

Stereofone Synthese von Klangschalenschwingungen

von Wolfgang Thies

1 Einleitung

Klangschalen stammen aus Asien, genau ist ihre Herkunft nicht geklärt. Seit etwa drei Jahrzehnten sind sie auch im Westen bekannt und heute sehr beliebt zum Musizieren, zur Unterstützung bei Entspannungsübungen, beim Meditieren, für therapeutische Zwecke und für andere Anwendungen. Der weiten Verbreitung dieser Instrumente steht bisher nur eine geringe Zahl wissenschaftlicher Veröffentlichungen gegenüber. Das erste Buch über Klangschalen (Jansen 1990, deutsch 1991, Neuausgabe: Jansen u. Ruiter 2007) entstand ohne wissenschaftliche Ambitionen – ebenso wie viele weitere praxisorientierte Bücher, die teilweise in mehreren Auflagen bzw. Neufassungen herauskamen (Brodie 2001; Hess 2004, 2006 a, 2006 b, 2007; Hess u. Koller 2007 – nicht ausschließlich, aber vorwiegend den Klangschalen gewidmet –; Hess u. Koller 2009; Hess u. Zurek 2008; Huyser 1999; Lindner 2002; Lindner u. Mempel 2008; Lyddon 2007; Meyberg 1996; Müller 1996; Plate, Lindner u. Prosic-Götte 2004; Reimann 2003; Ruiter 2001 a, 2001 b; Ruiter u. Tetteroo 2004; Shrestha 2009; Verbeke 2000). Ein von Hess u. Koller (2010) herausgegebener Band enthält vor allem praxisbezogene und populärwissenschaftliche Beiträge. Die Themenpalette dieser Bücher ist sehr breit; einige Beispiele: Schalenwahl beim Kauf; Klangvarianten durch verschiedene Spieltechniken; Wirkung der Schalen je nach Tonlage, Spielweise und Position zum Körper; Klangmassage durch feine Vibrationen, die beim Schwingen der Schalen sehr nahe am Körper und bei Körperkontakt zu spüren sind; Anwendung für sich selbst und für andere Menschen – von Neugeborenen bis hin zu Sterbenden. In allen genannten Veröffentlichungen ist von positiven Wirkungen der Klangschalen für Wohlbefinden und Gesundheit die Rede. Den Erfahrungsberichten zufolge kann schon das bloße Hören von Schalenklängen entspannen, die Konzentration fördern, Schmerzen lindern und vieles andere. An erster Stelle steht die Entspannung; mögliche positive Folgen sind Förderung des Schlafs, Unterstützung des Immunsystems usw. (Ein früherer Aufsatz geht ausführlicher auf Aussagen in der Literatur zur Anwendung und Wirkung von Klangschalen ein, s. Thies 2008.)

Wissenschaftliche Untersuchungen zur Wirkung von Klangschalen sind jedoch rar. Beispielsweise gibt es empirische Arbeiten zu der von Peter Hess entwickelten Klangmassage (Koller u. Grotz 2010, Kurzfassung in Hess u. Koller 2010, S. 88–121; Koller u. Hess 2005). Der hörbare Klang ist hier durch Körperkontakt der Schalen mit einer Vibrationsmassage verknüpft. Wepner u. a. (2008) haben bei einer medizinischen Studie zur Wirkung von Quarzklangschalen ebenfalls den Körperkontakt der Schalen genutzt. Die aus der Hess-Klangmassage hervorgegangene Klangpädagogik steht im Mittelpunkt der Dissertation von Koller (2007). Außer der Klangschale werden hier weitere Instrumente eingesetzt; Massage mit den Händen, Gespräche sowie andere Mittel ergänzen das Hören der Klänge und das Spüren der Vibrationen. Portalska u. Portalski (Portalscy 2008, S. 86–101) berichten über eine Reihe empirischer Untersuchungen zum therapeutischen Einsatz von Klangschalen im Zusammenhang mit anderen Klangquellen oder mit medizinischem Gerät, teilweise ergänzt durch Visualisierungsübungen. Auch bearbeitete Aufnahmen von Schalenklängen haben die Verfasser verwendet. Bei Experimenten zur Steigerung von Leistungsfähigkeit und Wohlbefinden haben sie Aufnahmen von Schalenklängen allein oder in Verbindung mit Musikaufnahmen benutzt. Im Unterschied zu diesen Arbeiten ist eine eigene Studie (Thies 2008) darauf gerichtet, die alleinige Wirkung des Klangs beim Hören einer live gespielten Schale zu erfassen. Neben den Veröffentlichungen zur Wirkung von Klangschalen auf den Menschen gibt es einige Arbeiten über die physikalisch-akustischen Eigenschaften von Klangschalen (s. Abschnitt 3). Insgesamt ist die wissenschaftliche Erkundung des Themas "Klangschalen" aber noch nicht weit fortgeschritten.

Doch zeigen nicht nur die eingangs erwähnten Erfahrungsberichte, dass Forschung auf diesem Gebiet lohnt. Aus der musiktherapeutischen Praxis etwa ist seit langem bekannt, dass man mit monochromen Klängen – wie sie bei Klangschalen auftreten – tiefe Schichten des Bewusstseins ansprechen und Trance hervorrufen kann (zu Klangschalen s. Bossinger u. Hess 1993, Strobel 1988, Strobel u. Timmermann 1992; der hier genannte Arzt Dr. Peter Hess ist nicht mit dem oben erwähnten Diplomingenieur Peter Hess identisch). Hermle u. Bossinger (2008, S. 129) sehen in diesen Stimuli *"wichtige Instrumente sowohl für die Untersuchung des menschlichen Bewusstseins als auch für die Therapie psychischer Störungen"*.

Vieles spricht dafür, die Wirkung von Schalenklängen mithilfe live gespielter Instrumente zu untersuchen, weil dies der Praxis am nächsten kommt. Eine Livedarbietung ist unmittelbar, man hört den "echten" Klang der Originalschallquelle.

Sofern man nicht für sich allein spielt, können Spieler und Hörer menschlich in Beziehung zueinander treten. Ein Hörversuch mit einer Klangschale, die 60 Probanden in Einzelsitzungen live vorgespielt wurde (Thies 2008), unterstreicht den Wert des Originalklangs: 93 % der Teilnehmer äußerten, sie würden die Schale lieber live hören als über Lautsprecher oder Kopfhörer.

Andererseits kann es je nach Fragestellung nötig sein, bestimmte Schalleigenschaften gezielt zu ändern und gleichzeitig andere Schalleigenschaften konstant zu halten. Mit realen Klangschalen stößt man hier schnell an Grenzen. Daher erscheint es lohnend, Möglichkeiten zur Synthese von Schalenschwingungen zu erkunden, die realitätsnahe Klangeindrücke und große Flexibilität bieten. Im Folgenden ist die stereofone Synthese von Schwingungen, wie sie beim Anschlagen einer Klangschale entstehen, beschrieben. (Man kann die Schale auch durch Reiben zum Schwingen bringen; dabei wird oft nur eine einzige tiefe Teilschwingung angeregt.) Die synthetisierten Schwingungen sind auch für Kopfhörerwiedergabe gut geeignet.

2 Kopfhörer und Lautsprecher im Vergleich

Beim Ersinnen eines Syntheseverfahrens und bei der Auswahl vorhandener Aufnahmen für Hörversuche sollte man die Art der Wiedergabe während der Versuche berücksichtigen. Sowohl Kopfhörer als auch Lautsprecher haben Vor- und Nachteile. Die Befragung im Rahmen des oben erwähnten Hörversuchs ergab zwar eine klare Präferenz für das Livespiel, die Frage nach der zweitbesten Art des Hörens – über Lautsprecher oder über Kopfhörer – ließ jedoch keine Vorliebe für eine dieser Wiedergabearten erkennen. Es ist demnach angebracht, beide Möglichkeiten in Überlegungen für Hörversuche zum Thema Klangschalen einzubeziehen.

Das Tragen eines Kopfhörers empfinden manche Menschen als lästig. Ein weiterer Nachteil kann sein, dass der Klang im Kopf lokalisiert wird.

Diese Schwierigkeiten treten bei Lautsprecherwiedergabe nicht auf. Bei dezenten Klängen – wie sie für Klangschalen typisch sind – ist allerdings eine Umgebung ohne störenden Schall von außen nötig. Dies erweist sich in der Praxis oft als Problem. Wenn es nicht möglich ist, alle Versuchsdurchläufe im selben Raum durchzuführen und die Geräte dort stehen zu lassen, kommt eine weitere Schwierigkeit hinzu: Lautsprecher und Verstärker hoher Qualität sind schwieriger zu verpacken und zu transportieren als ein guter Kopfhörer (ggf. durch einen Kopfhörerverstärker ergänzt), der Aufbau der Geräte am Einsatzort ist aufwendiger.

Für den Kopfhörer spricht somit eindeutig der geringere Aufwand. Die benötigten Geräte sind leicht transportabel, beim Verwenden eines geschlossenen Hörers braucht man weniger Rücksicht auf Schallimmissionen von außen zu nehmen. Der eventuellen Lästigkeit beim Tragen lässt sich dadurch begegnen, dass man ein bequemes Modell wählt, die Hörversuche kurz hält und Gelegenheit gibt, den Kopfhörer zeitweilig abzulegen. Die Im-Kopf-Lokalisation der Klänge tritt nicht zwangsläufig auf, sondern ist je nach Art des Schalls mehr oder weniger ausgeprägt. Wenn man beim Auswählen des darzubietenden Materials darauf achtet, fällt auch dieser Nachteil der Kopfhörerwiedergabe weniger ins Gewicht.

3 Akustische Merkmale von Klangschalen

Physikalisch-akustische Merkmale von Klangschalen sind in verschiedenen naturwissenschaftlichen Veröffentlichungen beschrieben. Sehr ausführlich ist ein Aufsatz von Inácio, Henrique u. Antunes (2006). Bei ihnen steht die Theorie im Vordergrund, während Portalska u. Portalski in einem ebenfalls umfangreichen Text Ergebnisse verschiedenartiger Messungen an Schalenschall mitteilen (Portalscy 2008, S. 11–47). Kürzere Beiträge stammen von Glorian u. Beer (1996), Rossing (2000, S. 158–160), Thies (2000) sowie Wilkerson, Serafin u. Ng (2002).

Ein typisches Merkmal von Klangschalen ist die sehr geringe Dämpfung der tiefen Teilschwingungen. Große und dickwandige Schalen schwingen besonders lange. Eine weitere charakteristische Eigenschaft schwingender Schalen ist ein inharmonisches Spektrum. Die Intervalle zwischen den ersten fünf Teilschwingungen folgen in grober Näherung dem Muster Oktave + Tritonus / große Septime / kleine Sexte / Tritonus. Die individuelle Konstellation kann von Schale zu Schale abweichen. Abb. 1 zeigt Messergebnisse für 16 Schalen unterschiedlicher Form, Größe und Wandstärke. Die Daten stammen von Inácio, Henrique u. Antunes (2006, S. 640–641; I1–I4), Rossing (2000, S. 160; R1–R2), Wilkerson, Serafin u. Ng (2002, S. 220; W) und aus Messungen, die einer eigenen Veröffentlichung (Thies 2000) zugrunde liegen (T1–T9). Die Schalen sind nach dem Durchmesser geordnet – von 11 cm bei Schale T1 bis 26 cm bei Schale I4. Bis zur Schale R1 (18 cm) sind die Intervalle recht ähnlich. Die drei großen Schalen (21, 24 und 26 cm) heben sich durch teilweise größere Intervalle etwas ab.

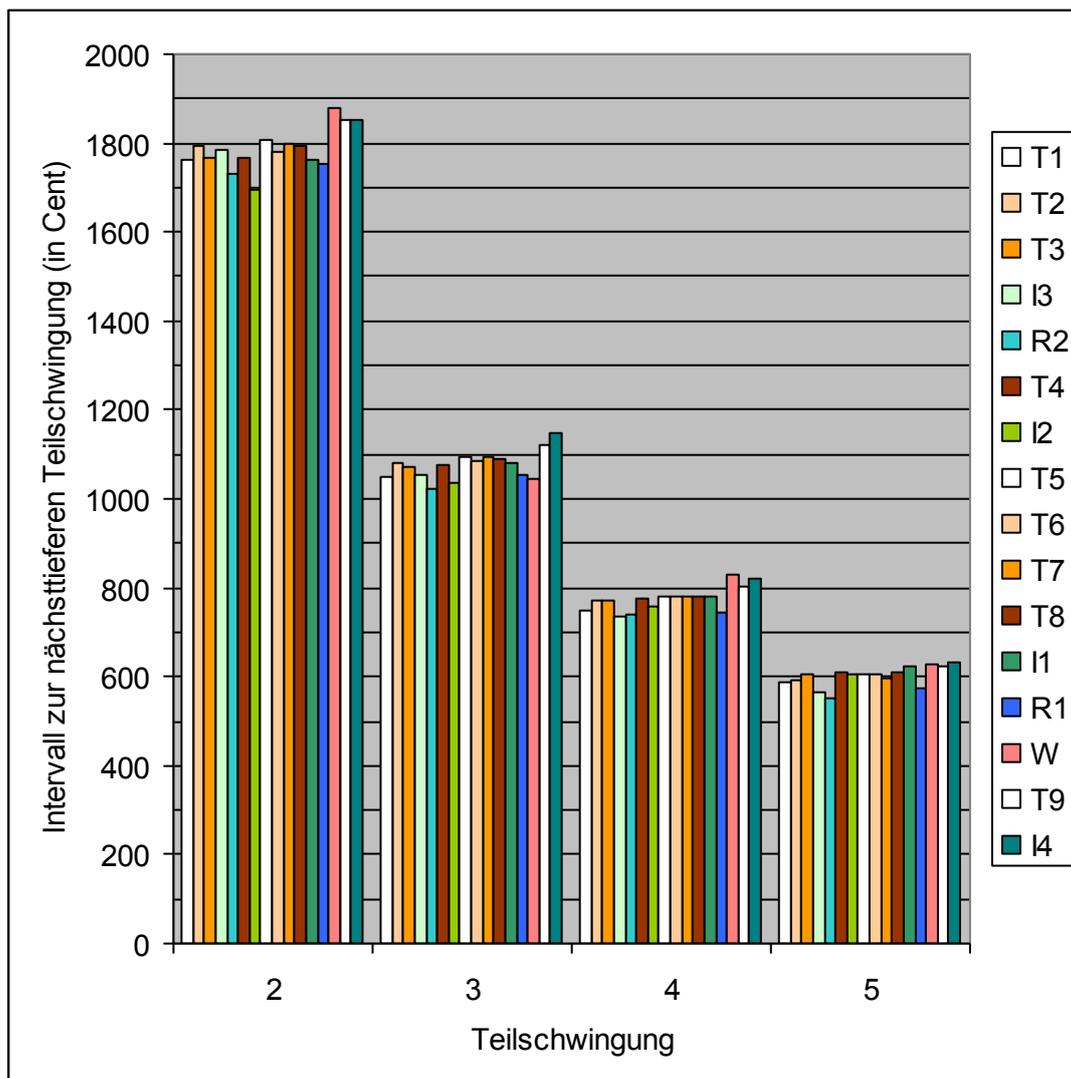


Abb. 1: Intervalle zwischen den ersten fünf Teilschwingungen bei 16 Klangschalen

Bei den meisten Klangschalen treten Schwebungen auf, weil die Teilschwingungen in zwei eng benachbarte Komponenten aufgespalten sind. Dies wird vor allem durch Abweichungen von der rotationssymmetrischen Form, ferner durch unregelmäßige Legierung verursacht. Die Schwebungsfrequenzen sind durch die Schale vorgegeben, der Schwebungshub ist variabel (s.u.). Die Schwebungen können zu ruhiger bis lebhafter Klangbewegung führen, bei hoher Schwebungsfrequenz zu Rauigkeit. Außerdem ist bei tief liegenden Teilschwingungen eine bewegte räumliche Wirkung möglich. Die Schale erscheint dabei größer, als sie tatsächlich ist. Die genannten Veröffentlichungen, die sich den physikalischen Eigenschaften von Klangschalen widmen, enthalten keine Aussagen zum Raumklang. Eigene Beobachtungen lassen darauf schließen, dass die Raumwirkung auf variierender Phasenverschiebung der an den Ohren eintreffenden Schallwellen beruht (s. Abschnitt 4). Abb. 2 zeigt Schwebungsfrequenzen für zwölf Schalen; die Daten stammen von Inácio,

Henrique u. Antunes (2006, S. 640; I1–I3) sowie aus eigenen Messungen, die einer eigenen Veröffentlichung (Thies 2000) zugrunde liegen (T1–T9). Die Schalen sind ebenso angeordnet wie in Abb. 1. Die Vielfalt ist hier wesentlich größer als bei den Intervallen zwischen den Teilschwingungen. Die untersuchten Schalen zeigen hohe Schwebungsfrequenzen vorwiegend bei den höheren Teilschwingungen. Hier sind sie klanglich weniger bedeutsam, weil die Amplitude zu den hohen Teilschwingungen hin abnimmt und die Dämpfung zunimmt. Je kleiner die Schale und je höher die Wandstärke, desto weniger sind hohe Teiltöne hörbar (außer bei ungewöhnlich hartem Anschlag). Schwebungen der unteren Teilschwingungen beeinflussen den Klang aller Schalen hingegen stark.

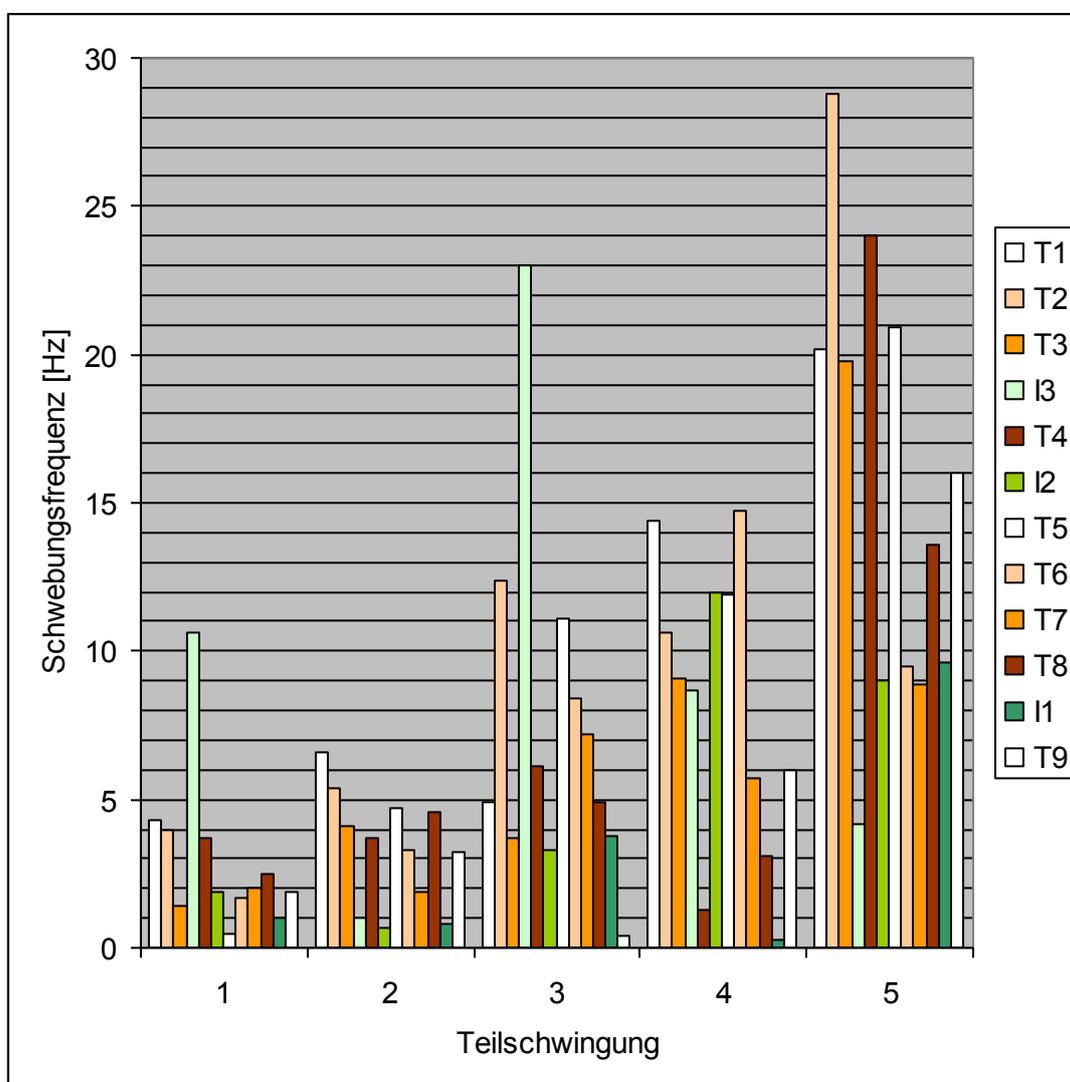


Abb. 2: Schwebungsfrequenzen der ersten fünf Teilschwingungen bei zwölf Klangschalen

Je nach der Spielweise klingt eine Klangschale sehr verschieden. Die Art des Anschlags – weicher oder harter, leichter oder schwerer Schlägel, weniger oder mehr Schlagkraft – beeinflusst Anzahl und Stärke der hörbaren Teiltöne und die Dauer ihres Klingens. Auch von der Anschlagstelle kann die Amplitude der Teilschwingungen abhängen. Mehr noch: Die beiden Komponenten, in die eine Teilschwingung aufgespalten ist, können je nach Anschlagstelle ein anderes Amplitudenverhältnis haben, wodurch sich ein anderer Schwebungshub ergibt; wird nur eine Komponente mit nennenswerter Amplitude angeregt, tritt keine Schwebung auf, und damit entfällt ebenso die räumliche Bewegung des Teiltöns. Entsprechend zahlreich sind die Klangvarianten allein durch die Wahl der Anschlagstelle. Man kann Klangschalen auch durch Reiben mit dem Schlägel zum Schwingen bringen. Dies regt vor allem die tiefen Teilschwingungen an, oft ist nur ein einziger Ton mit wechselnder Lautstärke zu hören. Die physikalischen Hintergründe beleuchten Inácio, Henrique u. Antunes (2006).

4 Synthese von Klangchalenschwingungen, erster Schritt: einzelnes Teilschwingungspaar

Das Ziel der Synthese ist eine Nachbildung des beim Anschlagen einer Klangschale entstehenden Schalls. Die Schalleigenschaften sollen detailliert und flexibel einstellbar sein. Als Verfahren wird daher die additive Synthese gewählt, bei der sich jede sinusförmige Komponente des herzustellenden Schalls individuell beeinflussen lässt. Um die Räumlichkeit des Schalenklangs einzubeziehen, ist die Synthese stereophon angelegt. Wenn man Kopfhörer zur Wiedergabe verwenden möchte (s. Abschnitt 2), sind Monoaufnahmen ohnehin ungeeignet: Sie klingen besonders unrealistisch, weil sie punktförmig mitten im Kopf erscheinen.

Metallene Klangschalen mittlerer Größe sind am meisten verbreitet (es gibt auch Klangschalen aus Quarzkristall), besonders beliebt sind handgeschmiedete Schalen. Vorlage für die Synthese ist die Stereoaufnahme einer mittelgroßen, handgeschmiedeten Klangschale (Durchmesser 17 cm, Höhe 86 mm, Masse 923 g) aus der Perspektive einer Person, die an einem Tisch sitzt und die Schale mittig vor sich hat (Abb. 3). Die Mikrofone sind in Ohrhöhe aufgestellt, ihr seitlicher Abstand entspricht dem Ohrabstand, die Schale ist etwa 70 cm von den Mikrofonen entfernt. Sie wird nahe am Rand radial von außen angeschlagen. Der Holzschlägel hat einen dünnen Lederbezug, der Anschlag ist mittelstark. Unter diesen Bedingungen sind fünf Teiltöne hörbar, nach etwa einer Minute ist der Klang verschwunden. Eine Reihe von Anschlägen wurde

aufgenommen, für die nähere Untersuchung fiel die Wahl auf einen Klang mit deutlich hörbaren Schwebungen aller Teiltöne ohne auffallend heftige Schwebung.



Abb. 3: Klangschale mit Schlägel

Wesentliche Grundsätze der Synthese sind hier anhand eines einzelnen Teilschwingungspaares beispielhaft dargestellt. Für das Anhören der Beispiele sollte die Lautstärke dezent eingestellt sein. Die Räumlichkeit lässt sich besonders gut mit einem Kopfhörer beurteilen, bei Lautsprecherwiedergabe hängt der Raumeindruck von der Lautsprecheraufstellung und von der Hörposition ab.

Der erste Syntheseversuch bildet das beim Hören im Vordergrund stehende zweite Teilschwingungspaar auf der Grundlage von Messergebnissen vereinfacht nach. Analog zur Klangschale überlagert die Synthese zwei Sinusschwingungen mit geringfügig verschiedenen Frequenzen (647,4 Hz und 649,3 Hz) und verschiedenen Amplituden (die zweite Komponente ist um 9 dB schwächer). Das Ergebnis ist eine Schwebung mit der Schwebungsfrequenz 1,9 Hz und dem Schwebungshub 6,5 dB. Im nächsten Schritt erhält die entstandene Schwingung eine Dämpfung mit dem Abklingkoeffizienten 0,115/s, der Pegel nimmt also in jeder Sekunde um 1 dB ab (Klangbeispiel 1). Dieses Vorgehen ist gegenüber der Schale eine Vereinfachung, denn dort sind die beiden ein Paar bildenden Komponenten unterschiedlich stark gedämpft.

Klangbeispiel 1: Teil2_A.mp3



Die erhaltene Schwingung bildet in der Stereofassung den linken Kanal. Der rechte Kanal enthält die gleiche Schwingung um 29 ms verzögert (Klangbeispiel 2). Die Verzögerung entspricht dem an der Schalenaufnahme beobachteten Zeitversatz der Schwebungen; vereinfachend gleicht der rechte Kanal bis auf die Verzögerung dem linken, während sich beim Original der Schwebungshub links und rechts unterschiedlich verhält.

Klangbeispiel 2: Teil2_B.mp3



Das Ergebnis der Synthese ist kein deutlicher Fortschritt gegenüber dem monofon dargebotenen linken Kanal. Offenbar ist es notwendig, die Eigenschaften der Schalenschwingung genauer nachzubilden. Die beiden Komponenten des Teilschwingungspaares schwingen wegen unterschiedlicher Dämpfung verschieden schnell aus, somit ändert sich ihr Amplitudenverhältnis im Zeitverlauf. Das veränderliche Amplitudenverhältnis hat für das Hören wichtige Konsequenzen. Das Überlagern zweier Sinusschwingungen mit geringfügig verschiedenen Frequenzen ergibt eine Schwebung, deren Schwebungshub vom Amplitudenverhältnis der überlagerten Schwingungen abhängt. Bei veränderlichem Amplitudenverhältnis ändert sich der Schwebungshub im Zeitverlauf. Außer der Amplitude der resultierenden Schwingung schwankt aber auch (schon bei konstanter Amplitude der überlagerten Schwingungen) die Momentanfrequenz. Um welchen Mittelwert die Momentanfrequenz pendelt, hängt wiederum vom Amplitudenverhältnis der überlagerten Schwingungen ab. Wenn sich dieses Verhältnis im Zeitverlauf ändert (und zwar je nach Überlagerung der Schallwellen, die von verschiedenen Zonen der Schale ausgehen, an beiden Ohren unterschiedlich), führen Änderungen der Momentanfrequenzen zu variierender Phasenverschiebung der an den Ohren eintreffenden Wellen. Die Aufnahme der Klangschaale zeigt beim hier betrachteten zweiten Teilschwingungspaar Phasenverschiebungen zwischen 0 und 180 Grad.

Der zweite Syntheseversuch berücksichtigt daher zusätzlich den individuellen Amplitudenverlauf jener Komponenten, die das Teilschwingungspaar bilden:

Klangbeispiel 3: Teil2_C.mp3



Auch hier lässt das Ergebnis die am Original beobachtete Räumlichkeit vermissen, es unterscheidet sich kaum von der vorangegangenen Version. Wenn man die Entwicklung der Momentanfrequenzen während der ersten Sekunden mit der Entwicklung im Original vergleicht, zeigt sich bei der synthetisierten Schwingung eine gleich gerichtete Bewegung der Momentanfrequenz in beiden Stereokanälen, während das Original eine gegenläufige Bewegung aufweist. Damit ist auch die Variabilität der Phasenverschiebung im Original größer. Es ist denkbar, dass man sich der Vorlage nähert, wenn man in einem der Kanäle die Frequenzwerte der zusammenzufügenden Komponenten vertauscht.

Der dritte Syntheseversuch unterscheidet sich nur in diesem Punkt vom zweiten. Rechts sind die Frequenzwerte vertauscht, die stärkere Komponente hat jetzt die höhere Frequenz:

Klangbeispiel 4: Teil2_D.mp3



Der Raumeindruck ist verbessert: Der Klang erscheint gegenüber den vorherigen Versuchen geweitet, man hört eine räumliche Bewegung. In der synthetisierten Schwingung ist die Variabilität der Phasenverschiebung gegenüber dem vorigen Syntheseversuch vergrößert. Offensichtlich ist es für einen realistischen Schalenklang vorteilhaft, die Phasenbeziehungen zwischen den beiden Stereokanälen zu berücksichtigen. Gerade bei Kopfhörerwiedergabe kann man damit einem allzu beengten Klangbild entgegenwirken.

5 Synthese von Klangschalenschwingungen: Zufügen weiterer Komponenten

Die Synthese weiterer vier Teilschwingungspaare folgt dem zuvor beschriebenen Prinzip: In jedem Stereokanal sind zwei Sinusschwingungen mit geringfügig verschiedenen Frequenzen, verschiedenen Amplituden und individuell eingestellter Dämpfung verknüpft, die Schwebungen treten links und rechts zeitversetzt auf. Schließlich wird noch das Amplitudenverhältnis beider Kanäle nach dem Vorbild der Schalenaufnahme eingestellt.

Beim Zusammenfügen aller Teilschwingungspaare (Klangbeispiel 5) wird berücksichtigt, dass die jeweils ersten Schwebungsmaxima der Paare zu verschiedenen

Zeitpunkten erscheinen können. Als Richtschnur hierfür und für die Amplitudenverhältnisse der Paare untereinander dient die Vorlage.

Klangbeispiel 5: Mischung.mp3



Die Mischung der fünf Teilschwingungspaare ist über eine Zeitspanne von 5 ms eingebledet, um einen Knack durch allzu plötzlichen Einsatz zu vermeiden. Wünschenswert ist ein wirklichkeitsnahes Anschlaggeräusch. Der Schlägel versetzt beim Anprall nicht allein die Schale in Schwingung, sondern gerät auch seinerseits ins Schwingen. Für die Endfassung der Synthese wird daher aus der Aufnahme eines Schalenanschlages die Schlägelschwingung durch Filter isoliert und der Mischung zugefügt:

Klangbeispiel 6: Gesamt.mp3



Der Gesamtklang wirkt auch bei Kopfhörerwiedergabe recht räumlich. Der Vergleich mit einer Monofassung zeigt klar, dass der Aufwand für die stereofone Synthese gerechtfertigt ist:

Klangbeispiel 7: Gesamt_mono.mp3



Bei wiederholtem Anschlagen klingt die Schale meistens verschieden – auch dann, wenn man sich um möglichst gleichartige Anschläge bemüht. Entsprechend hat man bei der Synthese einen gewissen Spielraum, ohne dass der Eindruck einer real angeschlagenen Schale verloren geht. Dadurch kann sich der Aufwand für das Festlegen der Parameter verringern. Die wünschenswerte Genauigkeit hängt vom jeweiligen Zweck ab. Bei den hohen Teilschwingungen dürften die Anforderungen oft geringer sein, denn sie sind schwächer, schwingen schneller aus, und die Bedeutung der Phasenverschiebung für das räumliche Hören nimmt mit steigender Frequenz ab.

6 Variationsmöglichkeiten bei der Synthese

Das gewählte Syntheseverfahren erfordert einen gewissen Aufwand. Dafür erhält man einen realitätsnahen Klang und die Möglichkeit, viele Schalleigenschaften unabhängig voneinander zu ändern:

- Anzahl der Teilschwingungen (genauer: Teilschwingungspaare),
- Grundfrequenz,
- Frequenzverhältnisse der Teilschwingungspaare,
- Amplitudenverhältnisse der Teilschwingungspaare,
- Frequenzdifferenz der beiden Komponenten, die ein Teilschwingungspaar bilden (bestimmt die Schwebungsfrequenz),
- Amplitudenverhältnis dieser beiden Komponenten (bestimmt den Schwebungshub),
- Dämpfung jeder einzelnen Komponente,
- Zeitpunkt des ersten Schwebungsmaximums für jedes Teilschwingungspaar,
- Zeitversatz der Schwebungen im linken und rechten Kanal für jedes Teilschwingungspaar,
- Amplitudenverhältnis des linken und rechten Kanals für jedes Teilschwingungspaar.

Bei der beschriebenen Synthese wurden diese Möglichkeiten genutzt, um eine gegebene Schwingung weitgehend nachzubilden. Das gezielte Variieren jeder einzelnen Eigenschaft erlaubt es, von einer bestehenden Schwingung in genau bestimmter Weise abzuweichen. Die nicht synthetisierte, sondern aus der Aufnahme eines Schalenanschlags gewonnene Schlägelschwingung bietet weniger Flexibilität, doch sind auch hier viele Varianten möglich. Beispielsweise lässt sich das Spektrum durch Filter formen, die Dauer durch zusätzliche Dämpfung verkürzen. Wenn das Ergebnis nicht zufriedenstellt, kann man die Aufnahme eines andersartigen Schalenanschlags nutzen.

Das Syntheseverfahren eröffnet ein weites Anwendungsfeld, beispielsweise für akustische Demonstrationen und für Hörversuche. Vielleicht kann es dazu beitragen, die wissenschaftlich bisher kaum untersuchte Wirkung des Hörens von Klangschalen zu erforschen.

Literatur

- Bossinger, Wolfgang; Hess, Peter (1993): *Musik und außergewöhnliche Bewußtseinszustände*. In: Musiktherapeutische Umschau 14, S. 239–254.
- Brodie, Renee (2001): *The healing tones of crystal bowls: Heal yourself with sound and colour*. 4th printing. Vancouver, B. C.: Aroma Art.
- Glorian, Friedrich; Beer, Rainer (1996): *Die Akustik von Klangschalen und ihr Einsatz in der Therapie*. In: *Fortschritte der Akustik: Plenarvorträge und Fachbeiträge der 22. Deutschen Jahrestagung für Akustik/DAGA 96, Bonn*. Hrsg. v. Thomas Portele u. Wolfgang Hess. Oldenburg: Deutsche Gesellschaft für Akustik, S. 322–323.
- Hermle, Leo; Bossinger, Wolfgang (2008): *Schwingung und Veränderte Wachbewusstseinszustände*. In: *Schwingung und Gesundheit: Neue Impulse für eine Heilungskultur aus Wissenschaft, Musik und Kunst*. Hrsg. v. Wolfgang Bossinger u. Raimund Eckle. [Battweiler]: Traumzeit, S. 119–129.
- Hess, Peter (2004): *Klangschalen – wertvoll für den Alltag*. 2. Aufl. Innsbruck: Polyglobe.
- Hess, Peter (2006 a): *Die heilende Kraft der Klangmassage: Entspannen, Stress abbauen, Schmerz lösen mit Klangschalen*. München: Südwest [mit Audio-CD].
- Hess, Peter (Hrsg.) [2006 b]: *Klang und Klangmassage nach Peter Hess® in Kindergarten und Schule: Erfahrungsberichte über Klangerfahrungen mit Kindern und Klangschalen*. [Titel auf dem Umschlag: *Klang und Klangmassage in der Pädagogik*.] [Uenzen]: Hess.
- Hess, Peter (2007): *Klangschalen: Für Gesundheit und innere Harmonie*. [Überarb. Neuaufl.] München: Südwest [mit Video-DVD].

- Hess, Peter; Koller, Christina (Hrsg.) (2007): *Klang erfahren mit Klang professionell arbeiten: Erfahrungsberichte und theoretische Hintergründe vom 3. Klang-Kongress 2006. Eine Veranstaltung des Instituts für Klang-Massage-Therapie in Kooperation mit dem Europäischen Fachverband Klang-Massage-Therapie e. V.* [Uenzen]: Hess.
- Hess, Peter; Koller, Christina M. (Hrsg.) (2009): *Klangmethoden in der therapeutischen Praxis.* [Schüttorf]: Hess.
- Hess, Peter; Koller, Christina M. (Hrsg.) (2010): *Peter Hess-Klangmethoden im Kontext von Forschung und Wissenschaft.* [Schüttorf]: Hess.
- Hess, Peter; Zurek, Petra Emily (2008): *Klangschalen: Mit allen Sinnen spielen und lernen.* München: Kösel.
- Huyser, Anneke (1999): *Klangschalen in der therapeutischen Praxis.* Übers. v. Taimi Zaeske. Havelte: Binkey Kok.
- Inácio, Octávio; Henrique, Luís L.; Antunes, José (2006): *The dynamics of Tibetan singing bowls.* In: *Acta Acustica united with Acustica* 92, S. 637–653.
- Jansen, Eva Rudy (1990): *Klankschalen: Werking en gebruik.* Diever: Binkey Kok.
- Jansen, Eva Rudy (1991): *Klangschalen: Wirkung und Verwendung.* Übers. v. Karin Reitzig. Diever: Binkey Kok.
- Jansen, Eva Rudy; Ruiter, Dick de (2007): *Das Klangschalen-Handbuch: Hintergrund, Wirkung, Gebrauch.* Erweiterte Neuauflage. Übers. v. Karin Reitzig, Teil 5 v. Taimi Zaeske, Ergänzungen für die erweiterte Neuauflage übers. v. Bruno Martin. Haarlem: Binkey Kok.
- Koller, Christina Maria (2007): *Der Einsatz von Klängen in pädagogischen Arbeitsfeldern: Dargestellt am Beispiel der Klangpädagogik nach Peter Hess.* Hamburg: Kovač.

- Koller, Christina M.; Grotz, Tanja (2010): *Stress-Studie: Forschungsbericht: Peter Hess-Basis-Klangmassage als Methode der Stressverarbeitung und Auswirkungen auf das Körperbild. Eine empirische Längsschnittstudie des Europäischen Fachverbandes Klang-Massage-Therapie e. V. in Kooperation mit dem Institut Dr. Tanja Grotz, August 2009.* [Schüttorf]: Hess.
- Koller, Christina; Hess, Peter (2005): *Klangmassage nach Peter Hess® in der Praxis: Erhebung zur Anwendung in der Praxis.* Uenzen: Hess.
- Lindner, David [2002]: *Gesang der Stille: Das Geheimnis der Klangschalen.* [Schönau im Odenwald]: Traumzeit [mit Audio-CD].
- Lindner, David; Mempel, Uta Karen (2008): *Klangschalen für Wellness und Sauna: Klangübungen und Klangzeremonien in Saunen, Bädern und Ruheräumen. Für daheim, zur Begleitung von Gruppen, für den professionellen Einsatz durch Saunameister. Traumklänge – Klangreisen mit Klangschalen. Zur Entspannung, Harmonisierung und Vitalisierung.* [Battweiler]: Traumzeit.
- Lyddon, Andrew (2007): *Working with singing bowls: A sacred journey.* London: Polair.
- Meyberg, Wolfgang (1996): *Ich schenke dir einen Ton: Ein Klangschalen Ritual.* Hemmoor: Großer Bär.
- Müller, Else (1996): *Der Klang der Bilder: Phantasiereisen mit Klangschalen.* München: Kösel.
- Plate, Frank; Lindner, David; Prosic-Götte, Zoran (2004): *Praxisbuch Klangmassage: Klangmassage mit Klangschalen Schritt-für-Schritt erlernen und umsetzen.* Schönau: Traumzeit.
- Portalscy, Halina u. Marek [H. Portalska u. M. Portalski] (2008): *Klangschalen: Klang. Unterstützung der Diagnose, der Therapie und ...* Poznań: Prodruk.
- Reimann, Michael (2003): *Das Klangschalen-Buch: Spielpraxis und andere Anwendungsmöglichkeiten.* Darmstadt: Schirner.

- Rossing, Thomas D. (2000): *Science of percussion instruments*. Singapore [u. a.]: World Scientific.
- Ruiter, Dick de (2001 a): *Chakra Delight: Klangschalenmusik zur Harmonisierung der Energiezentren*. Übers. v. Bruno Martin. Havelte: Binkey Kok [mit Audio-CD].
- Ruiter, Dick de (2001 b): *The unique singing bowl*. Havelte: Binkey Kok [mit Audio-CD].
- Ruiter, Dick de; Tetteroo, Tosca (2004): *Crystal & Sound: Erfreuen Sie sich an den heilenden Klängen der Kristallklangschalen mit den verstärkenden Wirkungen des Bergkristalls*. Übers. v. Bruno Martin. Havelte: Binkey Kok [mit Audio-CD].
- Shrestha, Suren (2009): *How to heal with singing bowls: Traditional Tibetan healing methods*. Boulder, Co.: Sentient [mit Audio-CD].
- Strobel, Wolfgang (1988): *Klang – Trance – Heilung: Die archetypische Welt der Klänge in der Psychotherapie*. In: Musiktherapeutische Umschau 9, S. 119–139.
- Strobel, Wolfgang; Timmermann, Tonius (1992): *Ethnotherapeutische Elemente in der psychotherapeutischen Praxis: Klanggeleitete Trance mit Monochord, Gong oder Klangschale als Weg zum Unbewußten*. In: Jahrbuch für Transkulturelle Medizin und Psychotherapie 1991. Hrsg. v. Walter Andritzky. Berlin: Verlag für Wissenschaft und Bildung, S. 113–148.
- Thies, Wolfgang (2000): *Teiltonstrukturen tibetischer Klangschalen*. In: *Musikwissenschaft – Musikpraxis: Festschrift für Horst-Peter Hesse zum 65. Geburtstag*. Hrsg. v. Kai Bachmann u. Wolfgang Thies. Anif/Salzburg: Mueller-Speiser, S. 208–218.
- Thies, Wolfgang (2008): *Reaktionen auf das Hören einer Klangschale*. In: *Musik-, Tanz- und Kunsttherapie* 19, S. 83–92.
- Verbeke, Geert (2000): *Singing bowls: An ABC*. Varanasi; Kathmandu: Pilgrims.

Wepner, Florian; Hahne, Julia; Teichmann, Angelika; Berka-Schmid, Gertraud; Hördinger, Annette; Friedrich, Martin (2008): *Quarzklangschalenthérapie bei Wirbelsäulenbeschwerden und chronobiologische Vorgänge – eine randomisierte kontrollierte Studie*. In: *Forschende Komplementärmedizin* 15, S. 130–137.

Wilkerson, Carr; Serafin, Stefania; Ng, Carmen (2002): *Physical model synthesis and performance mappings of bowl resonators*. In: *Proceedings of the International Computer Music Conference (ICMC-02), Göteborg, Sweden, September 16–21*, S. 219–221; <https://ccrma.stanford.edu/~carmenng/250b/icmc2002.pdf>, eingesehen am 12. März 2010.