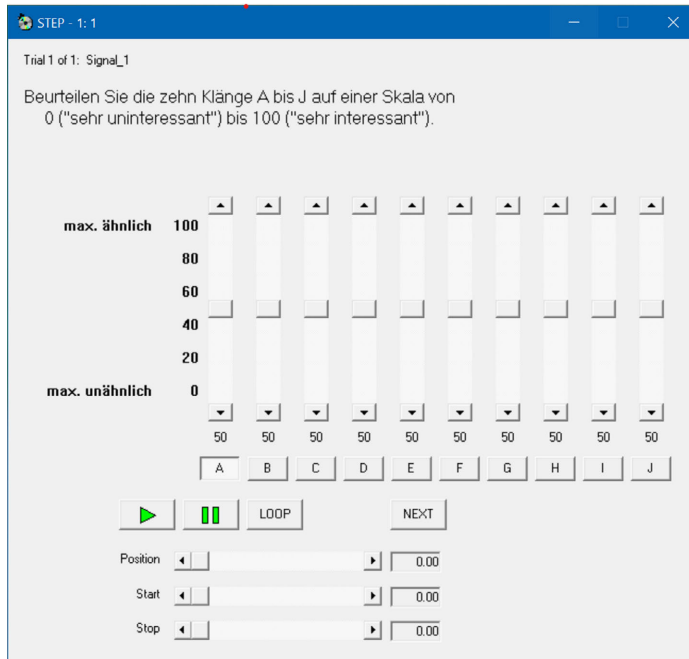


Abbildung 3: Screenshot des ersten Abschnitts der Studie

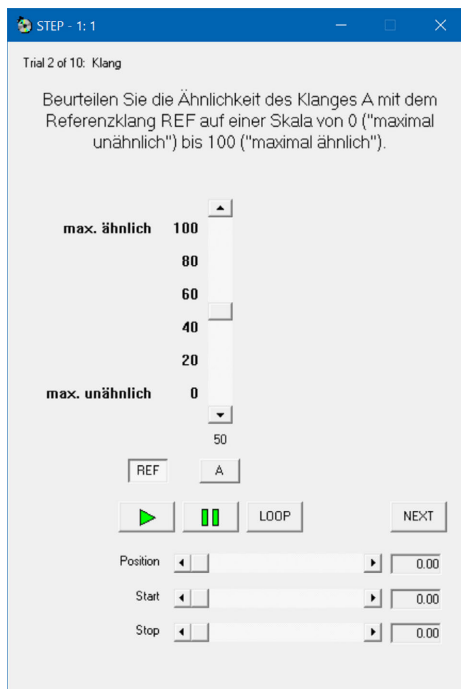


Abbildung 4: Screenshot der Ähnlichkeitsstudie (zweiter Abschnitt des Experiments)

## Resultate

### Musikalische Erfahrungheit

Der Durchschnittswert der musikalischen Erfahrungheit nach dem Gold-MSI betrug in der Stichprobe dieser Studie  $M = 99,1$  [75; 112], mit einer Standardabweichung von  $SD = 8,5$ . Der mögliche Maximalwert wäre  $Max = 127$  gewesen. Dies bedeutet, dass die Versuchsteilnehmer der Studie bereits über eine hohe musikalische Erfahrungheit verfügten. Die Subskala ›Musikalisches Training‹ hatte einen Mittelwert von  $M = 38,5$  [29; 46], mit einer Standardabweichung von  $SD = 4,1$  und möglichem Maximum  $Max = 49$ . Die Erfahrung mit Musiktheorie schätzten die Versuchspersonen im Mittel mit  $M = 4,0$  ( $SD = 1,8$ ) ein. Der hohe Grad an Erfahrungheit der Stichprobe war eine Voraussetzung für eine hohe Reliabilität der Ratings in der Studie.

### Interessantheit

Die Beurteilung der Interessantheit war für die Clusterklangitems REF und VC1 – VC3 höher ausgefallen im Vergleich zu den übrigen Klängen der Studie (VC4 – VC9). Insgesamt war ein abfallender Trend beobachtbar. Tabelle 1 zeigt die Mittelwerte der Interessantheitsbeurteilungen in Abschnitt 1 der Studie.

Clusterklang	Clusterdichte [3,5; 12,0]	Interessantheit Mittelwert	95%-Konfidenzintervall	
			Untergrenze	Obergrenze
VC1	3,5	75,5	70,1	80,9
VC2	5,0	62,7	56,3	69,1
VC3	6,0	70,7	62,6	78,8
VC4	6,5	50,3	45,5	55,1
VC5	7,0	43,6	37,4	49,8
REF	7,0	61,5	54,0	69,0
VC6	8,5	43,1	35,5	50,7
VC7	9,5	40,2	32,1	48,3
VC8	10,5	46,2	38,9	53,5
VC9	12,0	43,0	34,8	51,2

Tabelle 1: Mittelwerte der Interessantheitsbeurteilungen mit 95%-Konfidenzintervallen

Abbildung 5 zeigt die Mittelwerte der Interessantheitsbeurteilungen mit 95%-Konfidenzintervallen (CI). Mithilfe einer polynomischen Regression wurde eine Regressionslinie in das Diagramm eingefügt. Das Bestimmtheitsmaß der Regression über alle Daten betrug  $R^2 = 0,37$ .

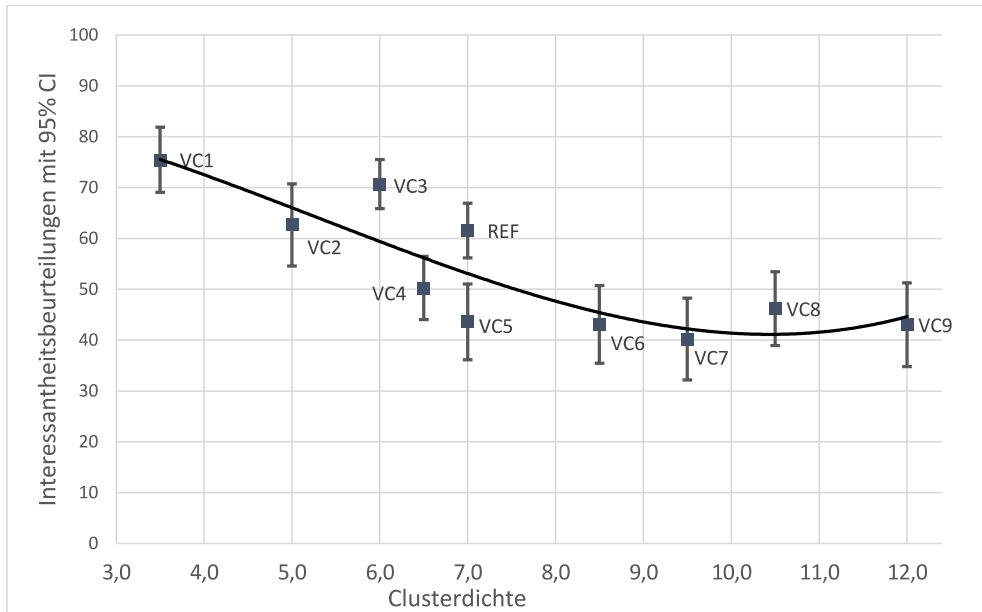


Abbildung 5: Mittelwerte der Interessantheitsbeurteilungen mit 95%-Konfidenzintervallen (95% CI) und Regressionslinie

Zur Komplexitätsreduktion wurde eine Faktorenanalyse (Hauptkomponentenmethode mit Varimax-Rotation und Kaiser-Normalisierung) durchgeführt. Dieses explorative, statistische Verfahren ermöglicht es, erklärende Zusammenhänge (so genannte Faktoren) zwischen den einzelnen Items in den Daten aufzudecken. Im Falle der Interessantheitsbeurteilung ergab das Vorgehen eine Zwei-Faktoren-Lösung mit Eigenwerten über 1 und einer Varianzerklärung von 67%. Der Eigenwert ist Maß für die Relevanz der Faktoren. Im Prinzip existieren noch zahlreiche weitere Zusammenhänge in den Daten, die jedoch nur geringes Erklärungspotenzial bieten. Die Varianzerklärung zeigt jedoch, dass immer noch rund 33% Varianz in dem gefundenen Faktorenmodell nicht erklärt sind. Tabelle 2 zeigt die Faktorladungen (die Stärke des Zusammenhangs zwischen Item und Faktor) der Interessantheitsbeurteilungen.

Clusterklang	Clusterdichte [3,5; 12,0]	Komponenten	
		1	2
REF	7,0		0,757
VC1	3,5		0,741
VC2	5,0		0,709
VC3	6,0		0,527
VC4	6,5	0,834	
VC5	7,0	0,837	
VC6	8,5	0,852	
VC7	9,5	0,881	
VC8	10,5	0,914	
VC9	12,0	0,910	
<b>Eigenwerte</b>		<b>4,83</b>	<b>2,08</b>

Tabelle 2: Faktorladungen der Interessantheitsbeurteilungen mit Varimax-Rotation und Kaiser-Normalisierung.<sup>15</sup> Die Information zur Clusterdichte wurde hinzugefügt.

## Ähnlichkeit

### Erkennung der versteckten Referenz

Der Mittelwert der Ähnlichkeitsbeurteilung des versteckten Referenzklangs mit sich selbst lag bei  $M = 96,4$  (95%-Konfidenzintervall [93,7; 99,1]) und war somit sehr hoch und konsistent über alle Versuchspersonen hinweg. Dies kann so interpretiert werden, dass der Vergleich zwischen zwei identischen Klängen tatsächlich als sehr ähnlich beurteilt wurde. Signifikant war auch der Unterschied zwischen dem identischen Vergleich der Referenz mit sich selbst (>versteckte Referenz<) und den übrigen Paarvergleichen. Dies zeigte sich in einem t-Test mit  $t(49) = 21,82$ ;  $p < 0,001$ , die Effektgröße lag bei Cohens  $d = 3,09$ . Aufgrund des hohen Wiedererkennungseffektes wurde die versteckte Referenz von den weite-

<sup>15</sup> 15 Faktorladungen mit  $r < 0,5$  wurden aus der Tabelle entfernt.

ren Analysen zum Zusammenhang zwischen Clusterdichte und Ähnlichkeitsbeurteilung ausgeschlossen.

### Ähnlichkeitsbeurteilungen

In Tabelle 3 sind die im zweiten Abschnitt der Studie gefundenen Mittelwerte der Ähnlichkeitsbeurteilungen aufgelistet.

Clusterklang	Clusterdichte [3,5; 12,0]	Ähnlichkeit Mittelwert	95%-Konfidenzintervall	
			Untergrenze	Obergrenze
VC1	3,5	25,64	19,8	31,5
VC2	5,0	35,64	28,6	42,9
VC3	6,0	43,64	37,0	50,3
VC4	6,5	44,38	37,7	51,0
VC5	7,0	56,06	49,3	62,8
VC6	8,5	54,92	48,2	61,6
VC7	9,5	45,70	39,2	52,2
VC8	10,5	47,54	41,1	54,0
VC9	12,0	50,30	43,5	57,1

Tabelle 3: Mittelwerte der Ähnlichkeitsbeurteilungen mit 95%-Konfidenzintervallen

Die Mittelwerte der Ähnlichkeitsbeurteilungen zeigten eine Verteilung mit Gipfel bei der Clusterdichte von 7,0 Tönen pro Oktave (VC5). Die Mittelwerte der Klänge VC7 bis VC9 sind nahezu gleich. Die polynomische Regression über den Datensatz erbrachte die in Abbildung 6 geplottete Kurve mit einem Bestimmtheitsmaß von  $R^2 = 0,39$ .

Die Faktorenanalyse (Hauptkomponentenmethode mit Varimax-Rotation und Kaiser-Normalisierung) zeigt eine Dreifaktorenlösung mit jeweiligen Eigenwerten über 1 und einer Varianzaufklärung von 63%. Die Faktorladungen sind in Tabelle 4 dargestellt.

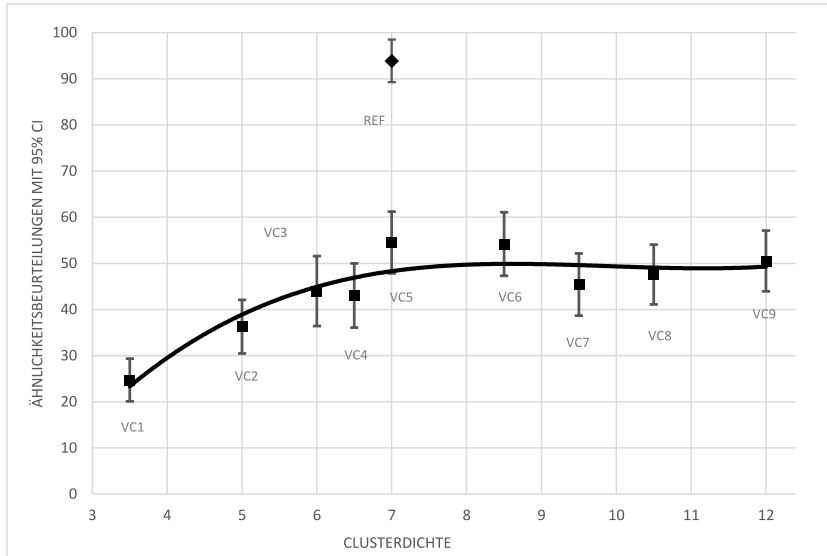


Abbildung 6: Mittelwerte der Ähnlichkeitsbeurteilungen mit 95%-Konfidenzintervallen und Regressionslinie

Clusterklang	Clusterdichte [3,5; 12,0]	Komponenten		
		1	2	3
VC7	9,5	0,739		
VC5	7,0	0,714		
VC1	3,5	0,642		
VC9	12,0	0,592		
VC3	6,0		0,752	
VC2	5,0		0,750	
VC8	10,5		0,673	
VC4	6,5			0,822
VC6	8,5			0,756
	<b>Eigenwerte</b>	<b>2,06</b>	<b>1,98</b>	<b>1,67</b>

Tabelle 4: Faktorladungen der Ähnlichkeitsbeurteilungen mit Varimax-Rotation und Kaiser Normalisierung.<sup>16</sup> Die Information zur Clusterdichte wurde hinzugefügt.

<sup>16</sup> 16 Faktorladungen mit  $r < 0,59$  wurden aus der Tabelle entfernt.

## Psychoakustische Analysen

Dieser Abschnitt stellt ausgewählte psychoakustische Analysen der zehn Clusterklangstimuli vor. Diese Methode soll dazu dienen, Aussagen über die Klangeigenschaften der Stimuli treffen zu können.

### Rauigkeit

›Rauigkeit‹ gehört zu den von Fastl und Zwicker vorgeschlagenen psychoakustischen Maßen.<sup>17</sup> Charakteristisch für dieses Maß ist das Geräuschhafte im Klang. Die Rauigkeitsanalyse der Samples wurde der Software *dBSONIC* durchgeführt.<sup>18</sup> Die durchschnittlichen Rauigkeitswerte der Clusterklänge sind mit der theoretischen Clusterdichte in Tabelle 5 dargestellt.

Clusterklang	Clusterdichte	Durchschnittliche Rauigkeit
	[3,5; 12,0]	<i>M</i> [centi Asper (cA)]
REF	7,0	17,797
VC1	3,5	15,785
VC2	5,0	16,564
VC3	6,0	17,295
VC4	6,5	19,571
VC5	7,0	20,128
VC6	8,5	20,128
VC7	9,5	21,283
VC8	10,5	22,469
VC9	12,0	22,959

Tabelle 5: Rauigkeit der Stimuli nach dBSONIC.<sup>19</sup> Die Information zur Clusterdichte wurde hinzugefügt.

Die Rauigkeitswerte korrelierten mit  $r = 0,95$  mit der theoretischen Clusterdichte. Mit dem Datensatz der Ähnlichkeitsbeurteilungen korrelierte die Rauigkeit mit  $r = 0,63$ , wobei die versteckte Referenz bei der Berechnung herausgelassen wurde.

<sup>17</sup> Fastl / Zwicker 2006.

<sup>18</sup> dBSONIC 2012.

<sup>19</sup> dBSONIC 2012.

## Mel-Frequency-Cepstral-Coefficient

Ein weiteres von Tzanetakis und Cook vorgeschlagenes Verfahren zur Klang- und Timbreanalyse sind die *Mel-Cepstral-Coefficients (MFCC)*.<sup>20</sup> Das Verfahren ist bereits in der Sprachanalyse und für Klangidentifikationen etabliert.<sup>21</sup> Es basiert auf der psychophysikalischen Mel-Tonhöhenkalierung, reduziert darüber hinaus die Komplexität der spektralen Information der Klangdaten durch die Transformation in diskrete Koeffizienten. Die MFCC-Analyse wurde in dieser Studie mit der *MIR-Toolbox* durchgeführt.<sup>22</sup> Tabelle 6 führt ausgewählte MFCCs und die Korrelationen zu Clusterdichte und Ähnlichkeitsbeurteilungen der Studie auf.

Cluster- klang	Clusterdichte [3,5; 12,0]	MFCC						
		1	2	3	4	5	6	7
REF	7,0	3,735	-0,250	0,992	0,020	0,360	0,113	0,147
VC1	3,5	3,879	-0,089	1,088	0,080	0,359	-0,110	0,018
VC2	5,0	3,562	-0,226	1,019	0,040	0,347	0,058	0,035
VC3	6,0	3,882	-0,164	1,033	0,058	0,398	-0,031	0,085
VC4	6,5	4,003	-0,179	1,122	0,181	0,403	0,115	0,040
VC5	7,0	3,881	-0,243	1,053	0,121	0,329	0,017	0,093
VC6	8,5	3,961	-0,208	0,990	0,099	0,424	0,066	0,134
VC7	9,5	3,944	-0,241	1,114	0,159	0,374	0,141	0,101
VC8	10,5	3,893	-0,235	1,061	0,083	0,367	0,105	0,192
VC9	12,0	3,880	-0,231	1,053	0,106	0,374	0,116	0,172
<b>Korrelation <math>r</math> zur Clusterdichte</b>		0,34	-0,63* <sup>23</sup>	0,02	0,29	0,18	0,71* <sup>22</sup>	0,86* <sup>22</sup>
<b>Korrelation <math>r</math> zur Ähnlichkeitseinschätzung</b>		0,14	-0,26	-0,10	0,13	0,07	0,20	0,24

Tabelle 6: Die MFCCs 1 bis 7 für die Clusterklänge in der Studie nach MIR-Toolbox.<sup>24</sup> Die Korrelationen zur Clusterdichte und zur Ähnlichkeitseinschätzung sind mit aufgeführt.

20 Tzanetakis / Cook 2002.

21 Loughran / Walker / O'Neill / O'Farrell 2008.

22 Lartillot / Toiviainen 2007.

23 Signifikanzlevel: \* $p < 0,05$



## Diskussion und Ausblick

Die Ergebnisse dieser ersten experimentellen Studie zur Clusterklangwahrnehmung zeigen, dass deren perzeptuelle Diskrimination nicht zufällig geschieht. Die Beurteilung der Interessanztheit der Klänge zeigt nach der Faktorenanalyse, dass die Vertrautheit der Klänge hier eine Rolle spielt. So laden auf dem ersten Faktor die Klänge, die weniger vertraut sind, während die auf dem zweiten Faktor ladenden Klänge etablierten theoretischen Konzepten wie ›pentatonisch‹ oder ›diatonisch‹ zugeordnet werden können. Die Ergebnisse der Ähnlichkeitsbeurteilungsstudie können zu einem Teil als Bestätigung der These interpretiert werden, dass die spezifische Struktur der Clusterklänge Einfluss auf ihre qualitative Wahrnehmung hat. Die deutliche Wiedererkennung der versteckten Referenz zeigt, dass die strukturellen Aspekte der Klänge differenzierbar sind. Die Verteilung der Ähnlichkeitseinschätzungen der übrigen Klänge entspricht jedoch nicht der Erwartung einer unimodalen Verteilung um die Clusterdichte des Referenzklanges. Auch wenn es um die Clusterdichte 7,0 Töne pro Oktave einen Gipfel in der Ähnlichkeitseinschätzung gibt, so gibt es oberhalb dieses Wertes ähnlich hohe Ähnlichkeitseinschätzungen. Eine mögliche Erklärung ist, dass mit zunehmender Clusterdichte ein Sättigungseffekt in der Wahrnehmung einsetzt, wie in Hypothese 2 angenommen. Die Faktorenanalyse der Ähnlichkeitsbeurteilungen scheint ebenfalls Einflüsse der Klangstruktur widerzuspiegeln, hier ist jedoch die Interpretation der Faktoren nicht klar, was weitere Untersuchungen notwendig macht. Die psychoakustischen Analysen korrelieren stark mit der theoretischen Annahme der Clusterdichte, so dass das Dichtemaß zur Beschreibung der Clusterstruktur mit Einschränkungen geeignet scheint. Eine relativ hohe Korrelation ist auch zwischen den Ähnlichkeitsbeurteilungen und den psychoakustischen Maßen zu beobachten. Die Ergebnisse der Studie können als Grundlage für ein systematisches Hörtraining mit Klängen der Musik des 20./21. Jahrhunderts genutzt werden. Die Beobachtungen des Effektes der Clusterdichte sind dabei nicht nur auf Musik mit Klavierclusterklängen übertragbar. Es zeigt sich hier auch die Möglichkeit einer wahrnehmungsbasierten Theorie klangerorientierter Genres der Neuen Musik.

## Literatur

- Baronowsky, Uli / Ingo Hermes (2012), »The Giant«, Native Instruments. [https://www.native-instruments.com/fileadmin/ni\\_media/downloads/manuals/The\\_Giant\\_Manual\\_English.zip](https://www.native-instruments.com/fileadmin/ni_media/downloads/manuals/The_Giant_Manual_English.zip)
- Cowell, Henry Dixon (1930), *New Musical Resources*, New York: AA Knopf.
- dBSONIC (2012), »dBSONIC«, 01dB-Metravib. <https://www.01db.com/software/>
- Fastl, Hugo / Eberhard Zwicker (2006), *Psychoacoustics: Facts and Models*, Berlin: Springer.
- Forte, Allen (1973), *The Structure of Atonal Music*, New Haven: Yale University Press.
- Grünzweig, Werner (1995), »Cluster« in: *Musik in Geschichte und Gegenwart*, Bd. 2, hg. von Ludwig Finscher, Kassel: Bärenreiter.
- International Telecommunication Union (2014), »Method for the subjective assessment of intermediate quality level of audio systems BS Series Broadcasting service«.
- Kagel, Mauricio (1959), »Ton-Cluster, Anschläge, Übergänge«, *Die Reihe. Informationen über serielle Musik* 5, 23–37.
- Lartillot, Olivier / Petri Toiviainen (2007), »A Matlab toolbox for musical feature extraction from audio«, *International Conference on Digital Audio Effects*, 237–44.
- Loughran, Róisín / Jacqueline Walker / Michael O’Neill / Marion O’Farrell (2008), »The use of mel-frequency cepstral coefficients in musical instrument identification«, *International Computer Music Conference, Belfast, Northern Ireland*.
- Ong, Arvid (2019), *Die Ähnlichkeit von Tonclustern: Zur Hörwahrnehmung eines prototypischen Klangs in Neuer Musik*, Berlin: wvb.
- Quakenbusch, Schuyler (2004), »STEP - Subjective Test and Evaluation Program«, Audio Research Labs.
- Salmenhaara, Erkki (1969), *Das musikalische Material und seine Behandlung in den Werken »Apparitions«, »Atmosphères«, »Aventures« und »Requiem« von György Ligeti*, Regensburg: Bosse.
- Schaal, Nora K. / Anna-Katharina R. Bauer / Daniel Müllensiefen (2014), »Der Gold-MSI: Replikation und Validierung eines Fragebogeninstrumentes zur Messung Musikalischer Erfahrung anhand einer deutschen Stichprobe«, *Musicae Scientiae* 18, 423–47.
- Schneider, Albrecht / Andreas Beurmann (1991), »Struktur, Klang, Dynamik: Akustische Untersuchungen an Ligetis »Atmosphères««, in: *Für György Ligeti. Die Referate des Ligeti-Kongresses, Hamburg 1988*, hg. von Peter Petersen, Laaber: Laaber.
- Schönberg, Arnold (1922), *Harmonielehre*, Wien: Universal Edition.
- Tzanetakis, George / Perry Cook (2002), »Musical genre classification of audio signals«, *IEEE Transactions on Speech and Audio Processing* 10, 293–302.

Arvid Ong, Reinhard Kopiez

© 2020 Arvid Ong (arvid.ong@uni-hamburg.de), Reinhard Kopiez (reinhard.kopiez@hmtm-hannover.de)

Institut für Historische Musikwissenschaft der Universität Hamburg; Hochschule für Musik, Theater und Medien Hannover

Ong, Arvid / Reinhard Kopiez (2020), »Die Unterscheidbarkeit musikalischer Cluster. Eine wahrnehmungspsychologische Studie«, in: *»Klang«: Wundertüte oder Stiefkind der Musiktheorie. 16. Jahreskongress der Gesellschaft für Musiktheorie Hannover 2016* (= GMTH Proceedings 2016), hg. von Britta Giesecke von Bergh, Volker Helbing, Sebastian Knappe und Sören Sönksen, 197–214. <https://doi.org/10.31751/p.14>.

veröffentlicht / first published: 01/10/2020