



Humboldt Universität zu Berlin

Philosophische Fakultät III
Institut für Kultur- und Kunstwissenschaft
Seminar für Medienwissenschaft
Modul: Medien von Schrift und Zahl
Sommersemester 07

Seminar: „Signalbasierte und psychoakustische Grundlagen für eine Theorie des Sonischen“
Bei Martin Carlé

Hausarbeit

Ein Vergleich der empfundenen Dissonanz verschiedener
 Klänge und Stimmungen mit SuperCollider3.

von
Esther Mader

mader@uni-potsdam.de

Ein Vergleich der empfundenen Dissonanz verschiedener Klänge und Stimmungen mit SuperCollider3.

Gliederung

1. Einleitung.....	2
2. Zur Methode.....	2
3. Bedingtheit der Dissonanz.....	3
4. Helmholtz, Sethares und die Dissonanz.....	4
5. Elektronische Klänge.....	7
a. Einleitender Vergleich.....	7
b. Erstes Beispiel.....	8
c. Zweites Beispiel.....	11
6. Fazit.....	15
Literatur.....	17

1. Einleitung

William A. Sethares, Professor an der University of Wisconsin, Forscher, Komponist und Musiker, untersucht in seinem Buch *Tuning, Timbre, Spectrum, Scale* (1999) Konsonanz und Dissonanz. Ein zentraler Punkt stellt in seinen Studien die historische und kulturelle Bedingtheit der Definition des Dissonanzbegriffs dar. Trotz unterschiedlicher Vorstellungen von Dissonanz, kann ihr eine konstante physiologische Ursache zugrundegelegt werden, was zum einen bereits Hermann von Helmholtz¹ belegte und zum anderen von Sethares weiter expliziert werden konnte. Sethares nutzt seine Erkenntnisse, um den Möglichkeitsraum des Komponierens z.B. durch neue Arten des Stimmens, die sich aus seinen Beobachtungen ergeben, zu erweitern. Im Zuge dieser klanglichen Experimente stellt er die These auf, dass die empfundene Dissonanz nicht unabhängig von der Klangfarbe des Instrumentes betrachtet werden kann. Stattdessen scheint eine Verbindung zwischen den verwendeten Notenskalen und dem Instrument zu bestehen: „The musical uses of a scale depend crucially in the tone quality of the instrument.“ (75)² Im Folgenden wird der These nachgegangen, ob der wahrgenommene Wohlklang in Abhängigkeit zur Synthese des Klangs³ bzw. der Klangfarbe stehen kann. Dazu werden verschiedene Klänge synthetisch mit Hilfe des Programms SuperCollider3 bzw. Psycollider erstellt.

2. Zur Methode

Die synthetische Klangerzeugung erlaubt eine einfache und unkomplizierte Reproduktion verschiedener Klangfarben, ermöglicht die Veränderung einzelner Klangelemente und –eigenschaften und stellt dadurch verschiedenste Variationen zur Verfügung. Äußere Einflussfaktoren wie die Beschaffenheit der Instrumente, unterschiedliche Bearbeitung, Alter oder Materialien können über eine solche Klangerzeugung ausgeschlossen werden. Des Weiteren wird sich durch die Nutzung von Zufallsgeneratoren anderen Einflüssen auf die Dissonanz entzogen, wie z.B. Intervallen, Tongeschlecht oder sich aus der Tonfolge ergebenden Tonbeziehungen. Die verwendeten Zufallsgeneratoren haben die Eigenschaft,

¹ Vgl. Hermann von Helmholtz: *Lehre von den Tonempfindungen als physiologische Grundlage für die Theorie der Musik* (1863), Braunschweig, Vieweg, 1913

² Alle in Klammern gesetzte Seitenzahlen sind entnommen aus: William A. Sethares: *Tuning, Timbre, Spectrum, Scale*, Springer Verlag, London, 2005

³ Klang wird hier als Zusammensetzung von reinen Tönen verstanden und wird als Überbegriff verwendet. (Siehe 4.). Schnelle regelmäßige Erschütterungen der Luft bringen Schwingungen hervor, die wir als Ton wahrnehmen. Je schneller die Stöße, desto höher der Ton. Zwei Töne mit gleicher Schwingungszahl sind unabhängig vom Instrument immer gleich hoch. Es ist die Klangfarbe, die uns Instrumente unterscheiden lässt. Sie zeigt sich an der Form der zusammengesetzten Schwingung. Vgl. Helmholtz, 1913, S.123, 125, 132.

bei jedem Start ein anderes Muster von zum Beispiel Frequenzfolgen zu ergeben, was die quantitative Qualität allein durch ein mehrmaliges Evaluieren erhöht. Außerdem ermöglicht dies einen Vergleich des Wohlklangs hinsichtlich nur eines Merkmals, der Klangfarbe, da andere Faktoren ausgeschlossen wurden. Es sollen einerseits differente Klänge bzw. Klangfarben in der gleichen Stimmung gespielt und verglichen werden. Damit wird der Frage nachgegangen, ob sich die gleiche Stimmung bei unterschiedlichen Instrumenten verschieden auf den Wohlklang auswirkt. Andererseits werden auch verschiedene Stimmungen in den gleichen Klangfarben produziert, denn gibt es einen Zusammenhang zwischen Klangfarbe, Stimmung und Wohlklang müsste dieser auch auf dieser Weise nachweisbar sein. Dabei wird die entstehende Dissonanz jedoch nicht gemessen, sondern mit dem subjektiven Empfinden beurteilt. Dies macht eine Voranstellung von Überlegungen zur Bedingtheit der Dissonanz nötig, sowie einen Beitrag zur Klärung der Vorstellung von Dissonanz.

3. Bedingtheit der Dissonanz

In Sethares Abriss unterschiedlicher Verwendung des Dissonanzbegriffs (77ff.) reichen die Vorstellungen von einer Abhängigkeit der Dissonanz zum melodischen Kontext, über die Beziehung der einzelnen Töne zum Grundton, bis hin zur Beschreibung der Dissonanz als unangenehm. Mit der Veränderung von Medien und den technologischen Infrastrukturen entwickelt sich die Musikkultur, die ihrerseits auf die Infrastrukturen zurückwirkt.⁴ Technik, Musik und Kultur entwickeln sich folglich simultan und sind miteinander verknüpft und verwoben. Bestimmte Medien sind somit kennzeichnend für eine Musikentwicklung, da der Zugang zur Musik technologisch bestimmt ist. An dieser Stelle wird zum einen die Verschränkung von Musik- und Medienwissenschaft offenkundig und zum anderen die Bedeutung der Dissonanz für beide, denn Musik präsentiert sich in diesem Zusammenhang als Information, welche erst durch Quantifizierung sicht- und lesbar werden kann. Für eine solche Objektivierung erstellt Sethares Dissonanzkurven (97ff.), macht Regelmäßigkeiten der Spektren harmonischer Instrumente ausfindig und legt dar, dass auch inharmonische Spektren, wie sie durch das Anschlagen von Steinen oder Metallstangen (131ff.) entstehen, dissonante Berge und Täler aufzeigen. Die notierten Dissonanzkurven führen ihn zu der Annahme, dass es einen Zusammenhang zwischen der wahrgenommenen Dissonanz, der

⁴ Vgl. diese These bei Marc Leman: Foundations of Musicology as Content Processing Science, in: JMM – Journal of Music and Meaning, vol. 1, 2003, section 3, auf: <http://www.musicandmeaning.net/issues/showArticle.php?artID=1.3>

Klangfarbe bzw. der Instrumente und der so ermöglichten Musiktechnik, -struktur, aber auch -kultur zu geben scheint (84ff., 200). Diese Bedingtheit bietet die Voraussetzung einer neuartigen Musik, die mit der herkömmlichen Tradition des Komponierens bricht, denn wenn das Dissonanzempfinden ein Stück weit sozialisiert ist, kann es ebenso beeinflusst werden. Dies versucht Sethares zu Nutzen, um neue Instrumente zu kreieren, die in zunächst befremdeten Stimmungen gespielt werden, also nicht der hier kulturell verwurzelten Zwölf-Halbtonschritt-Tonleiter entsprechen.

Als Beispiel für die Kulturbedingtheit des Wohlklangs führt Sethares in seinem Buch das javanische Gamelan (199ff.) an, welches aus inharmonischen Metallophonen, wie Xylophonen, Gongs oder Glockenspielen besteht. Das als Ensemble auftretende Percussioninstrument ist in ungewöhnlichen Fünf-Noten- (*slendro*) oder Sieben-Noten- (*pelog*) Skalen⁵ gestimmt und hat keine einheitlich gleichstufige Stimmung. Stattdessen variieren die Notenstufen innerhalb der Tonleiter, sodass z.B. Oktaven nicht genau ein Verhältnis von 1:2 haben und verschiedene „Oktaven“ eines Instruments von einander abweichen (211). Das Gamelan wird individuell an das Orchester angepasst; Folglich klingt kein Gamelan wie ein anderes. Für das europäisch geprägte Gehör kann dessen Musik nicht nur ungewöhnlich, sondern auch irritierend klingen.

Auf der einen Seite zeigt die Verwendung der im Okzident weitgehend unbekanntes Skalen des Gamelan, den kulturellen Einfluss auf die Musikstruktur (85) und auf der anderen Seite lässt sie einen Zusammenhang der Stimmung zum Instrument erahnen. So ist es schwer, sich eine Violine in javanesischer Stimmung vorzustellen. Das Beispiel des Gamelan wird hier im letzten Teil *Elektronische Klänge* aufgegriffen, denn folgt man Sethares Ansatz, sollten die *slendro*- und *pelog*- Skalen auf anderen Instrumenten gespielt, ihren Reiz verlieren. Dies soll mit Hilfe synthetischer Klänge geprüft werden.

4. Helmholtz, Sethares und die Dissonanz

Der kulturelle Einfluss stellt einen Faktor der empfundenen Dissonanz dar, ist aber nicht der entscheidende, denn Dissonanz ist auf physiologische Ursachen zurückzuführen. Im Folgenden arbeite ich mit Hermann von Helmholtz' (1821-1894) Dissonanzverständnis, denn dieses bietet ebenso für Sethares die Ausgangsbasis. Helmholtz, Physiologe und Physiker, erkennt bei seinen Untersuchungen der Tonempfindungen (1862) physikalische sowie sensorische Gesetzmäßigkeiten von Dissonanz, was in seiner Unterscheidung

⁵ Sethares verwendet zur kürzeren Umschreibung der Notenskalen auch die Begriffe 5-tet für *slendro*, 7-tet für *pelog* usw.

zwischen dem leiblichen Ohr des Körpers und dem geistigen Ohr des Vorstellungsvermögens Ausdruck findet.⁶ Er geht nicht von dem Ton als Einheit aus, sondern unterteilt ihn in Partialtöne, die seit dem 19. Jahrhundert als Grundton und Obertöne begrifflich gefasst sind. Der Grundton, oder der einfache Ton (Sinuston), wie er etwa beim Anschlagen einer Stimmgabel entsteht, überträgt Helmholtz ins Visuelle mit dem Ergebnis einer Sinuskurve. Er weist jedoch darauf hin, dass der reine Ton kaum als solcher auftritt, da bei einem angeschlagenen Ton – z.B. beim Klavier – immer dessen Obertöne, also ganzzahlige Vielfache, mitschwingen. Ein solcher Klang präsentiert sich graphisch als Zusammensetzung mehrerer Töne und ergibt eine entsprechend geformte Welle.⁷ Entscheidend für seine Erklärung der Dissonanz ist die Schwebung, die er für die Dissonanz verantwortlich macht. Er beobachtet, dass sich zwei gleichlange Wellen gleicher Richtung addieren oder subtrahieren: Wenn exakt Höhe auf Höhe und Tal auf Tal trifft, kommt es zur konstruktiven Interferenz. Sie löschen sich dagegen aus, wenn das Tal der einen, direkt auf den Berg der anderen Welle fällt (destruktive Interferenz) (41). Handelt es sich aber um minimal differierende Schwingungslängen, verschiebt sich das Zusammenfallen von Tal und Berg mit dem Resultat der Schwebung. Dabei handelt es sich um eine neue Schwingung, welche die Form der Umrandungslinie der sich schneidenden Wellen aufweist. Helmholtz' stellt vor diesem Hintergrund die These auf, dass Schwebungen im Ohr Rauheit erzeugen, was sich als Dissonanz erfahren lässt. Für den anschließenden Vergleich von synthetischen Klängfolgen bezüglich ihrer Dissonanz bedeutet dies, dass zwei gleiche Frequenzen oder ganzzahlige Vielfache einer Grundfrequenz im Zusammenklang keine Dissonanz hervorrufen, da diese die gleiche Wellenlänge und –richtung aufweisen und so keine Schwebung erzeugen. Aus Helmholtz' Analyse geht weiter hervor, dass unser Ohr fähig ist, diese Wellen in seine einzelnen Bestandteile zu zerlegen:

[E]s löst die Wellenformen, welche nicht, wie die Stimmgabeltöne, schon ursprünglich der einfachen Wellenform entsprechen, in eine Summe von einfachen Wellen auf; es empfindet den Ton einzeln [...] mag nun die Welle ursprünglich als solche aus der Tonquelle hervorgegangen sein, oder sich erst unterwegs zusammengesetzt haben.⁸

Um dies zu ermöglichen, befinden sich auf der Basilarmembran im Cortischen Organ des Ohres Härchen, die wie Tasten eines Klaviers regelmäßig nebeneinander liegen.⁹ Jedem von ihnen entspricht ein Teilton. Helmholtz geht von einer Beziehung zwischen Reizungsort der Basilarmembran und der wahrgenommenen Tonhöhe aus, was Sethares ein Jahrhundert

⁶ Vgl. Hermann von Helmholtz, 1913, S.143, und ausführlich Matthias Rieger: Helmholtz Musicus, WBG, Darmstadt, 2006, S.155

⁷ Zur Schallwelle vgl. Hermann von Helmholtz, 1913, S.141ff.

⁸ Hermann von Helmholtz, 1913, S.143

⁹ Helmholtz vergleicht das Innenohr mit einem Klavier, siehe Hermann von Helmholtz, 1913, 139f.

später als *Place Theory* (43) ausweist und weiterentwickelt. Sethares bezeichnet den Bereich, in dem Härchen sehr nahe aneinander liegen und aus diesem Grund sich ihre Reaktion überschneidet, als *Critical Band* (43ff.). Fallen zwei Töne in die gleiche Grenzbandbreite, ist nur ein Ton hörbar, d.h. dass zwei Töne nur getrennt wahrnehmbar sind, wenn sie in verschiedenen kritischen Grenzbereichen liegen. Sethares kommt mit Hilfe eines Perzeptionsexperiments (45-48) zu dem Ergebnis, dass die empfundene Dissonanz im Grenzbandbereich liegt. Denn wenn zwei Sinustöne mit gleicher Anfangsfrequenz ertönen, einer sich langsam erhöht, während der andere gleich bleibt, lässt sich für die wahrgenommene Dissonanz eine Kurve zeichnen, die schnell ansteigt und langsam fällt, bis die zwei Töne schließlich getrennt wahrgenommen werden. Das Maximum dieser Dissonanzkurve, also die stärkste wahrgenommene Rauheit, misst Sethares bei $\frac{1}{4}$ des kritischen Grenzbereichs, was zeigt, dass die Überlappung der Härchen Rauheit hervorruft. Auch stellt sich bei seinen Messungen heraus, dass ein Zusammenhang zwischen der empfundenen Dissonanz und der Anzahl der Schwebungen besteht, womit er Helmholtz' Aussage darüber bekräftigt. Da Dissonanz zwar schwächer, aber dennoch wahrgenommen wird, wenn die Frequenzen auf beiden Ohren verteilt sind, schließt Sethares, dass die Dissonanz als Teil des psychischen Apparates, der die Töne zusammenmischt, aber auch als Vorgang im physiologischen Ohr zu verstehen ist.

Folglich kann zwischen der sensorischen bzw. empfundenen Dissonanz und der physiologischen unterschieden werden, denn Letztere liegt der Ersten zugrunde. Trotz kultureller Bedingtheit ist daher die entscheidende Ursache für Konsonanz und Dissonanz physiologisch begründet. Wenn jedoch hier die Dissonanz verschiedener Klänge verglichen wird, steht die wahrgenommene Dissonanz im „Hörfeld“. Die Anzahl der Schwebungen oder die messbare Dissonanzkurve soll für die Fragestellung nach dem Wohlklang im Zusammen-hang bestimmter Stimmungen und Klangfarben nicht relevant sein. Die Erkenntnis über die Entstehung der Dissonanz und dennoch mit der subjektiven Empfindung zu arbeiten, macht hier jedoch eine Begründung der Vorgehensweise unabwendbar: Mit Sethares Zugang zu diesem Thema, also vor dem Hintergrund einer neuen Kreation von Instrumenten mit neuartigen Stimmungen, darf eine solche Untersuchung nicht von ihrem kulturellen und perzeptiven Hintergrund gelöst werden, schließlich soll die dadurch möglicherweise entstehende Musik kein Unbehagen bei Hörer und Hörerin auslösen. So muss die Entwick-lung neuer Kompositionen unter den gleichen kulturellen Bedingungen erfolgen, unter welchen man sie später auch spielt. Um der hier im Fokus stehenden These nachzugehen, kann folglich nicht nur auf die subjektive Wahrnehmung zurückgegriffen

werden, sondern ergibt sich dafür sogar ein Imperativ. Dabei ist dennoch darauf hinzuweisen, dass die Wahrnehmung aufgrund ihrer subjektiven Prägung immer verschieden und hinsichtlich der Dissonanzbeschreibung auch fehlerhaft sein kann. Meine Interpretationen können somit von denen der Leserschaft durchaus abweichen.

5. Elektronische Klänge

a. Einleitender Vergleich

*/*Um den Unterschied zwischen harmonischen und inharmonischen Klängen zu vergegenwärtigen, kann folgende Syntax in SuperCollider3 abgespielt werden. Dabei startet ein irregulärer Trigger Sägezähne unterschiedlicher Frequenzen. Es handelt sich hierbei einerseits um harmonische Klänge in "harm", denn auf dem Grundton mit 55 Cent folgen dessen ganzzahlige Vielfache. Und andererseits können inharmonische Klänge in "inharm" erklingen, mit Frequenzen, die leicht von den Vielfachen des Grundtons abweichen. Der Kammfilter "comb" verdeutlicht den Unterschied.*/*

s.boot

```
(
SynthDef ("harm", {
  var trig, freq, sig;
  trig = Dust.ar(5);
  //aperiodischer Impulsgenerator
  freq = Demand.ar(trig, 0, Dseq([55,110,165,220], 1000));
  //ganzzahlige Vielfache
  sig = LFSaw.ar(freq);
  Out.ar(0, sig*0.05);
}).send(s);

SynthDef ("inharm", {
  var trig, freq, sig;
  trig = Dust.ar(5);
  freq = Demand.ar(trig, 0, Dseq([55, 115.3, 163, 223], 1000));
  //geringe Abweichung von den Vielfachen
  sig = LFSaw.ar(freq);
  Out.ar(0, sig*0.05);
}).send(s);

SynthDef ("comb", {arg delay= 0.1, decay= 1;
  var sig,del;
  sig = In.ar(0, 1);
  del = CombL.ar (sig, 2, delay, decay);
  Out.ar(0, [sig, del]);
}).send(s);
)
```

```
a= Synth ("comb")
b=Synth ("inharm")
```

```
a=Synth ("comb")
d=Synth ("harm")
```

b. Erstes Beispiel

/* Im Appendix seines Buches führt Sethares die Frequenzwerte der Messungen verschiedener Gamelans an. Es bietet sich an, mit deren Stimmungen zu experimentieren, da sie der westlichen Kultur weitgehend unbekannt sind. Die hier verwendeten Werte des Gamelan Kyai Kaduk Manis sind im slendro des Instruments gender gestimmt, das aus Bronzemetallophonen besteht. Zunächst wird der gleiche Klang mit Frequenzen der herkömmlichen 12-tet, danach im slendro des Gamelans gespielt.*/

```
//Erzeugung eines Grains mit Hilfe einer Hüllkurve
```

```
(
SynthDef("bu", { arg dur=0.15, freq =500, pan=0, vol=1;
    var env, sig;
    env = EnvGen.ar(Env([0, 0.2, 0], [dur, dur],\sine), doneAction: 2);
    sig = SinOsc.ar(freq, 0, env);
    sig = Pan2.ar (sig, pan);
    Out.ar(0, sig*vol);
}).send(s);
```

```
Synth ("bu")
```

/*Dieser Ton kann nun mit Hilfe einer Granularsynthese in der 12-tet erklingen. Rrand hat nur eine ästhetische Funktion. 69.midi cps entspricht dem a der gewöhnlichen 12-tet und damit 440Hz.*/

```
(
t = Task({
    var dur, next, vol, pan, freq;
    inf.do({ arg i;
        dur = 0.4; //Dauer
        next = 0.2; //Overlap
        vol = rrand (0.2, 0.8);
        pan = rrand (-1.0, 1.0);
        freq = [60,61,62,63,64,65].midicps.choose;
        Synth("bu", [ \dur, dur, \vol, vol, \pan, pan, \freq, freq ]);
        next.wait;
    });
})
)
```

```
t.start  
t.stop
```

```
//oder in der Stimmung des Gamelan Kyai Kaduk Manis: Slendro
```

```
(  
r = Task({  
  var next, vol, pan, dur, freq;  
  inf.do({ arg i;  
    dur = 0.4;  
    next = 0.2;  
    vol = rrand (0.2, 0.8);  
    pan = rrand (-1.0, 1.0);  
    freq = [231,223,239,247,253].choose;  
    Synth("bu", [ \dur, dur, \vol, vol, \pan, pan, \freq, freq]);  
    next.wait;  
  });  
})  
)  
//zum Vergleich  
r.start  
r.stop
```

```
t.start  
t.stop
```

/*Dieser perkussive Klang scheint in der Gamelanstimmung besser zu klingen als in der herkömmlichen 12-tet.

Im Folgenden verwende ich eine slendro und eine pelog Stimmung zuerst für einen Klang, ähnlich den eines Cembalos und danach für einen perkussiven Klang. Die Stimmungen bleiben somit gleich, während die Klangfarbe verändert wird.

Hier die Stimmung zweier "Oktaven" des Kyai Kaduk Manis. Fünf zufällige Frequenzen werden ausgewählt und in verschiedener Taktung übereinander gelegt, so dass sich unterschiedliche willkürliche Tonbeziehungen ergeben. Bei jeder Evaluation ergeben sich andere Klangkollagen.*/

```
5.do{(  
SynthDef("slendro", { arg decay=3;  
  var sig, del, delay;  
  delay = [140,160,183,210,241,279,320,367,420,480].reciprocal.choose;  
  sig = Impulse.ar(rrand(0.37, 2.00));  
  del = CombL.ar(sig, 2, delay, decay);  
  sig = Pan2.ar (del, 0);  
  Out.ar(0, sig*0.4);  
  }).play;  
})
```

/*Es präsentiert sich ein irritierender Klang. Ähnlich verhält es sich auch für das „Cembalo“ mit der pelog- Stimmung des Gamelans Swastigitha.*/

```

4.do{(
SynthDef("pelog", { arg decay=3;
    var sig, del, delay;
    delay = [100, 145, 301, 121, 99, 162, 261].reciprocal.choose;
    sig = Impulse.ar(rrand(0.21, 1.99));
    del = CombL.ar(sig, 2, delay, decay);
    sig = Pan2.ar (del, 0);
    Out.ar(0, sig*0.4);
    }).play
)}

```

//Nun zum Vergleich dagegen ein perkussiver Klang in der gleichen Stimmung (slendro des Gamelan Kyai Kaduk Manis).

```

5.do({(
{Pan2.ar(
SinOsc.ar([[140, 160,183,210].choose, [241,279,320,367,420,480].choose],
mul: EnvGen.kr(Env.perc(0.001, 0.6), Dust.kr(2),0.2)
), 0)
}.play
)})

```

//Und im pelog.

```

5.do({(
{Pan2.ar(
SinOsc.ar([[100, 145, 301].choose, [121, 99, 162, 261].choose],
mul: EnvGen.kr(Env.perc(0.001, 0.6), Dust.kr(2),0.2)
), 0)
}.play
)})

```

/*Auffällig ist, dass die slendro und pelog- Stimmung für cembalo-ähnliche Klänge unangenehmer klingt, während sie für Perkussionklänge weniger Irritation hervorruft. Interessant ist auch, dass der gleiche perkussive Klang für die herkömmliche 12-tet befremdlicher wirkt.*/*

```

5.do({(
{
Pan2.ar(SinOsc.ar([[55,57,59].midicps.choose, [62,64].midicps.choose],
mul: EnvGen.kr(Env.perc(0.001, 0.6), Dust.kr(2),0.2)
), 0)
}.play
)})

```

/*Hier noch einmal das Cembalo zum Vergleich. Erst in der herkömmlichen 12-tet und danach in der slendro Stimmung. Bei mehrfachem Anhören fällt auf, dass die slendro Stimmung "schiefer" oder ungewöhnlicher klingt. (Was nicht heißt, dass das Cembalo wohltuend klingt, aber dennoch besser)*/*

```

5.do{(
SynthDef("12-tet Cembalo", { arg decay=2;
    var sig, del, delay;
    delay = [60,61,62,63,64,65,66,67,68,69,70,72].midicps.reciprocal.choose;
    sig = Impulse.ar(rrand(0.33, 2.01));
    del = CombL.ar(sig, 2, delay, decay);
    sig = Pan2.ar (del, 0);
    Out.ar(0, sig*0.4);
    }).play;
})
5.do{(
SynthDef("slendro", { arg decay=2;
    var sig, del, delay;
    delay = [140,160,183,210,241,279,320,367,420,480].reciprocal.choose;
    sig = Impulse.ar(rrand(0.33, 2.01));
    del = CombL.ar(sig, 2, delay, decay);
    sig = Pan2.ar (del, 0);
    Out.ar(0, sig*0.4);
    }).play;
})

```

```

//Anmerkung zu den Frequenzen:
60.midicps //Ausgabe ~261,63
72.midicps //Ausgabe ~493,88

```

/*die gleiche Spannweite der Frequenzen kann aufgrund der unterschiedlichen Schritte nicht getroffen werden, sie liegen jedoch nahe aneinander; die Differenzen bleiben demnach unberücksichtigt*/

c. Zweites Beispiel

/*Nun folgt ein string-ähnlicher Klang, da Strings charakteristisch für die westliche Musik sind.*/

```

(
SynthDef("string", { arg dr=0.35, freq =300, fg= 300, vol=1, pos=0;
    var env, sig;
    env = EnvGen.ar(Env([1.5, 0.4, 0], [dr, dr]), doneAction: 2);
    sig = Saw.ar( freq, env );
    sig = Resonz.ar( sig, fg );
    sig = Pan2.ar( sig, pos);
    OffsetOut.ar(0, sig*vol);
}).send(s);

SynthDef ("delay", {
    var sig, del, comb;
    sig = In.ar (0, 1);
    del = DelayN.ar (sig, 0.1, 0.009);
    Out.ar (0, del);
}).send(s);

```

```
)
```

```
Synth("delay")
```

```
Synth("string")
```

```
/*zuerst den Delay, (dann String evaluieren und) zuletzt den Task starten; Der Delay kann  
aber auch weggelassen werden. Er schafft Hall und verstärkt so das Dissonanzempfinden  
während des Task, da sich die folgenden Töne mehr überschneiden. Der Hall wird folglich  
zur Verdeutlichung eingesetzt*/
```

```
//in Tönen der 12-tet Stimmung
```

```
(
```

```
t = Task({
```

```
    var next, freq, vol, pos, dr;
```

```
    inf.do({ arg i;
```

```
        dr = 0.5;
```

```
        next = dr * rrand(0.1, 0.4);
```

```
        vol    = 0.3;
```

```
        pos    = rrand (-1.0, 1.0);
```

```
        freq   = [54, 55, 56, 57, 58, 59, 60].midicps.choose;
```

```
        s.makeBundle(0.1, { Synth("string", [\dr, dr, \freq, freq, \pos, pos, \vol,
```

```
vol]) });
```

```
        next.wait;
```

```
    });
```

```
})
```

```
)
```

```
t.start
```

```
t.stop
```

```
/*Hier ist es wichtig den Task über die stop-Funktion zu beenden, da sonst auch der Delay  
abgeschaltet wird.
```

```
Nun ohne gis und b (ohne schwarze Tasten), was eher der herkömmlichen Nutzung von  
Stringklängen entspricht und so besser gezeigt werden kann, dass diese Art von Klang  
tatsächlich mit der Stimmung korrespondiert*/
```

```
(
```

```
o = Task({
```

```
    var next, freq, vol, pos, dr;
```

```
    inf.do({ arg i;
```

```
        dr = 0.5;
```

```
        next = dr * rrand(0.1, 0.4);
```

```
        vol    = 0.3;
```

```
        pos    = rrand (-1.0, 1.0);
```

```
        freq   = [54, 55, 57, 59, 60].midicps.choose;
```

```
        s.makeBundle(0.1, { Synth("string", [\dr, dr, \freq, freq, \pos, pos, \vol,
```

```
vol]) });
```

```
        next.wait;
```

```
    });
```

```

})
)

o.start
o.stop

//und mit Tönen der 5-tet
(
p = Task({
    var next, freq, vol, pos, dr;
    inf.do({ arg i;
        dr = 0.5;
        next = dr * rrand(0.1, 0.4);
        vol    = 0.3;
        pos    = rrand (-1.0, 1.0);
        freq   = [140,160,183,210,241].choose;
        Synth("string", [\dr, dr, \freq, freq, \pos, pos, \vol, vol]);
        next.wait;
    });
});
)

```

```

p.start
p.stop

```

```

//zum Vergleich alle hintereinander
//Töne der 12-tet
t.start
t.stop
//Töne der 12-tet ohne Halbtonschritte
o.start
o.stop
//Töne der 5-tet
p.start
p.stop

```

/*Am unangenehmsten zeigt sich hier die volle 12-tet, während sie ohne dem gis und b leicht konsonanter als die 5-tet erscheint. Die Halbtonschritte nicht mit einzubeziehen stützt sich hier auf das Argument, dass die Stimmung so der gewöhnlichen Nutzung näher kommt. Diese Methode ist jedoch fraglich, da die 5-tet ebenso entfernt ihrer herkömmlichen Nutzung verwendet wird. Vielleicht gibt die Gegenprobe mehr Aufschluss. Es werden nun den string-ähnlichen Klängen perkussive mit den gleichen Frequenzen der 12-tet, dann der 5-tet gegenübergestellt.*/

```

7.do{(
SynthDef ("pong12", {
    var freq, env, sig;
    freq = [[54, 55, 56].midicps.choose, [57, 59, 60].midicps.choose];
    env = EnvGen.kr(Env.perc(0.001, 0.3), LFNoise1.kr(4));
    sig = SinOsc.ar( freq, 0, env);

```

```

    Out.ar (0, sig*0.4);
  }).play;
})

7.do{(
SynthDef ("pong5", {
  var freq, env, sig;
  freq = [[140, 160, 183].choose, [210, 241, 279].choose];
  env = EnvGen.kr(Env.perc(0.001, 0.3), LFNoise1.kr(4));
  sig = SinOsc.ar( freq, 0, env);
  Out.ar (0, sig*0.4);
}).play;
})
/*für die perkussiven "pong" Klänge wirkt die 5-tet angenehmer, hier bestätigt sich somit die
These der Abhängigkeit des Wohlklangs von der Stimmung*/

//ein anderer perkussiver Klang
(
SynthDef("ping", { arg dr=0.15, freq =800, pos=0, vol=1;
  var env, sig;
  env = EnvGen.kr(Env.perc, 1.0, doneAction:2);
  sig = SinOsc.ar(freq, 0, env);
  sig = Pan2.ar (sig, pos);
  Out.ar(0, sig*vol);
}).send(s);

Synth ("ping")

(
m = Task({
  var next, freq, vol, pos, dr;
  inf.do({ arg i;
    dr = 0.4;
    next = 0.2;
    vol   = 0.3;
    pos   = rrand (-1.0, 1.0);
    freq  = [54, 55, 56, 57, 59, 60].midicps.choose;
    Synth("ping", [\dr, dr, \freq, freq, \pos, pos, \vol, vol]) ;
    next.wait;
  });
})
)
m.start
m.stop
(
n = Task({
  var next, freq, vol, pos, dr;
  inf.do({ arg i;
    dr = 0.4;
    next = 0.2;

```

```

        vol    = 0.3;
        pos    = rrand (-1.0, 1.0);
        freq   = [140, 160, 210, 241,279].choose;
        Synth("ping", [\dr, dr, \freq, freq, \pos, pos, \vol, vol]) ;
        next.wait;
    });
})
)
//im Vergleich
m.start
m.stop

n.start
n.stop
/* Es zeigt sich hier tatsächlich mehr Wohlklang für die 5-tet Stimmung. Für das zweite
Beispiel kann folglich festgehalten werden, dass die volle 12-tet in einer string-ähnlichen
Stimmung unangenehmer als die 5-tet klingt, während die 12-tet ohne Halbtonschritte
angenehmer klingt. Für die perkussiven Klänge -Halbtonschritte wurden aufgrund der
Fragwürdigkeit der Methode beibehalten- gilt dagegen, dass die 5-tet Stimmung weniger
befremdlich als die 12-tet klingt.*/

```

6. Fazit

Der durchgeführte Vergleich führt zur Annahme, dass der wahrgenommene Wohlklang nicht unabhängig von der Klangfarbe und der Stimmung gedacht werden kann. Die These einer Verbindung der drei Elemente konnte teilweise bekräftigt werden. Im ersten Beispiel wurde der gleiche perkussive Klang in der standardisierten Zwölf-Halbtonschritt-Tonleiter und im *slendro* des Gamelans *Kyai Kaduk Manis* gespielt. Die 5-tet-Stimmung erwies sich als gering weniger irritierend als die 12-tet. Danach wurde ein cembalo-ähnlicher Klang im *slendro* und *pelog* mit einem perkussiven Klang der gleichen Stimmungen verglichen, was zur Bewertung führte, dass das „Cembalo“ in der javanesischen Stimmung unangenehmer ist. Dagegen wurde der Perkussionsklang in der 12-tet befremdlicher als in der Gamelanstimmung empfunden, während der cembalo-ähnliche Klang in der 12-tet besser als in der 5-tet klingt. Es scheint so, dass die Instrumente tatsächlich mit bestimmten Stimmungen korrespondieren.

Im zweiten Beispiel verwendete ich einen string-ähnlichen Klang in der 12-tet, in einer 12-tet ohne *gis* und *b* und in einer 5-tet. Der Ausschluss bestimmter Noten erwies sich als fragwürdig, denn ohne Ausschluss war kaum ein Unterschied zwischen der 12- und der 5-tet hinsichtlich ihrer sensorischen Dissonanz zu erkennen, während mit Ausschluss sich die 12-tet als konsonanter zeigte. Dies ist vermutlich darauf zurückzuführen, dass alle Töne der Gamelanskalen gleichwertig verwendet werden, während die westliche Dur-Moll-Tonalität

hingegen nur einen Teil der zur Verfügung stehenden Skala nutzt. Außerdem genießen bestimmte Töne der Zwölf-Halbtonschritt-Tonleiter eine höhere Wertigkeit, was z.B. in ihrer häufigeren Verwendung Ausdruck findet. Die Schwierigkeit ergibt sich hier folglich aus der Problematik, eine Stimmung mit gleichwertigen Tönen einer mit verschiedenwertigen gegenüber zu stellen. Da bei dem vorliegenden Vergleich nur das Merkmal der Klangfarbe im Fokus steht, ein Ausschlussverfahren jedoch die Verwendung anderer Faktoren fordert, wird eine ausschließende Methode als nicht zulässig erachtet. Es lässt sich somit für die vollständige Tonleiter kein wesentlicher Unterschied zur javanesischen 5-tet darstellen. Dem entgegen bestätigte jedoch die Gegenüberstellung anderer Perkussionsklänge in der 12-tet und der 5-tet erneut die These, denn sie wurden in der 5-tet wiederholt als angenehmer empfunden.

Resümierend lässt sich festhalten, dass es nicht möglich ist die These der Abhängigkeit von Klangfarbe, Stimmung und Wohlklang für alle verschiedenen Klänge zu demonstrieren. Jedoch konnte sie für die verwendeten perkussiven Klänge bewiesen werden, denn für solch Klangfarben zeigte sich die 5- und 7-tet als irritationsfreier. Für andere Klänge, wie „Cembalo“ oder „Strings“ scheint dies, aufgrund der verschiedenen Wertigkeiten der 12-tet Töne, schwieriger zu sein. Dennoch kann eine Abhängigkeit der empfundenen Dissonanz vom Instrument und dessen Stimmung nicht bestritten werden.

Literatur

- Leman, Marc: Foundations of Musicology as Content Processing Science, in: JMM – Journal of Music and Meaning, vol. 1, 2003, section 3, auf: <http://www.musicandmeaning.net/issues/showArticle.php?artID=1.3>
- Helmholtz, Hermann von: Lehre von den Tonempfindungen als physiologische Grundlage für die Theorie der Musik (1863), Braunschweig, Vieweg, 1913
- Rieger, Matthias: Helmholtz Musicus, WBG, Darmstadt, 2006
- Sethares, William A.: Tuning, Timbre, Spectrum, Scale, Springer Verlag, London, 2005