

**BEITRÄGE
ZUR
VIBRO- UND PSYCHOAKUSTIK**

Herausgeber: Helmut Fleischer und Hugo Fastl

András Varsányi

**ZUR AKUSTIK DES JAVANISCHEN
*GONG AGENG***

**ZUR AKUSTIK DES JAVANISCHEN *GONG AGENG*
UNTER BERÜCKSICHTIGUNG VERWANDTER
GONGINSTRUMENTE**

von

András Varsányi

Mühlenweg 1
82386 Huglfing
Deutschland

Heft 2/00 der Reihe

Beiträge zur Vibro- und Psychoakustik

Herausgeber: Helmut Fleischer und Hugo Fastl

ISSN 1430-936X

Herausgeber:

Prof. Dr.-Ing. habil. Helmut Fleischer
Institut für Mechanik
Fakultät für Luft- und Raumfahrttechnik
Universität der Bundeswehr München

Prof. Dr.-Ing. habil. Hugo Fastl
Lehrstuhl für Mensch-Maschine-Kommunikation
Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik
Technische Universität München

Postanschrift:

LRT 4 UniBwM
85577 Neubiberg
Deutschland

Varsányi, András:
Zur Akustik des javanischen *gong ageng*
Beiträge zur Vibro- und Psychoakustik 2/00
Neubiberg 2000
ISSN 1430-936X

Postanschrift des Verfassers:

Dr. András Varsányi
Mühlenweg 1
82386 Huglfing
Deutschland

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist unzulässig und strafbar. Insbesondere gilt dies für die Übersetzung, den Nachdruck sowie die Speicherung auf Mikrofilm, mit vergleichbaren Verfahren oder in Datenverarbeitungsanlagen.

ZUR AKUSTIK DES JAVANISCHEN GONG AGENG

Zusammenfassung

Schwingungsverhalten sowie klangliche Phänomene des mitteljavanischen Buckelgongtypus gong ageng werden untersucht. Dabei wird ersichtlich, daß Musiker in den javanischen und balinesischen Gamelan ihre musikalischen Kriterien an den Klang der Instrumente anpassen. So scheint z. B. der Einschwingvorgang verschieden großer gong nach dem Anschlag ebenso wie die Raumakustik stilbildend gewesen zu sein. Durch gezielte Modifikationen wird das Schwingungsverhalten der Instrumente von javanischen gong-Stimmern optimiert, dem bis zu einem gewissen Grad mit neueren Untersuchungsmethoden nachgespürt wird. Da sich diese Betrachtungen nicht nur an den Akustiker und Naturwissenschaftler, sondern auch an den Musiker wenden, werden in Kap. 1 und 2 allgemeine Fragen der Akustik und Schwingungstechnik ausführlich erläutert. Laservibrometer-Untersuchungen (PSV) der wichtigsten Eigenschwingungen eines großen gong ageng werden in Kapitel 3 vorgestellt. Die Auswertung der Fourier-Spektren (FFT) von neun verschiedenartigen Gongtypen sollen in Kapitel 4 nicht nur die Verschiedenartigkeit der Instrumente demonstrieren, sondern durch Analogien und Schlüsse aus den Schwingungsbildern eine mögliche Genealogie dieser Meisterinstrumente javanischer Handwerkskunst von technischer Seite beleuchten. Dieser Beitrag ist komplementär zur Dissertationsschrift des Verfassers am Musikwissenschaftlichen Institut der Eberhard-Karls-Universität Tübingen mit dem Titel „gong ageng - Herstellung, Klang und Gestalt eines königlichen Instruments des Ostens“ (erschienen bei Hans Schneider Verlag, Tutzing 2000).

ACOUSTICS OF THE JAVANESE GONG AGENG

Summary

Acoustical behaviour and soundphenomena of the centraljavanese bossed gongtype gong ageng are examined. From these investigations it becomes clear, that musicians in the balinese and javanese gamelans do fit their musical criteria to the sound of the instruments. So it seems, that transients of different gongs after hitting the instrument as well as room acoustics do have some influence on musical style. Special modifications are used from gong-tuners to optimize the sound of a gong, which is examined with modern analyzing methods to a certain degree. As these examinations are written not only for acousticians and physicists, but also for musicians, some introductory questions about acoustics and vibrations are more detailed explained in chapter 1 and 2. Graphics with short analyses of the vibrations of a big gong ageng recorded with the PSV-Laservibrometer are shown in chapter 3. The Fourier-spectra of nine different gongtypes in chapter 4 are explained and demonstrate not only the differences of the sound of the instruments but contribute due to analogies with the vibrational systems to a genealogy of these masterinstruments of javanese manufacture. This article is complementary with the thesis of the author at the Musikwissenschaftliches Institut of Eberhard-Karls-Universität Tübingen with the title „gong ageng - making, sound and form of a royal instrument of the east“ (published by Hans Schneider Verlag, Tutzing 2000).

INHALT

VORWORT

EINFÜHRUNG.....	1	
1. UNTERSUCHUNGSMETHODEN VON SCHWINGENDEN PLATTEN UND GONGS		
1.1. Allgemein.....	3	
1.2. Analyse-Methode: Spektrum und Fast-Fourier-Analyse (FFT).....	4	
1.3. Finite Elemente.....	5	
1.4. Modalanalyse	5	
1.5. Laser-Doppler-Vibrometer.....	6	
2. GONG UND RELEVANTE SCHWINGER		
2.1. Zur Definition von <i>gong ageng</i>	9	
2.2. Membran und Platte.....	9	
2.3. Einflüsse auf den Klang eines <i>gong</i>	10	
2.3.1. Elastizität und Dämpfung.....	10	
2.3.2. Atmosphäre und Temperatur.....	12	
2.4. Klang und Schallabstrahlung.....	13	
2.4.1. <i>gong</i> -Klang im Fernfeld und im Raum.....	13	
2.4.2. Einen <i>gong</i> zum Klingen bringen: der Anschlag.....	14	
2.4.3. Ausklingverhalten, Schallfelder und Richtcharakteristik.....	17	
2.5. Schwebungen.....	20	
2.5.1. Schwebungen bei Glocken und Gongs.....	22	
3. SCHWINGUNGSMODEN UND REALDARSTELLUNGEN IM VERGLEICH.....		24
3.1. Schwingungsmessungen eines <i>gong ageng</i> mit dem Laser-Vibrometer.....	26	
3.2. 01-Mode, 47.5 Hz.....	27	
3.3. 02-Mode, 95.0 Hz.....	27	
3.4. 11-Mode, 72.5 Hz.....	28	
3.5. 12-Mode, 122.5 Hz.....	29	
3.6. 21-Mode, 140.0 Hz.....	30	
3.7. 31-Mode, 220.0 Hz.....	30	
3.8. Zusammenstellung der Ergebnisse.....	31	
4. FFT-ANALYSEN		
4.1. Definitionen.....	33	
4.2. Auswertung der FFT-Analysen von neun ausgewählten Gonginstrumenten.....	34	
4.2.1. Flachgong ohne Buckel und ohne umgeknickten Rand (ø 55 cm) <i>fengluo</i> , Wuhan-China.....	36	
4.2.2. Flachgong ohne Buckel mit umgeknicktem, wenig hohem Rand (ø 76 cm) Tamtam, PAISTE Deutschland (AV.72).....	39	
4.2.3. Bronzekesseltrommel (ø 47 cm), <i>hpasi</i> , Birma (MIM 64-1).....	42	
4.2.3.1. Anschlag auf die Plattenmitte.....	42	
4.2.3.2. Anschlag im halben Plattenradius.....	44	
4.2.4. Buckelgong mit umgeknicktem hohem Rand (ø 48 cm): <i>agung</i> , Malaysia (MIM 61-11).....	46	

4.2.5. Buckelgong mit umgeknicktem Rand (ø 54 cm): <i>kempur</i> , Bali (CB.95).....	50
4.2.5.1. Mittelstarker Anschlag.....	50
4.2.5.2. Klangveränderung durch Anbringen von Lehm im Schlagbuckel.....	52
4.2.5.3. Klangveränderung durch <i>tindak</i> -Hämmern.....	53
4.2.5.4. Klangveränderung durch <i>ngentheng</i> -Hämmern.....	55
4.2.6. Buckelgong mit umgeknicktem Rand (ø 68 cm): <i>gong gedè</i> , Bali (MIM 66-15).....	57
4.2.7. Buckelgong mit umgeknicktem Rand (ø 59 cm): <i>gong suwukan sl.2</i> , Java (AV.88).....	61
4.2.7.1. Schwacher, mittelstarker und starker Anschlag.....	61
4.2.7.2. Anschlag bei mit Lehm beschwertem Schlagbuckel.....	64
4.2.7.3. Anschlag bei gedämpfter Oberflächenkante (<i>pasu</i>) mit Lehm.....	65
4.2.8. Buckelgong mit umgeknicktem Rand (ø 75 cm): <i>gong ageng</i> , Java (MIM 67-7).....	67
4.2.8.1. Mittelstarker und starker Anschlag.....	67
4.2.8.2. Anschlag vor einer Wand.....	68
4.2.9. Großer Buckelgong mit umgeknicktem Rand (ø 102 cm): <i>gong ageng</i> , Wirun (AV.94).....	71
5. ZUSAMMENFASSUNG UND SCHLUSSBEMERKUNG.....	74
6. LITERATUR.....	78

VORWORT

Der vorliegende Beitrag "Zur Akustik des javanischen *gong ageng* unter Berücksichtigung verwandter Gonginstrumente" ist Teil der Untersuchungen, die András Varsányi in dem Bestreben durchgeführt hat, Material für seine Dissertation zu sammeln. Der ethnologisch-musikwissenschaftliche Teil der Doktorarbeit ist inzwischen als opulentes Buch im Handel erhältlich. Als Forum für denjenigen Teil, der sich mit naturwissenschaftlichen Fragestellungen befasst, hat sich die Reihe "Beiträge zur Vibro- und Psychoakustik" angeboten.

Die Arbeit behandelt die Schwingungen und das Schallsignal unterschiedlicher Gongs und Tamtams, vorwiegend aus Ostasien. Das Schwergewicht liegt dabei auf dem mitteljavani-schen *gong ageng*, einem Instrument von beeindruckendem Aussehen und Klang. Bei Idiophonen, zu denen die Gongs gehören, vereint der Instrumentenkörper zwei Funktionen, die bei anderen Musikinstrumenten getrennt sind: Durch seine mechanischen Schwingungen erzeugt er das musikalische Signal und strahlt es als Schall ab. Will man die Funktion des Instruments verstehen, sind neben dem Schallsignal die "klangbildenden" Schwingungsformen von elementarer Bedeutung. Als András Varsányi im Jahr 1997 seine Bitte um Zusammenarbeit mit dem Institut für Mechanik äußerte, war Thomas Twork im Rahmen seiner Diplomarbeit gerade dabei, das neu erworbene Laser Scanning Vibrometer an Burma-Gongs zu erproben. Aufgrund dieser glücklichen Fügung konnten praktisch unverzüglich im Labor die Schwingungen von zwei Java-Gongs gemessen und visualisiert werden. Die akustischen Signale einer größeren Anzahl von Gongs, die András Varsányi anderen Orts auf Digital Audio Tape gespeichert hatte, wurden zu einem späteren Zeitpunkt mittels Fast Fourier Transformation analysiert. Der Bitte des Musikwissenschaftlers konnte so mit Werkzeugen entsprochen werden, die bei einem Schwingungstechniker in alltäglichem Gebrauch sind.

Zum ersten Mal hat in dieser Reihe somit ein Geisteswissenschaftler das Wort; dies spiegelt sich bereits in Äußerlichkeiten wie der Verwendung von Fußnoten wider. Naturgemäß ist seine Vorstellungswelt und damit auch die Vorgehensweise eine völlig andere als die eines Naturwissenschaftlers. Dass sich András Varsányi bemüht, die Brücke zwischen dem mehr Emotionalen der Musik und dem betont Rationalen der exakten Wissenschaften zu schlagen und dabei Gebrauch von den Ergebnissen physikalisch-technischer Messungen macht, verdient hohe Anerkennung. Ob es dem Autor gelungen ist, jedes Messdiagramm unanfechtbar zu interpretieren, sei dahin gestellt. Offensichtlich war er von dem Bestreben getragen, in technischen Messergebnissen Belege für sein musikalisches Empfinden zu finden. Vielleicht ist es auch gar nicht sachgerecht, seine Schlussfolgerungen nur an den strengen Maßstäben zu messen, die ein vorsichtig abwägender und allein der Objektivität verpflichteter Naturwissenschaftler anlegt. Vielmehr sollte hervorgehoben werden, dass es András Varsányi beispielsweise versteht, Gongs durch Hämmern "umzustimmen", wozu ein Schwingungstechniker weder die Kenntnisse noch den Mut hätte. So war es die Intention der Herausgeber, das Manuskript des Autors ohne Eingriffe wiederzugeben, obwohl eventuell aus naturwissenschaftlicher Sicht manche Interpretation etwas zurückhaltender ausgefallen wäre. In diesem Zusammenhang sei auf das Heft 1/01 der Reihe hingewiesen, das demnächst in Druck gehen wird und das die mechanischen Schwingungen von Gongs in Theorie und Experiment behandelt.

Das Besondere am vorliegenden Beitrag ist die Interdisziplinarität. András Varsányi macht deutlich, dass es fachübergreifender Anstrengungen bedarf, Musikinstrumenten gerecht zu werden. Wenn es dem Autor gelingt, eine möglichst breit angelegte Diskussion über das faszinierende Thema der Gongs anzustoßen, wäre dies aus der Sicht der Herausgeber ein großer Gewinn.

München, im Oktober 2000

Helmut Fleischer

Einführung

Seit den Berichten von Magellans Berichterstatter Pigafetta 1522 sind zumindest dem Namen nach Instrumente des Typus Buckelgong in Europa bekannt (*agong*). Selbst wenn die umschreibende Bezeichnung „Buckel-Gong“ von Hornbostel & Sachs,¹ im Gegensatz zum „Flach-Gong“ (ohne Buckel), aus heutiger Sicht unzulänglich ist, so trifft sie doch den Kern der Sache: eine Platte mit einer zentralen kuppelförmigen Erhebung („Buckel“), wobei in diesem Falle implizit ein mehr oder weniger scharf nach hinten zurückgebogener Rand vorhanden ist. Es handelt sich also sowohl bau- und schwingungstechnisch als auch klanglich um völlig andere Instrumente als die in Europa seit Ende des 18. Jahrhunderts bekannten Flachgongs, die wir *Tamtam* nennen und die mittlerweile einen festen Platz in der Schlagzeugsektion des westlichen Symphonieorchesters einnehmen. Der Name *agong* fand hundert Jahre nach Pigafetta als *gong* Eingang in die englische Sprache und auf diesem Wege später auch ins Deutsche.² In Europa bezeichnete dieses Wort alle möglichen Klangobjekte, während im Ursprungsland neben der onomatopoetischen Bezeichnung das Wort auch „groß“ und „mächtig“ bedeutet. *Gong ageng* heißt zu deutsch „großer Gong“ und bezeichnet den vertikal hängenden Buckelgong mit umgeknicktem Rand, dessen Durchmesser über 80 cm und bis zu 110 cm betragen kann. Kleinere Gongs mit verschiedenen Klangcharakteren und unterschiedlichen musikalischen Funktionen haben andere Namen. Auf Bali sind die „großen *gong*“ (Balinesisch *gong gedè*) kleiner (75 bis 85 cm).

So entwickelte sich in den früheren *gong*-Herstellungszentren an der Nordküste Javas (Gresik, Semarang) eine bestimmte Bauform auch unter dem Aspekt als Repräsentationsinstrument, das nicht nur durch seine Größe und Masse, sondern in besonderem Maße durch seinen majestätischen Klang die Größe und Macht des Herrschers symbolisieren sollte. Der Respekt des Volkes vor diesen Klangobjekten war nicht zuletzt im komplizierten und nach seinen Normen magisch gefährlichen Herstellungsprozess begründet. Bis zum heutigen Tage genießen alte ehrwürdige *gong ageng* mit eigenen Namen³ an den Fürstenhöfen in Mitteljava höchste Verehrung, die sich in wöchentlichen Blumen- und Weihrauchopfern äußert. Die Eigennamen werden meist aus der javanischen Geschichte und Mystik gewonnen. Jedes Teil des *gong ageng* entsteht aus einem eigenen Arbeitsgang unter Hämmern mehrerer Schmiede bei Rotglut. Daher resultieren auch die vielen Bezeichnungen der *gong*-Oberfläche (Fig. 1), die meist anthropomorphe Bezüge haben.

Obwohl mehrere Arbeiten zum *gong ageng* auf Java vorliegen, so fehlt doch immer wieder die inhaltliche Verbindung von Material, Herstellung, Klang und Musik. Die vorliegende Arbeit stellt ein Kapitel der Dissertation des Autors am Musikwissenschaftlichen Institut der Eberhard-Karls-Universität in Tübingen⁴ dar und versteht sich als allgemeine Einführung und Überblick über den Stand der Forschung. Da diese Arbeit keine Facharbeit aus dem Gebiet der Schwingungstechnik darstellt, sind vielleicht manche grundlegende Arbeitsweisen und Beobachtungen ausführlicher behandelt als in solchen Arbeiten üblich. Dennoch wird versucht, von schwingungstechnischer Seite

1 Hornbostel & Sachs 1914.

2 In dieser Arbeit wird analog zu Varsányi 2000-I das Wort *gong* - außer am Satzanfang - ohne Mehrzahlbildung klein und kursiv geschrieben, solange es sich um den großen vertikal hängenden Buckelgongtypus javanischer oder balinesischer Bauweise handelt. Bei Verwendung als Überbegriff von verschiedenen Typen, unterschiedlicher Provenienz oder nicht näher bestimmter Arten wird es wie üblich als Substantiv in Normalschrift geschrieben.

3 Z. B. *Kyai Naga Wilaga* „verehrter Herr kämpfende Schlange“, *Kyai Guntur Madu* „Herr strömender Honigfluß“, *Kyai Maesa Ganggang* „verehrter kämpfender Büffel“, *Kyai Tundung Musuh* „verehrter Vertreter von Feinden“ usw.

4 Im Folgenden mit Varsányi 2000-I bezeichnet.

einige historische Aspekte im Hinblick auf die Entwicklung des javanischen *gong ageng* zu untermauern, die in Varsányi 2000-I ausführlich dargelegt sind.⁵

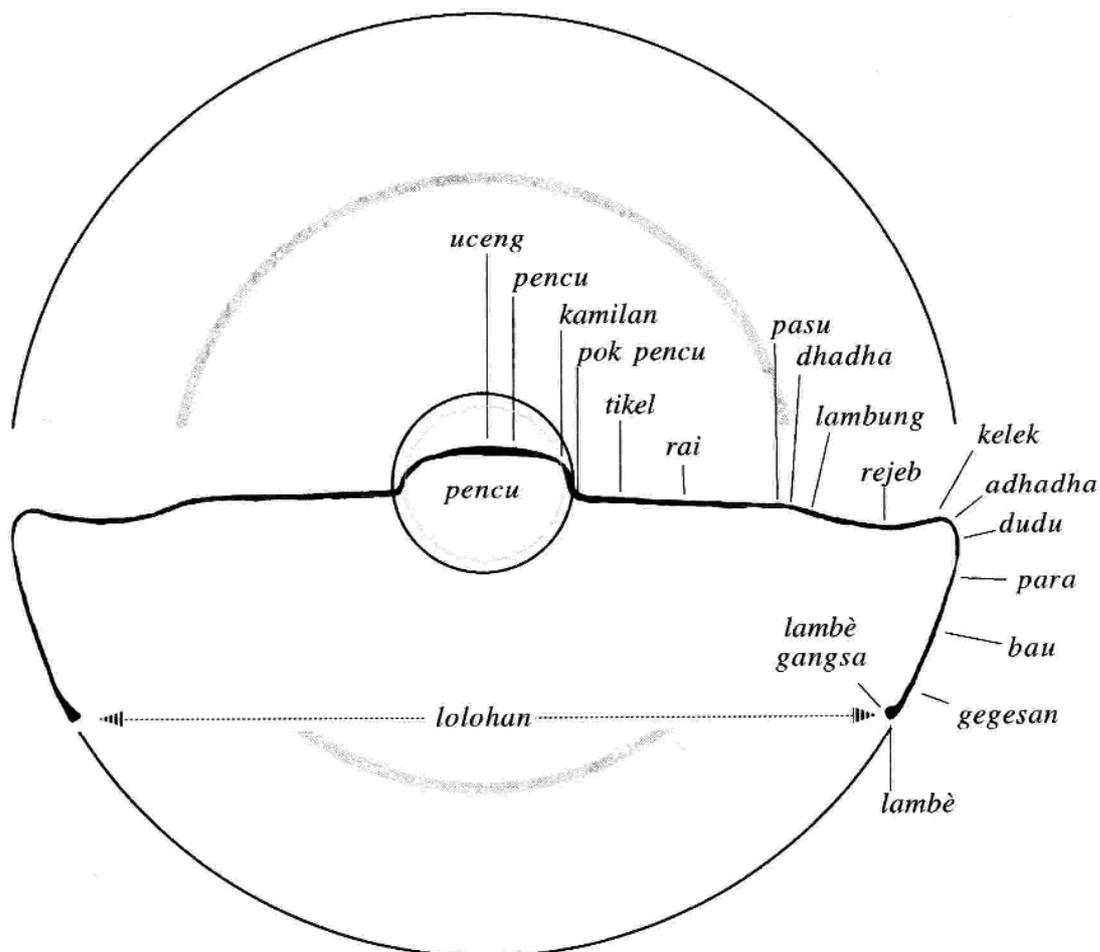


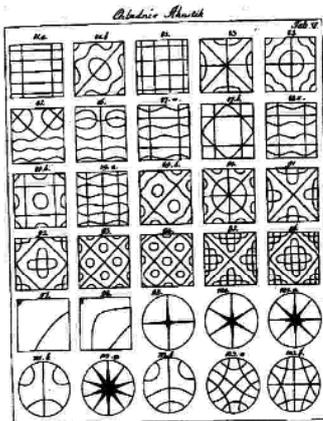
Fig. 1. *Gong ageng* und seine Formteile nach javanischer Benennung (nach *empu* Resowiguno, Wirun).

⁵ Die mir zugänglichen Daten basieren auf seit 1984 privat durchgeführten Untersuchungen zum Gongbau auf Java und Bali, ergänzt mit den Erfahrungen aus der Ausbildung zum Orchester-Schlagzeuger und der nunmehr 20-jährigen Beschäftigung mit Gamelanmusik.

1. Untersuchungsmethoden von schwingenden Platten und Gongs

1.1. Allgemein

Zur Beschreibung der Wellenform und seiner sinusoidalen Bestandteile wird das sogenannte Fourier-Spektrum erstellt. Der französische Physiker und Mathematiker Jean Baptiste Joseph Fourier (1768-1830) konnte Anfang des 19. Jahrhunderts zum ersten Male sein berühmtes Theorem aufstellen, das besagt, daß jede beliebige Wellenform (Kurve) mit der Periode P aus einer Überlagerung von Sinuswellen gewonnen werden kann, deren Frequenzen eine Teiltonreihe (1:2:3:4 usw.) bilden. Dabei muß jede Sinuswelle eine Amplitude und Phase aufweisen, die aus der komplexen Wellenform abgeleitet werden kann.¹ Diese Vermutung äußerte schon Daniel Bernoulli (1700-1782) ein halbes Jahrhundert vor Fourier. Allerdings konnte Bernoulli in Zusammenarbeit mit Leonhard Euler (1707-1783) bereits die nicht-harmonischen Obertöne bei Transversalschwingungen von Stäben und Platten belegen, während sich Fourier auf die seit Marin Mersenne (1588-1648) üblichen ganzzahligen und daher *harmonischen Teiltöne* (Harmonische Analyse) konzentrierte.² Ernst Florence Friedrich Chladni (1756-1827) machte kurze Zeit vor Fourier seine Experimente mit schwingenden Platten. Er streute Sand auf waagrecht gelagerte flache Metallplatten und strich den Plattenrand mit einem Violinbogen an. Der Sand wurde von den schwingenden Teilen der Platte weggeschleudert und sammelte sich an den Stellen mit weniger Bewegung. So wurden die Knotenlinien sichtbar, die sich je nach Plattenmaß, Befestigungsort und Anstreichort unterschiedlich gestalteten und als die *Chladnischen Klangfiguren* berühmt geworden sind (Fig. 2). Außerdem beobachtete Chladni auch, daß sich der sehr feine Abrieb der Bogenhaare nicht mit den Sandkörnern in den Knotenlinien, sondern an den Schwingungsbäuschen sammelte.



*Diese lassen sich durch den aufgestreuten Sand sichtbar machen, welcher von den schwingenden Stellen weggeworfen wird, und auf den Knotenlinien sich anhäuft. Wenn unter dem Staube ganz feiner Staub sich befindet, oder dergleichen (etwa *pulvis lycopodii*) allein aufgestreut wird, so häuft er sich, wie ich in der Akustik, §.105, bemerkt habe, nicht auf den Knotenlinien an, sondern auch in kleine Klümpchen zusammengeballt auf den Stellen, wo die Schwingungen am weitesten sind, welche man Mittelpunkte der Schwingungen nennen kann.*

Fig. 2. Aus Chladni *Die Akustik*.³

Chladni's Entdeckung, im übrigen ein Phänomen, das bereits Leonardo da Vinci (1452-1519) beobachtet hat,⁴ bestätigte Michael Faraday (1791-1867) mit erwähntem Lycopodiumpulver, das aus den Sporen bestimmter Moose (aus den Blütenstengeln des Bärlapp) gewonnen wird. Das sehr leichte Pul-

1 Hall 1997:148.

2 Eberlein 1997:380.

3 Chladni 1817:7,8; Abbildung aus Trendelenburg 1961:83.

4 Vgl. dazu Varsányi 2000-I: Kap.3.3.6. Bronzetrommeln

ver blieb auch auf den Schwingungsbäuchen liegen. Faraday konnte damit nachweisen, daß die Schwingungsbäuche rotierende Luftwirbel erzeugten, die das Pulver, ähnlich dem „Auge eines Wirbels“, in ihrer Mitte konzentrierten (Fig. 3).

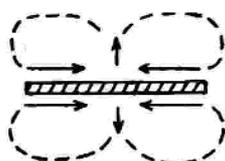


Fig. 3. Luftwirbel über Schwingungsbäuchen und das Verhalten feinen Staubes.⁵

Untersuchungen zum Schwingungsverhalten flacher kreisförmiger Platten sind seit Chladni fast von allen namhaften Physikern durchgeführt worden und gehören heute in die Anfangsstunden des Physikstudiums.⁶ Eine der umfangreichsten Arbeiten zum Gebiet der Chladnifiguren mit vielen Fotografien ist das Buch von Mary Désirée Waller (1961).⁷ Die Randbedingungen untersuchte bereits 1850 G. R. Kirchhoff. Ravenhall machte 1973 mit Kohlestaub (24er Körnung) auf Aluminium-, Messing- und Stahlplatten einige Versuche auf Basis der Arbeiten von Waller, die in Fig. 20 abgebildet sind. Andrus hat in seiner Thesis⁸ die bis zum Jahre 1968 für die klangliche Analyse eines *Tamtams* möglichen Untersuchungsmethoden ausführlich zusammengestellt, weshalb hier auf einen umfassenden Überblick verzichtet werden kann. Lediglich die wichtigsten Untersuchungsmethoden, die für die vorliegende Arbeit relevant sind, sowie vor allen Dingen ihre durch die Entwicklung der Computertechnik erweiterten und erneuerten Möglichkeiten seien kurz umrissen.

1.2. Analyse-Methode: Spektrum und Fast-Fourier-Analyse (FFT)

Die komplexe mathematische Darstellung des Spektrums wurde nach der Entwicklung elektronischer Analysegeräte seit ca. 1920 auch experimentell darstellbar. Die älteren Frequenzanalyser hatten schmalbandige einstellbare Filterbänke, die schrittweise auf die Frequenzbereiche eingestellt wurden und durch elektronische Verstärkung auf einem Oszilloskop die Amplitudenwerte der einzelnen Komponenten lieferten.⁹ Noch Anfang der 1970er Jahre war es schwierig, das Spektrum eines *gong ageng* adäquat darzustellen. So registrierte der „Melograph C“, den Giles gebrauchte, keine Töne unter 100 Hz.¹⁰ Bei einem Grundton von z. B. 32 Hz wären somit der I., II. und III. Teilton nicht erfasst und müssten rein rechnerisch interpoliert werden. Die Untersuchung nichtlinearer Systeme ist damit nur bedingt möglich, da es sich nicht um „Harmonische“ handelt. Die langwierige mathematische Ermittlung wurde seit den 1970er Jahren mit Einführung der Computer und der Analyse komplexer Wellenformen mittels rascher Berechnung von Fourier-Transformationen ganz erheblich verkürzt.¹¹ Das wohl meistgebrauchte Gerät der letzten Jahre für eine solche Fast-Fourier-Transformation (FFT) ist der Sono-Okki CF-350, mit dem auch die Analysen im Kap. 4 dieser Arbeit erstellt worden sind.

⁵ Waller 1961:117, Plate 47/4.

⁶ Rossing 1981:271.

⁷ Bereits 1938 veröffentlichte sie eine Untersuchung zu Chladnis Gesetz mit über 90 Schwingungsmoden einer kreisförmigen Messingplatte, allerdings nur mit freischwingendem Rand; cit. in: Vibrations of free circular plates, in: Proceedings of the Physical Society of London 1938, cit. in: Rossing 1991.

⁸ Andrus 1968:4-26.

⁹ Hall 1997:149.

¹⁰ Giles 1974:160.

¹¹ Eberlein 1994:384.

1.3. Finite Elemente

Die Methode der Finiten Elemente (FEM) ist ein numerisches Verfahren der Festkörpermechanik zur Berechnung der Schwingungsmoden komplizierter elastischer Festkörper. Der Grundgedanke ist dabei die Zerlegung eines beliebig verformbaren Körpers in einzelne endliche Teile, die in den Knotenpunkten (diskrete Punkte) zusammenhängen (s. Kap. 3). Solche Teile sind z. B. ebene mehreckige und krummlinige Elemente, Tetraeder, Prismen, Zylinderschalen, rotationssymmetrische Elemente u.a.m. Mathematisch basierend auf einer Arbeit von Courant um 1942 zu Gleichgewichts- und Schwingungsproblemen wurde der Begriff „Finite Elemente“ erst nach der Einführung digitaler Rechenmaschinen um 1960 von Clough und anderen Autoren verwendet.¹² Diese Matrixmethode könnte zwar einiges zum Thema „Akustik des gong“ beitragen, ihre Anwendung zur Untersuchung bei einem bestimmten Objekt bleibt jedoch den Fachleuten auf diesem Gebiet vorbehalten und würde den gesetzten Rahmen dieser Arbeit sprengen.

1.4. Modalanalyse

Um die verschiedenen Schwingungs-Eigenformen einer mechanischen Struktur zu erfassen, wurde in den USA im Bereich der Flugforschung die Modalanalyse entwickelt. Ging es damals in erster Linie um die Vermeidung von unerwünschten Körperschallschwingungen einzelner Flugzeugteile zur Vermeidung von Ermüdungsschäden, so wurde dieses Verfahren später in nahezu allen Bereichen der Schwingungstechnik eingesetzt.

Es wird eine mathematische und eine experimentelle Modalanalyse unterschieden. Die mathematische handelt von der Isolierung von Bewegungsgleichungen, um den Grad ihrer Beteiligung an der Schwingfrequenz einer Struktur nachzuweisen und steht somit der Finite-Elemente Methode nahe. Die experimentelle Modalanalyse beobachtet die Reaktion einer Struktur hinsichtlich ihrer Eigenschwingungen, indem die Struktur an einer oder mehreren Stellen zum Schwingen angeregt wird und an einer oder mehreren anderen Stellen die Antwort abgenommen wird.¹³ Auf Musikinstrumente angewandt, kann *die quantitative Verteilung der Auslenkungen über dem Instrumentenkorpus* Aufschluß darüber geben, *welchen Anteil eine schwingende Fläche zur Schallabstrahlung beiträgt und in welche Raumrichtungen sich die Schallwelle ausbreitet*.¹⁴ Dieses meßtechnische Verfahren liefert *die Resonanzfrequenzen [Moden], die Dämpfungen sowie die Schwingungsverteilung auf der Struktur*.¹⁵

Die Durchführung einer Modalanalyse erfolgte bis Mitte der 90er Jahre mit piezoelektrischen Beschleunigungsaufnehmern (Akzelerometern) und war sehr zeit- und arbeitsaufwendig (Fig. 4): Auf die zu messende Struktur wird ein Meßgitter aufgezeichnet, deren Kreuzungspunkte die Meßstellen darstellen. Je feiner das Gitter, umso größer die spätere Auflösung. Auf einem beliebigen Punkt wird dann ein Beschleunigungsaufnehmer als Schwingungssensor fest montiert. Mit einem kleinen Hämmerchen, in den ein piezoelektrischer Kraftaufnehmer (Impulshammer) installiert ist, werden die einzelnen Meßgitterpunkte angeschlagen. Manchmal wird auch ein elektromagnetischer Schwingerreger (Shaker) eingesetzt. Während mit dem Hämmerchen die Struktur zu freien Schwingungen angeregt wird, bleibt der Shaker fest mit dem System verbunden. Das kann bei Idiophonen wie dem *gong ageng* zur Folge haben, daß die Eigenfrequenzen, bedingt durch die zusätzlich eingebrachte Masse

12 Hahn 1975:1-8, Rossing 1991:122,123.

13 Rossing 1991:121.

14 Wogram 1991:44.

15 Wogram 1991:46, 1992:58.

des Shakers, herabgesenkt werden.¹⁶ Die beiden elektrischen Meßsignale werden verstärkt und einem FFT-Analysator zugeleitet. Durch Bildung des Quotienten aus Kraftstoß und Beschleunigung wird eine Spektralanalyse für beide Eingänge erstellt. Die so gewonnenen modalen Daten liefern Informationen über *die Art der Verformung der Struktur während der Schwingbewegung bei der Resonanzfrequenz* und können mit bestimmten Computer-Programmpaketen animiert und im Bewegungsablauf dargestellt werden.¹⁷ Die Berechnungen für Platten zeigen, daß besonders die Plattendicke und die Biegesteifigkeit wesentliche Auswirkungen auf das Schwingungsverhalten und somit das Klangbild haben.

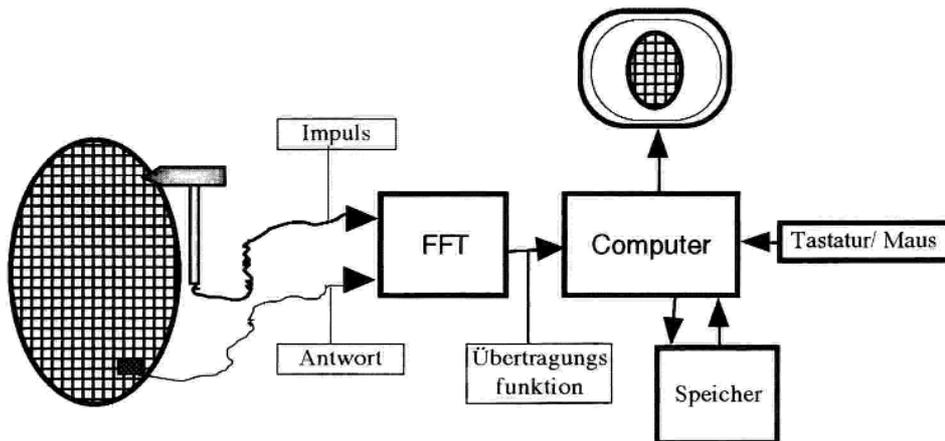


Fig. 4. Blockschaltbild eines Messplatzes für eine Modalanalyse.¹⁸

Diese Beobachtung machte auch Thomas Twork mit ähnlichen FEM-Berechnungen, nun jedoch von einem realen Instrument ausgehend („Kolberg-Gong Nr. 4“ mit 52,5 cm Durchmesser), indem er den Gong zur Kreisplatte unter Randbedingungen nach Kirchhoff *vereinfachte* und anhand der Formel¹⁹

$$f \sim \frac{h}{r^2} \sqrt{\frac{E}{\rho}} \sqrt{\frac{I}{1-\nu^2}}$$

eine Verknüpfung von Eigenfrequenz und den Geometric- und Meßdaten herstellte. Die Parametervariation beschränkte sich auf die Dicke h , die von den gemessenen Werten 2,3 mm für die Oberflächenstärke (rai) und 5 mm für die Stärke des Randes (bau) auf 1 mm respektive 3 mm reduziert wurde (s. Fig. 17 - 22, nach Twork 1997: Abb. 7.2 bis 7.9). Diese reduzierten Werte entsprechen den gemessenen Stärken der Mehrzahl von Buckelgongs.²⁰

1.5. Laser-Doppler-Vibrometer

Obwohl die Masse eines piezoelektrischen Beschleunigungsaufnehmers nur 0,5 g²¹ beträgt, kann sie immer noch die Schwingungen eines leichten Systems (z. B. ein Trommelfell oder einen dünnwandigen Gong) beeinträchtigen und als eine Partialdämpfung sogar verfälschen. Deshalb hat die berüh-

¹⁶ Twork 1997:6.33.

¹⁷ Nach Fleischer 1996, 1997; Wogram 1991, 1992.

¹⁸ Nach Wogram 1991:47.

¹⁹ Dabei sind h = Materialdicke, r = Radius, E = Elastizitätsmodul, ρ = Dichte [kg/m³], ν = Querkontraktionszahl.

²⁰ Vgl. dazu die Maße und Querschnittszeichnungen in Varsányi 2000-I: Anhang 6.5., 6.6.

²¹ Wogram 1991:115.

rungsfreie optische Meßtechnik wesentlich an Bedeutung gewonnen. Die Messung der modalen Formen mit einem Laser-Vibrometer ist seit den 1990er Jahren immer mehr in den Vordergrund gerückt. Die Vorteile liegen auf der Hand: Das System muß nicht mit einem Akzelerometer belastet werden, die langwierige arbeitsaufwendige Anbringung eines Messgitters direkt am Objekt erübrigt sich und es kann auch an schwer zugänglichen Stellen oder auch an Objekten mit extremen Temperaturen gemessen werden.

Ein Laser-Vibrometer arbeitet nach einem interferometrischen Verfahren und analysiert das von einer bewegten Oberfläche reflektierte Licht.²² Einfach ausgedrückt, basiert er auf der Aufteilung und wieder Zusammenführung eines Strahles. Dazu wird ein Punkt auf dem Testobjekt mit kohärentem Laserlicht (d. h. mit gleicher Wellenlänge und Schwingungsart) beleuchtet. Durch die Bewegung der Oberfläche ist das von der Oberfläche reflektierte Licht in seiner Frequenz Doppler-verschoben. Die Verschiebung ist proportional zur Schwingungsgeschwindigkeit. Der Laserstrahl nimmt also nicht die Amplitude, sondern die Geschwindigkeit der Schwingung auf. Wenn sich der Abstand des Objektes bzw. des Messpunktes um die halbe Wellenlänge des Laserstrahles ändert, entstehen in Längsrichtung des Strahles durch Interferenz helle und dunkle Streifen. Diese Streifen werden von einem digitalen Streifenzähler erfasst und gespeichert. Laser-Vibrometer verwenden ein leistungsschwaches Helium-Neon-Laser (HeNeLaser), das auch bei langen Abständen ein schwaches Rauschen hat. Die Funktionsweise eines Laser-Doppler-Vibrometers (PSV)²³ lässt sich anhand des Blockschaltbildes (Fig. 5) erklären: Der Strahlteilerwürfel (BS1) läßt einen Teil des Messtrahls (dicke schraffierte Pfeile) in gerader Richtung durch, lenkt jedoch einen Teil als Referenzstrahl (mittelstarke Pfeile) ab. Auch den zweiten Strahlteilerwürfel (BS2) durchläuft der Messtrahl ungehindert und wird schließlich durch eine Linse auf das Objekt punktförmig fokussiert (fS). Der Strahl wird, wenn auch mit verminderter Amplitude, denselben Weg zum Strahlteilerwürfel (BS2) zurückgeschickt (dünne Pfeile) und umgelenkt.

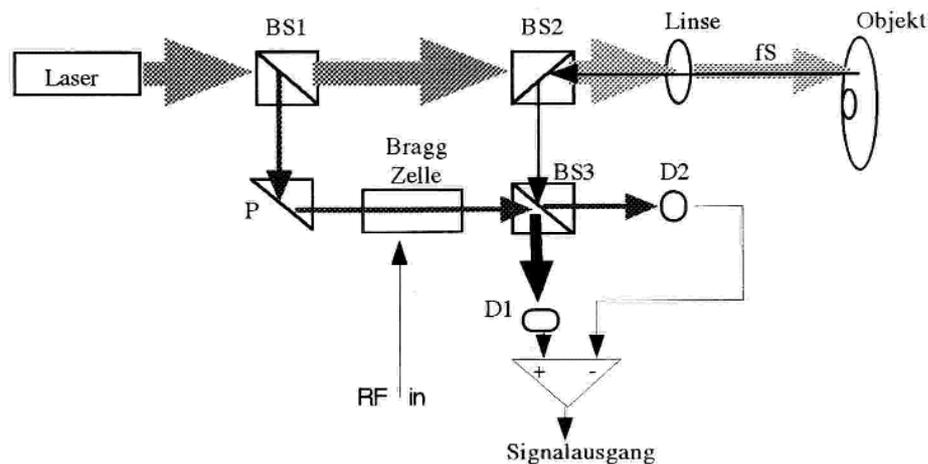


Fig. 5. Prinzipieller optischer Aufbau eines Laser-Doppler-Vibrometers.²⁴

²² Die folgende kurze Beschreibung der Arbeitsweise und Messanordnung wurde aus den Artikeln (Lewin 1990), (Stehle 1993), (Meier 1991) sowie Prospekten der Fa. POLYTEC zusammengestellt, für deren Überlassung an dieser Stelle Herrn Martin Feser herzlich gedankt sei.

²³ P[OLYTEC®] S[CANNING] V[IBROMETER], eine Entwicklung der deutschen Firma POLYTEC in Waldbronn, Baden-Württemberg.

²⁴ Nach Lewin 1990:2.

Eine Änderung der Polarisation des Lichtstrahles durch eine vor der Linse vorgeschaltete Platte (nicht eingezeichnet) verhindert, daß der Rückstrahl wieder in die Laserröhre gelangt. Die Entwicklung hoher Streulichtempfindlichkeit lässt auch schlecht reflektierende Oberflächen messen. Der abgelenkte Referenzstrahl wird bei (P) in einen akusto-optischen Modulator (Bragg-Zelle) umgeleitet. Hier wird der Referenzstrahl um ca. 40 MHz über einen Hochfrequenzoszillator (RF in) in seiner Frequenz konstant verschoben. Dies ist notwendig, um anhand dieser Konstante die Bewegungsrichtung der Schwingung zu erkennen: schwingt die Oberfläche zum Vibrometer hin (positiv) oder vom Vibrometer weg (negativ)? Im Strahlteiler (BS3) werden schließlich der frequenzmodulierte Referenzstrahl und der reflektierte Messtrahl vereint (dicker Pfeil) und zu einem Photodetektor (D1) geleitet. Dieser Detektor erkennt die Interferenz der beiden Strahlen und zeichnet sie in hellen und dunklen Streifen auf. Der zweite Detektor (D2) hilft das Rauschen und eine Signaldrift zu minimieren. Da die Messreferenz eine hochstabile Laserlichtwelle bzw. dessen halbe Wellenlänge ist, kann von einer absoluten Genauigkeit bis auf 8 nm (Acht Millionstel Millimeter) ausgegangen werden.

Die Auswertung der vorliegenden Messdaten unterliegt einem kompakten Softwarepaket. Durch einen Anregungsimpuls mit kontrolliertem Kraftstoß (Shaker) wird das Objekt (in diesem Fall der *gong ageng*) in Schwingung versetzt. Anregungsimpuls und Signalverlauf werden digitalisiert in einen Computer eingegeben und mit entsprechend integrierter FFT-Software das Spektrum errechnet. Dieses Spektrum gibt Auskunft darüber, bei welcher Frequenz das Instrument am gemessenen Punkt wie stark schwingt. Für die Einstellung des Steuersystems und anschließende Visualisierung der Messdaten wird in den Scanning-Vibrometern eine Videokamera eingebaut. Am Computerbildschirm wird über das Videobild des Objektes ein Netzraster mit den Messpunkten gelegt. Die Auflösung kann durch den Abstand der Messpunkte unterschiedlich fein eingestellt werden. Die eigentliche Messung, bestehend aus kontrollierter Schwingungsanregung mittels Shaker und Abtasten und Speichern der Messpunkte wird von dem Steuersystem automatisch durchgeführt. Aus den Spektren der einzelnen Punkte wird ein Gesamt-Leistungsspektrum aufaddiert. Dieses Leistungsspektrum gibt zunächst nur Auskunft über die Intensität der Klangausstrahlung. Um das Schwingungsverhalten der Objektteile auch visuell lokalisieren zu können, müssen die Spektren einzeln farblich codiert werden. Durch Interpolation der nicht gemessenen Zwischenräume der schwingenden Oberfläche kann so ein flächiges sogenanntes „Falsch-Farben-Bild“ erzeugt und punktgenau über das Videobild des Objektes gelegt werden. In der Farbcodierung sind Amplitude, Geschwindigkeit, Beschleunigung und Phase enthalten. Damit ist die Lokalisation und Darstellung der Schwingungseigenformen bei verschiedenen Frequenzen möglich. Dauerte noch vor kurzem eine Modalanalyse einige Tage an Vorbereitungszeit, so kann bei sachkundiger Betätigung eine Laser-Analyse in wenigen Stunden durchgeführt werden. Wie die Diplomarbeit von Herrn Twork am Institut für Mechanik ergeben hat, sind *die Unterschiede zwischen den beiden Analysen* [herkömmliche experimentelle Modalanalyse und Laser-Scanning-Vibrometer Analyse] *zu vernachlässigen. [...] Alles in Allem bringt die Modalanalyse der vom Scanning Vibrometer gelieferten Übertragungsfunktionen keine neuen Erkenntnisse bezüglich des Schwingungsverhaltens.*²⁵

25 Twork 1997:7.17.

2. GONG UND RELEVANTE SCHWINGER

2.1. Zur Definition von *gong ageng*

In der Klassifikation der Musikinstrumente ordneten Hornbostel und Sachs 1914 Gongs unter *Aufschlagidiophonen* und dort in der Unterkategorie *Aufschlaggefäße* als [*selbständige*] *Gongs* ein. Als *Aufschlagidiophone* werden ihnen zufolge Instrumente bezeichnet, die mit einem *nichtklingenden Werkzeug* (*Hand, Schlägel, Körper*) geschlagen werden. Die Form der *deep gongs*, wie Sachs die südostasiatischen Gongs nennt, wird durch eine dicke Wandung und einen tiefen Rand gekennzeichnet sowie einen Schlagbuckel, der das Instrument aussehen lässt *like the cap (biretta) of a Catholic priest* (Sachs 1940:241). Im Gegensatz zur Glocke charakterisiert den Klang der Gongs, daß *die Schwingungen nach dem Scheitel hin zunehmen* (1914). Außerdem ist ihr Klang *pure, distinct and full without clinking harmonics* (Sachs 1940:241). Die Instrumentenkunde scheidet nach Sachs *aus dem Begriff Gong alle Membraninstrumente aus* (Sachs Reallexikon 1913:164). Jedoch stehen sowohl unter schwingungstechnischen als auch entwicklungsgeschichtlichen Aspekten Gongs und Membraninstrumente in wechselvoller Beziehung zueinander.

2.2. Membran und Platte

Die Membran wird als das zweidimensionale Gegenstück zur straff gespannten Saite angesehen,²⁶ denn bei der Saite wie bei der Membran ist die Spannung die rückführende Kraft, die das System in Schwingung versetzt, nachdem es zunächst von einem darauf ausgeübten Druck verformt worden ist.²⁷ Während jedoch die Spannung bei der Saite geradlinig verläuft und die Frequenzen der Obertöne *Harmonische* sind, treten bei der am Rand gespannten Membran unharmonisch verteilte Eigenfrequenzen auf. Nun gehen physikalische Überlegungen grundsätzlich von einem nicht-realen Idealzustand aus. Dementsprechend gilt als Grundmodell zunächst eine *ideale Membran* ohne innere Steifigkeit im absoluten Vakuum. Sie weist nach den Berechnungen keine harmonischen ganzzahligen Verhältnisse auf, sondern verhält sich in ihren Schwingungsmoden wie 1 zu 1,59 zu 2,14 zu 2,30 zu 2,65 zu 2,92 [...].²⁸ Solche Verhältnisse können kein bestimmtes Tonhöhenempfinden auslösen. Erst durch instrumentenspezifische Modifikationen einer Membran bzw. Platte können harmonische Verhältnisse unterstützt oder unterdrückt werden. Auch spielen Ort und Art der Schwingungsanregung eine entscheidende Rolle. Wenn man eine Felltrommel oder Pauke wie einen Buckelgong in der Mitte anschlägt, erzeugt dies nur einen dumpfen „blopp“-Klang, was daran liegt, daß das Zentrum der Membran *auf den Ruhelinien der meisten Eigenschwingungen* liegt und der durch diesen Anschlag besonders angeregte 01-Ton nicht zur Tonhöhenempfindung beiträgt.²⁹ Dagegen erhält man nach dem „richtigen Anschlag“ (ca. in 1/4-Entfernung des Gesamtdurchmessers vom Fellrand) einer gut gestimmten Kesselpauke eine deutlich vernehmbare Tonhöhe. Akustische Messungen haben ergeben, daß sich im Gegensatz zur idealen Membran die Frequenzverhältnisse einer Pauke nahezu in die ganzzahlige Sequenz von 2:3:4 bringen lassen (Fleischer 1992:15), die der Anzahl der Knotenlinien entsprechen (s. Fig. 16). Der für die empfundene Tonhöhe wichtige Hauptton einer Pauke basiert auf

²⁶ Trendelenburg 1961:80.

²⁷ Rossing 1992:128.

²⁸ Rossing 1992:130.

²⁹ Hall 1997:184, Fleischer 1992:61; vgl. Kap. 2.4.2.

der Eigenschwingung in der 11-Mode, die Quint auf dem 21-Mode und die Oktave auf dem 31-Mode.³⁰

Was die Frequenzen einer Metallplatte anbelangt, so erhöhen sie sich nach Chladni bei Zunahme um einen Knotenkreis (n) proportional einer Zunahme von zwei Knotendurchmessern (m). Diese Formel [$f \sim (m+2n)^2$] gilt jedoch nicht, wenn der Abstand der Knotenkreise zur Mitte hin geringer ist als die Plattenstärke, d. h. wenn dünne Platten mit höheren Frequenzen angeregt werden.³¹

Nach diesen Beobachtungen kann man *gong ageng* durch seinen nach hinten geknickten hohen Rand (*bau*) als eine eingespannte Kreisplatte definieren, deren Eigenschwingungen im Gegensatz zu den *echten Trommeln* [d. h. *Felltrommeln*]³² nur schwach gedämpft sind.³³ Für die charakteristische Art dieser Eigenschwingungen scheinen die äußere Form mit der Oberflächenrinne (*rejob*) und der Masse des Schlagbuckel (*penca*), aber auch die Gefügestruktur des Materials und die Masseverteilung in der Wandung verantwortlich zu sein.

2.3. Einflüsse auf den Klang eines *gong*

2.3.1. Elastizität und Dämpfung

Der longitudinalen Verformung einer Membran, wie z. B. dem rotationssymmetrischen Spannen eines Paukenfells, entspricht bei einer Platte ein transversales Verbiegen der Oberfläche. Ein Erhöhen des Scherwiderstandes einer Platte bewirkt eine Erhöhung der Frequenzen der Oberschwingungen.³⁴ Dabei ist bei einer Metallplatte selten mit *Harmonischen* zu rechnen. Andererseits klingen höherfrequente Eigenschwingungen schneller ab, weil sie mit häufigeren Verbiegungen und daraus resultierenden Reibungsverlusten verbunden sind (vgl. dazu die FFT-Analysen).

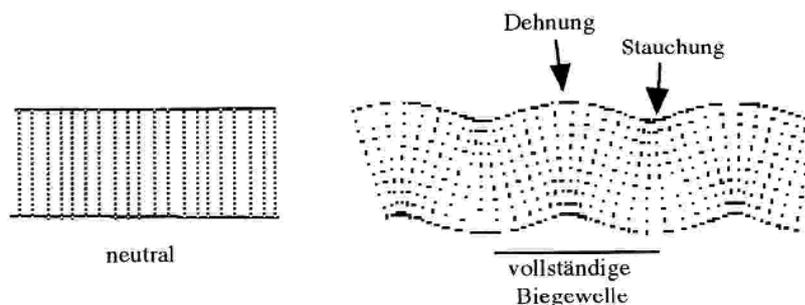


Fig. 6. links: neutrale Faser, rechts: Biegewelle (nach Rieländer 1982:54).

Solche transversalen Biege-Wellen sind mechanische Wellen, die in dünnen Platten, Balken und gekrümmten Schalen auftreten und sich durch ein Dehnen und Stauchen des Materials kennzeichnen.

30 Fleischer 1992:10f. Was das Loch im Boden des Paukenkessels betrifft, betrachten viele Orchestermusiker dieses als „Schallock“, das die Tonhöhe des Felles beeinflussen und zwar ansteigen ließe, falls es geschlossen würde. Diesbezügliche Versuche auf die Reaktion der Membran ließen jedoch keine frequenzabhängige Veränderungen feststellen (Fleischer 1992:27, Rossing 1992:135). Was sich bei geschlossenem oder geöffnetem Fell ändert, ist lediglich die „Helmholz-Resonanz“. Bereits Peinkofer (1969:33) bemerkte, daß das Loch im Kessel *zum Luftdruckausgleich während des Schlagens dient*, oder anders ausgedrückt: ein geübter Pauker bemerkt *den Unterschied an der veränderten Reaktion des Paukenfells auf seinen Anschlag, d. h. am andersartigen „Rebound“* (Fleischer 1992:27).

31 Fletcher & Rossing 1998:79.

32 Rossing 1992:128.

33 Trendelenburg 1961:80.

34 Rossing 1992:131.

Ursache ist das Neigen der in Ruhe senkrecht zur neutralen Faser stehenden Querschnitte (Fig. 6). Solche Biegewellen sind nur möglich, solange ihre Wellenlänge größer ist als die sechsfache Plattendicke.³⁵ Bei der Ausbreitung von Biegewellen ist die Biegesteife die *maßgebende Kenngröße* (Rieländer), die allerdings nur für Balken mit konstantem Querschnitt und für homogene Platten konstanter (mittlerer) Dicke definiert ist. Die inhomogene Biegesteife bei *gong* wird durch die stark unregelmäßige Wandungsstärke,³⁶ bedingt durch die handgeschmiedete Art der Fertigung, und die damit verbundene unterschiedliche Dichteverteilung verursacht. Das Hämmern der Oberfläche eines *gong* in kaltem Zustand³⁷ hat zum Ziel, die Steifigkeit bestimmter Teile der Platte zu erhöhen und damit die Struktur der Biegewellen zu verändern.

Elastizität ist *per definitionem* die Fähigkeit eines Körpers, eine durch äußere Kräfte verursachte Form- oder Volumenänderung nach Beendigung der Kraftwirkung rückgängig zu machen. Daher muß sich die Schwingungsanregung innerhalb dieser Elastizitätsgrenzen bewegen. Wird diese überschritten, geht damit eine Verformung einher, was auch bei unsachgemäßem außermittigem Anschlag auf bestimmte Partien der *gong*-Oberfläche passieren kann.

Durch das Kalthämmern wird die Dämpfung des *gong*-Metalls erniedrigt. Die Dämpfungsgröße hängt mit der Elastizität des Materials zusammen, denn *die Dämpfungszeit ist umso kürzer, je stärker die Eigenschwingung Energie abstrahlt und je stärker sie mit Reibungsverlusten verbunden ist.*³⁸ Wie die Untersuchung des Herstellungsprozesses zeigt, tragen alle größeren Formteile eines *gong* dazu bei, geeignete knickabhängige Dämpfungen zu erzeugen. Zu diesen Formteilen gehören der umgeknickte Rand (*bau*) ebenso wie die Randrinne (*rejob*) und der zentrale Schlagbuckel (*pencu*). Der *rejob*, die versenkte Rinne zwischen Rand und Oberplatte, scheint in bezug auf die Dämpfung eine mehrschichtige Rolle zu spielen. Einerseits bildet er den Übergang zum relativ steifen *bau*, andererseits schränkt er die freien Schwingungen der Plattenoberfläche durch seine gelegentlich erhöhte Masse sowie durch die gehämmerte Biegung nicht unwesentlich ein. Da weder in der javanischen noch in der balinesischen Gamelanmusik ein langer *gong*-Klang erwünscht ist, kann man davon ausgehen, daß der *rejob* mit dazu beiträgt, die *Klangdauer* des *gong* zu bestimmen. Die Auswirkungen bestimmter Materialeigenschaften auf die Schwingungsfähigkeit und somit den Klang eines Instrumentes sind wesentliche Aspekte bei der Herstellung eines Musikinstrumentes. Die Dämpfung der freien Biegeschwingungen durch das verwendete Material konnte bei Glocken beobachtet werden.³⁹ Daraus ergibt sich für die Biegeschwingungsresonanzen⁴⁰ eine besondere Bedeutung des Elastizitätsmoduls (bei gegossenen Bronzeglocken 9650 kp/mm² [nach Schad]). So wies ein Glockenguß mit verfeinerter Korngröße eine erhöhte Dämpfung auf, die sich zwar nicht auf die Tonhöhe, jedoch auf die Klangdauer auswirkte. Eine verfeinerte Korngröße hat bei *gong ageng* keine Auswirkungen, da er nach dem Guß gehämmert und durch Abschrecken in kaltem Wasser gehärtet wird.⁴¹

Die Größe eines schwingenden Objekts wird im Zusammenhang mit der angestrebten Schwingungsfrequenz (Tonhöhe) u. a. von der *Schallgeschwindigkeit* im Material bestimmt. Wie Untersuchungen bei Glocken ergeben haben, müsste man bei zwei Glocken, die aus unterschiedlichen Materialien wie

35 Rieländer 1982:54. Bei einem *gong* mit 2 mm gleichmäßiger Wandungsstärke beträgt die vollständige Biegewellenlänge demnach mindestens 12 mm (vgl. Fig. 6).

36 Vgl. Varsányi 2000-I, Kap. 6.4 Querschnittszeichnungen.

37 Vgl. Varsányi 2000-I, Kap. 1.3.3 *matak*.

38 Hall 1997:186.

39 Schad 1986:148.

40 Bork 1994:13.

41 Vgl. Varsányi 2000-I, Kap. 1.1 die Metalle.

Stahl und Bronze gegossen und beide auf dieselbe Tonhöhe bei gleicher Rippe gestimmt sein sollen, die Glocke aus Stahlguß wegen der größeren Schallgeschwindigkeit um einiges größer machen als die andere aus Bronze-guß.⁴² Bei einer größeren Glocke wird jedoch die Dämpfung durch Schallabstrahlung und Luftreibung erhöht, wodurch die oberen Teiltöne schneller verklingen. Klanglich wird der Ton dadurch farbloser.

2.3.2. Atmosphäre und Temperatur

Der Einfluß von Atmosphäre und Temperatur besonders auf tiefklingende Instrumente ist hinlänglich bekannt. Wie Rossing nachgewiesen hat, senkt die atmosphärische Belastung die Frequenzen der tief-frequenten Moden beträchtlich, dagegen ist ihr Einfluß auf die Frequenzen der hochfrequenten Mo-den gering.⁴³ Rieländer erklärt dieses Phänomen folgendermaßen: *In ausgedehnten Gasen und Flüssigkeiten ist jede Schallwelle verbunden mit räumlichen und zeitlichen Schwankungen von Dichte, Druck und Temperatur des Übertragungsmechanismus sowie mit weiteren Schwankungen des Ortes und der Geschwindigkeit der um ihre Ruhelage schwingenden Teilchen um die ohne Schall vorhandenen Mittelwerte.*⁴⁴ Eine Reaktion auf atmosphärische Veränderungen konnte bei Glocken hinsichtlich der Nachklingdauer des Teiltonspektrums nachgewiesen werden.⁴⁵ Demnach ändern sich die Frequenzen der Unteroktave durch Reibungsdämpfung proportional zur Quadratwurzel des Luft-drucks.⁴⁶ Die Tonhöhenabhängigkeit von der Temperatur scheint zunächst vernachlässigbar gering zu sein. Bei Glocken wurde beobachtet, daß der Schlagton und die Teiltöne mit einem Wert von $0,5/16$ HT (= 3,1 Cent) pro 10 °C Temperaturanstieg abfallen.⁴⁷ Übertragen bedeutete dies, daß die Tonhöhe eines *gong ageng* aus Java (bei einer Durchschnittstemperatur von ca. +30 °C) ins herbstliche Mitteleuropa (mit einer Temperatur von ca. +10 °C) gebracht um ca. 6 bis 7 Cent höher wäre als am Verschickungsort. Die Differenz beträgt für einen Einmeter großen *gong ageng* mit Stimmung Fis₁ (46 Hz) im Unteroktavbereich > 0,5 Hz und im Prime- und Oberoktavbereich > 1 Hz. Es ist also anzunehmen, daß eine Veränderung um dieses eine Hertz Auswirkungen auf die Schwebungsfrequenz hat (s. Kap. 2.5.). In unserem Beispiel könnte dies konkret bedeuten, daß der *gong ageng* in Europa allein aufgrund der Temperaturunterschiede einen Schwebungs-*Schlag* (Helmholtz) weniger hätte als nach dem Stimmen auf Java - ein musikalisch auffallender Effekt, da javanische *gong ageng* nur mit zwei bis drei Schwebungen/Sekunde eingestimmt werden.

42 Schad 1986:154.

43 Rossing 1992:132.

44 Rieländer 1982:310.

45 So zeigen hochgerechnete Werte aus Präzisionsmessungen, daß z. B. die Unteroktave, Prime und Oberoktave von Zinn-bronzeglocken in 4000 m Höhe um 11%, 23% und 39% längere Ausklingzeiten haben als auf Meeresspiegelhöhe (0 m).

46 Schad & Warlimont 1973:13.

47 Schad 1986:156.

2.4. Klang und Schallabstrahlung

In Festkörpern sind zwar sehr viele Wellenformen (Körperschall) ausbreitungsfähig, doch auf welche Art Schall zu Gehör gebracht werden kann, hängt von der Art des Übertragungsmediums ab. Im Normalfall versteht man bei Musikinstrumenten unter Schallabstrahlung die Übertragung des Schwingungsvorganges auf das Medium Luft (Luftschall) in der Form von longitudinalen Wellen. Bei dünnen Platten übertragen die durch BiegeWellen hervorgerufenen Transversalwellen ihre Schwingungen an die Luft (Fig. 6).⁴⁸ Durch die große Fläche ist die Schallintensität der tiefen Moden eines *gong ageng* in geringer Entfernung sogar körperlich spürbar.⁴⁹

2.4.1. *gong*-Klang im Fernfeld und im Raum

Die Quellen berichten immer wieder vom „weittragenden“ Klang großer Felltrommeln und Bronzeidiophone. So wurden angeblich „Bronzetrommeln“ in Wasserfälle gehalten und machten *gleich Donner und Donnerschlägen* dem Feind Angst vor einem vermeintlichen riesigen Heer. Oder es wurde eine Reihe von Bronzetrommeln aufgestellt *und zwar so, dass, indem das Wasser fiel, es einen Schlägel, [...] in Bewegung setzte und gegen die Pauke schlug, so daß ein fortwährender Lärm entstand, wodurch die Truppen stets wach und daher auf ihrer Hut gehalten wurden.*⁵⁰ Einem solchen kriegerischen Einsatz entsprechen immer wieder die Kombination von Fell- und Metallinstrumenten, von den Trommel-Gong-Ensembles in Thailand (*frighteningly loud and powerful law.gaw*)⁵¹ bis zu den Janitscharen-Kapellen der Türken. Auch Colin McPhee, der den Klang der *gong* der balinesischen Gamelans mehr vom musikalischen Gesichtspunkt aus beschreibt, hebt den weittragenden Signalcharakter hervor: *the sound of the great gong ageng is deep and vibrant, and will carry for miles in a quiet night.*⁵² Jedoch nimmt gemäß der bekannten Frequenzabhängigkeit der Ohrempfindlichkeit die durch das Gehör wahrnehmbare Lautstärke unterhalb 500 Hz rapide ab (Fig. 7).

Im Falle der *gong*, insbesondere der javanischen *gong ageng*, spricht diese Tatsache also gegen die Annahme, daß große Instrumente auch weit zu hören wären. Eigene Beobachtungen bestätigen auf subjektiver Ebene, daß die mittelgroßen *kempur* bzw. *kempul* klanglich wesentlich durchdringender sind als die *gong ageng*. Allerdings muß man hinsichtlich der Bemerkung McPhees bedenken, daß balinesische *gong gedè* kleiner und dickwandiger sind als die javanischen *gong ageng*. Sie haben daher einen höheren und durchdringenderen Klang und werden außerdem auf schnellere Schwebungen gestimmt (vgl. FFT-Analysen Kap. 4.2.5 und 4.2.6). Sie rücken insofern in die klangliche Nähe der *kempur* (II. Teilton *gong gede* ca. 180 Hz, *kempur* ca. 230 Hz) und können durchaus „kilometerweit“ hörbar sein.

Auch die Resonanz eines Raumes muß als stilbildendes Mittel berücksichtigt werden. So hatten z. B. im Barock und in der Frühklassik Europas die Konzertsäle der Adelspaläste mit wenigen Zuhörern eine Nachhallzeit von ca. zwei Sekunden für mittlere und über 2,5 Sekunden für tiefe Frequenzen. Die Raumakustik unterstützte eine Brillianz des Klanges ohne zu verschwimmen.⁵³ Die hohen pavillonartigen fürstlichen Säulenhallen (*pendopo*) in Zentraljava haben einen Raumklang, der besonders die tiefen Frequenzen unterstützt und für diese als großer *Raumresonator* wirkt.

48 Rieländer 1982:54, 310.

49 Vgl. dazu Oehlmann 1992:46.

50 Heger 1902:228. Vgl. analog dazu die hydraulischen Schlagröhrenspiele aus Bambus in Vietnam; in: Collaer 1979:24.

51 Yupho 1971:33.

52 McPhee 1966:28.

53 Meyer 1995:Kap. 6.1.2.

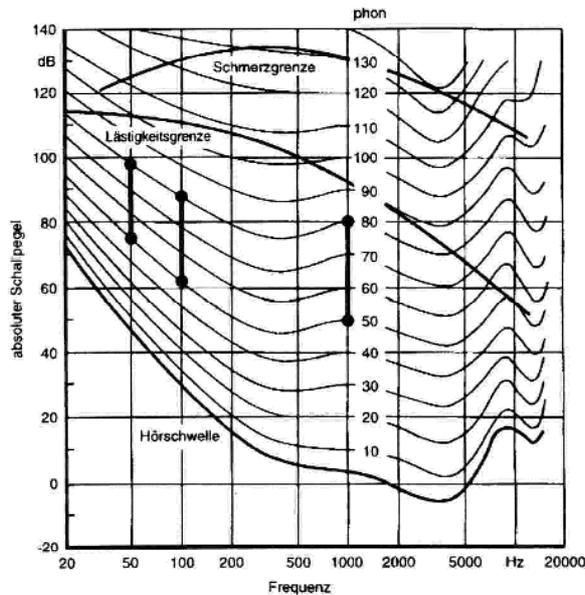


Fig. 7. Kurven gleicher Lautstärke für Schalleinfall von vorn mit Hörschwelle und Schmerzgrenze sowie der Grenze für Lästigkeit.

54

2.4.2. Einen *gong* zum Klingen bringen: der Anschlag

Ein *gong ageng* wird zu bestimmten Eigenschwingungen angeregt, die durch den Anschlagsort (dem Schlagbuckel *pencu*) und die Art des Anschlagsmittels (dem gepolsterten Stoffballen mit hoher Masse am kurzstieligen Griff: *tabuh*) bestimmt werden. Unter Eigenschwingungen oder freien Schwingungen versteht man Bewegungen eines Schwingers, der sich selbst überlassen wird und dem von außen keine Energie zugeführt wird (was der Definition des Begriffes *Idiophon* entspricht). Man unterscheidet *ungedämpfte* und *gedämpfte* Eigenschwingungen, je nachdem, ob die Anfangsenergie des Schwingers erhalten bleibt oder durch Reibungskräfte aufgezehrt wird. Jeder Ton hat eine Eigenform, die sich aus mehreren Eigenschwingungen zusammensetzt, denen wiederum ihre jeweilige Eigenfrequenz zugeordnet ist. Die Eigenschwingung liegt um so höher, je größer die Steifigkeit und je kleiner die Masse des Systems ist.⁵⁵ Hier kommen die besonderen Materialeigenschaften der gehärteten Zinnbronze zum Tragen.

Untersuchungen der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt in Braunschweig an Glockenklöppeln und Xylophonschlägeln haben ergeben, daß für die Erregung verschiedener Teiltonbereiche eines Idiophons die Berührungsdauer wesentlich ist. Sie hängt von der Oberflächenbeschaffenheit (Härte) und dem Gewicht des Schlägels ab und ist das Maß, in dem die Energie des fallenden Schlägels auf das Objekt übertragen wird. Dabei hat sich herausgestellt, daß es eine große Rolle spielt, ob die Berührungsdauer größer oder kleiner ist als die Schwingungsperiode der betreffenden Resonanz und daß die Form und die Schwingung vom Verhältnis der Berührungsdauer zur Periodendauer abhängig ist.⁵⁶ Somit wird nur bei optimaler Abstimmung von Berührungsdauer und Frequenz des Schwingers die maximale Anregung erzielt. Einem kurzen Anschlag entspricht eine schnelle Rückfederung; die Klangspektren werden bis in die höchsten Töne angeregt, klingen jedoch spröde und scharf: Ist die Frequenz des Schwingers sehr tief [...], so erreicht die Masse erst nach der Krafteinwirkung ihre maximale Auslen-

54 Meyer 1995:17, nach F. Winckel, Nachrichtenverarbeitung unter kybernetischen Aspekten, in: Handbuch für HF- und E-Techniker, Bd. 8, Berlin.

55 Trendelenburg 1961:25.

56 Bork 1994:14.

kung, die in diesem Falle deutlich niedriger ausfällt.⁵⁷ Bedingt durch die hohe Masse eines *gong ageng* ist der eigentliche *gong*-Ton deshalb erst einige Zeit *nach* dem Anschlag vernehmbar, was man z. B. bei Tonaufnahmen höfischer javanischer Gamelanmusik gut hören kann.

Da der *gong*-Klang nicht statisch ist, sondern sich nach dem Anschlag verändert, spricht man von *transienten Klängen*. Bei transienten Klängen erfolgt die Energiezufuhr nur in einem kurzen Moment (Zupfen oder Schlagen) und der anfängliche Klang, der meist unharmonisch ist,⁵⁸ geht sofort in seine Abklingphase über.⁵⁹ Wenn die Energieübertragung eines Mode in einen anderen Mode mit 2-3 mal so hoher Frequenzlage wie der Ausgangsmode stattfindet, so geschieht dies immer mit niedriger Amplitude. Rotationssymmetrische Moden können nicht mit winkelsymmetrischen Moden koppeln.⁶⁰ Da sowohl Flachgongs mit umgebogenem Rand⁶¹ als auch Buckelgongs rotationssymmetrisch sind, ist also keine Modenkopplung möglich.

Eine längere Berührungsdauer läßt, bedingt durch die Verwendung eines Schlägels mit entsprechender Masse, die hohen Frequenzen gegenüber den Grundschrwingungen schwächer hervortreten.⁶² Der Klangeindruck wird dadurch grundtöniger und wärmer.⁶³ Bei Glocken verlängert auch ein niedriger Elastizitätsmodul die Berührungsdauer des Klöppels, was die Teiltöne bis zu 10% schwächer erscheinen läßt und gleichzeitig die Schallgeschwindigkeit verringert.⁶⁴ Bei Glocken soll das Gewicht des Klöppels 4% der Gesamtmasse des Glockenkörpers betragen. Dieser Wert ist allerdings ein Richtwert, der sich je nach Rippe nach oben oder unten ändern kann.⁶⁵ Mit entsprechender Toleranzbreite läßt sich diese Rechnung auch auf die *gong*-Schlägel anwenden. Demnach hätte ein Schlägel für einen ca. 75 cm großen und 25 kg schweren *gong* idealerweise ein Gewicht von 1 kg und der eines *gong* mit ungefähr einem Meter Durchmesser und 45 kg Gewicht ein Gewicht von 1,8 kg. In der Praxis bewegen sich die Gewichte der Schlägel für *gong* mit ca. 90-95 cm Durchmesser und 30-35 kg Gewicht meist um 600-900 Gramm, entsprechen also lediglich 2-2,5% des Gesamtgewichtes. Allerdings hängt die ideale Anschlagskraft wiederum von der Steifigkeit und Wandungstärke der schwingenden Platte ab. Bei einem Versuch von Legge & Fletcher entwickelte ein „Gong“, bei dem es sich offensichtlich um ein „Tamtam“-Flachgong gehandelt hat, nach einem starken Anschlag plötzlich subharmonische Komponenten (2., 3., 4. Ordnung) mit vielfachen dieser Frequenzen und mit höherer Amplitude.⁶⁶ Nach mehreren Experimenten stellte sich heraus, daß zwei separate nichtlineare Mechanismen für den Klang mitbestimmend sind:

57 Bork 1994:14. Vgl. den Anschlag der *großen Trommel* in der europäischen Marschmusik mit seinem explosionsartigen Klang im Gegensatz zum „weichen Klang“ der *großen Trommel (gran cassa)* eines Sinfonieorchesters. Hierfür ist in erster Linie die Art des Schlägels verantwortlich: ein kleinköpfiger Filzschlägel (Marschmusik) trifft kurzzeitig auf den zentralen Schwingungsknotenpunkt, während ein weicher großköpfiger Schlägel hohe Frequenzen mit deren Moden ausfiltert, die ein harmonisches Klangempfinden trüben würden.

58 Andrus 1967:26.

59 *Transire*, lat. = übergehen; Hall 1997:143.

60 Legge & Fletcher 1989:2440.

61 Wie auch der türkische Gong mit leichter Durchbiegung; vgl. Legge & Fletcher 1989:2440.

62 Meßtechnisch kann man hier ein Residual-Stoßspektrum erstellen, das sich aus der zu messenden Schlägelgeschwindigkeit, also der Anschlagstärke, und der Multiplikation des Spektrums mit $2\pi f$ zusammensetzt; Bork 1994:15.

63 Dies gilt auch für große Glocken; Th. Fehn & V. Müller in: Kramer 1986:158; vgl. auch Varsányi 2000-I, Kap. 3.3.4. *wadon-lanang*.

64 Schad 1986:150.

65 So hat z. B. die von der Glockengießerei Grassmayer in Innsbruck im August 1997 gegossene „ARGE-Alp Jubiläumsglocke“ bei Mösern in Tirol mit 10 Tonnen Gewicht und dem Stimmtone Dis_0 einen Klöppel von 480 kg (Information von Johannes Grassmayer). Nach der 4 %-Regel hätte der Klöppel nur ein Gewicht von 400 kg.

66 Legge & Fletcher 1989:2439.

1. Eine aufwärtige Energieausbreitung von tieffrequenten Moden, die sich in hochfrequente Moden überträgt, bedingt durch Kopplung zwischen Zugspannung und Scherkräften in Gegenden scharfer Formveränderung des *gong*.
2. Der Übergang von einfach periodischen nichtlinearen Modenbewegungen zu mehrfach unterteilten gespalteten Untertönen (*subharmonics*) oder gar chaotischer Bewegung, die das abgestrahlte Spektrum mit Frequenzen zwischen den normalen linearen Moden ausfüllen. Der abgestrahlte Klang entwickelt sich, wegen einer bemerkenswerten Hysterese, über eine Periode von mehreren Sekunden.

Bei erhöhter Anregungskraft finden erwartungsgemäß deutliche Veränderungen im spektralen Aufbau statt, die im Falle des *Tamtam* eine katastrophale Verhaltensänderung im nichtlinearen Verhalten bewirken. Wenn dagegen ein *gong*-Klang bei einem schwachen und leisen Anschlag in der Hörwahrnehmung höher klingt als bei starkem lautem Anschlag, so hat dies mit der mehr oder weniger starken Erregung der Moden der schwingenden Oberfläche zu tun. Ein leiser Anschlag kann zwar genügen, um die höherfrequenten, nicht jedoch, um die tiefen Teiltöne mit hoher Amplitude zum Klingen zu bringen, die gewöhnlich die ersteren verdecken.

Ein Schlag, der zwar auf den Buckel, jedoch leicht außermittig oder in der Schlagrichtung nicht im rechten Winkel zur *gong*-Oberfläche gegeben wird, kann bei bestimmten *gong ageng* unerwünschte Frequenzbereiche anregen, die auf eine durch die Bauweise bedingte Torsion des Systems, zurückzuführen ist. Die Energie zur Anregung der tieffrequenten Moden durch Anschlag am Buckel mit einem weichen Schlägel wird hier analog zu dem beim *Tamtam* erwünschten Klangeffekt auf die Moden übertragen, deren Amplitude nahe der *gong*-Peripherie liegen.⁶⁷ Um die für den *gong*-Klang typischen 01- und 02-Moden klanglich hörbar zu machen und damit auch seine Schwebungen anzuregen, muß der Schlag frontal in das Zentrum des Buckels gesetzt werden.⁶⁸ Wird ein tieffrequent schwingender Körper wiederholt schnell angeschlagen, kann es zu Auslöschungen im Grundschwingungsmodus kommen. Man kann sich vorstellen, daß die Energie eines Schlages im Moment einer proximalen Schwingbewegung der Platte den Grundschwingmode auslöscht. Wenn die Anschlagenergie jedoch die zur Erregung des Grundmodus der Platte benötigte Energie übersteigt, wird sie in andere Bereiche transferiert und regt die dort herrschenden Schwingungsmoden an. Einfach ausgedrückt, kann bei zu hoher Anschlagfrequenz z. B. ein unharmonischer obertonreicher Klang ohne Grundton entstehen. Diese frühe Beobachtung der Musiker dürfte unter anderem mit ein Grund dafür sein, weshalb die Spielgeschwindigkeit innerhalb eines Gamelan von den tiefklingenden Instrumenten zu den hochklingenden zunimmt.⁶⁹

Abschließend läßt sich zu diesem Kapitel sagen, daß beim Anschlag eines *gong* vom Spieler zunächst „erfühlt“ werden muß, welche Masse er benötigt, um den angestrebten grundtönigen Klang mit den Schwebungen zu erhalten, und bei einem zu leichten Schlägel die Massendifferenz vom Musiker durch seine Anschlagweise ausgeglichen werden kann.⁷⁰

67 Legge & Fletcher 1989.

68 Ebenso John Pawson in der Gamelan-Zeitschrift *Seleh Notes*, London 1996. Manchmal kann man beobachten, daß *gong ageng* mit der Faust von oben auf den Buckel angeschlagen werden. Dies geschieht ausschließlich, wenn die Zeit es dem Musiker nicht zuläßt, seinen Schlag richtig vorzubereiten oder wenn die Buckelgongs alle gedrängt in einem Gestell hängen, so daß nicht genügend Freiraum vor dem Buckel zum Ausholen mit dem Schlägel gegeben ist.

69 Diese Beobachtung bezieht sich nicht auf das Gamelan und seine Instrumente absolut, sondern gliedert sich wiederum nach Instrumentengruppen: *gong-kempul-kenong-kethuk*, *demung-saron-peking*, *gender barung-gender panerus*, *bonang panambung-bonang barung-bonang panerus* usw.

70 Vgl. Varsányi 2000-I, Kap. 2.1 Gongphrase und 2.2 Anschlag.

2.4.3. Ausklingverhalten, Schallfelder und Richtcharakteristik

Die Nachklingdauer und die Nachklingzeit bestimmen das Ausklingverhalten eines Musikinstrumentes.⁷¹ Die Nachklingdauer ist abhängig von der Anfangslautstärke und dem Absinken unter dem im Raum bzw. der Umgebung herrschenden Störpegel. Die Nachklingzeit definiert sich durch die Zeit, in welcher der Pegel um 60 dB (d. h. bis unter die Hörschwelle) gegenüber seinem Anfangswert sinkt. Bei komplizierten Resonanzsystemen ist ein Knick im Pegelverlauf charakteristisch, wobei dem steil abfallenden Anfangsteil ein flacherer Pegelabfall folgt.⁷² Im Falle des *gong ageng* muß nach musikalischen Kriterien die Nachklingzeit der Grundschiwingung (*Unteroktave* und *Prime*) von der Nachklingdauer der wahrgenommenen Schwebungen unterschieden werden.⁷³ Untersuchungen zur Schallabstrahlung einer Felltrommel mit zwei Fellen (Schlag- und Resonanzfell) haben ergeben, daß bei gleich stark gespannten Fellen das Schwingungsverhalten der beiden Felle parallel und dadurch der abgestrahlte Schalldruck gegenphasig ist (Fig. 8a).

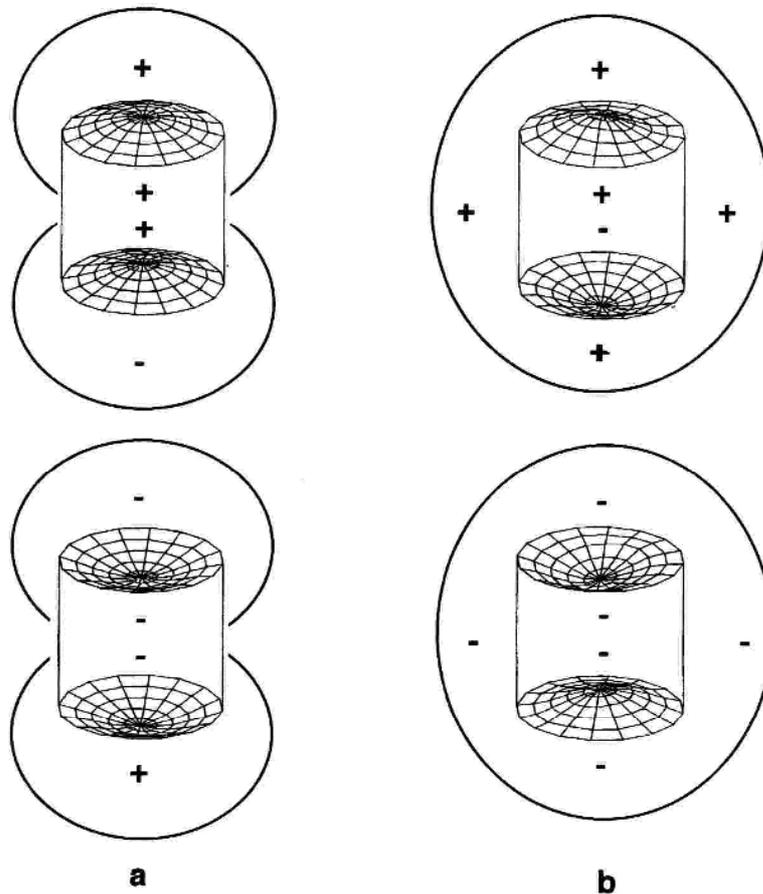


Fig. 8. Hauptschwingungsformen und Schallabstrahlung von Schlag- und Resonanzfell einer Zylindertrommel in der 01-Mode („+“ = Schwingung nach oben, „-“ = Schwingung nach unten; nach Bork 1988:3).

71 Meyer 1995:42. Daher muß die Darstellung der Nachklingdauer für kurze und für lange Töne gemeinsam erfolgen.

72 Meyer 1995:86. Aufgrund der unterschiedlichen Nachklingzeit der Instrumentenarten kann z. B. das pizzicato eines Klangkörpers aus Streichern (Vi, Vla, Vcl, Kb) ein glockenähnliches Spektrum erzeugen.

73 Vgl. Varsányi 2000-I, Kap. 1.3.4 Stimmen. Während die Ausklingdauer eines *gong ageng* über 30 Sekunden betragen kann, sollen im Gamelan *gong kebyar* auf Bali nicht mehr als 8 bis 10 Schwebungsschläge hörbar sein (persönliche Mitteilung *pandè* Gableran). Bei einer Schwebungsfrequenz von 4 bis 6 Schlägen pro Sekunde dauert die Sequenz also knapp 2-3 Sekunden.

Ähnlich verhält sich eine Zargenfelltrommel ohne Resonanzfell (Zarge unten offen): Hierbei wirkt die im offenen Ende des Kessels schwingende Luftmasse wie ein zweites Fell, jedoch ohne die Wirkung der Randeinspannung. Daher sinkt die Grundtonfrequenz bei Entfernung des Resonanzfells um etwa 10% (s. u. Rand).⁷⁴

Die Schallabstrahlung eines *gong* entspricht einem Dipolstrahler (Fig. 9).⁷⁵ Die Schalleistung eines Dipols ist proportional zur vierten Potenz seiner Frequenz und strahlt deshalb bei niedrigen Frequenzen weniger Schall ab als ein Monopolstrahler, dessen Schalleistung proportional zum Quadrat seiner Frequenz ist. Dies wird damit erklärt, daß z. B. bei den Frequenzen der 11-Mode eines Fells direkt vor dem Fell ein Druckausgleich stattfindet, da die zwei Hälften des Fells gegenphasig schwingen.⁷⁶ Das bedeutet, daß m. E. derselbe akustische Kurzschluß stattfindet wie bei einem zweidimensional schwingenden Flachgong, wobei jedoch die „Nullebene“ um die Röhre des Trommelkorpus verlängert worden ist und der Schalldruck von beiden Fellen abgestrahlt wird (vgl. Fig. 8).

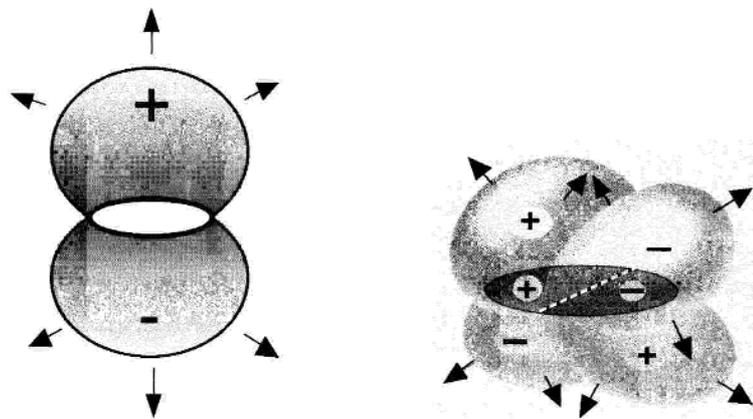


Fig. 9. Dipol- (links) und Quadrupolstrahler (rechts) (nach Rossing 1992:132, 133).

Bei einer Kesselpauke verhindert der schalenförmig geschlossene Kessel, daß sich die Rückseite des Fells auf die Schallabstrahlung auswirkt. Insbesondere wird der bei Pauken unerwünschte 01-Ton durch einen richtig dimensionierten Kessel unterdrückt.⁷⁷ Dagegen sind *Roto-Toms*,⁷⁸ die aus einem auf einen Spannreifen gezogenen Trommelfell ohne Korpus bestehen, in den Tiefen zwar länger klingend jedoch leiser. Deshalb müssen diese Frequenzen für einen „vollen Sound“ mit einer elektrischen Verstärkeranlage im Pegel angehoben werden. Wenn solch eine Membran ohne Kessel in der 11-Mode schwingt, verringern sich dessen tiefe Frequenzen noch mehr, da es sich nun wie ein Quadrupol verhält, dessen Schalleistung sich durch den Knotenmeridian teilt, die schallabstrahlende Fläche nur noch halb so groß ist und diese Felder sich durch „Pumpen“ gegenseitig beeinflussen (Fig. 9 rechts).

Wie sich später noch herausstellen wird, ist der Richtcharakteristik, also dem abgestrahlten Schalldruck in Abhängigkeit von der Richtung⁷⁹ hohe Bedeutung beizumessen. Aus dem Polardiagramm (Fig.

⁷⁴ Bork 1988:4. Solche Effekte waren auch den Jazz- und Rockschlagzeugern in den frühen 1960er Jahren bekannt, weshalb sie oft die Resonanzfelle von *bassdrum* und *tomtoms* entfernten. Allerdings taten sie dies nicht eines „tieferen Grundtones“ sondern des wesentlich höheren direkt in Richtung Zuhörer oder Tänzer abgestrahlten Schalldrucks wegen.

⁷⁵ Rossing 1992:133.

⁷⁶ Bork 1988:9.

⁷⁷ Fleischer 1992:25, Rossing 1992:134.

⁷⁸ Wurde in den 1970-80er Jahren von der Firma „Remo“, USA, entwickelt; nach Beck 1995:79.

⁷⁹ Meyer 1995:107.

10) ist ersichtlich, daß sich neben der Gesamtlautstärke das Spektrum der höheren Frequenzen (Obertöne) und somit die Klangfarbe mit der Richtung ändern kann (vgl. auch Fig. 13).⁸⁰ Der größte Schallpegel des Grundtones eines *gong* (dicke Linie in Fig. 10) liegt in einem Bereich von 30° bis 150° vor der Ebene der *gong*-Oberfläche. Näher zur *gong*-Ebene hin fällt der Schallpegel um 10 dB.

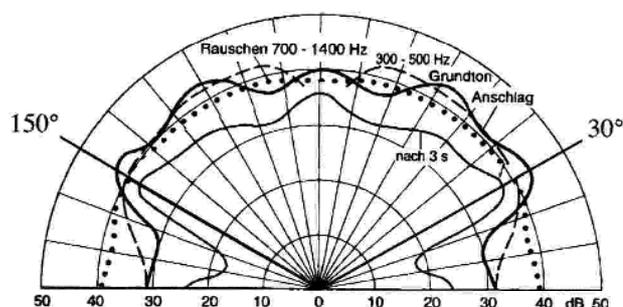


Fig. 10. Polardiagramm mit Richtcharakteristiken eines Gongs.⁸¹

Die nichtharmonischen Klanganteile (Rauschen), hervorgerufen durch den Anschlag,⁸² werden fast rund abgestrahlt (gepunktete Linie) und heben sich unterhalb der 30°-Grenze am deutlichsten vom Grundton ab. In demselben Bereich kommen auch Obertöne um 300-500 Hz (gestrichelte Linie) stärker in den Vordergrund. Drei Sekunden nach dem Anschlag kommt der Grundton senkrecht zur *gong*-Ebene am stärksten zur Geltung. Ein Zurücktreten der Obertöne in diesem Bereich zwischen 300-500 Hz um ca. 7 dB wird mit der Symmetrie gegenphasiger Schwingungsbereiche erklärt⁸³ (vgl. Fig. 20, wo das Phasenmaximum am Rand des virtuell richtig zentrierten, nicht jedoch am Rand des realen Schlagbuckels liegt).

⁸⁰ Die Messungen (Meyer 1995:108) wurden mit einem Mikrophon im Abstand von 3,5 m zur Schallquelle in einem reflexionsarmen Raum durchgeführt.

⁸¹ Nach Meyer 1995:140, Abb. 85.

⁸² Terhardt & Seewann 1984:132.

⁸³ Meyer 1995:140.

2.5. Schwebungen

Außer mit der Bemerkung *die gong-Schmiede unterscheiden die gong sogar nach der Zahl jener Schwingungen*⁸⁴ gehen Jacobson & Hasselt in ihrem Buch zur *gong*-Herstellung auf Java auf das klangliche Phänomen der Schwebungen und dessen musikalische Einbeziehung nicht näher ein. Es sind jedoch ganz besonders diese klanglichen Parameter, die neben der äußeren Erscheinungsform die Gongtypen der Musikkulturen Südostasiens charakterisieren und unterscheiden. Schwebungen dominieren das primär wahrgenommene Klangbild eines *gong ageng* und zählen somit zu seinen qualitätsbestimmenden Merkmalen. Die Periodendauer der Schwebung wird in den „Gongspielkulturen“ je nach Musikstil unterschiedlich bewertet. Prägnanz und Geschwindigkeit der Schwebungen bildet das Hauptmerkmal, woraus sich schließen lässt, zu welcher musikalischen Tradition ein aus dem kulturellen Kontext gelöstes Instrument gehören könnte. Damit ist sein tatsächlicher Herstellungsort jedoch noch keineswegs bekannt und läßt sich m. E. nur aus den bauspezifischen Merkmalen erschließen. Die Untersuchungen scheinen jedoch darauf hinzudeuten, daß die bewusste Verwendung dieses klanglichen Phänomens in den *gong*-Schmieden auf Java entwickelt wurde.

Schwebungen werden heute nicht anders definiert als vor 100 Jahren:⁸⁵ es sind Schwingungen, die durch *Addition zweier harmonischer Funktionen mit wenig verschiedenen Frequenzen f_1 und f_2* entstehen.⁸⁶ Dabei wird *die Intensität des Tones abwechselnd stark und schwach in regelmäßiger Folge*.⁸⁷ Helmholtz nannte die Intensitätsmaxima *Schläge*, die durch mehr oder weniger vollständige Pausen getrennt werden. Er gebrauchte zu seinen Versuchen eine Stimmgabel, bei der er einen Zinken mit Wachs beschwerte - eine Vorgehensweise, wie sie vom Einstimmen der Klangplatten thailändischer Troxylophone (*ranad*) und vielen anderen Melodie-Perkussionsinstrumenten bekannt war. Eine bewusste Verfremdung des eigentlichen Klanges nennt Brüderlin eine *Trübung*, wozu *per definitionem* auch die Schwebungen gehören. Solche *Trübungen* bezeichnen z. B. auch das zusammen mit einem Klang auftretende Geräusch oder Schwankungen von Tonhöhe, Klangfarbe, Lautstärke, Metrum etc. und scheinen ein Wesenselement der Musik zu sein: *So ist das Vibrato der Geige, eine periodische Tonhöhen- und Amplitudenschwankung, nichts anderes als eine Trübung der verlangten Tonhöhe, offenbar notwendig, um den Geigenton als lebendig zu empfinden*.⁸⁸

Das Aufschaukeln und Abnehmen der Schwebungsamplitude wird als *konstruktive* und *destruktive* Interferenz bezeichnet und basiert auf der zeitlich sich ändernden Phasendifferenz zwischen den ursprünglichen Schwingungen. In der graphischen Darstellung präsentiert sich die Schwebung als Welle (Fig. 11). Auch cheironomisch wird dieses akustische Phänomen mit einer die Wellenform nachzeichnenden Handbewegung dargestellt und demzufolge im Javanischen mit dem Wort *ombak*⁸⁹ d. h. „Welle“⁹⁰ bezeichnet.

84 Jacobson & Hasselt 1907:35.

85 *Die Zahl der Schwebungen in einer gegebenen Zeit findet sich gleich der Differenz zu der Anzahl der Schwingungen, welche beide Klänge in derselben Zeit ausführen*; Helmholtz 1863:246.

86 Rieländer 1982:341.

87 Helmholtz 1863:245.

88 Brüderlin 1978:105.

89 Jacobson & Hasselt 1907:34 [ebenso die malayische Bezeichnung *anggu* = „Welle“] sowie Kunst 1973 I:140.

90 Dies bezeichnet alle möglichen Wellen- und Pumpbewegungen, so z. B. auch die *hölzernen, mit kapuk-Kissen umkleideten Sauger (ombaq)* im vertikalen Zylindergebläse der *kris*-Schmiede; Groneman 1910 in: Marschall 1968:197 (vgl. Abb. Blasebalg in: Varsányi 2000-I: Kap. 3.3.9[4]). Sowohl inhaltlich als auch in der graphischen Darstellung dieser Wellenbewegungen lassen sich auch Parallelen vom *periodischen Atem* der Gongphrasen bis hin zur Abbildung der Fäden vor dem Färben bei der *ikat*-Weberei erkennen (Abb. dazu s. Varsányi 2000-I: Kap.2.1 Gongphrasen).

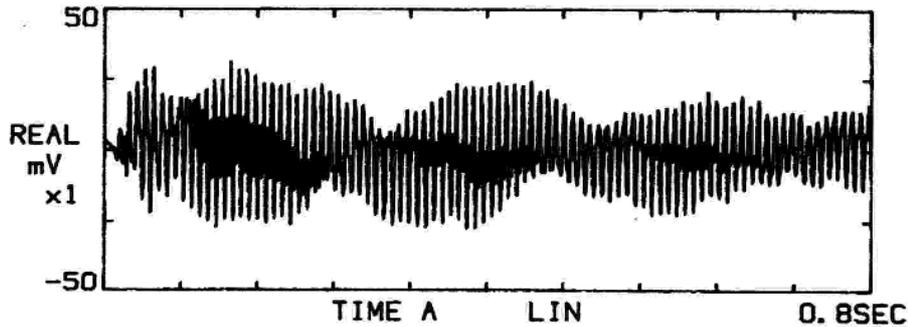


Fig. 11. Schwebungen eines balinesischen *kempur* (CB.95) mit ca. fünf Schlägen pro Sekunde (FFT-Analyse mit I. Teilton bei 113,75 Hz, das etwa dem Ton b_{-42} entspricht).

„Vollkommene Schwebung“ ergibt sich nur bei gleicher Amplitude der beiden Schwingungen (Fig. 12, linke Abb., durchgezogene Linien). Die Schwebung wird als *unvollkommen* bezeichnet, wenn die Einzelschwingungen ungleiche Amplituden haben und daher die Phasenumkehr der Schwebung durch einen undeutlichen Schwebungsknoten gekennzeichnet wird. Die wahrnehmbaren *Schläge* entsprechen den Wellenmaxima (Fig. 12, linke Abb. gestrichelte Linie). Mitteljavanische Gamelanmusiker bevorzugen eine Schwebungsfrequenz der *gong ageng* von 2-3 *ombak* pro Sekunde, während balinesische Musiker einen *gong* mit 5 bis 7 *ombak*/Sek. passend finden.⁹¹ Über der Periodendauer einer Schwebung von 4-6 Hz kann man nach Trendelenburg *selbst nicht mehr folgen, doch ändert sich nach Helmholtz*⁹² *der Charakter der von den Schwebungen ausgelösten Empfindungen noch nicht grundsätzlich*.⁹³ Über 30 Schwebungsschläge pro Sekunde empfindet man als eine *unangenehme Rauigkeit* des Tones.⁹⁴

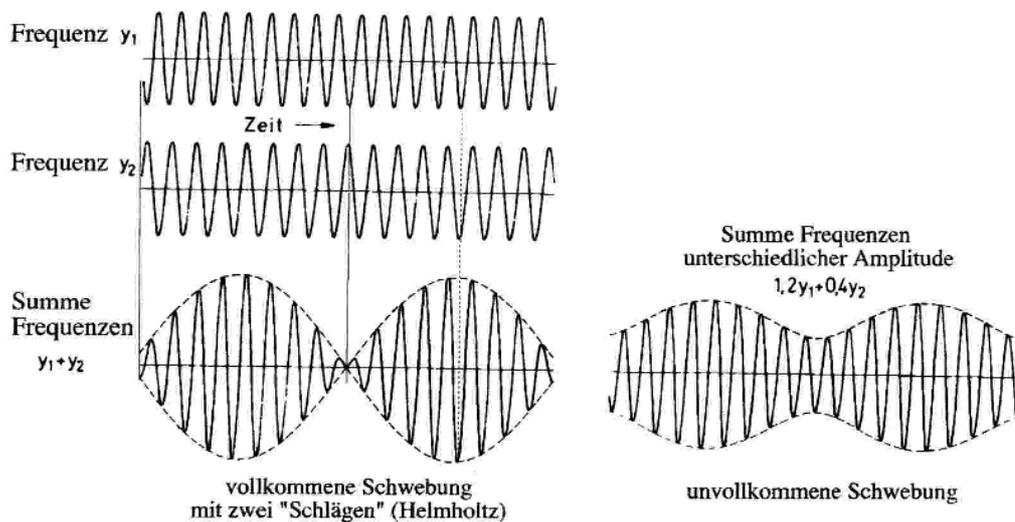


Fig. 12. Schwebungen.⁹⁵

91 In der Metallophon-Sektion eines balinesischen Gamelan zeigt sich die Tendenz, in den höheren Lagen schnellere *ombak*-Frequenzen (bis zu 10 *ombak*/Sek.) einzustimmen.

92 Helmholtz 1863:252.

93 Trendelenburg 1961:450, 451. Falls hier die rhythmische Registrierfähigkeit angesprochen sein sollte, so ist zu bemerken, daß rhythmisch geschulte Personen sehr wohl in der Lage sind, Periodendauer der Schwebungen weit über 10 *ombak*/Sekunde zu definieren (Lüngenversuch, sowie m. E. Helmholtz).

94 Rieländer 1982:341.

95 Aus Rieländer 1982:341, Fig. 295.

Je größer die schallabstrahlende Oberfläche eines *gong* ist, desto leichter wird es, langsame Schwebungen mit starker Amplitude zu erzeugen. Giles nennt den Grund für die Schwebungen, jedoch ohne nähere Lokalisation und Modenzuordnung: *Presumably this cyclic redistribution of energy results from tuning various points on the surface of a gong slightly out of phase with one another, resulting in a kind of reciprocal interference as each point vibrates.*⁹⁶ Nach Jacobson & Hasselt diente lediglich das Hämmern auf den „*redjeb*“ von außen her [*di kirih ake*] dazu, den Klang eines *gong* auf Schwebung zu stimmen. Hoods Interpretation dagegen, nach der die *ombak were produced by the manner in which the boss and the surrounding flat surface of the gong were tuned*⁹⁷ ist insofern nicht ganz richtig, da dieser Arbeitsgang dem *Feststellen des Grundtones (wehana swara)*⁹⁸ dient. Das nachträgliche Stimmen auf Schwebung darf nur durch wenige wohlgesetzte Hammerschläge in einem eng begrenzten Bereich der Oberfläche (*rai*) eines *gong* stattfinden, da sonst die klanglichen Grundeinstellungen verändert werden. Dazu gibt es zwei Erklärungsversuche:

1. Ziel ist es, die Frequenzdifferenz von 02-Ton und XX-Ton (nach Twork) in eine entsprechende Distanz zueinander zu setzen. Dies geschieht durch eine Verlagerung der verschiedenen Felder einer Eigenschwingung. Durch Hämmern in kaltem Zustand wird das dünne Bronzematerial verdichtet und gestaucht, so daß versteifte und gehärtete Zonen entstehen, die gewissermaßen flächenhaft schwingende „Inseln“ auf der *gong*-Oberfläche bilden (Kap. 3.2). Allerdings entstehen an der gehämmerten Stelle durch höhere Materialdichte und Elastizität auch Eigenschwingungen mit höherer Frequenz.
2. Es werden die gegenphasig schwingenden Felder der 12-Mode zueinander in ungleiche Phasen verschoben. Dies bedeutet gleichzeitig, daß Tonhöhenwahrnehmung und Schwebungswahrnehmung aus zwei verschiedenen Eigenschwingungen resultieren. Für diesen Aspekt spricht in der PSV-Analyse die hohe Amplitude der Eigenschwingungen in der 12-Mode (Kap. 3.4).

Neben den Interferenzen, die zur Erzeugung der Schwebungen im tieffrequenten Bereich notwendig sind, muß systembedingt auch mit Interferenzen gerechnet werden, die *klangbildende* Eigenschwingungen auslöschen. Auch das Stimmen eines *kempul* oder *suwukan* durch Abfeilen stellt zunächst einen Umstimmprozess dar und ist mit dem Nachstimmprozess einer Glocke durch axialsymmetrische Abnahme von Material vergleichbar.⁹⁹ Damit geht zwar auch eine Verschiebung in den Frequenzen der übrigen Teiltöne einher, doch wird dieser Effekt in der Hörwahrnehmung gegenüber den wieder richtig justierten Schwebungen marginal eingeschätzt.

2.5.1. Schwebungen bei Glocken und *gong*

Bei Glocken ist prinzipiell für jeden Teilton mit einer Aufspaltung in zwei Partialtöne zu rechnen. Wie stark allerdings die Überlagerung dieser beiden Schwingungen hörbar wird, hängt von der Schalldruckamplitude ab. Zum Modensplitting bei Glocken bemerkt Fleischer: *Modensplitting kann zwar nicht bei axialsymmetrischen Schwingungen, jedoch bei allen „klangbildenden“ Schwingungsarten einer Glocke auftreten. Das bedeutet, das es bei denjenigen Schwingungen zu erwarten ist, die sich in allen bisherigen Untersuchungen als wesentlich für den Klang der Glocke erwiesen haben.*¹⁰⁰ Die

⁹⁶ Giles 1974:160.

⁹⁷ Hood 1971:365.

⁹⁸ Vgl. Varsányi 2000-I, Kap. 1.3.4. Stimmen und Kap. 3.3.6. Buckelmasse.

⁹⁹ Fleischer 1997:42, A. Lehr, Contemporary Dutch Bell-Founding (1965) in: Rossing 1984:200. Auch das Glänzendmachen des Schlagbuckels oder der gesamten Oberfläche (*gilapan*) eines *gong* ist mit hoher Materialabnahme verbunden.

¹⁰⁰ Fleischer 1997:53.

Untersuchungen von Fleischer (1997:51ff) zeigten, daß die zeitlich-örtlichen Schwebungserscheinungen (*spinning modes*) der Teiltöne einer Glocke durch eine komplizierte Schwingungsverteilung infolge der Überlagerung von Partialschwingungen der Teiltöne entstehen und vom Meßwinkel abhängig sind.

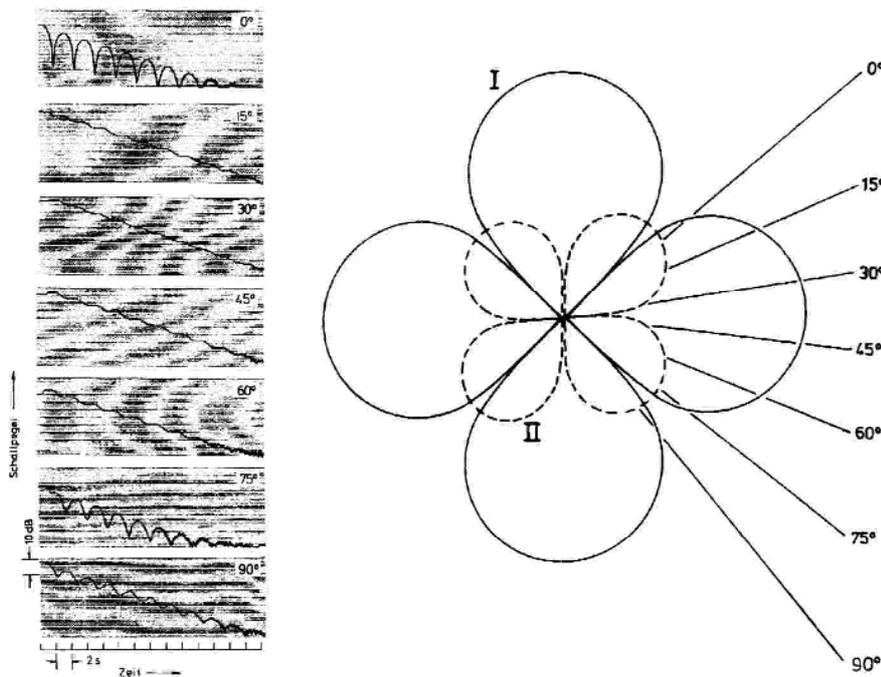


Fig. 13. Winkelabhängige Schwebungen im ersten Teilton einer Kirchenglocke, links: Schwebungen im Schallpegel einer Glocke nach monofrequenter Anregung des ersten Teiltones in Abhängigkeit von der Zeit für unterschiedliche Meßwinkel; rechts: Schalldruck-Richtdiagramm (durchgezogene Linie) der tieferfrequenten Partialschwingung und (gestrichelt) der höherfrequenten Partialschwingung des ersten Teiltones (Fleischer 1997:55, Fig.43 + Fig.44).

Nach Anschlag einer kleineren Kirchenglocke¹⁰¹ hatte der erste Teilton bei einigen Meßwinkeln nur mäßig starke Schwebungsamplituden, was für die schwebungsarme Qualität der Glocke spricht. Wird diese Glocke jedoch mit einer Frequenz angeregt, die das arithmetische Mittel der beiden zuvor ermittelten Partialtöne des ersten Teiltones bildet, und das Schallsignal aus unterschiedlichen Meßwinkeln aufgezeichnet, treten neben zeitlich kontinuierlich abfallenden Schallsignalen starke Schwebungen (ungefähr bei 0°, 75°, 90°) auf. Eine experimentelle Untersuchung zum „Modensplitting“ axialsymmetrischer Moden bei Gongs unter schwingungstechnischen Gesichtspunkten steht noch aus. Zunächst kann nur festgestellt werden, daß bei den starken Schwebungen eines *gong ageng* ebenfalls Richtcharakteristiken von Bedeutung sind, die sich rein auditiv feststellen lassen. Die Prominenz des 02- und „XX“-Tones (nach Twork 1997) in den FFT-Analysen lässt auf ein ähnliches Schwingungsverhalten schließen.

101 Glockengießerei PERNER bei Passau 37 kg, II. Teilton („Prime“): 1056 Hz \approx c³ (+15 Cent).

3. Schwingungsmoden und Realdarstellungen im Vergleich¹⁰²

Für den Klang von Platten und Membranen mit eingespanntem Rand sind verschiedene zweidimensionale Eigenschwingungen von Bedeutung. Diese Biegeschwingungen werden bestimmt durch die Form der gegenphasig schwingenden Felder, die sich wiederum durch die Art der Schwingungsknoten charakterisieren. Man unterscheidet zwei Arten von Schwingungsknoten:

- a) Knotenkreise (m), die sich konzentrisch um den Mittelpunkt gruppieren sowie
- b) Knotendurchmesser (n) die durch den Mittelpunkt gehen.

Die Kombinationen dieser Biegeschwingungsresonanzen werden als *Moden* bezeichnet¹⁰³ und mit einem Zahlenpaar (m/n) dargestellt.¹⁰⁴ Die erste Zahl steht für die Anzahl von Knotendurchmessern, die zweite Zahl für die Anzahl von Knotenkreisen (Fig. 14). Die 12-Mode bezeichnet zum Beispiel einen Knotendurchmesser, der die Kreisfläche in zwei Hälften teilt sowie zwei konzentrische Knotenkreise.¹⁰⁵ Die Art und die Anordnung dieser Bezeichnung leitet sich von der Matrizenrechnung zur Darstellung von Größen in Zeilen und Spalten (mn-Matrix) ab und ist Bestandteil der Finite-Elemente-Berechnungen.¹⁰⁶

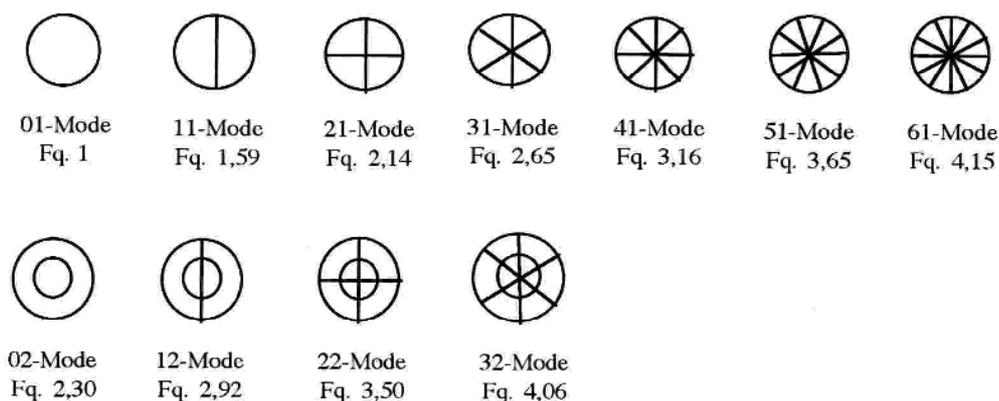


Fig. 14. Moden schwingender Kreismembranen:
nm-Mode, Frequenzverhältnis (Fq) einer idealen Membran zur Grundmode (bei Randschwinger 01-Mode = 1).¹⁰⁷

Solche Biegeschwingungsresonanzen sind insbesondere von der Form und der Wandungsstärke der Schwinger abhängig. Demzufolge unterscheiden sich die für die Klangwahrnehmung wichtigen Moden von Schwingern wie Glocken, Becken und Gongs. Sind für den Klang einer Glocke die höherfrequenten Knotenmeridiane (21-, 31-, 41-Mode) von Bedeutung, was sich aus ihrer Struktur als Randschwinger erklärt (Fig. 15), so hängt die Modenstruktur bei Platten und Membranen in besonderem Maße davon ab, ob ihr Rand eingespannt ist oder frei schwingt (s. Kap. 1 und 2.2). Die Eigenschwingungen eines Schlagbeckens mit freischwingendem Rand entsprechen z. B. in den ersten sechs Moden denen einer dünnen runden Metallscheibe, bei der sich zunächst nur Knotenmeridiane zeigen

102 Nach Trendelenburg 1961:79, Andrus 1972:9,35, Rossing 1992:131, Fletcher & Rossing 1998:73f.

103 z. B. Bork 1994:13.

104 In manchen Publikationen in Klammern, früher noch zusätzlich mit Einzelbezeichnungen, wie z. B. bei Hagedorn 1989:251.

105 Vgl. Abbildung von Moden (01, 02, 12, 21, 22, 31) bei einem Paukenfell in: Rossing 1992:129.

106 Hahn 1975:9.

107 Vgl. Varsányi 2000-I: Kap. 3.3.6.(3) Moden nach Chladni, Sterne der Bronzetrommeln, Stern(e) beim Thai-Gong.

(Fig. 16 oben). Bei Becken bilden sich in höheren Frequenzbereichen Kombinationen von axial- mit rotationssymmetrischen Moden.¹⁰⁸ Bei der Pauke mit ihrer über den Kupferkessel gespannten dünnen Membran sind für das Klangbild die Moden mit ansteigenden Knotenmeridianen und davon besonders der 11- und 21-Mode von Bedeutung (Fig. 16 links, vgl. Kap. 2.2). Die wesentliche Schwingungsform der Buckelgongs mit umgeknicktem Rand sind jedoch Moden mit ein und zwei Knotenkreisen, also die 01- und 02-Mode. Diese Kurzdefinitionen schließen natürlich nicht aus, daß bei allen drei Formen auch andere Moden für den Klangaufbau von Bedeutung sind.

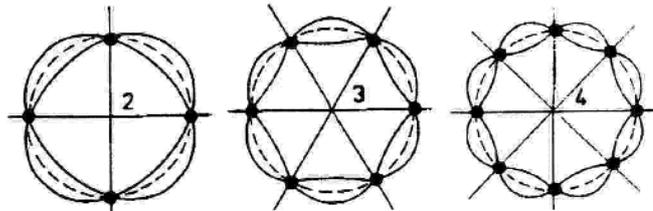
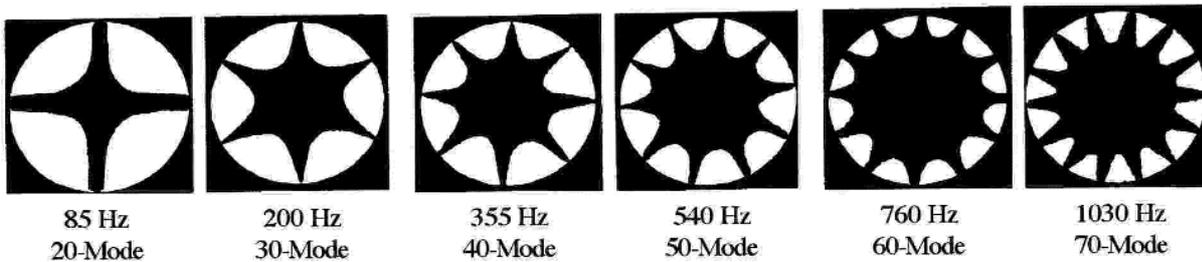


Fig. 15. Schwingungsmoden einer Glocke im horizontalen Querschnitt mit der Anzahl der Knotenmeridiane (nach Fleischer 1997:16).



85 Hz 20-Mode 200 Hz 30-Mode 355 Hz 40-Mode 540 Hz 50-Mode 760 Hz 60-Mode 1030 Hz 70-Mode

Modentyp	Musikalischer Teilton	perspektivische Darstellung	Chladnische Klangfigur
01	—		
11	Hauptton		
21	Quinte		
02	—		
31	Oktave		

Fig. 16. Chladnische Figuren,

oben: auf einer runden Aluminium-Scheibe mit nicht fest eingespanntem Rand (nach Ravenhall 1973:16) Knotenmeridiane mit Hertzangaben (vgl. Varsányi 2000-I, Kap. 3.3.6 Bronzetrommeln);

links: Schwingungsformen von Membranen mit eingespanntem Rand und die drei musikalisch wichtigsten Teiltöne einer Pauke (nach Fleischer 1992:10, Fig.9).

108 Fletcher & Rossing 1998:650.

3.1. Schwingungsmessungen eines *gong ageng* mit dem Laser-Vibrometer (PSV)

Die Messergebnisse der Vibrometer-Analysen des *gong ageng* mit 102 cm Durchmesser¹⁰⁹ am Institut für Mechanik konnten grundsätzlich die bereits bekannten Eigenformen der Schwingungsmoden bestätigen. Sie gaben nun jedoch Aufschluß über die tatsächliche Lage der Schwingungsamplituden und -knoten bei dem untersuchten Instrument. Diese Ergebnisse werden in den Abbildungen Fig. 17 bis Fig. 22 dargestellt. In der Überschriftzeile steht die den Eigenformen zugeordnete Frequenz mit deren Umrechnung in die Tonhöhe unserer temperierten Stimmung (bei $a^2 = 440$ Hz) und den Abweichungen in Cent (ϵ) und Hertz. Zur Verdeutlichung des allgemeinen Schwingungsverhaltens wurde in die Zeile mit den Abbildungen links die perspektivische Darstellung der Eigenschwingungen eines „Thai-Gong“ mit 53 cm Durchmesser (bei Twork „Kolberg-Gong Nr. 4“ genannt) eingescannt, die nach FEM-Berechnungen von Dipl. Ing. Thomas Twork¹¹⁰ mit dem Programm NASTRAN erstellt wurde. Diese Darstellung des Schwingungsverhaltens stellt jedoch durch die Mittelung der Wandungsstärken und der Annahme, daß das Instrument homogen gebaut sei, einen Idealfall dar. Daneben steht in der Mitte der Zeile die frontal dargestellte Eigenform des *gong ageng* AV.94. Nur seine drei wichtigsten Formabschnitte werden gezeigt: den Rand kennzeichnet eine dicke schwarze Kreislinie, den nicht punktgenau abzugrenzenden Übergangsbereich (*pasu*) von der Oberplatte (*rai*) zur Randrinne (*rejeb*) ein dunkles weißgepunktetes Kreisband. Die Lage des Buckelansatzes (*pok pencu*) ist bei diesem Instrument leicht außermittig nach unten verschoben. Deshalb wird mit einer zweiten dünnen Kreislinie (gegenüber der realen Buckelposition etwas nach oben verschoben) als Referenz die eigentliche Mitte des *gong*-Kreises angezeigt. Da der *gong ageng* AV.94 bei der Messung im Lot aufgehängt wurde, können die Amplitudenlagen lokalisiert werden.¹¹¹ Dazu verwende ich Begriffe aus der Aeronautik, wonach die Einteilung des Zifferblattes einer Uhr mit „12 h“ in der Senkrechte *oben* und „6 h“ in der Senkrechte *unten* bezeichnet, aus dem sich die übrigen Lagebezeichnungen erschließen. Aus drucktechnischen Gründen werden die zweifarbig dargestellten Originalbilder schwarzweiß wiedergegeben. Dafür wurden die Felder der gegenphasigen Schwingungen neu bearbeitet: die grünen Felder in der farbigen Abbildung (proximale Auslenkung) werden hier flächig grau und mit zunehmender Amplitude bis zum Maximum (*dunkelgraues* Feld) in Stufen abgedunkelt dargestellt. Die roten Felder (distale Auslenkung) der Originalaufnahmen sind hier gepunktet, die sich zum Amplitudenmaximum (*weißes* Feld) hin immer mehr ausdünnen. Nullzonen oder Umkehrpunkte (Schwingungsknoten) werden durch einen dunklen Bereich gekennzeichnet. In der Zeile rechts neben der Eigenform steht schließlich das graphische Symbol des zugeordneten Mode aus Fig. 14. Die ergänzenden FFT-Analysen des Schallsignals dieses Instrumentes finden sich in Kap. 4.2.9, wo auch die aus dem PSV gewonnenen Zuordnungen der Eigenschwingungen eingetragen sind. Eine adäquate Repräsentation der Tonhöhenwahrnehmung nach dem TTZM-Verfahren (vgl. Valenzuela 1999), verbunden mit einer schwingungstechnisch detaillierten Beschreibung der Schwebungserscheinungen bei einer Vielzahl von Gongs steht noch aus.

109 Signatur AV.94, s. Varsányi 2000-I, Kap. 6.5. Querschnittszeichnungen und Kap. 6.6. Maße.

110 Twork 1997: Abb. 7.3 bis 7.8.

111 Zur Bestimmung der Aufhängelöcher eines *gong* s. Varsányi 2000-I, Kap. 1.3.3.(5).

3.2. 01-Mode, 47.5 Hz

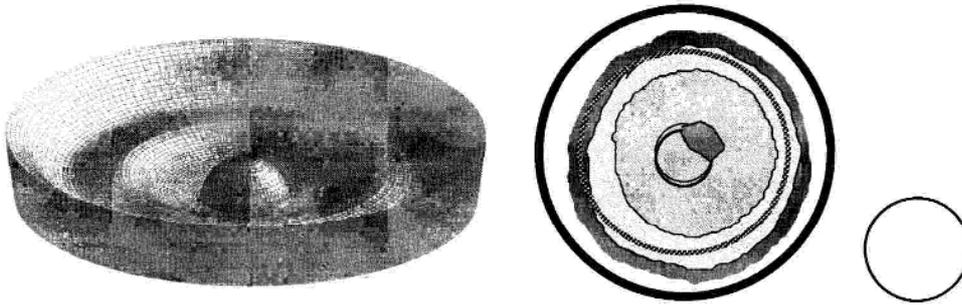


Fig. 17. *gong ageng* 01-Mode.

Die Grundschiwingung des *gong* AV.94 zeigt Fig. 17. Nach musikalischen Normen entspricht die gemessene Frequenz einem Ton der ca. 46ϕ (1.5 Hz), also etwa einen Viertelton höher als Fis_1 liegt (temperierte Stimmung: 46.25 Hz). Der größte Pegel liegt zum Messzeitpunkt außermittig am Rand des Schlagbuckels (*kamilan* und *tikel*) in Richtung „2 h“ [Messwert ca. $-30 \cdot 10^{-3} (m/s)/(N)$]. Das dunkle Band rund um den *pasu* zeigt die Lage des Schwingungsknotenkreises, der zur Hälfte mit dem tiefsten Punkt des *rejob* übereinstimmt. Es ist die „Nullzone“ und gehört als eine Art eingezogener Rand zum 01-Knotenkreis. Es stellt keinen „zweiten“ Knotenkreis zum umgeknickten Rand und somit auch keinen 02-Mode dar. Das erkennt man auch daran, daß die Amplitude hinter der Begrenzung am *pasu* bis zum *dhadha* bis auf ein Sechstel des Maximalwertes [ca. $-5 \cdot 10^{-3} (m/s)/(N)$] steil abfällt. Für die asymmetrischen Knotenkreise sind unterschiedliche Wandungsstärken in Verbindung mit unregelmäßig gelagerten Knicken am gebogenen Rand verantwortlich. Die Lokalisation des höchsten Pegels am Buckelrand Richtung „2 Uhr“ spricht für eine erhöhte Masse und Steifigkeit an dieser Stelle. Interessanterweise zeichnete der FFT-Analysator mit 46.25 Hz (s. Kap. 4.2.9) diesen ersten Teilton um fast einen Viertelton (46ϕ) tiefer auf (bei gleichbleibendem Wert des 02-Tones). Vermutlich liegt dies am unterschiedlichen Messzeitpunkt, begünstigt durch die unterschiedliche Schwingungsanregung mit einem Shaker bei der PSV-Analyse im Gegensatz zum freien Ausschwingen des Instrumentes bei der FFT-Untersuchung nach einem Anschlag.

3.3. 02-Mode, 95.0 Hz

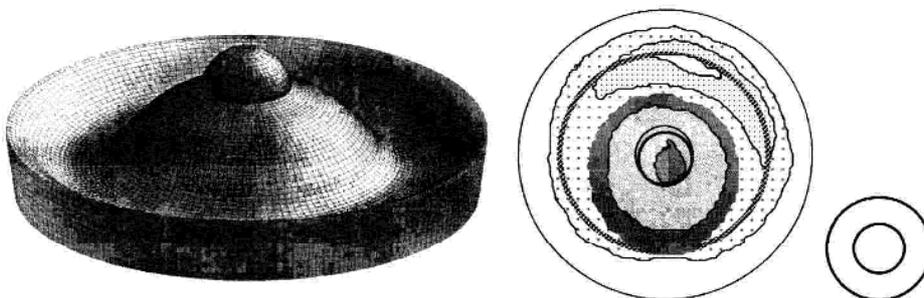


Fig. 18. *gong ageng* 02-Mode.

Der 02-Ton bildet als Oktavton zum 01-Ton den Grundklang, den man höchstwahrscheinlich als tonhöhenbestimmend hört (Fig. 18).¹¹² Nach musikalischer Nomenklatur liegt der Ton ca. einen Viertelton (47ϕ , i. e. 2.5 Hz) höher als Fis (temperierte Stimmung bei 92.5 Hz). Die Amplitudenmaxima

112. Valenzuela 1999:49, 76. Diesen Ton registrieren offensichtlich auch die handelsüblichen Stimmgeräte für Musiker.

sind ungleichmäßig verteilt. Das eine liegt erwartungsgemäß auf dem Buckel (grau), allerdings von der Mitte aus leicht Richtung „5 h“ verschoben, und entspricht im Pegel nur der Hälfte des 01-Tones [ca. $-13 \cdot 10^{-3}(\text{m/s})/(\text{N})$]. Die Gegenphase ist bei diesem Instrument besonders bemerkenswert: Sie windet sich entlang des *pasu* halbmondförmig um den Schwingknotenpunkt, ausgehend von einem Nullpunkt bei „6 h“ und der größten Erweiterung im Bereich zwischen „12 h“ und „1 h“. Dort am Rande des *rai* liegt auch das Maximum (weißer Fleck am *pasu*), das sich nicht ringförmig, sondern in länglicher Form an den *pasu* anschmiegt. Es ist zwar stärker als das graue Maximum der Gegenphase am Schlagbuckel [$-18 \cdot 10^{-3}(\text{m/s})/(\text{N})$], bleibt aber ebenfalls unter dem Wert des 01-Tones. Hier stimmt zwar der FFT-Wert der Hertz-Zahl nach überein, zeigt jedoch in der Amplitude eine Divergenz. Das breite Band des Schwingungsknotens (dunkelgraue Zone) ist im Vergleich zur Rotationssymmetrie in Richtung „6 h“ dezentral verschoben - also umgekehrt zur gepunktet dargestellten Gegenphase. Sie gleicht sich somit ungeachtet der äußeren Kreisform des *gong* in seiner Position der Lage des Knotenkreises des 01-Tones an. Die Ausbildung der Moden geschieht also anscheinend zwingender, als die formalen Gegebenheiten vermuten lassen. Vermutlich ist gerade diese asymmetrische Schwingungsform für die Phasenverschiebung verantwortlich, die die hörbaren Schwebungen erster Ordnung verursacht.

3.4. 11-Mode, 72.5 Hz

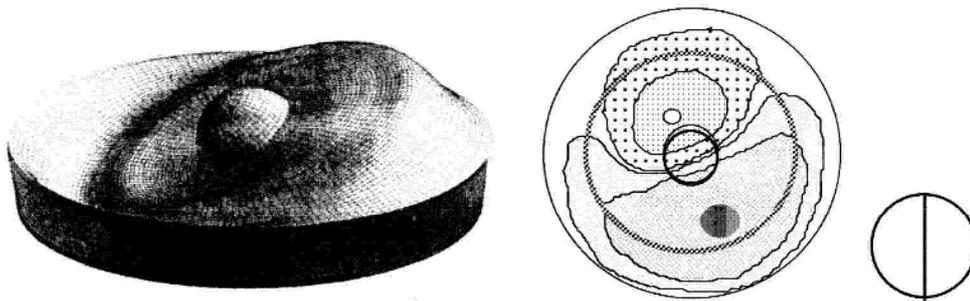


Fig. 19. *gong ageng* 11-Mode.

Musikalisch ausgedrückt liegt die gemessene Frequenz einen Fünftelton (ca. 22ϕ , 0.9 Hz) tiefer als D (temperierte Stimmung bei 73.4 Hz). Bei diesem Instrument stellt sich auch der 11-Mode in stark unregelmäßiger Form dar (Fig. 19). Das eine Phasenmaximum liegt in der Mitte eines großen nierenförmigen Feldes entlang des *pasu* (grau). Dieses Feld liegt gegenüber des halbmondförmigen Phasenfeldes der 02-Mode. Dadurch kommt das Phasenmaximum dieser 11-Mode fast genau auf die Lage der Nullzone des gepunkteten Phasenfeldes der 02-Mode bei „6 h“. Es erreicht jedoch bei „5 h“ am Rand des *rai* (dunkelgraues Feld) nur niedrige Werte [$3 \cdot 10^{-3}(\text{m/s})/(\text{N})$]. Insofern zeichnet sich eine Divergenz zu den FFT-Analysen ab, wo dieser Mode nach den 01- und 02-Moden den dritt wichtigsten für den Klang bestimmenden Mode darstellt, auch wenn der Pegel dort unter dem Wert (um 7 dB) des 02-Tones liegt. Der Schwingungsknoten ist kurvenförmig und verläuft erwartungsgemäß durch die Mitte des Buckels. Das kleinere Feld der Gegenphase (gepunktet) mit dem weißen Phasenmaximum liegt auf dem *tikel* in Richtung „11 h“. Nach der PSV-Messung zu schließen, wird es vermutlich durch die Nähe zum Buckel (am *pok pencu* des „virtuell richtig zentrierten *pencu*“, als dünne

Kreislinie dargestellt) stärker gedämpft als das graue Phasenmaximum, denn es erreicht nur eine um die Hälfte niedrigere Amplitude $[-1,5 \cdot 10^{-3}(\text{m/s})/(\text{N})]$.

3.5. 12-Mode, 122.5 Hz

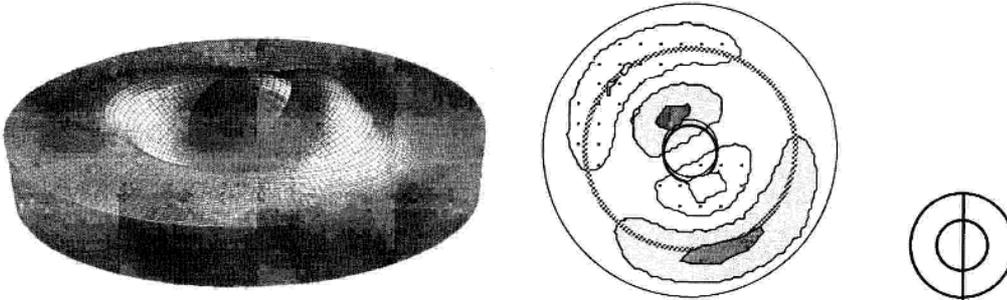


Fig. 20. *gong ageng* 12-Mode.

Musikalisch liegt der Ton nur wenig tiefer (ca. 13 ϕ , 1 Hz) tiefer als H (temperierte Stimmung: 123.5 Hz). Hier beim 12-Mode (Fig. 20) befindet sich je ein graues und ein weißes Maximum einmal a) am *tikel*, direkt neben dem *pok pencu* sowie b) im Bereich von *pasu - lambung*. Besonders bei ersterem (a) fällt auf, daß sich die Grenzen der Gegenphasenmaxima an dem „virtuell richtig zentrierten *pencu*“ ausrichten. Auch hier zeigt sich die Schwingung der *rai*-Oberfläche im Verhältnis zu ihren Grenzen am *pasu* zwingender als die Zentrierung des Schlagbuckels (vgl. Kap. 3.2).¹¹³ Die beiden auf dem *pasu* liegenden Gegenphasenmaxima liegen nicht ganz auf einer Linie, sondern sind um ca. 20° verschoben. Die Diagonale des Schwingungsknotens stimmt oben rechts (bei „2 h“) mit einem der Aufhängelöcher (*bolong*) und der Befestigung der Aufhängeschnur überein. Inwieweit hier Beeinflussung dieses Mode vorliegen kann, wäre noch zu untersuchen (vgl. *fengluo* Kap. 4.2.1). Alle vier Maxima der 12-Mode erreichen hohe Werte [ca. $20 \cdot 10^{-3} (\text{m/s})/(\text{N})$]. Sie nähern sich nach der PSV-Untersuchung den Werten der 01- und 02-Moden an und gehören somit als „Quarte“ zum klangbestimmenden Spektrum. Die FFT-Analysen lassen zwar ein Modensplitting vermuten, verweisen jedoch diese Eigenschwingung dem Pegel nach auf den 5. und 6. Platz der erfassten Teiltöne, deren Werte mehr als 20 dBV unter denen des I. Teiltones (01-Mode) liegen (Kap. 4.2.9). Hier liegt eine starke Divergenz zwischen FFT- und PSV-Analyse vor, die auch zu unterschiedlicher Interpretation der Schwebungserscheinungen führen kann (s. Kap. 2.5).

¹¹³ Ein *gong ageng* (95 cm Durchmesser) von Pak Wiguno Trimanto in Yogyakarta (jetzt im Privatbesitz von Cornelius Hirsch, München) zeichnet sich bei gutem Grundtonempfinden durch einen stark außermittig (Richtung „6h“) verschobenen Buckel aus. Kommentar von Pak Trimanto war: *suaranya bagus, tapi bentuknya kurang* (sein Klang ist gut, aber seine Form nicht schön).

3.6. 21-Mode, 140.0 Hz

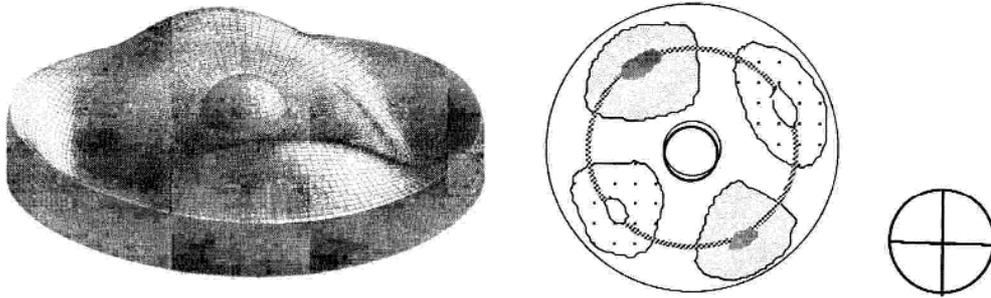


Fig. 21. *gong ageng* 21-Mode.

Die vom PSV gemessene Frequenz der 21-Mode (Fig. 21) liegt musikalisch ca. 18ϕ (1.4 Hz) höher als der Ton *cis* (temperierte Stimmung bei 138.6 Hz). Die gegenphasigen Eigenschwingungen der 21-Mode nähern sich wie schon die 12-Mode einer regelmäßigen Verteilung der kleeblattähnlich angeordneten Felder an. Die Diagonalen der Schwingungsknoten sind in der Mitte unterbrochen (vgl. dazu die Form der Chladnifiguren bei einem Paukenfell in Fig. 16 links). Ihr Verlauf entspricht etwa der Linie „9 h“ - „4 h“, mit einem leichten Knick in der Mitte, sowie „7 h“ - „2 h“. Interessanterweise wurden die im Bild obenliegenden Maxima (grau bei „11 h“ und weiß bei „2 h“) über die Hälfte stärker aufgezeichnet [ca. $4 \cdot 10^{-3} \text{ (m/s)/(N)}$] als die untenliegenden Maxima von grau bei „5 h“ und weiß bei „8 h“ [$1,5 \cdot 10^{-3} \text{ (m/s)/(N)}$]. Das höchste Amplitudenmaximum (dunkelgrau) liegt am *pasu* bei „5 h“ und entspricht in seinem Wert dem Maximum der 11-Mode bei 72,5 Hz [$-3 \cdot 10^{-3} \text{ (m/s)/(N)}$]. Von diesen Werten ausgehend, könnte man daher bei der 21-Mode dieses Instrumentes von einer ähnlich schwachen Schallabstrahlung ausgehen wie bei der 11-Mode und ihm nur eine mäßige Bedeutung für den Klangaufbau beimessen. Die FFT-Analysen und dort besonders das Zeit-Pegel-Diagramm (s. Kap. 4.2.9) vermitteln allerdings ein anderes Bild.

3.7. 31-Mode, 220.0 Hz

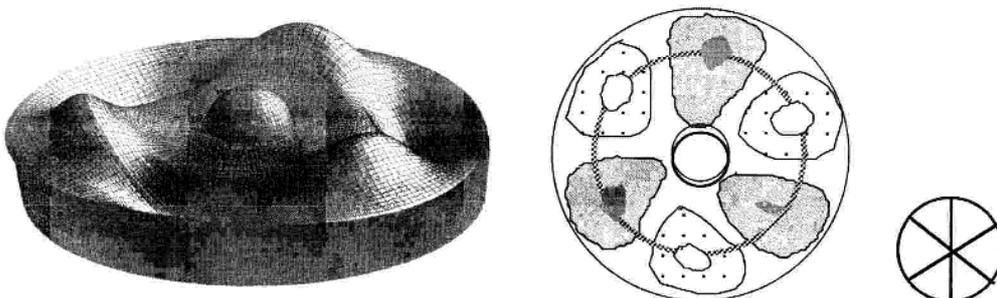


Fig. 22. *gong ageng* 31-Mode.

In musikalischer Nomenklatur entspricht die zugeordnete Frequenz des 31-Mode (Fig. 22) dem Ton a^1 (temperierte Stimmung bei 220.0 Hz), also dem tiefen Oktavton des Kammertons. Die Amplitudenmaxima liegen entlang der Linie *pasu - lambung* und sind gegenüber den Werten des 21-Mode um die Hälfte schwächer [ca. $1,4 \cdot 10^{-3} \text{ (m/s)/(N)}$]. Die Unterteilungen der gegenphasig schwingenden Felder des 31-Mode sind relativ regelmäßig aufgebaut. Die Schwingungsknotenlinien verlaufen zwi-

schen den Begrenzungen der grauen und gepunkteten Felder, wobei die Mitte mit dem Buckel zum obenliegenden grauen Bereich gehört (nur im Original, aus Fig. 22 nicht ersichtlich). Der Pegel ist allerdings sehr schwach [weniger als $0,5 \cdot 10^{-3}(\text{m/s})/(\text{N})$]. Die leicht außermittige Lage des Kreuzungspunktes aller Schwingungsknotenlinien stimmt mit dem grau dargestellten Bereich des 02-Mode überein, der die zehnfache Amplitude aufweist. Diese Eigenschwingung ist eine der schwächsten und gerade noch einem Mode zuzuordnen (s. u. Fig. 24). Allerdings ist auch hier wieder die Divergenz von verschiedenen PSV- und FFT-Analysewerten bemerkenswert: Der PSV übermittelt die Tonhöhe mit $a = 220$ Hz, einen Wert, den man in den FFT-Analysen nicht wiederfinden bzw. nur verdeckt vermuten kann (s. Kap. 4.2.9). Nach den FFT-Messungen sowie nach Twork 1997 hat der 31-Mode dieses *gong ageng* 214 Hz und liegt damit gegenüber dem angegebenen PSV-Wert einen Viertelton (47°) tiefer. Es stellt sich hier also die Frage, ob die Übertragungsfunktion des PSV die Werte gewissermaßen breitbandig übermittelte und auf nahe liegende Frequenzen „übergesprungen“ ist. Hier mangelt es noch an aussagekräftigen Daten, wobei mehrere Werte angegeben werden müssten, die eventuell auftretendes Modensplitting erkennen lassen, wie es die FFT-Analysen nahelegen.

3.8. Zusammenstellung der Ergebnisse

Um das Schwingungsverhältnis zwischen den aus den PSV-Analysen gewonnenen Moden und ihren zugeordneten Frequenzen unter musikharmischen Gesichtspunkten zu vergleichen, wurden die Meßdaten von sieben Buckelgongs aus Java und Birma (nach Twork) in eine einfache Tabellenkalkulation eingegeben (Fig. 23). Im oberen Teil der Tabelle stehen die Moden mit ihren vom PSV ermittelten Frequenzwerte in Hertz. Im unteren Tabellenteil stehen die aufgerundeten Verhältniswerte der angegebenen Moden zueinander. Dazu wurde die höherwertige Frequenz durch die niedrigere geteilt. Dabei wurde ersichtlich, daß ganzzahlige Verhältnisse bzw. deren Annäherungen immer nur bei Moden gleicher Art auftauchen. So stehen bei dem 102-cm-*gong ageng* (AV.94) sowohl der 01- mit dem 02-Mode als auch der 11- mit dem 21-Mode, letztere mit gleichgroßen Pegelwerten, in einem Oktavverhältnis (1:2). Auffallend ist ein Doppeloctav-Verhältnis (1:3) von der 11- mit der 31-Mode (4. Spalte der Tabelle), deren Pegel allerdings um die Hälfte divergieren. Diese Schwingungsformen mit ganzzahligen Frequenzverhältnissen sind offensichtlich für einen ausgeglichenen Gesamtklang des Instrumentes verantwortlich. Die birmanischen Instrumente mit ihren geschwungenen Oberflächenformen zeigen gegenüber den beiden javanischen *gong* in mancherlei Hinsicht ein unterschiedliches Schwingungsverhalten. Von den nichtjavanischen Buckelgongs stimmen der 01- und der 02-Mode nur beim Instrument „33-cm-Birma-1-Gong“ in einem musikalisch guten Oktavverhältnis überein. Der 11- und der 31-Mode stehen in einfachem Oktav-Verhältnis (1:2) im Gegensatz zur Doppeloctave der javanischen *gong*. Der 11- und der 21-Mode scheinen sich klanglich nicht besonders bemerkbar zu machen, da hier die Werte - entgegen den Erwartungen - besonders divergieren. Bei dem 61-cm-Birma-Gong (*maung*) scheint sich die prominente Oktavbildung von den 01- und 02-Ringmoden noch auf die Knotenmeridiane hin zu den 11- und 31-Moden verlagert zu haben.

Die Ergebnisse aus den PSV-Messungen scheinen den 01-, 02- sowie den 12-Mode als die klangbestimmenden Schwingungsformen zu bestätigen. Hinsichtlich der höherwertigen Frequenzen fällt im Vergleich zu den Ergebnissen aus den FFT-Analysen eine Divergenz auf (vgl. Tabelle Fig. 24 mit den FFT-Diagrammen in Kap. 4.2).

Mode	01-	11-	21-	31-	41-	51-	61-	02-	12-
102 cm ageng	47,5	72,5	140,0	214,4	-	-	-	95,0	122,5
59 cm suwukan	82,5	135,0	245,0	390,0	-	-	-	167,5	210,0
61 cm Birma	93,0	137,5	222,5	281,3	367,5	476,3	598,8	190,0	234,0
53 cm Birma	100,3	160,0	x	322,5	455,0	630,0	800,0	195,0	242,5
37 cm Birma	152,5	265,0	422,5	535,0	708,8	953,8	-	331,3	371,3
33 cm Birma 1	162,5	273,8	440,0	613,8	-	-	-	323,8	392,5
33 cm Birma 2	216,3	335,0	452,5	613,8	837,5	-	-	368,8	503,8

Frequenzverhältnis in Abhängigkeit zur Mode	11:01	21:11	31:21	31:11	41:21	51:31	61:41	02:01	12:11	12:01	12:02
102 cm ageng	1,53	1,93	1,53	2,96	-	-	-	2,00	1,69	2,58	1,29
59 cm suwukan	1,64	1,80	1,59	2,89	-	-	-	2,03	1,60	2,55	1,25
61 cm Birma	1,48	1,62	1,26	2,05	1,65	1,69	1,63	1,40	1,70	2,52	1,23
53 cm Birma	1,60	-	-	2,02	-	1,95	-	1,94	1,52	2,42	1,24
37 cm Birma	1,74	1,59	1,27	0,60	1,68	1,78	-	2,17	1,40	2,43	1,12
33 cm Birma 1	1,68	1,61	1,40	2,20	-	-	-	1,99	1,43	2,42	1,21
33 cm Birma 2	1,55	1,35	1,36	1,80	1,85	-	-	1,71	1,50	2,33	1,37

Fig. 23. Moden von 7 Buckelgongs (2 von Resowiguno/Java sowie 5 aus Birma, sogenannte „Thai“-Gongs von „Kolberg-Percussion“) aus Twork 1997, hier nach Frequenz und Schwingungsmode geordnet (obere Tabellenhälfte) sowie die Verhältnissgrößen der Moden im Vergleich (untere Tabellenhälfte).

Hz	dB (-Vr)	Mode	Ton (Cent)
94	8,51	-02-	Fis (+28)
47	20,02	-01-	Fis1 (+28)
73	29,17	-11-	D1 (-9)
141	34,33	-21-	cis (+30)
81	36,70		E (-29)
119	37,29		Ais (+27)
123	37,80	-12-	H1 (-6)
236	39,53	-22-	ais (+12)
283	45,28	-32-	cis1 (+26)
130	46,86		c (-10)
189	48,43		fis (+28)
267	49,04	-03-	c1 (+26)
44	51,99		F1 (+14)
214	53,17	-31-	gis (+43)
51	55,48		As1 (-30)
224	55,54		a (+22)
70	57,28		Cis (+18)
60	57,72		H1 (-49)
76	58,97		Es (-40)
42	59,84		E1 (+34)

Fig. 24. Tabelle mit den FFT- und PSV-Analysewerten (nach Twork 1997) von *gong ageng* (AV.94) sowie umgerechneten Tonhöhenangaben, geordnet nach Pegel.

4. FFT-Analysen

4.1. Definitionen

Der von deutschen Musikern häufig gebrauchte Begriff des *Obertons* wird oft synonym mit *Teilton* gebraucht. Da jedoch der 1. Oberton dem II. Teilton, der 2. Oberton dem III. Teilton usw. entspricht, kann es leicht zu Mißverständnissen kommen.¹ Auch die Benennungen der Glockengießer für die *Harmonischen* können zu Verwechslungen in der Nomenklatur führen, wenn z. B. die englischen Gießer die drei wichtigsten Eigenschwingungen im Oktavverhältnis mit *fundamental*, den eine Oktave darüber liegenden Ton *nominal* und den eine Oktav unter dem *fundamental* liegenden Ton *hum-tone* nennen. Da sich das Spektrum von Gongs anders zusammensetzt als bei Glocken oder Pauken, und um die Sachlage nicht zusätzlich zu komplizieren, werden die in der Akustik gebräuchlichen Begriffe in Verbindung mit den in den vorangegangenen Kapiteln dargelegten Schwingungsverhalten von runden Platten verwendet. Demnach sind die beiden wichtigsten Teiltöne der

- I. Teilton, der Ton mit der Grundschiwingung, der dem 01-Mode der Eigenschwingungen eines *gong* entspricht und der
- II. Teilton liegt eine Oktave über dem ersten Teilton und entspricht dem 02-Mode.

Die Pegel der Teiltöne I. und II. nähern sich meist an, sind deutlich von anderen Teiltönen abgehoben und bilden somit die Grundlage für einen *volleren dieperen toon* (Groneman) bzw. den *desired depth and darkness* (Kunst)² also den wohlklingenden *gong*-Ton, was die Javaner mit *ulem*³ bezeichnen. Die anderen Teiltöne im Spektrum eines *gong*-Klanges sind in der Regel unharmonisch, können sehr dicht beieinander auftreten und werden deshalb anders gehandhabt. Da mehrere Teiltöne unter oder zwischen den beiden Teiltönen I. und II. liegen können, die in die Numerierung aufgenommen wurden, variiert die Nummernzuteilung. Um Missverständnissen vorzubeugen, werden die Frequenznummern der Teiltöne innerhalb eines Unterkapitels, d.h. bei jedem Instrument beibehalten.

Unterschiedliche Bandbreiten der Spektren geben gröbere oder feinere Auflösungen wieder, was zu unterschiedlichen Werten der angegebenen Teiltöne führt. So beträgt z. B. im 500-Hz-Spektrum der Teiltonabstand 1.25 Hz, im 1-kHz-Spektrum jedoch 2.5 Hz. Bei niedrigerer Auflösung scheint eine Tendenz zum Abrunden in Richtung tiefer Lage zu bestehen. Die Oktavlagen der Teiltöne werden trotz der eindeutigeren amerikanischen nach der deutschen Schreibweise angegeben (Fig. 25).

1 Hall 1991:139.

2 Groneman 1890:39; Kunst 1973:140. Kunst bezieht diesen Ton allerdings nach Groneman auf *gong*, die im Verhältnis zu ihrer Größe einen tieferen Ton geben als erwartet (?). Dies bedeutet jedoch eine dünne Wandung, wie z. B. bei den *goong* von *pak* Sukarna in Bogor, West-Java, die eine schwächere Schallabstrahlung verursacht und was schwerlich mit der Höherwertung (*higher esteem*, Kunst) der Instrumente in Einklang zu bringen ist.

3 S. Varsányi 2000-I, Kapitel Rippe. Nach Nakagawa (in Takaoka 1994:177) bezeichnete ein *gong*-Schmied (Name nicht genannt) den Klang eines *gong* mit *gutaru*, was „Vibration“ bedeuten soll (in Djavanisch-Deutsches-Wörterbuch nicht verzeichnet) und neben der akustischen die ästhetische Vorstellung vom *gong*-Klang unterstreicht.

<u>deutscher Name</u>	<u>deutsche Bez.</u>	<u>amerikanische Bez.</u>	<u>Frequenz</u>
Subkontra-Oktave	C ₂	C ₀	16,35 Hz
Kontra-Oktave	C ₁	C ₁	32,70 Hz
große Oktave	C	C ₂	65,41 Hz
kleine Oktave	c	C ₃	130,81 Hz
eingestrichene Oktave	c ¹	C ₄	261,63 Hz
zweigestrichene Oktave	c ²	C ₅	523,25 Hz
dreigestrichene Oktave	c ³	C ₆	1046,50 Hz
vieregestrichene Oktave	c ⁴	C ₇	2093,00 Hz
etc.			

Fig. 25. Tabelle mit Darstellungen der Oktavlagen in der gleichschwebend temperierten Stimmung ($a^1 = 440$ Hz) nach deutscher und amerikanischer Darstellung mit korrespondierender Frequenzzahl.⁴

4.2. Auswertung der FFT-Analysen von neun ausgewählten Gonginstrumenten

Um einen Katalog mit Klangmerkmalen mittels der FFT-Analyse zu erstellen, wurde eine größere Anzahl von Objekten (25 Stück) verschiedener Bauweise ausgewählt und digital aufgenommen. Zu diesen Objekten aus dem Privatbesitz des Autors (AV), der Münchner Gamelangupe CARA BALI (CB) sowie dem Musikinstrumentenmuseum im Münchner Stadtmuseum (MIM) gehörten eine Schalen-glocke, Klangplatten, eine Bronzetrommel sowie verschiedenartige Flach- und Buckelgongs. Die Auswahl wurde reduziert auf 9 Objekte, die direkten Bezug zur historischen Entstehungsgeschichte oder besondere klangliche Merkmale des vertikal hängenden Buckelgongs javanischer Machart aufwiesen (s. Fig. 26).

Die Aufnahme erfolgte mit einem kleinen DAT-Recorder der Firma AIWA (HD-S200).⁵ Die Abtastfrequenz wurde auf 48 kHz eingestellt. Das Mikrophon der Fa. SONY hatte einen Frequenzgang von 50 bis 18.000 Hz bei einer Richtwirkung von 90°. Die Objekte wurden in einen Ständer gehängt und mit dem Mikrophon die optimale Schallabstrahlung angepeilt, deren Position bei Buckelgongs direkt vor dem Buckel liegt.

Jedes Objekt wurde viermal angeschlagen: Die ersten drei Schläge, bei einem Mikrophonabstand von 60 cm, hatten unterschiedliche Klangcharakteristika: 1) ein mittelstarker Anschlag, wie er ausgeführt wird, um den musikalisch „richtigen“ oder „optimalen“ Klang zu erhalten, also einen „normalen“ Anschlag darstellt, 2) ein schwacher Anschlag, also ein leiser Klang, der nur die unteren Teiltöne zum Schwingen anregt, 3) ein starker Anschlag mit einem etwas härteren kleinköpfigen Gongschlägel, der ein möglichst breites Spektrum an Obertönen erzeugte. Ein besonderer Anschlag wurde noch bei dem javanischen Buckelgong MIM 67-7 (Kap. 4.2.8.2) durchgeführt: Das Instrument wurde in einem Abstand von nur 15 cm vor eine Wand gehängt und das Mikrophon 1,10 m vor dem Buckel postiert. Gamelanmusikern ist bekannt, daß eine Wand nahe hinter einem *gong* dessen Klang negativ beeinflusst. Es stellte sich also die Frage, ob diese Klangtrübung im Spektrum erfasst würde. In der Darstellung der FFT-Ergebnisse werden nun nicht bei jedem Instrument alle erwähnten Anschlagsarten aufgeführt, sondern nur solche, die Aufschlüsse zu den besonderen Schwingungsverhalten liefern. Be-

4 Rieländer 1982:247; Brüderlin 1978, Tab. 9; Seidl 1970.

5 Das Gerät wurde von Christof Reiserer zur Verfügung gestellt, wofür ihm an dieser Stelle herzlich gedankt sei.

trachtet werden der Reihe nach drei Aspekte: a) das *Spektrum* und die *Zusammensetzung* der erfassten Teiltöne in einem „harmonischen“ Kontext, b) das *Zeit-Pegel-Diagramm* (Wasserfalldiagramm) nach einer möglichen Aussage für den Höreindruck sowie c) *Schwebungen*, die für den *gong*-Klang maßgeblich sind (Kap. 2.5).

Wie in Kapitel 2.4.2 beschrieben, richtet sich die Schlägelhärte nach der *gong*-Größe: je größer und tiefer der *gong*-Ton, desto weicher und schwerer soll der Schlägel sein. Andersartige Anschlagsweisen, z. B. mit einem sehr harten Schlägel, wurden für *gong ageng* nicht untersucht. Da sich außer der Oktave des I. und II. Teiltons die restliche Teiltonstruktur nicht in einem harmonischen Spektrum bewegt, sind Begriffe aus der musikalischen Harmonielehre (wie Quinte, Terz usw.) nur bedingt zutreffend und werden als ein besonderes Merkmal in Anführungszeichen erwähnt.⁶ In den folgenden Kapiteln werden nur die Frequenzen von tief nach hoch durchnummeriert, von denen aufgrund ihres Pegels⁷ angenommen werden kann, daß sie klangliche Auswirkungen haben. Für eine den hörbaren Klang relevante Darstellung können in den folgenden Kapiteln annäherungsweise nur die Schallpegel-Zeit-Diagramme (*Wasserfalldiagramme*) dienen. Was, wie erwähnt, noch aussteht und besonders für Musiker von besonderem Interesse wäre, sind Untersuchungen an den verschiedenartigen Gongtypen nach dem TTZM (Teiltonzeitmuster)-Verfahren bzw. nach dem Verfahren zur Bestimmung gehörrelevanter Schallsignalparameter mittels der Schwelleneigenschaft des Gehörs, wie es Valenzuela 1999 bereits für einige Birma-Gongs durchgeführt hat.

Nr.	Sign.	Bezeichnung	Herkunft	Name	Maße (ø/H, in mm)	Gewicht
1	AV.87	Flachgong ohne Schlagbuckel und ohne umgeknickten Rand	Wuhan, China	<i>fengluo</i>	550	2,6 kg
2	AV.72	Flachgong mit umgebogenem Rand	Paiste, Deutschland	Tamtam	750	6,0 kg
3	MIM 64-1	Bronzetrommel	Birma	hpasi	473/635	17,7 kg
4	MIM 61-11	Buckelgong, mittel	Malaysia	agung	484/194	11,1 kg
5	CB.95	Buckelgong, mittel	Bali (Java)	kempur	540/125	11,1 kg
6	MIM 66-15	Buckelgong, groß	Bali	gong gedè	675/152	17,0 kg
7	MIM 60-65	Buckelgong, mittel	Solo, Java	suwukan	595/150	12,1 kg
8	MIM 67-7	Buckelgong, groß	Java	gong agcng	750/152	18,2 kg
9	AV.94	Buckelgong, groß	Solo, Java	gong ageng	1020/220	44,5 kg

Fig. 26. Tabelle mit Namen und einigen Daten der untersuchten Instrumente.

⁶ Umrechnungen der Frequenzen in Tonhöhenangaben mit Centdeviation erfolgen nach der Frequenztafel von Seidl 1970.

⁷ In der willkürlichen dB-Darstellung wird der höchste Pegel mit dem niedrigsten Wert dargestellt, da der Negativwert von 0 ausgeht.

4.2.1. Flachgong ohne Buckel und ohne umgebogenem Rand (\varnothing 55cm) *fengluo*, Wuhan-China (AV.87)

Das *fengluo* ist ein hängender schwach konvex gewölbter Flachgong ohne Rand und mit fein abgedrehten konzentrischen Rillen, der mit einer Schnur durch zwei Löcher nahe am Rand aufgehängt wird. Rein äußerlich ähnelt er einem Becken ohne Kuppe.⁸

a) Spektrum (Fig. 27, 28)

Das Spektrum eines *starken Anschlages* präsentiert ein breites Band eng beieinander liegender Frequenzen, deren Pegel zu den höheren Bereichen hin langsam abnehmen. Der Bereich innerhalb einer Schalleistung von ca. 30 dB erstreckt sich von 300 Hz (Tonhöhe ca. d¹) bis 15 kHz (ca. h⁶; in Fig. 27 nur bis 10 kHz dargestellt). Es nähert sich insofern der oberen Hörgrenze und rückt das Spektrum in gewisse Nähe zum *Weißem Rauschen*. Einige Teiltöne tauchen bei ca. 70 Hz bis 90 Hz auf, deren Pegel jedoch schwach ausgeprägt sind. Wie Twork (1997:8-6) gezeigt hat, kann unter diesen tiefen Frequenzen bei 75 Hz der 01-Mode (in Fig. 28 als Teilton Nr. „x“ gekennzeichnet) und bei 107,5 Hz (Teilton Nr. „y“) sogar ein 11-Mode zugeordnet werden. Durch den aussermittigen Anschlag werden sowohl rotationssymmetrische als auch antimetrische Schwingungsformen angeregt und der fehlende Rand begünstigt die Entstehung von Randmoden, die mit anderen Moden koppeln.⁹ Ein Teilton der 21-Mode wurde zwar mit 160 Hz vom PSV registriert, erscheint jedoch nicht im Schallsignal (FFT). Er hat somit ebenso wenig Bedeutung für das Hören wie viele niedrige Frequenzen, die vom Spektrum maskiert werden.

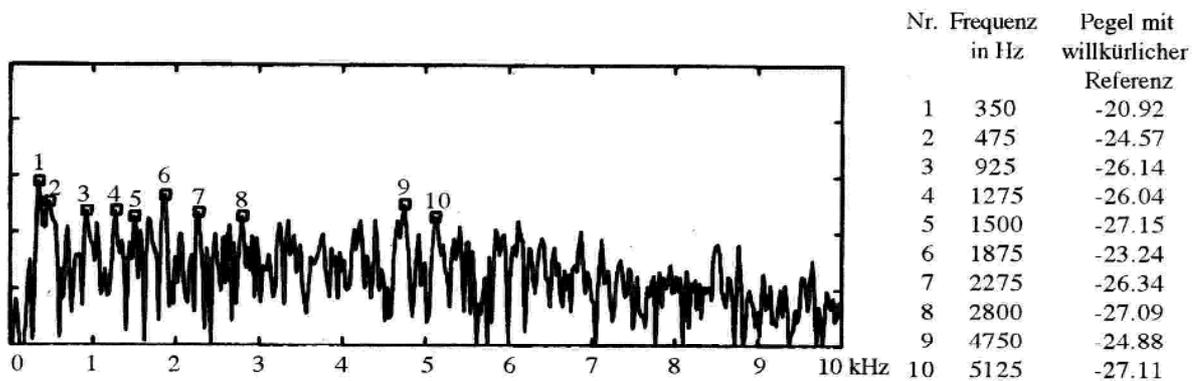


Fig. 27. Spektrum *fengluo* (AV.87) starker Anschlag; Bandbreite 0 - 10 kHz.

b) Zeit-Pegel-Diagramm (Fig. 29)

Bei einer höheren Auflösung bis 500 Hz erkennt man im Wasserfalldiagramm, daß die Teiltöne Nr. 2 und Nr. 5 über acht Sekunden lang wirksam sind. Knapp die Hälfte dieser Zeit beträgt die „Lebensdauer“ der im Pegel schnell abnehmenden Teiltöne Nr. 6, 8, 9 und 10. Bei letzteren Teiltönen sind im Wasserfalldiagramm außerdem Pegelschwankungen festzustellen, die vermutlich auf In-

⁸ Solche flache Becken ohne Kuppe mit Befestigung in der Mitte hat die Fa. PAISTE unter dem Namen *Flat-Ride* besonders in den 1970er Jahren vertrieben. Sie zeichneten sich durch einen leisen zischenden Klang aus, der sich in den höheren Frequenzbereichen bewegte, und gut für leisen Jazz eignete. Das Fehlen der Kuppe verhinderte das laute Aufrauschen gewöhnlicher Becken.

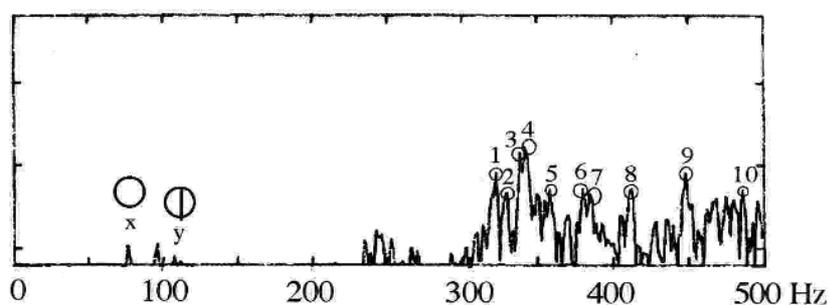
⁹ Twork 1997:8-9

terferenz mit anderen Moden zurückzuführen sind. Für die verkürzte Ausklingzeit der höheren Teiltöne sind wohl die frei schwingenden Plattenränder verantwortlich.

Inwieweit eine Schnuraufhängung zur Bildung erzwungener Knotenlinien bzw. der geometrischen Lage derselben verantwortlich sein kann, bleibt noch nachzuweisen.¹⁰ Diesbezüglich ist die in Fig. 30 dargestellte Lage der Knotenmeridiane der klangbestimmenden 11-Mode sowie der 21-Mode in Konkordanz mit der Position der Löcher und den auf die Platte partiell schwingungshemmend wirkenden Aufhängeschnüren auffallend.

c) Schwebungen

Durch die Großzahl von nahe beieinanderliegenden Frequenzen, könnte man mit Schwebungserscheinungen rechnen, die jedoch durch das dichte Spektrum maskiert werden. Erst nach längerer Ausschwingzeit (ca. vier Sekunden) kann man z.B. in Fig. 29 unter den Teiltönen Nr. 6, 8, 9 und 10 Pegelschwankungen erkennen, die z.T. sogar zu Auslöschungen führen.



Nr.	Frequenz in Hz	Pegel mit willkürlicher Referenz	Frequenz in Hz (Twork)
x	-	-	77
1	322,50	-31.90	322
2	330,00	-36.54	340
3	338,75	-26.85	343
4	342,50	-26.31	351
5	358,75	-35.82	384
6	380,00	-35.42	386
7	385,00	-36.76	406
8	412,50	-35.68	409
9	448,75	-31.94	439
10	488,25	-36.02	442
-	-	-	445
-	-	-	468
-	-	-	494
-	-	-	498

Fig. 28. Reduziertes Spektrum *fengluo* (AV.87) [eigene Numerierung der Teiltöne, zum Vergleich FFT-Ergebnisse von Twork, ohne Pegel]; starker Anschlag mit Zuordnung zweier Eigenschwingungen (01, 11) aus der PSV-Analyse (nach Twork); Bandbreite 0 - 500 Hz.

¹⁰ Diese Löcher beeinträchtigen in diesem Falle die Schwingung der Platte nur minimal; eine genauere Untersuchung zu evtl. parasitären Schwingungen steht noch aus.

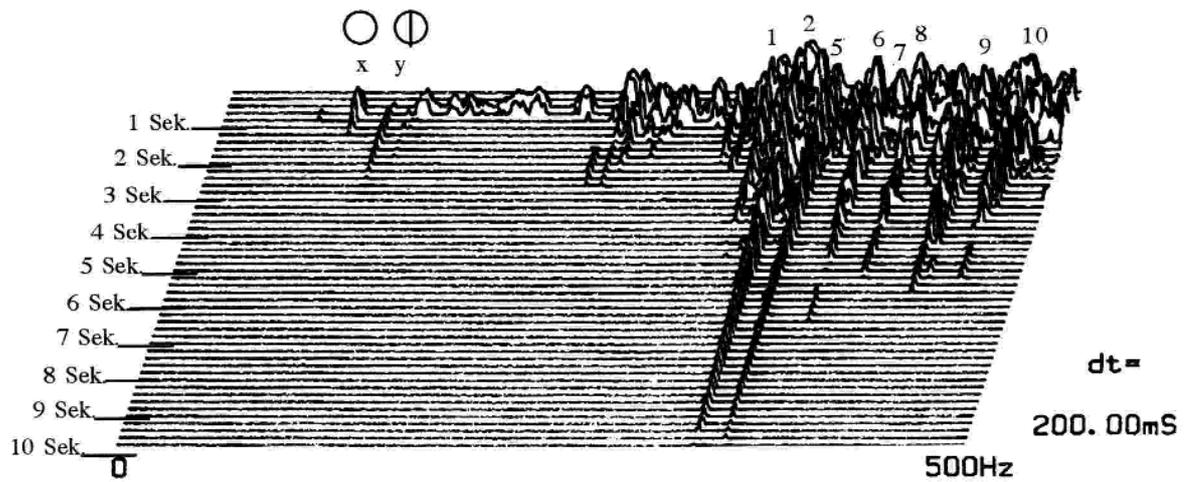


Fig. 29. Wasserfalldiagramm *fengluo* (AV.87) starker Anschlag mit Zuordnung zweier Eigenschwingungen (01, 11) aus der PSV-Analyse (nach Twork); Bandbreite 0 - 500 Hz.

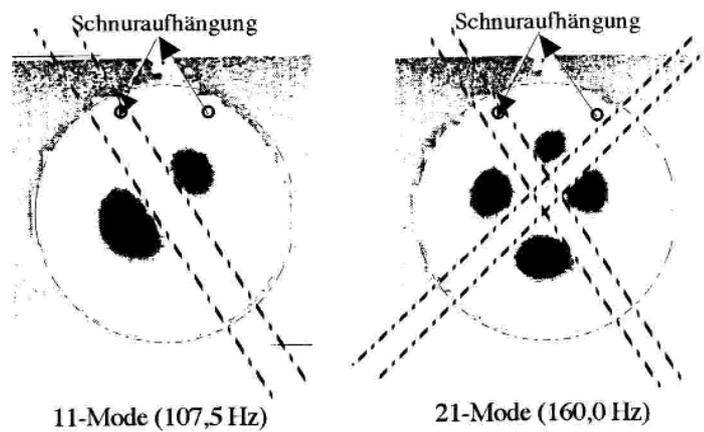


Fig. 30. Lage der Knotenmeridiane (gestrichelte Linien) in zwei PSV-Schwingungsbildern der 11-Mode und 21-Mode bei *fengluo* AV.87 in Konkordanz mit den Aufhängelöchern und der Schnuraufhängung (Pfeile).¹¹

¹¹ Schwingungsknotenmeridiane nach Twork 1997: 8.10.

4.2.2. Flachgong ohne Buckel mit umgebogenem, wenig hohem Rand (Ø 76 cm), Tamtam, PAISTE® Deutschland (AV.72).

Bei dem uns bekannten Orchester-Tamtam handelt es sich um einen vertikal hängenden Flachgong, der jedoch im Gegensatz zum *fengluo* einen nach hinten umgebogenen Rand sowie eine leicht erhöhte jedoch flache Oberfläche hat. Die beiden Löcher für eine Schuraufhängung sind in diesen Rand knapp unter der Plattenoberfläche gebohrt.

a) Spektrum (Fig. 31, 32)

Bei einem starken Anschlag (Fig. 31) bietet das 76-cm-Tamtam der Firma PAISTE (AV.72) ein sehr reiches Spektrum, das auf den ersten Blick dem breitbandigen „Gebirgsmassiv“ des *fengluo* AV.87 ähnelt, doch zeichnen sich zwei wesentliche Unterschiede ab: 1. das Spektrum reicht nur bis knapp über 7 kHz (Tonhöhe ca. h^5) und 2. werden einige Frequenzen unter 300 Hz besonders begünstigt. Betrachtet man in Fig. 31 nur die höchsten Spitzen von Schalldruckpegeln innerhalb eines schmalen Bandes von ca. 10 dB, so liegt der Großteil der dicht nebeneinander liegenden Frequenzen in einem Bereich zwischen ca. 1000 bis 2500 Hz mit einigen vereinzelt Spitzen unter 300 Hz sowie über 4 kHz. Im Vergleich zum *fengluo* weisen die Amplituden hier tiefe Einschnitte auf. Twork (1997:8-4) konnte für dieses Instrument einen 01-Mode mittels PSV identifizieren (= Teilton Nr. 1 bei 75 Hz), der auch wahrgenommen werden kann. Interessanterweise registrierte seine FFT-Analyse auch einen Teilton (bei 153 Hz) mit 1:2-Verhältnis zum 01-Mode. Andere Moden (11-Mode bei 112,5 Hz, 21-Mode bei 167,5 Hz und 12-Mode bei 217,8 Hz, s. Symbole in Fig. 32) konnten keine bildliche Zuordnung von für den Klang wichtigen Resonanzformen liefern.

b) Zeit-Pegel-Diagramm (Fig. 33)

Im Spektrum Fig. 32 zeigen einige der Teiltöne (Nrn. 1, 0, 4, 2, x, y) im Verhältnis untereinander sowie im Wasserfalldiagramm im Ausklingverhalten und der zeitlichen Konstanz ihres Pegels eine gewisse Annäherung an das Klangspektrum eines Buckelgongs. Der Teilton Nr. „0“ stellt hier mit ca. 152 Hz die Oktave zu Teilton Nr. 1 und somit eine Art II. Teilton dar. Ein besonders auffälliger Bereich bildet sich unterhalb der „Doppeloktave“ bei Teilton Nr. 7. Dieses „Bergmassiv“ zwischen den Teiltönen Nr. 7 und Nr. 2 umfasst bei wenig abnehmendem Pegel in einem breiten Band von 30 Hz fast alle Frequenzen im Raum eines Dreivierteltones, was sogar ein eventuelles Oktav-Erkennen maskieren würde. Solche Effekte führen wohl zum Klangeindruck einer „unbestimmten Tonhöhe“. Weitere und vermutlich auch klangbestimmende Teiltöne kristallisieren sich im Wasserfalldiagramm erst nach einigen Sekunden aus dem Spektrum. Bemerkenswert ist dabei der Teilton Nr. 4. Er wird von einer Klangzelle umgeben, die ebenfalls als ein „Bergmassiv“ erscheint und mit relativ hohem Pegel lange neben dem Teilton Nr. 1 präsent ist.

c) Schwebungen

Eine merkwürdige Erscheinung sind die Pegelschwankungen, wie sie in Fig. 33 mehrfach (rechts neben Teilton Nr. 0, zwischen Teilton Nr. 8 und Teilton Nr. x sowie ganz rechts bei ca. 490 Hz), besonders deutlich unter Teilton „x“ bei ca. 420 Hz zu erkennen sind: Zweimal findet infolge Interferenz momentan völlige Auslöschung statt (fünf sowie sieben Sekunden nach dem Anschlag), um kurz darauf wieder steil anzusteigen und anschließend flach abzusinken. Teilton „x“ bleibt bei niedrigem Pegel länger als 18 Sekunden präsent. Ein Modensplitting lässt z.B. bei Teilton Nr. 2 die gut erkennbare

Wellenform im Zwei-Sekunden-Takt (Fig. 33) vermuten. Allerdings fehlt die dafür notwendige Zuordnung zu einer oder mehreren antimetrischen Schwingungsformen. Die Teiltöne Nr. 4 und Nr. 5 lassen nach der Frequenzdifferenz der Einzelschwingungen Schwebungen mit 4 Hz entstehen und sind noch nach 15 Sekunden präsent. Des weiteren entstehen viele Schwebungen unterschiedlicher Frequenz und Intensität, die aber durch das dichte, sich ändernde (pumpende) Spektrum überlagert und verdeckt werden.

Nr.	Frequenz in Hz	musikalische Bezeichnung	Pegel mit willkürlicher Referenz
1	75	Des -34	-16.87
2	300	d1 +37	-10.82
3	875	a2 -10	-17.09
4	975	ais2 +8	-11.44
5	1200	d3 +37	-13.26
6	1350	e3 +41	-14.16
7	1575	g3 +8	-11.06
8	1750	a3 -10	-14.43
9	2100	c4 +6	-15.79
10	2425	es4 -45	-14.76

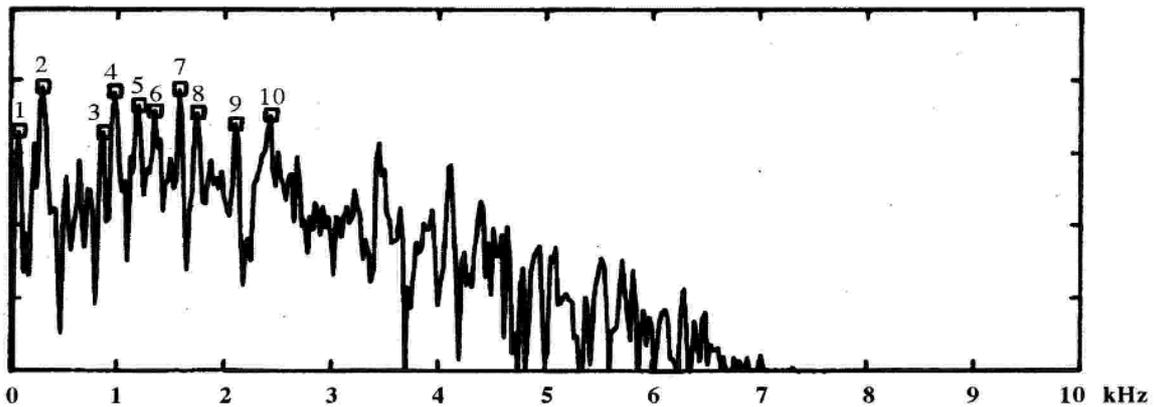
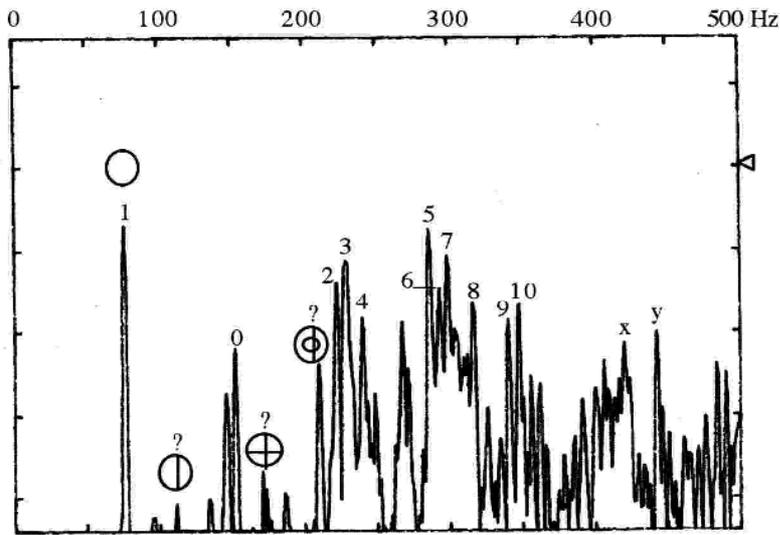


Fig. 31. Spektrum PAISTE-Tamam AV.72 starker Anschlag, Bandbreite 0-10 kHz.



Nr.	Frequenz in Hz	musikal. Bez.	Pegel mit willkürlicher Referenz
1	76.25	Es -34	-16.88
2	222.50	a1 +20	-23.90
3	228.75	b -38	-21.29
4	240.00	h -49	-28.11
5	288.25	d1 -33	-17.47
6	293.75	d1 +1	-24.56
7	298.75	d1 +30	-20.58
8	316.25	dis1 +28	-26.37
9	341.25	f1 -45	-28.57
10	348.75	f1 -2	-26.69

Fig. 32. Spektrum PAISTE-Tamam AV.72; Bandbreite 0 - 500 Hz.

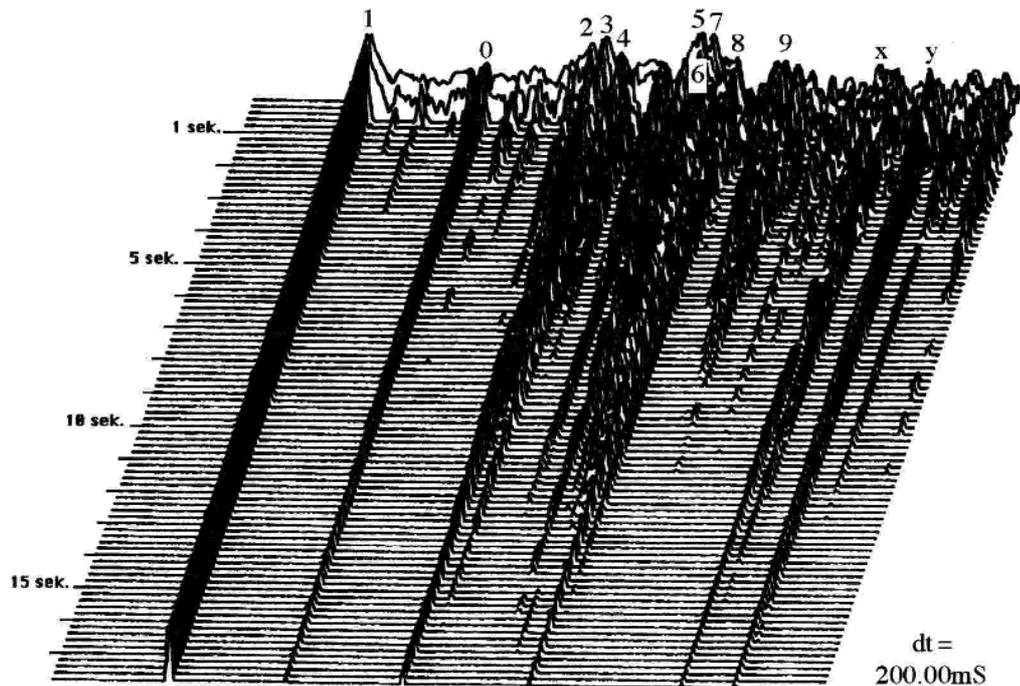


Fig. 33. Wasserfalldiagramm als Funktion der Zeit: PAISTE-Tamtam AV.72 starker Anschlag, Bandbreite 0-500 Hz, Dauer 18 Sekunden.

In einem von der Firma PAISTE herausgegebenen Prospekt mit 10 Wasserfalldiagrammen der Gongtypen aus der Serie *Planet Gongs* und *Sound Creation* zeigen alle trotz unterschiedlicher Oberflächengestaltung und damit zusammenhängenden verschiedenen Teiltonspektren die charakteristische Hervorhebung des I. Teiltönen, d.h. des 01-Mode. Die Voraussetzung dafür ist in erster Linie dem leicht umgebogenen Rand zu verdanken. Zur Bildung weiterer Eigenschwingungen mit teilweise *harmonischen* Verhältnissen sowie vor allem dem Energietransfer in hohe Frequenzbereiche, die bis weit über der oberen Hörgrenze Schall abstrahlen¹² dürfte auf den unter hoher Spannung stehenden Übergangsbereich der leicht erhobenen gearbeiteten Platte zurückzuführen sein. Die Hüllkurve füllte nicht das gesamte mögliche Spektrum aus (Fig. 31), da die Energie eines einzigen Schlages offensichtlich nicht ausreichte, um alle Eigenschwingungen bis in diese Randbereiche anzuregen. Ein Orchester-Tamtam entfaltet sein reiches Klangspektrum erst nach 1-2 Sekunden.¹³ Große Tamtam aus Bronze (über 80 cm Durchmesser) brauchen für den Klंगाufbau noch länger, was ihre majestätisch-kraftvolle Wirkung erhöht, ihren präzisen rhythmischen Einsatz im Orchester jedoch nur auf entsprechende Effekte reduziert. Dieses „Aufrauschen“ wird auch in leisem Einsatz angestrebt. Da sich diese Eigenschwingungen außerhalb der Mitte aufbauen, muß die Platte auch leicht außermittig angeschlagen werden (ungefähr 1/3 Radius).¹⁴ Die rotationssymmetrischen spielen neben den antimetrischen Schwingungsformen eine untergeordnete Rolle, weshalb man die hohen Frequenzen zunächst auch ohne die tiefen Teiltöne anregen kann, wenn man noch weiter weg von der Tamtammitte anschlägt.

¹² Z. B. das 62-cm-Tamtam der italienischen Firma UFIP aus Pistoia, das bei wiederholtem starkem Anschlagen kurzfristig Frequenzen bis 50 kHz abstrahlte; Oehlmann 1992:243.

¹³ Ebenso Twork 1997:8-1.

¹⁴ Dies verhält sich gegensätzlich zur Pauke, wo der Anschlag bei halbem Radius zur Bildung der tonhöhenbestimmenden Moden führt (vgl. Kap. 2.4.2, 2.4.3).

4.2.3. Bronzekesseltrommel (\varnothing 47cm), *hpasi*, Birma (MIM 64-1)

Instrumente mit fest eingespannter Membran und beschwertem Membranzentrum haben ein teiltonarmes Spektrum. Auf diese Eigenschaften trifft man auch bei den aus einem Guß gefertigten sogenannten *Bronzetrommeln* (richtiger: Bronze-Flachkesselgongs). Bronzetrommeln ähneln in ihrer Form ihren Vorbildern aus Haut und Holzzylinder, nähern sich klanglich jedoch den Buckelgongs an: der tiefe Rand wirkt analog zum Trommelkorpus und die zentrale Membranbeschwerung durch Stimmpaste bei den Felltrommeln ist hier als dickwandiger Stern ein integraler Bestandteil der Schlagplatte. Sie bilden somit ein echtes Zwischenglied in der Verbindung von Felltrommel und Buckelgong.¹⁵ Ein Blick auf die konzentrischen Kreisgruppierungen der angegossenen Verzierungen auf der Schlagplatte der Heger-Typus-I-Bronzetrommeln lässt zunächst ein zu den Buckelgongs unterschiedliches Klangverhalten vermuten. Tatsächlich werden die Bronzetrommeln auch außermittig im mittleren Randbereich (1/2-Radius), also ähnlich einem Tamtam angeschlagen, wie es im Spiel bei den Karen in Birma und Thailand vorkommt. Daher werden nachstehend zwei Anschläge gesondert betrachtet: einer auf die Plattenmitte (4.2.3.1) und einer auf den halben Plattenradius (4.2.3.2).

4.2.3.1. Anschlag auf die Plattenmitte

a) Spektrum (Fig. 34)

Im Spektrum bis 500 Hz wird ein klares 1:2-Verhältnis des I. und II. Teiltons von den Teiltönen Nr. 1 und Nr. 3 respektive dargestellt.

Nr.	Frequenz in Hz	musikal. Bezeichnung	Pegel mit willkürlicher Referenz
1	66,2	C +20	-8,20
2	110,0	A \pm 0	-38,97
3	132,5	c + 22	-2,18
4	140,0	cis +18	-45,79
5	152,5	es -34	-40,59
6	198,8	g +25	-42,17
7	218,8	a -26	-22,04
8	285,0	cis1 +48	-31,26
9	-		
10	432,5	a1 -30	-35,89
11	437,5	a1 -10	-38,96

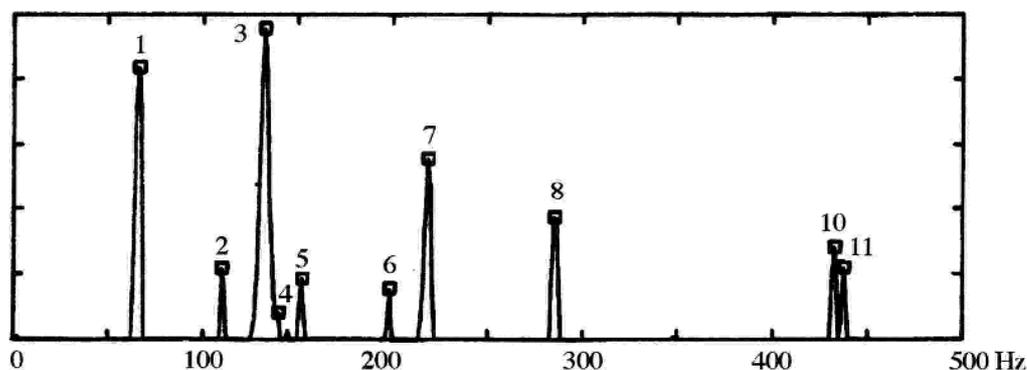


Fig. 34. Spektrum der Bronzetrommel MIM 64-1 bei starkem Anschlag auf den zentralen Stern, Bandbreite 0 - 500 Hz.

15 Was nicht als lineare Entwicklung in historischer Hinsicht missverstanden werden darf; s. Varsányi 2000-I: Kap. 3.3.6. Schlagbuckel und Bronzetrommeln.

Weitere „harmonische Intervalle“ ergeben Teilton Nr. 3 mit Nr. 7 (eine sehr „kleine Sext“, 1,65) sowie Teilton Nr. 7 mit Nr. 8 (sehr kleine „Quarte“, 1,3). Wenn auch im niedrigen Pegelbereich, so ist doch die Bildung von „Oktav“ und „Doppeloktav“ zum musikalischen Ton „A“ durch die Teiltöne Nr. 3, Nr. 8 und Nr. 12 bemerkenswert.

b) Zeit-Pegel-Diagramm (Fig. 35)

Das Wasserfalldiagramm bestätigt die höhere zeitliche Konstanz des I. Teiltons durch den Pegelverlauf von Teilton Nr. 1 gegenüber Teilton Nr. 3. Dies ist auch bei Gongs mit umgebogenem Rand typisch und bestätigt die Eigenschwingung von Teilton Nr. 1 als 01-Mode. Der anfangs höhere Pegel von Teilton Nr. 3 (II. Teilton) dürfte für die Tonhöhenempfindung wichtig sein. Die Teiltöne Nr. 10 und 11 sind aufgrund des kurzen Auftauchens von nur etwa einer halben Sekunde einer kurzfristigen Energiekopplung zuzurechnen. Sie tauchen beim Randanschlag (s.u. 4.2.3.2) in erheblich klangwirksamere Position auf. Der oben im Spektrum (Fig. 34) erfasste Teilton Nr. 4. könnte aus einem Modensplitting entstanden sein, wird aber offensichtlich nicht wirksam. Dagegen ist bei Teilton Nr. 7 sowie in noch kürzerem Bereich bei Teilton Nr. 8 bei einer relativen Ausklingdauer von 2 bzw. 1,5 Sekunden durchaus mit einer klanglichen Relevanz zu rechnen.

c) Schwebungen

Die Teiltöne Nr. 10 und 11 könnten rein rechnerisch eine Schwebung mit einer Frequenz von 5 Hz bewirken und Teilton Nr. 3 mit Nr. 4 eine Schwebung von ca. 7 Hz. Sie wären damit im Bereich der „angenehm empfundenen“ Pegelschwankungen, haben jedoch wegen ihrer großen Pegelunterschiede, wie erwähnt, wohl wenig Auswirkungen auf die Hörempfindung. Insgesamt fällt auf, daß keine nennenswerte Schwebung aus dem Schallsignal erkennbar ist.

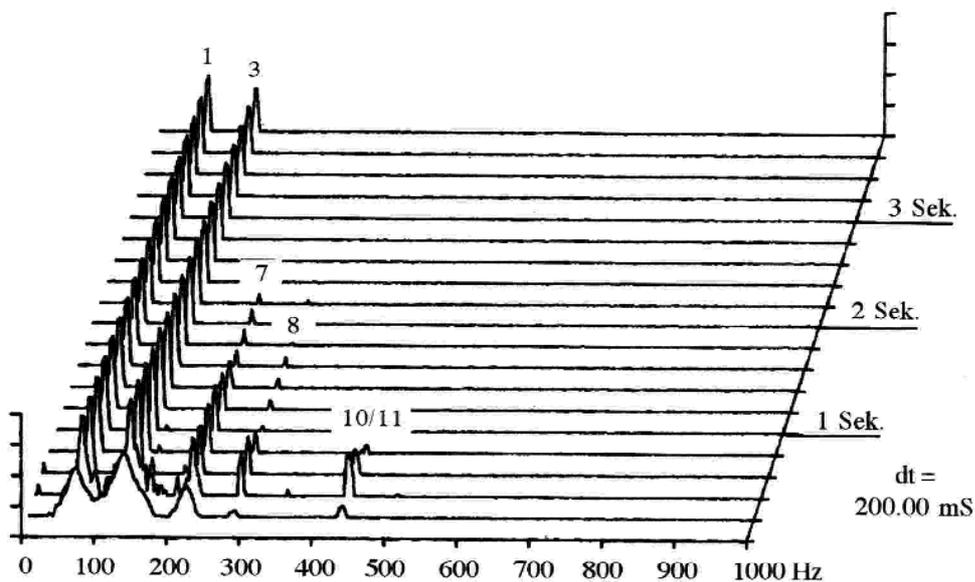


Fig. 35. Wasserfalldiagramm der Bronzetrommel MIM 64-1 bei starkem Anschlag auf den zentralen Stern, Bandbreite 0 - 1 kHz.

4.2.3.2. Anschlag im halben Plattenradius

a) Spektrum (Fig. 36)

Das Spektrum eines Anschlages im halben Plattenradius unterscheidet sich bei dem Instrument MIM 64-1 in mehreren Aspekten vom Anschlag in der Mitte (Fig. 34). Zunächst ist zu bemerken, daß sich fünf Teiltöne (Nr. 1, 4, 8, 9 und 11) ihrem Pegel nach deutlich von den anderen Teiltönen absetzen. Sie stehen untereinander in harmonischer Beziehung und ergeben Intervallverhältnisse von Oktave, „Sexte“, „großer Terz“ und „Quinte“ (in den Verhältnissen 1,96-1,66-1,29-1,5). Zu den Oktaven der Teiltöne Nr. 3, 7 und 11 (110-220-440 Hz) gesellt sich nun ein weiterer „Oktavton“ (Teilton „x“; der kleine Peak bei ca. 880 Hz). Die Frequenzen dieser Teiltöne sind zwar für einen westlichen Musiker auffällig, doch haben sie nichts mit dem „Kammerton“ zu tun.¹⁶ Desweiteren entstehen eine Reihe neuer Teiltöne, die sich besonders um 100-200 Hz, 400-440 Hz sowie ca. 550 Hz, also etwa um die Teiltöne Nr. 3, 10 und 12 versammeln, alle jedoch ca. 20 dB unterhalb der Pegel der genannten Teiltöne liegen. Die um 1,25 Hz höhere Darstellung von Teilton Nr. 1 ist auf die unterschiedliche Auflösung zurückzuführen. Geht man bei Teilton Nr. 10/11 davon aus, daß hier ein 1:2-Verhältnis zum Teilton Nr. 8 besteht, dann wäre Teilton Nr. 11 als die eigentliche Frequenz der Eigenschwingung anzusehen und Teilton Nr. 10 möglicherweise das Resultat eines Modensplittings. Es ist anzunehmen, daß durch einen solchen Randanschlag besonders die antimetrischen Eigenschwingungen angeregt werden, deren klangliche Zusammensetzung mehr dem einer Pauke als dem eines *gong* ähnelt.

Nr.	Frequenz in Hz	musikal. Bezeichnung	Pegel mit willkürlicher Referenz
1	67,5	Des -45	-11,80
2	110,0	A ±0	-29,79
3	132,5	c +22	-8,10
4	-	-	-
5	152,5	es -34	-30,32
6	-	-	-
7	220,0	a ±0	-10,92
8	285,0	cis1 +48	-17,29
9	407,5	as1 -33	-33,01
10	432,5	a1 -30	-7,47
11	440,0	a1 ±0	-17,92
12	550,0	des2 -14	-31,14

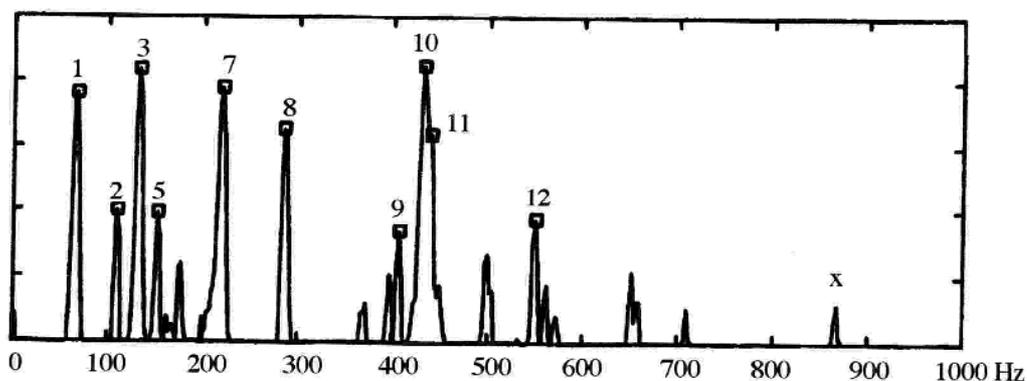


Fig. 36. Spektrum der Bronzetrommel MIM 64-1 bei mittelstarkem Anschlag auf halben Plattenradius, Bandbreite 0 - 1 kHz.

¹⁶ Was allerdings nicht ausschließt, daß der damalige westliche Sammler dies als ein Kriterium für den Erwerb erachtet hat.

b) Zeit-Pegel-Diagramm (Fig. 37)

Nach dem Wasserfalldiagramm des Randschlages sind die im Spektrum festgestellten prominenten Teiltöne Nr. 1, 3, 7, 8 und 10/11 ca. 1,5 Sekunden aktiv und somit vermutlich auch klangbeherrschend. Wie erwartet bleiben die Teiltöne Nr. 1 und Nr. 3 (I. und II. Teilton) länger als 4 Sekunden präsent.

c) Schwebungen

Wenn es, wie unter b) erwähnt, zutrifft, daß im Spektrum Fig. 36 der Teilton Nr. 11 die „Hauptfrequenz“ ist und Teilton Nr. 1 sich als ein *splitting mode* definiert, dann führt er mit Teilton Nr. 10 zu Schwebungen mit ca. 7.5 Hz. Da dessen Pegel allerdings sehr niedrig ist, dürfte die Schwankung nicht besonders stark ausgeprägt sein. Ob sie dennoch vom Gehör registriert werden kann, müsste noch untersucht werden.

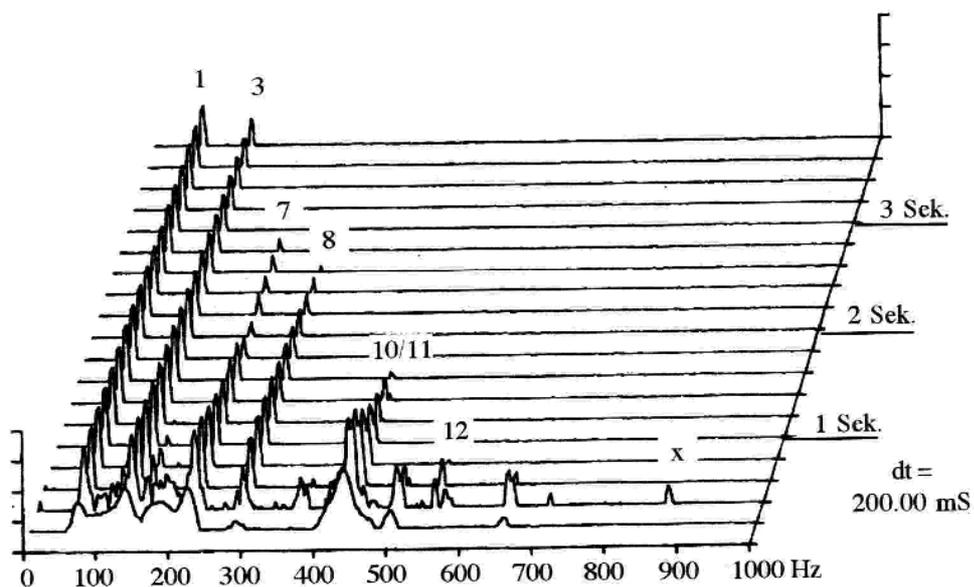


Fig. 37. Wasserfalldiagramm *hpasi* MIM 64-1 bei mittelstarkem Anschlag auf halben Plattenradius; Bandbreite 0 - 1 kHz, Dauer 4 Sekunden.

Zusammenfassend lässt sich aus diesen Betrachtungen sagen, daß bei der Bronzetrommel MIM 64-1 neben dem I. und II. Teilton eine weitere Klangsicht dominant erscheint, die in einem „Sext“-Verhältnis (1,66) zum Grundton steht. Durch die mehrfachen Oktavverdoppelungen wirkt auch die „Terz“ als klanglicher Faktor. Die Relevanz der Hörempfindung der erfassten Teiltöne muß noch nachgewiesen werden. Bei außermittigem Anschlag verschiebt sich der Pegel des Grundtons (Ton C) zugunsten der erwähnten zweiten Klangsicht (Ton A). Dieses Verhältnis von überlagerten „Terz-“ und „Sext-Intervallen“ bei annähernd schwebungslosem Klang gibt diesem Instrument seinen besonderen musikalischen Reiz, unterscheidet es aber zugleich vom Klang der javanischen Buckelgongs.

4.2.4. Buckelgong mit umgeknicktem hohen Rand (ø 48cm): *agung*, Malaysia (MIM 61-11)

Dieser Typus des vertikal hängenden Buckelgong zeichnet sich durch seinen hohen, hinten sich konisch verjüngenden Rand aus. Der Durchmesser bewegt sich um die 50-60 cm, womit er sich als ein mittelgroßer Buckelgong definiert. Das Verbreitungsgebiet dieses Typus ist die Halbinsel Malaysia sowie die Inseln Borneo und Mindanao. Die gedrungene Kesselform und kompakte Bauweise begünstigen den Einsatz im außermusikalischen rituellen Kontext (z. B. als Behälter der Gebeine der verstorbenen Ahnen). Seine Bezeichnung ist meist *agung* (groß), *ogung* usw. während er auf Java in wenigen archaischen Gamelanformen mit *penontong* (onomatopoetisch) bezeichnet wird. Vermutlich gehörte dieser Typus zum Hauptexportgut javanischer *gong*-Schmiede (Gresik und Semarang) bis zum Beginn des 20. Jahrhunderts (vgl. Varsányi 2000-I, Kap. 3).

Nr.	Frequenz in Hz	musikal. Bezeichnung	Pegel mit willkürlicher Referenz
1	123,75	H+4	-13,15
2	186,25	fis +12	-48,37
3	-		
4	248,75	h +13	-15,79
5	255,00	c1 -44	-43,41
6	258,75	c1 -18	-44,52
7	285,00	cis1 +38	-43,81
8	-		
9	-		
10	321,25	e1 -45	-47,14

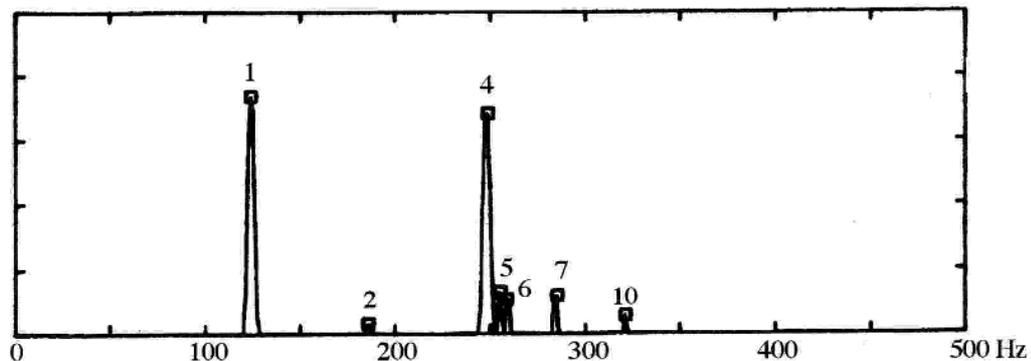


Fig. 38. Spektrum *agung* (MIM 61-11) schwacher Anschlag; Bandbreite 0 - 500 Hz.

a) Spektrum (Fig. 38, 39)

Der I. und II. Teilton werden bei einem schwachen Anschlag (Fig. 38) mit einer etwas großen Oktave von den Teiltönen Nr. 1 und Nr. 4 repräsentiert. Daraus resultiert für dieses Instrument die musikalische Tonhöhe „h“. Für die Hörwahrnehmung verschwindend gering, aber durch Teilton Nr. 2 gerade noch dargestellt, ist die „Quint“, woraus sich in der tiefen Oktavlage ein harmonisches Bild der Eigenschwingungen ergibt. Dieser Teilton Nr. 2 tendiert mit Teilton Nr. 7 ebenfalls ein harmonisches Verhältnis (1,5) anzustreben. Die anderen Teiltöne werden zunächst wegen der geringen Anschlagenergie kaum angeregt. Ein stärkerer Anschlag (Fig. 39) bringt für das Klangbild in Bezug auf die Frequenzen des I. und II. Teiltons (Teilton Nr. 1 und Nr. 4) nichts wesentlich Neues. Der II. Teilton

wird nun in der Frequenz von seinem Wert bei schwachem Anschlag (Fig. 38) um 1,25 Hz tiefer dargestellt, bei konstantem Wert des I. Teiltones, woraus ein „perfektes“ 1:2-Verhältnis resultiert. Offensichtlich liegt diese Frequenz an einem Grenzpunkt der eingestellten Bandbreite. Konnte bei schwachem Anschlag die Gruppierung um den II. Teilton bei 250 Hz (Fig. 38 Nr. 5 und 6) noch als Einzelfrequenzen bei niedrigem Pegel differenziert werden, werden sie nun als ein „verbreiteter Zapfen“ dargestellt (Fig. 39, Nr. 5), wobei Teilton Nr. 6 offensichtlich näher an Teilton Nr. 5 herangerückt ist und nicht mehr eigens erfasst wurde. Der Teilton Nr. 7 weist in Fig. 39 bemerkenswerte Veränderungen im Gegensatz zum schwachen Anschlag (Fig. 38) auf. Er rückt hier in seinem Pegel um 10 dB näher an den II. Teilton und wird möglicherweise auch klanglich wirksam. Mit seinen umgerechnet 236 Cent Intervallabstand zum II. Teilton stellt er in diesem Fall als „übergroße Sekunde“ eine *harmonische Trübung* dar. Analog zum II. Teilton wird er um 1,25 Hz tiefer dargestellt. Auch der Teilton Nr. 10, der beim schwachen Anschlag (Fig. 38) mit seinem niedrigen Pegel gerade noch erkennbar war, tritt nun stärker in Erscheinung. Dabei werden weitere Teiltöne (Nr. 9 und Nr. 11) differenziert.

Nr.	Frequenz in Hz	musikal. Bezeichnung	Pegel mit willkürlicher Referenz
1	123,75	H +4	-9,72
2	186,25	fis +12	-46,58
3	197,50	g +13	-45,32
4	247,50	h +4	-9,29
5	256,25	cl -36	-33,44
6	-	-	-
7	283,75	cis1 +41	-29,70
8	290,00	d -21	-46,73
9	317,50	dis1 +25	-45,09
10	321,50	e1 -43	-36,78
11	326,50	e1 -16	-41,58

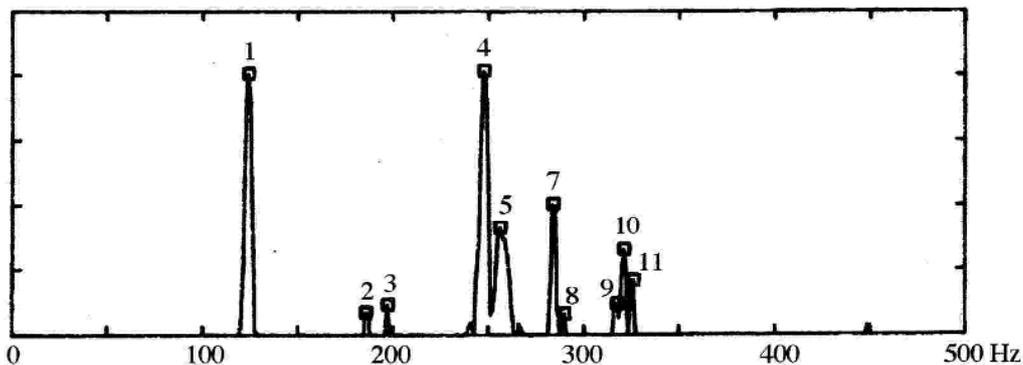


Fig. 39. Spektrum *agung* (MIM 61-11) starker Anschlag, Bandbreite 0 - 500 Hz.

b) Zeit-Pegel-Diagramm (Fig. 40)

Im Wasserfalldiagramm verschwinden die Teiltöne Nr. 9, 10 und 11 bereits nach 0,4 Sekunden, was sie somit zum hellklingenden Anschlaggeräusch zählen lässt. Der II. Teilton (Nr. 4) tritt zwar in seinem Pegel anfänglich für eine halbe Sekunde stärker hervor als der I. Teilton (Nr. 1), verschwindet jedoch bereits nach zwei Sekunden aus dem Diagramm. Der Pegel des I. Teiltons hält sich mit langsam abnehmendem Pegel für mehr als drei Sekunden im Spektrum. Bei einem starken Anschlag (Fig. 41) zeigt Teilton Nr. 7 fast die gleiche Ausklingdauer von 1,8 Sekunden wie der II. Teilton (Nr. 4).

Es werden somit für das Hörbild im zeitlichen Verlauf zwei Klangsichten in „harmonischem“ Verhältnis wirksam.

c) Schwebungen

Die nahe beieinanderliegenden Teiltöne Nr. 4 und Nr. 5 weisen eine Frequenzdifferenz von 60 Cent auf (Fig. 39). Daraus errechnet sich eine Schwebung mit einer Frequenz von ca. 8 Hz und führt wahrscheinlich trotz 25 dB unterschiedlichem Pegel zu den wahrnehmbaren Pegelschwankungen des II. Teiltones. Die Schwebungen aus der Frequenzdifferenz der Teiltöne Nr. 9, 10 und 11 mit 4 Hz bzw. 5 Hz dürften wegen ihres niedrigen Pegels verdeckt und in der Hörwahrnehmung kaum registriert werden.

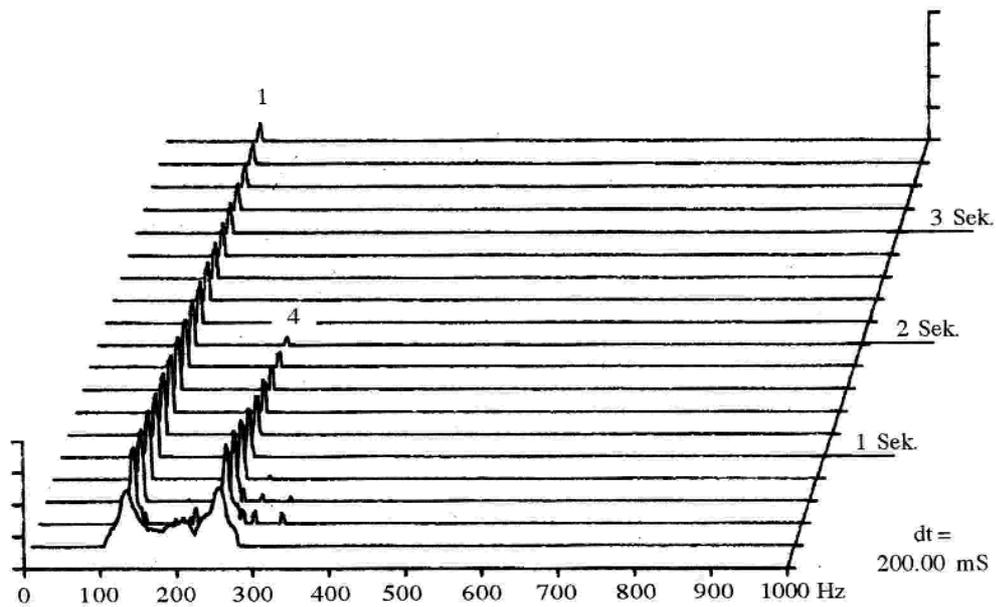


Fig. 40. Wasserfalldiagramm *agung* (MIM 61-11); Bandbreite 0 - 1 kHz, Dauer 4 Sekunden.

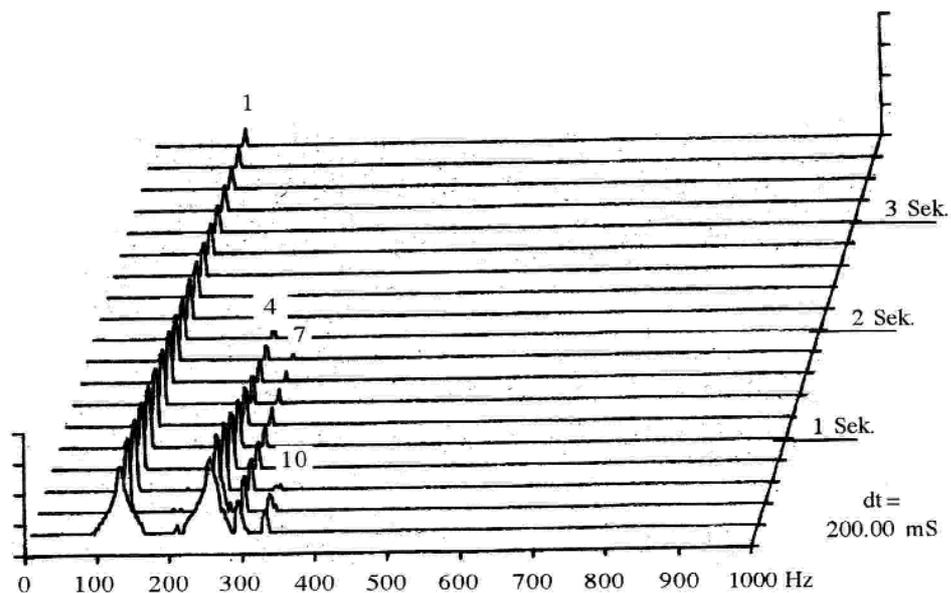


Fig. 41. Wasserfalldiagramm *agung* (MIM 61-11) starker Anschlag; Bandbreite 0 - 1 kHz, Dauer 4 Sekunden.

Das Auftreten neuer Teiltöne bei einem starken Anschlag des Buckelgong MIM 61-11 ist durch die unterschiedlichen Biegespannungen an der Gongoberfläche zurückzuführen. Die kurze Nachklingzeit des II. Teiltones unterstützt - z. B. in kleinen Ensemble-Gruppierungen - ein Spiel mit schnell wechselnden Tönen. Für den schnell abnehmenden Pegel des II. Teiltons (Teilton Nr. 4 in Fig. 40) ist neben der hohen Biegesteife mit der starken Verformung der *agung*-Oberfläche vermutlich auch eine höhere Wandungsstärke im Verhältnis zum Buckel verantwortlich. Offensichtlich wird dies bei der Herstellung bewußt angestrebt, da in manchen Kulturen, in die dieser Typus exportiert wurde, auch der Bereich *neben* dem Buckel angeschlagen wird.¹⁷ Insofern ergibt sich eine spieltechnische Parallele zu den Bronzetrommeln. Andererseits ist bei einem Spiel auf der Gongoberfläche auch mit Deformationen und demzufolge auch Veränderung des Teiltonspektrums zu rechnen, weshalb diese Betrachtungen nur als eine Momentaufnahme des Gongklanges in seinem jetzigen Zustand anzusehen sind.

17 Z. B. in Mindanao, Philippinen; Maceda 1984:33.

4.2.5. Buckelgong mit umgeknicktem Rand (ø 54 cm): *kempur*, Bali (CB.95)

Mittelgroße vertikal hängende Buckelgongs mit einer Randversenkung („Randrinne“) der Oberplatte und umgeknicktem Rand werden, soweit sie ihre klanglichen Voraussetzungen erfüllen, auf Java mit *kempul* und auf Bali mit *kempur* bezeichnet. Ihr Durchmesser variiert zwischen 45 bis 55 cm. Die javanischen und balinesischen Typen unterscheiden sich neben ihren baulichen Merkmalen, wie der Gestaltung der Wandungsdicke oder des Randes, besonders in ihrem Klang: javanische *kempul* sind auf Tonhöhe und schwebungslos gestimmt, während balinesische *kempur* fünf bis acht Schwebungsschläge haben (s. o. Fig. 11). An dem balinesischen *kempur* CB.95 konnten einige Versuche unternommen werden, um die Veränderungen im Spektrum zu beobachten, wenn die Eigenschwingungen der Oberfläche manipuliert werden. Dies geschah einerseits durch Anbringen von Masse in Form von feuchtem Lehm (4.2.5.2) andererseits durch Hämmern an verschiedenen Stellen der *kempur*-Oberfläche bei Auflage auf eine Unterlage oder Amboss (4.2.5.3 und 4.2.5.4). Diese Vorgehensweise ist bei den javanischen und balinesischen *gong*-Stimmern üblich.¹⁸

4.2.5.1. Mittelstarker Anschlag

a) Spektrum (Fig. 42)

Bei einem mittelstarken Anschlag des *kempur* CB.95 zeigen der I. und II. Teilton, repräsentiert durch die Teiltöne Nr. 1 und Nr. 6, das erwartete 1:2-Verhältnis.¹⁹ Der I. Teilton (Nr. 1) findet in Teilton Nr. 4 seine „Quinte“ (1,5), ebenso, wie der II. Teilton (Nr. 6) mit Teilton Nr. 11. Folgerichtig stehen auch Teilton Nr. 4 mit Teilton Nr. 11 in einem 1:2-Verhältnis. Der nahe beim II. Teilton liegende Teilton Nr. 7 gehört zu einer anderen weil vermutlich antimetrischen Schwingungsform.

b) Zeit-Pegel-Diagramm (Fig. 43)

Der musikalische Einsatzzeitraum der balinesischen *kempur* beträgt im kürzesten Falle ca. 0,5 s (Prozessionsmusik, Tanzbegleitung). Der Klang soll sich schnell entfalten und nicht lange anhalten. Demzufolge ist es angemessen, die Entwicklung der Teiltöne besonders im Zeitraum der ersten Sekunden nach einem Anschlag zu beobachten, da ihr Klang auch daraufhin abgestimmt wird. Für den Höreindruck vermutlich nicht relevant, vom Diagramm her jedoch auffallend, ist eine über den gesamten Aufzeichnungszeitraum hinweg immer wieder auftauchende und verschwindende kleine Spitze einer Eigenschwingung bei ca. 340 Hz links neben dem Teilton Nr. 11. Die Herkunft dieser Frequenz mit seinen Pegelschwankungen und eventueller Kopplung mit anderen Teiltönen muß noch geklärt werden. Wie zu erwarten, hat der I. Teilton (Nr. 1) einen konstant hohen Pegel, wogegen der Pegel des II. Teiltöns (Nr. 6) langsam (in 9 Sekunden) auf etwa ein Drittel des Pegelwertes vom Teilton I sinkt.

c) Schwebung

Teilton Nr. 7 liegt nahe beim II. Teilton (Nr. 6) und hat nur eine Differenz von 5 Hz, was der hörbaren und klangdominanten Schwebungsfrequenz dieses Instrumentes entspricht. Im Wasserfalldia-

¹⁸ Vgl. Varsányi 2000-I: Kap. 1.3.4. Stimmen.

¹⁹ Von diesen FFT-Untersuchungen liegen leider keine numerischen Angaben vor. Die in Fig. 42 angegebenen und darauf bezogene Werte wurden nur aus den folgenden Graphiken gewonnen, weshalb sie nur eine Annäherung darstellen.

gramm (Fig. 43) ist die Wellenform über den gesamten Aufzeichnungszeitraum erkennbar. Auch bei den Teiltönen Nr. 3, 4, 5, und Nr. „x“ sind Pegelschwankungen zu erkennen, deren Wahrnehmungswert jedoch marginal und außerdem verdeckt sein dürfte. Auffallend ist die langsame Pegelschwankung von Teilton Nr. 11. In dem Zeitraum seiner „Lebensdauer“ von ca. 6 Sekunden zeichnen sich drei deutlich abgesetzte Wellenberge ab (besonders der erste), deren unregelmäßige zeitliche Dauer sich von ca. eins, cincinhalb und zwei Sekunden erweitert.

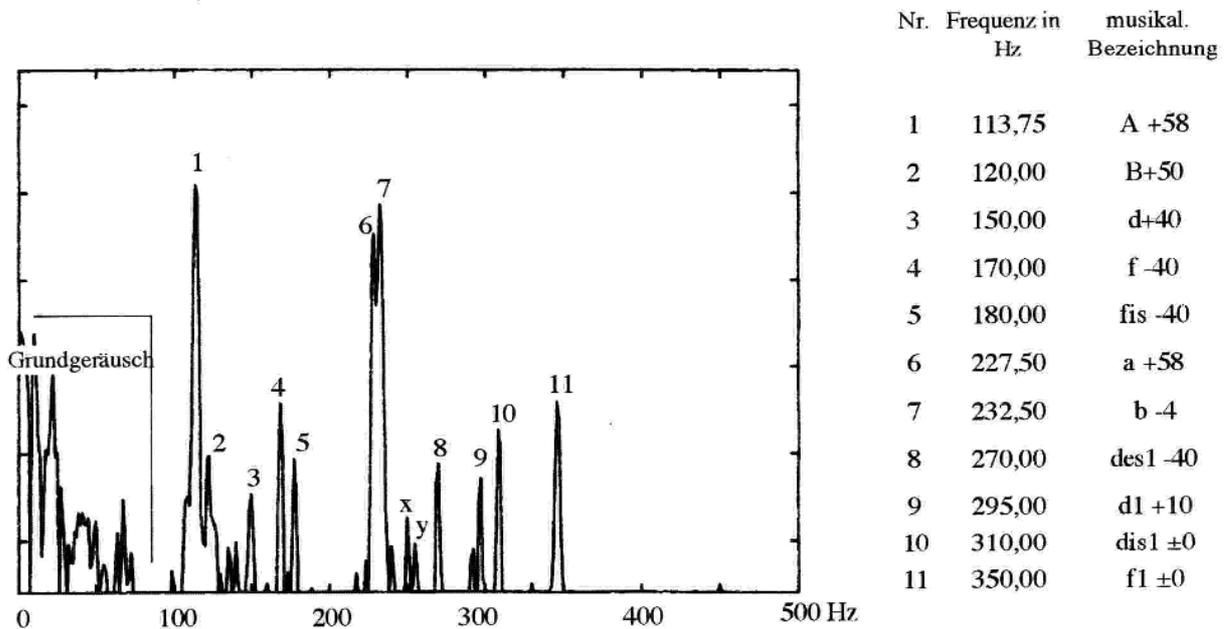


Fig. 42. Spektrum *kempur* (CB.95) mittelstarker Anschlag, Bandbreite 0 - 500 Hz (links), mit angenäherten Werten (rechts).

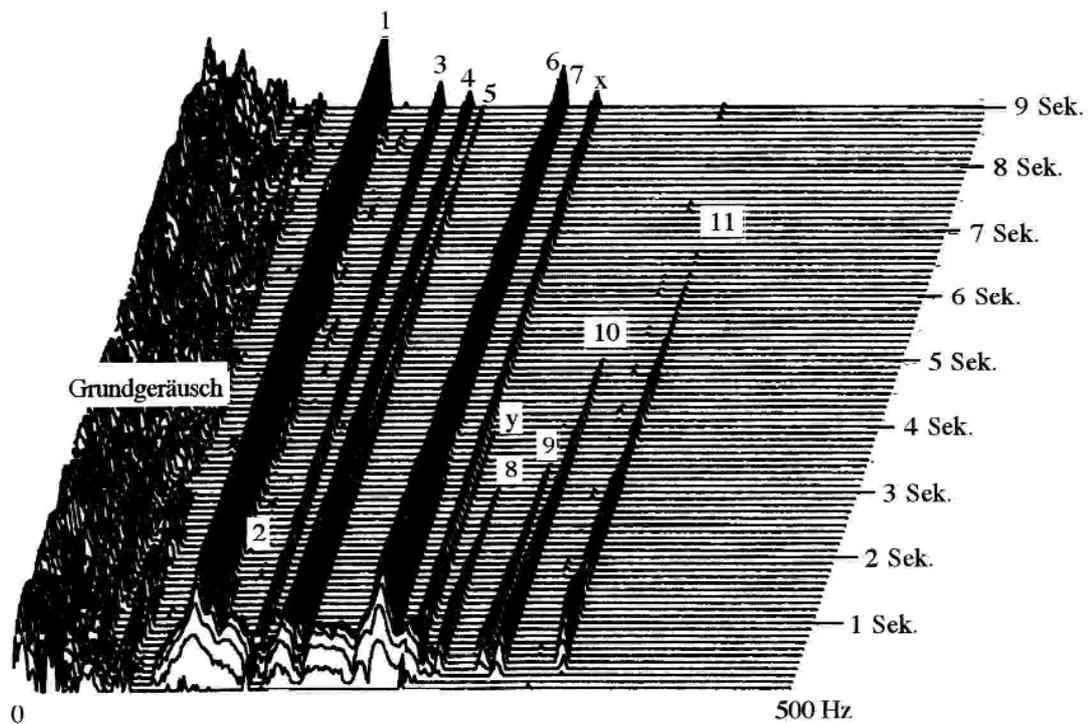


Fig. 43. Wasserfalldiagramm *kempur* (CB.95) mittelstarker Anschlag; Bandbreite 0 - 500 Hz, Dauer 9 Sekunden.

Zwar zeigt das Spektrum (Fig. 42) auch den Teilton Nr. 2 mit einer Frequenzdifferenz von ca. 7 Hz nahe zum I. Teilton (Nr. 1) liegend - im Wasserfalldiagramm schwer zu erkennen -, was ebenfalls zu Schwebungen im Erwartungsspielraum führen könnte, doch kann man bei dessen niedrigem Pegel davon ausgehen, daß diese Schwebung nicht bis in den Wahrnehmungsbereich reicht.

4.2.5.2. Klangveränderung durch Anbringen von Lehm im Schlagbuckel

Durch Vergrößern der Buckelmasse mit Lehm können die *gong*-Schmiede die klangbestimmenden Teiltöne I und II "herausfiltrieren" und anhand der Art der Veränderung die notwendigen Schritte zur Klangveränderung durch Hämmern erkennen.

a) Spektrum (Fig. 44.)

Eine Erhöhung der Masse des Buckels von *kempur CB.95* mit 100 g Lehm unterstützte die Pegel des I. Teiltönen (Nr. 1) sowie der Teiltöne Nr. 4, 5 und 8. Der II. Teilton trat etwas zurück. Ebenso wurden die anderen zuvor stärker präsenten Teiltöne mehr oder weniger ganz ausgefiltert. Offenbar führte die Masse des Lehmbatzens einen Verlust an Schwingungsenergie mit sich, die zum Erregen anderer Teiltöne nötig wäre.

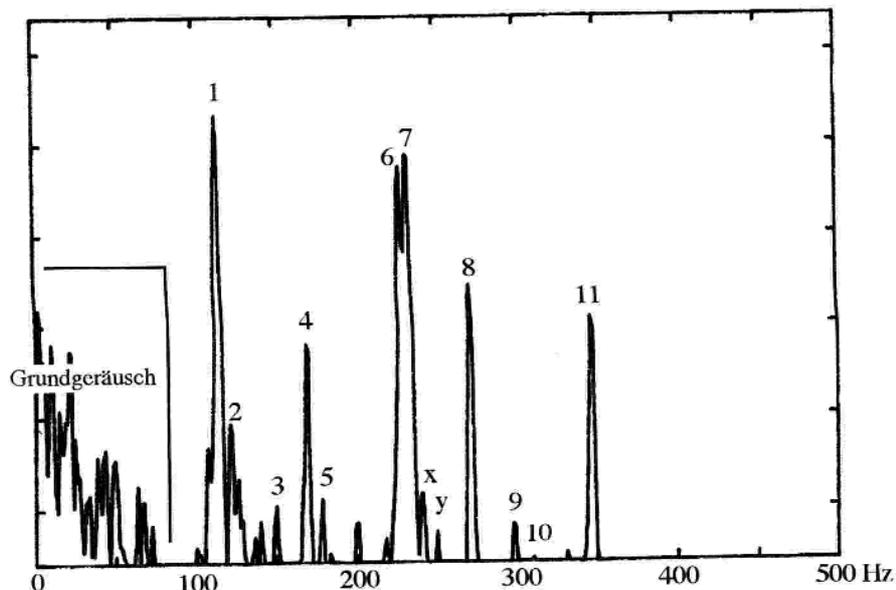


Fig. 44. Spektrum *kempur* (CB.95) mittelstarker Anschlag mit 100 g Lehm im Schlagbuckel; Bandbreite 0 - 500 Hz.

b) Zeit-Pegel-Diagramm (Fig. 45)

Im Wasserfalldiagramm fällt die schnelle Pegelabnahme der Modulationsfrequenz (Teilton Nr. 7) neben dem II. Teilton (Nr. 6) auf. Nur noch minimal registriert werden hier die Teiltöne Nr. 9 und Nr. 10. Dagegen erhöhte sich die Amplitude von Teilton Nr. 8 deutlich. Teilton Nr. 4 weist nun ein Modensplitting auf, während Teilton Nr. 5 nach dem Anschlag gänzlich verschwindet. Für den „grundtönigeren“ Höreindruck ist die Reduktion auf die akustisch wirksamen Teiltöne Nr. 1, 4, 6, 8 und 11 verantwortlich.

c) Schwebung

Die Schwebung des II. Teiltons ist hörbar auf ein Minimum zurückgegangen, was offensichtlich der schnelle Pegelabfall des Teiltons Nr. 7 dokumentiert. Die Pegelschwankung des Teiltons Nr. 11 scheint weniger ausgeprägt und in ihrer Schwankungsfrequenz schneller geworden zu sein.

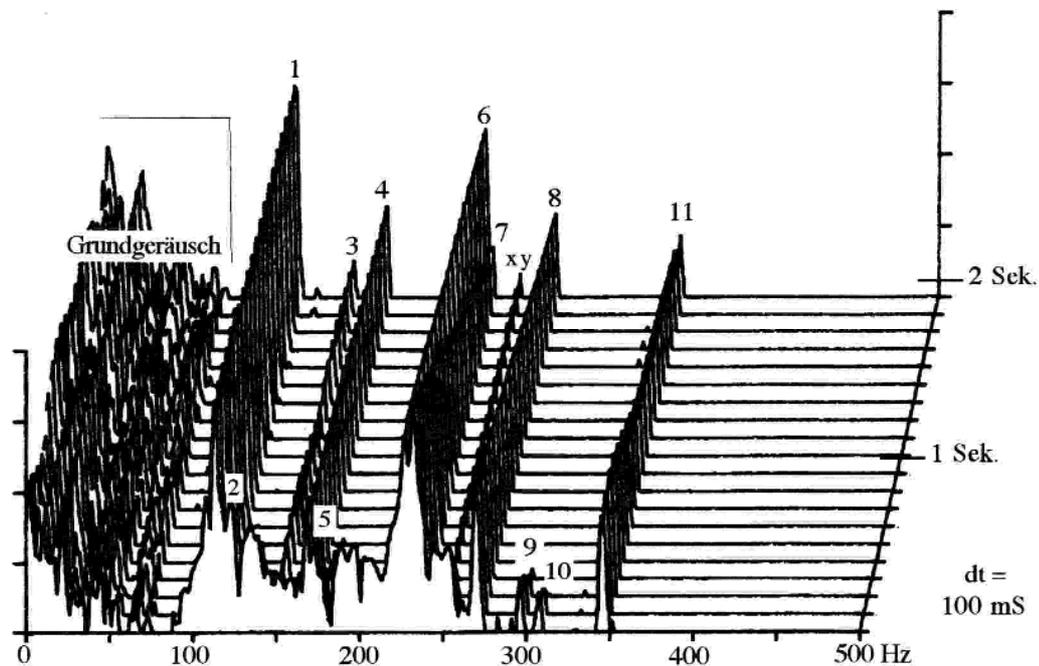


Fig. 45. Wasserfalldiagramm *kempur* (CB.95) Anschlag mit 100 g Lehm im Schlagbuckel; Bandbreite 0 - 500 Hz.

4.2.5.3. Klangveränderung durch *tindak*-Hämmern

Den Stimmprozess durch Hämmern von außen auf die *gong*-Oberfläche (*tikel*) rund um den Buckel, bezeichnen javanische *gong*-Stimmer mit *endhak* oder *tindak*.²⁰

a) Spektrum (Fig. 46)

Nach einem *tindak*-Hämmern des *kempur* CB.95 im Labor des Instituts für Mechanik verstärkten sich die Pegel des I. und II. Teiltons bei gleichzeitigem Absinken ihrer Frequenzen. Dies bewirkte allerdings auch eine Veränderung anderer Teiltöne und somit des gesamten Klangbildes. Wie die tiefe Gabelung zeigt, verstärkte sich die Differenz der Teiltöne Nr. 6 (II. Teilton) und Nr. 7 deutlich. Eine entscheidende Pegelveränderung wurde bei den Teiltönen Nr. 4, 8 und 11 registriert. Sie setzten sich nun deutlicher von den übrigen Teiltönen ab und näherten sich dem II. Teilton (Nr. 6) auf weniger als 20 dB Differenz. Mit entsprechender klangbildender Schallabstrahlung ließe sich das Spektrum zu einem Zusammenklang definieren, der mit den Frequenzen der Teiltöne Nr. 1, 4, 6, 8 und 11 eine „Intervallfolge“ von 702-498-302-440 Cent bildet. Dabei lassen musikalisch ausgedrückt die „perfekte Quinte“ und die beiden folgenden „großen und kleinen Terzen“ einen „harmonischen“ Akkord erkennen, den man mit entsprechender Toleranz als eine Art „a-Moll-Dreiklang“ bezeichnen könnte.

²⁰ Vgl. Varsányi 2000-I: Kap. 1.3.4 Stimmen.

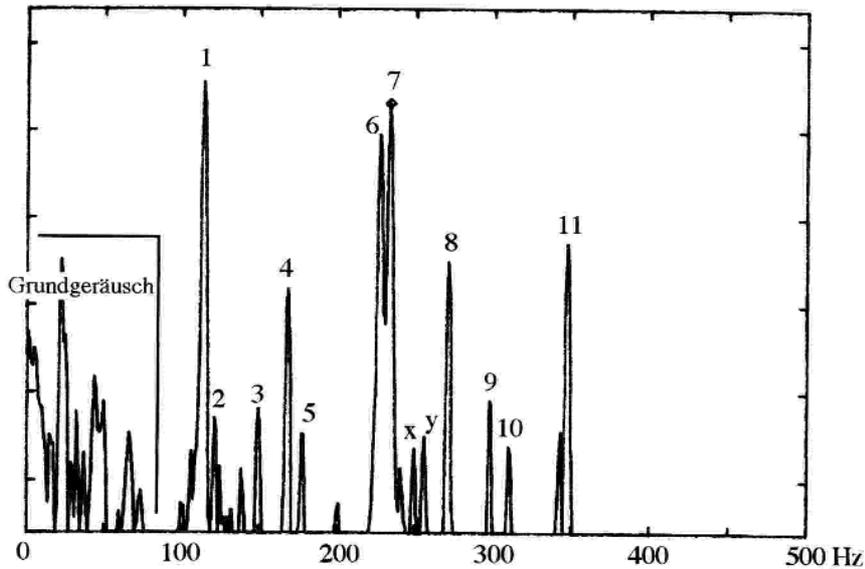


Fig. 46. Spektrum *kempur* (CB.95) nach einigen Hammerschlägen auf die Oberfläche (*mua*), Bandbreite 0 - 500 Hz.

b) Zeit-Pegel-Diagramm (Fig. 47)

Nach dem Wasserfalldiagramm schwingt der Pegel des Teiltöns Nr. 7 analog zum I. Teilton innerhalb ca. 0,4 Sekunden zu seinem Maximalwert ein, um sofort wieder in den Ausklingvorgang umzukippen. Die Abnahme des Pegels von Teilton Nr. 7 findet nun jedoch wesentlich langsamer statt als zuvor mit Lehm im Buckel. Der II. Teilton (Nr. 6) setzt mit niedrigem Pegel ein, bleibt dafür der Zeit nach konstant. Darin ähnelt dieses Klangbild allerdings dem des Anschlags vor dem Hämmern (Fig. 42). Besonders zu bemerken ist das Wiederauftauchen der Teiltöne Nr. 9 und Nr. 10 bei niedrigem aber nur langsam abfallenden Pegel. Eine entscheidende Veränderung ist jedoch bei Teilton Nr. 11 festzustellen, dessen Pegel sich etwa innerhalb einer halben Sekunde bis zum Wert von Teilton Nr. 7 aufbaut und dann anscheinend längere Zeit konstant bleibt. Hier fehlt leider eine der Zeit nach längere Darstellung des Pegelverlaufs.

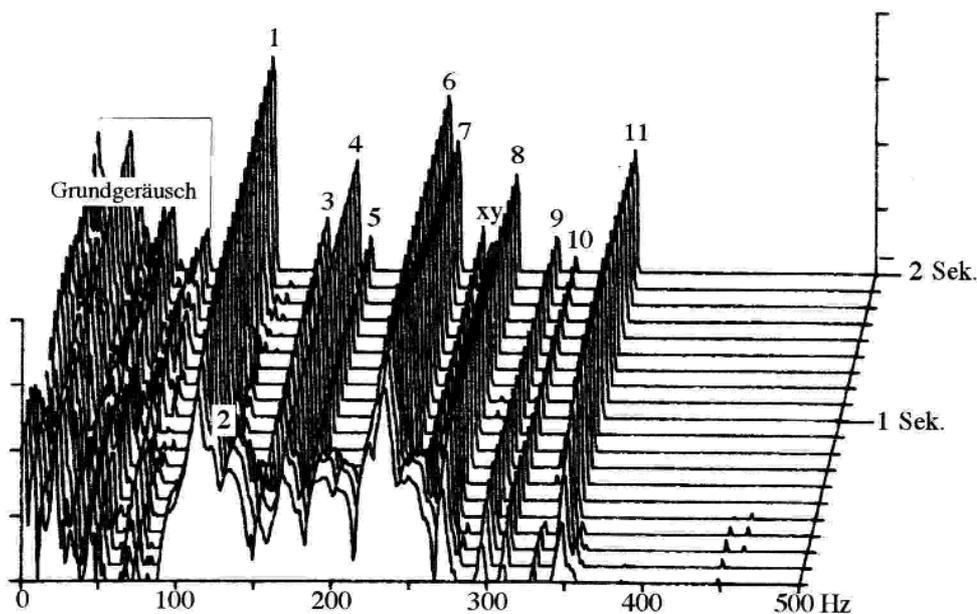


Fig. 47. Wasserfalldiagramm *kempur* (CB.95) nach *tindaak*-Hämmern auf die Oberfläche (*mua*); Bandbreite 0 - 500 Hz, Dauer 2 Sekunden.

c) Schwebung

Die klangdominante Schwebung des II. Teiltönen dürfte bei diesem Anschlag durch den langsamen Pegelabfall des Teiltönen Nr. 7 länger vorhalten als beim Anschlag Fig. 44/45. Gleichzeitig bewirkt nun der stärker hervortretende Teilton Nr. 11 eine Trübung. Langsame Pegelschwankungen werden wahrscheinlich durch den kleinen Spaltton (Fig. 46) auch bei Teilton Nr. 11 ausgelöst.

4.2.5.4. Klangveränderung durch *ngentheng*-Hämmern

Ngentheng nennen die javanischen *gong*-Stimmer das Hämmern von oben auf die Randleiste (jav. *pasu*, balin. *peincep*).

a) Spektrum (Fig. 48)

Ein Hämmern nach dem *ngentheng*-Verfahren hob bei *kempur CB.95* den Pegel vieler Teiltöne rund um den I. und II. Teilton erheblich an, so daß sich in diesem Bereich zwischen 100 und 250 Hz kurz nach dem Anschlag ein an den *Tamtam*-Flachgong erinnerndes Spektrum darstellte. Nur die fünf Teiltöne Nr. 1, 4, 7, 8 und 11 scheinen für einen „harmonischen“ Klang von Bedeutung zu sein.

b) Zeit-Pegel-Diagramm (Fig. 49)

Teilton Nr. 7 erscheint hier eine Sekunde nach dem Anschlag mit höherem Pegel als der I. Teilton (Nr. 1) und nimmt dann innerhalb einer Sekunde ca. 10 dB ab. Eine im Spektrum kaum bemerkbare, im Zeit-Pegel-Diagramm zu mehr Bedeutung heranwachsender Teilton bei 460 Hz (mit Kreis gekennzeichnet) bildet den bislang vermissten „Oktavton“ (1:2) zum II. Teilton. Er zeigt zwar in seiner Pegelschwankung eine Parallele zu Teilton Nr. 8, wird allerdings erst nach 0,5 Sekunden erfasst. Auch unter dem Teilton Nr. 9, bei ca. 280 Hz (ebenfalls mit einem Kreis gekennzeichnet), taucht ein neuer und länger in Erscheinung tretender Teilton bei niedrigem Pegel auf. Die auffälligste Veränderung ist bei Teilton Nr. 11 festzustellen. War beim ersten Anschlag sowie bei Lehm im Buckel (Fig. 43, 44) noch eine leichte unregelmäßige Wellenbewegung und nach *tindak*-Hämmern sogar nur ein lineares Ansteigen des Pegels zu erkennen, so ändert sich hier das Bild zu einer stark wellenförmigen „pumpenden“ Pegelschwankung, die nach 1,4 Sekunden auf Null sinkt um dann wieder anzusteigen. Parallel dazu fällt in gerader Linie der Pegel einer knapp über dem Teilton Nr. 11 liegenden Frequenz und verschwindet mit dem Erreichen des ersten Nullpunktes. Je nach Modezugehörigkeit könnte hier ein *Modensplitting* vorliegen. Es wäre noch zu untersuchen, zu welcher Eigenschwingung diese Frequenz zuzuordnen ist und inwieweit Kopplung vorliegen kann.

c) Schwebung

Die Schwebungen des II. Teiltönen (Nr. 6+7) treten zwar nach dem Wasserfalldiagramm (Fig. 49) stärker hervor, werden aber in der Hörwahrnehmung vermutlich durch die anderen Teiltöne getrübt. Insbesondere ist von der extremen Pegelschwankung von Teilton Nr. 8 anzunehmen, daß sie den Klang des *gong* mitbestimmt.

Insgesamt bewirkte das *ngentheng*-Hämmern eine „Klangtrübung“, da eine große Zahl von neuen Teiltönen dicht um Teilton I und II ins Leben gerufen wurde. Diese „Verschlechterung“ des Höreindrucks hatte mehrere Gründe: Zum einen war die Hammerschlagfolge wohl nicht ausgiebig genug, um die Einspannung der Oberplatte gleichmäßig zu senken, zum anderen wären noch weitere Hammerschläge auf verschiedene Partien der *kempur*-Oberfläche notwendig gewesen, um den Anteil der störenden Teiltöne zu reduzieren. Allerdings ist auch damit zu rechnen, daß das bereits früher in der

gong-Schmiede kaltgehämmerte und somit auch gehärtete Bronzeblech die Formabschnitte des *kempur* in einer komplizierten Weise beeinflusste und ihre Schwingungsfähigkeit in unvorherschaubarer Weise veränderte und das mehrschichtige Klangverhalten steigerte. Die Reaktion wäre dann in diesem letzten Falle weder *Verdichtung* noch *Härtung* des Materials gewesen, sondern ein *Verbiegen* im subvisuellen Bereich Aufgabe eines *gong*-Stimmers wäre es anschließend gewesen, durch eine zeitaufwendige Palette verschiedener Hämmervorgänge diese Verbiegungen auszugleichen, d.h. die *gong*-Oberfläche *rata* (indon./jav.) = „gleichmäßig eben“ zu machen und die störenden Teiltöne weitestgehend zu unterdrücken.

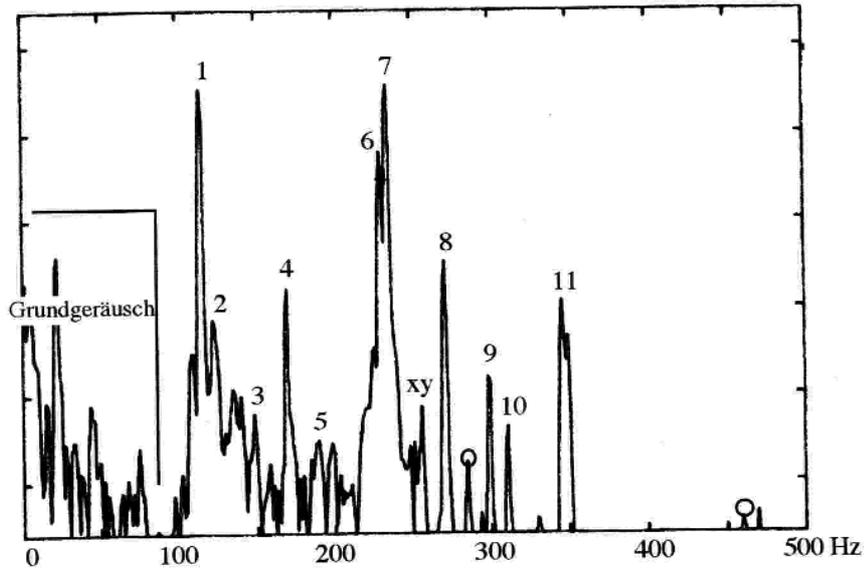


Fig. 48. Spektrum *kempur* (CB.95) nach *ngentheng*-Hämmern auf die Randleiste; Bandbreite 0 - 500 Hz.

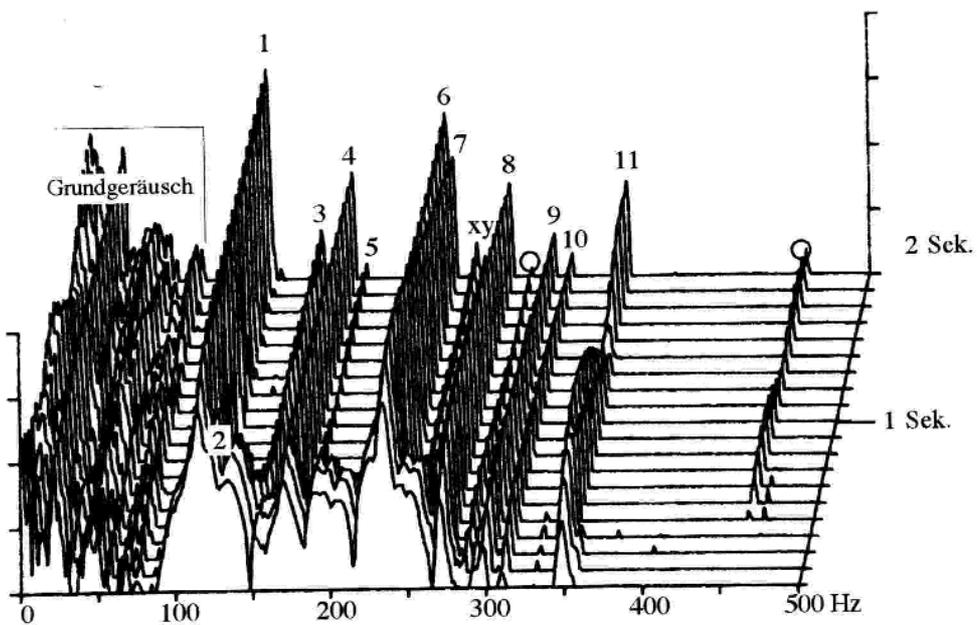


Fig. 49. Wasserfalldiagramm *kempur* (CB.95) nach *ngentheng*-Hämmern auf die Randleiste; Bandbreite 0 - 500 Hz, Dauer 2 Sekunden.

4.2.6. Buckelgong mit umgeknicktem Rand (ø 68 cm): *gong gedè*, Bali (MIM 66-15)

Der auf Bali vermutlich in Tihingan, Bezirk Klungkung, gebaute vertikal hängende Buckelgongtypus *gong gedè* (niederbalinesisch „großer gong“) ist an seinem relativ scharf abgeknickten und hinten sich fast in gerader Linie konisch verjüngenden Rand sowie an einem leicht abgeflachten Schlagbuckel zu erkennen. Diese Bauart geht auf ältere javanische Vorbilder zurück. Klanglich definiert sich der balinesische *gong* durch seine - im Vergleich zu javanischen *gong* - hohe Schwebungsfrequenz von 5 bis 8 Hz. Es wurden ein mittelstarker „normaler“ sowie ein sehr starker Anschlag untersucht.

a) Spektrum (Fig. 50, 52)

Im Spektrum eines mittelstarken Anschlages von *gong gedè* (MIM 66-15) werden der I. und II. Teilton von den Teiltönen Nr. 1 und Nr. 4/5 dargestellt. Dabei erscheinen Teilton Nr. 1 und Nr. 5 in einem perfekten 1:2-Verhältnis, was den Teilton Nr. 4 als eine etwas niedrigere Modulationsfrequenz zu einer anderen Eigenschwingung gehörend rechnen lässt. Weitere Teiltöne wurden mit ca. 25 dB niedrigeren Pegeln als Teilton II aufgezeichnet und lagen allesamt unter 300 Hz. Unter dem Gesichtspunkt „harmonische Verhältnisse“ fällt Teilton Nr. 2 mit seiner „Quinte“ (Verhältnis 1,53) zum Teilton Nr. 1 auf. Auch für Teilton Nr. 5 findet sich mit Teilton Nr. 11 ein „Quintton“ (1,49). Bei einem schwachen Anschlag (Spektrum nicht abgebildet) werden außer dem I. und II. Teilton (Nr. 1 und Nr. 5) diese Teiltöne nicht erregt. Das Spektrum ist somit vergleichbar mit dem des schwachen Anschlages von *agung* MIM 61-11 (Kap. 4.2.4). Bei einem starken Anschlag (Fig. 52) erhöht sich der Pegel von Teilton Nr. 4 erheblich und überragt Teilton Nr. 5 (s.u. Wasserfalldiagramm b). Die Pegel der übrigen Teiltöne verändern sich in unvorhersehbarem Maße. Während der Pegel der Teiltöne Nr. 7 und Nr. 9 erwartungsgemäß ansteigen, verschwindet Teilton Nr. 11 fast vollständig aus dem Spektrum. Stattdessen tauchen im Frequenzbereich über 500 Hertz einige neue Teiltöne (Nr. 12, 13, 14) mit relativ hohen Pegeln auf. Welchen Eigenschwingungen die Teiltöne Nr. 5, 8 und 11 zuzuordnen sind und inwieweit eine Möglichkeit einer Kopplung besteht, muß noch untersucht werden.

b) Zeit-Pegel-Diagramm (Fig. 51, 53)

Das Wasserfalldiagramm des mittelstarken Anschlages zeigt bei einer zeitlichen Auflösung von 12 Sekunden für den II. Teilton (Nr. 5) ein schnelleres Ausklingverhalten als Teilton I. Die übrigen Teiltöne, bis auf den Teilton Nr. 10, spielen kaum eine Rolle. Die Teiltöne Nr. 7 und Nr. 9 bleiben im Wasserfalldiagramm des starken Anschlages (Fig. 53) mehr als 3 Sekunden lang präsent, wobei der Pegel von Teilton Nr. 7 eine leichte Wellenbewegung beschreibt, die möglicherweise auf Einfluß eines Modensplitting (evtl. mit dem Teilton Nr. 8, Fig. 50) zurückzuführen ist. Neu ist hier das kurzzeitige, weniger als zwei Sekunden lange Auftreten der Teiltöne Nr. 12, Nr. 13 und Nr. 14, deren Pegel jedoch mit 30 bis 40 dB weit unter dem des II. Teiltönen liegen. Beim starken Anschlag kommt der Teilton Nr. 9 neu hinzu. Möglicherweise resultieren diese Eigenschwingungen aus der im Gegensatz zu den javanischen *gong* stärkeren Wandung rund um den Buckel.²¹ Interessanterweise treten auch die Pegel der Teiltöne Nr. 10 und Nr. 11 bei einem starken Anschlag zurück. Die Gabelung des II. Teiltönen zeigt im Wasserfalldiagramm Fig. 53 einen unregelmäßigen Verlauf. Dabei sinkt Teilton Nr. 4 mit dem zunächst höheren Pegel in dem gleichen Maße, wie der Pegel des Teiltönen Nr. 5 steigt. Nach

21 S. Varsányi 2000-I: Kap. 6.5. Querschnittszeichnungen.

2,5 Sekunden zeigen beide Frequenzen gleichhohe Pegel bei einer tiefergehenden Bifurkation als zuvor. Der Pegel von Teilton Nr. 5 steigt anschließend bis ca. 4 Sekunden nach dem Anschlag weiter bis zur kontinuierlich abnehmenden Verlaufslinie des II. Teiltöns, während Teilton Nr. 4 im Pegels weiter abnimmt. Es ist zu vermuten, daß dieser Amplitudenwechsel des Pegels nach den aufgezeichneten vier Sekunden nochmals in umgekehrter Weise erfolgt, eine Untersuchung dazu steht noch aus. Der Umkehrpunkt der gegenläufigen Bewegungen von Teilton Nr. 4 und Nr. 5 markiert (nach 2,5 Sekunden) außerdem den Moment des Verschwindens der Teiltöne Nr. 13 und Nr. 14.

c) Schwebungen (Fig. 50)

Anzahl und Frequenz der „Schwebungsschläge“ zeigen sich bei allen untersuchten *gong* annähernd proportional zur Anschlagkraft. Die Schwebungen des II. Teiltöns ergeben als Differenzwert der Teiltöne Nr. 4 und Nr. 5 bei einem mittleren Anschlag (Fig. 50) ca. 7.5 Hz und bei einem starken Anschlag (Fig. 52) ca. 5 Hz bei gleicher Auflösung. Offenbar verursacht eine höhere Biegespannung der Oberfläche ein Ansteigen der Modulationsfrequenz (Nr. 4) und damit ein Annähern an die Teiltonfrequenz (Nr. 5). Wie Hörproben ergeben, verlieren sich die Schwebungen durch Abklingen der Modulationsfrequenz am II. Teilton bereits nach 4 bis 5 Sekunden. Dieser Vorgang ist im Wasserfalldiagramm nicht erkennbar. Nach Fig. 50 treten rein rechnerisch bei den Teiltönen Nr. 10 und Nr. 11 ebenfalls Schwebungen mit 7.5 Hz auf, die jedoch wegen des hohen Pegelunterschieds wohl nicht wahrzunehmen sind.

Zusammenfassend lässt sich zum *gong gedè* (MIM 66-15) aus Bali sagen, daß das „perfekte Okta-
verhältnis“ des I. und II. Teilton (Nr. 1 und Nr. 5) bei intensiv wahrnehmbarer Schwebung vermutlich des II. Teiltöns mit ca. 7 Hz und weitgehender Unterdrückung unharmonischer Teiltöne diesen *gong* als ein „gut klingendes Instrument“ auszeichnet. Mit ihrem „Quintverhältnis“ zum II. Teilton tragen die Teiltöne Nr. 10 und Nr. 11 zum „harmonischen“ Spektrum dieses *gong* bei.

Nr.	Frequenz in Hz	musikal. Bezeichnung	Pegel mit willkürlicher Referenz
1	90,00	F +53	-4,21
2	137,50	des -13	-34,98
3	160,00	dis +49	-45,79
4	172,50	f -21	-3,80
5	180,00	f +53	-2,69
6	190,00	fis +47	-45,79
7	217,50	a -20	-39,32
8	227,50	b -42	-43,05
9	-	-	-
10	260,00	c -10	-40,43
11	267,50	c1 +38	-36,10

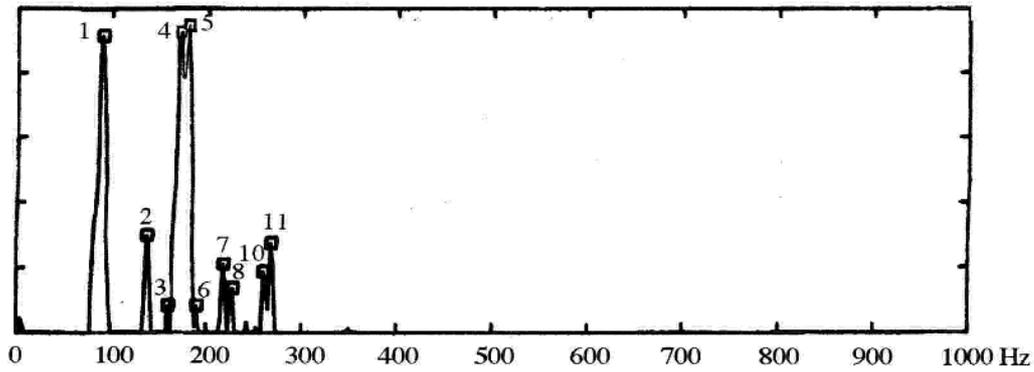


Fig. 50. Spektrum *gong gedè* Bali (MIM 66-15) mittelstarker Anschlag; Bandbreite 0 - 1 kHz.

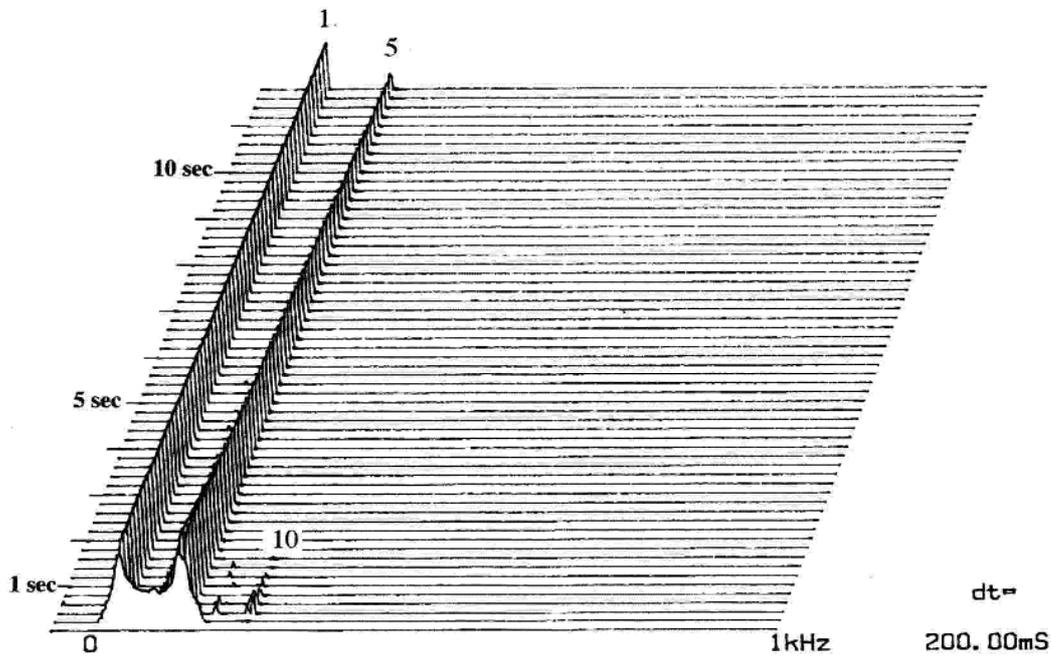


Fig. 51. Wasserfalldiagramm *gong gedè* Bali (MIM 66-15) mittelstarker Anschlag;
Bandbreite 0 - 1 kHz, Dauer 12 Sekunden.

Nr.	Frequenz in Hz	musikal. Bezeichnung	Pegel mit willkürlicher Referenz
1	90,00	F +53	-7,64
2	137,50	des -13	-37,51
3	-	-	-
4	172,50	f -21	-2,99
5	177,50	f +28	-9,58
6	-	-	-
7	217,50	a -20	-33,54
8	-	-	-
9	242,50	h -31	-35,27
10	260,00	c -10	-41,60
11	-	-	-
12	545,00	des2 -29	-32,86
13	565,00	cis2 +33	-37,53
14	622,50	dis2 +1	-43,57

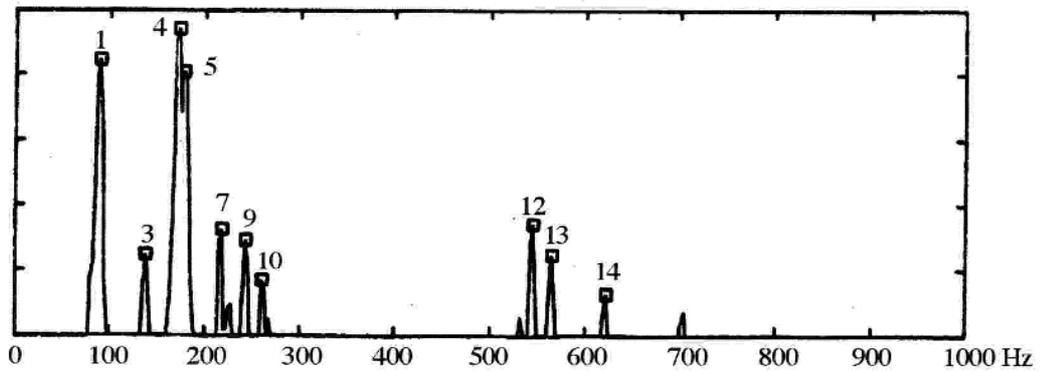


Fig. 52. Spektrum *gong gedè* Bali (MIM 66-15) starker Anschlag; Bandbreite 0 - kHz.

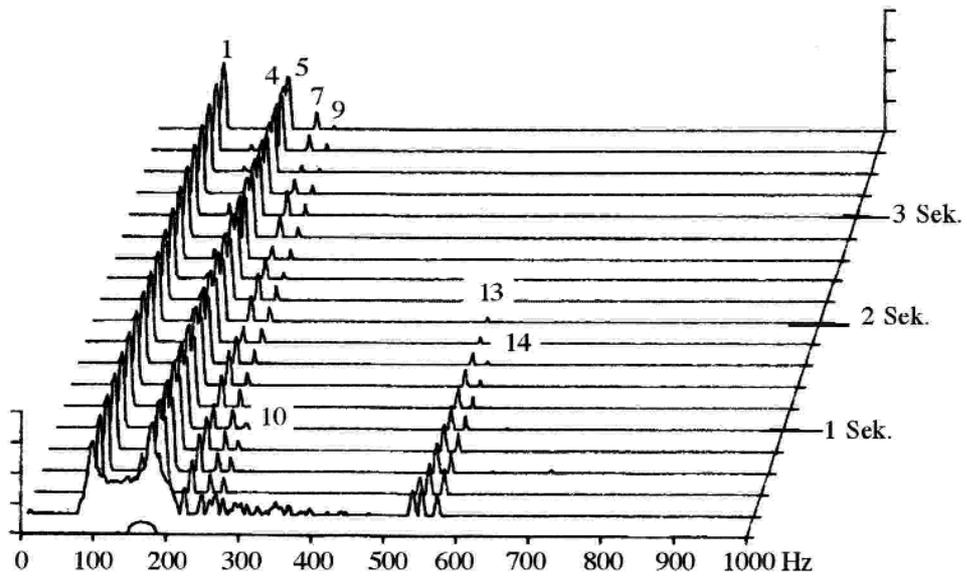


Fig. 53. Wasserfalldiagramm *gong gedè* Bali (MIM 66-15) starker Anschlag;
Bandbreite 0 - 1 kHz, Dauer 4 Sekunden.

4.2.7. Buckelgong mit umgeknicktem Rand (ø 59 cm): *gong suwukan slendro 2, Java (AV.88)*

Der *gong suwukan* (oder auch nur *suwukan* genannt) ist ein mittelgroßer vertikal hängender Buckelgong mit umgeknicktem Rand. Als spezifischer Bestandteil des zentraljavanischen Gamelan bildet es ein Bindeglied zwischen den *kempul* und den *gong ageng*. In seinem äußeren Erscheinungsbild, was die ganzflächige Politur anbelangt und nach der Bautradition von Solo mit der Rinne um den Buckel anscheinend zu den *kempul* gehörig, definiert er sich sowohl musikalisch-funktional als auch in seinen klanglichen Merkmalen als Angehöriger der *gong*-Gruppe.²² Bei den FFT-Aufnahmen im Labor des Instituts für Mechanik konnten zwei klangliche Modifikationen mit „Stimmlehm“ (einem handelsüblichen Formlehm, „Ton“ genannt) vorgenommen werden, wie sie bei den *gong*-Stimmern auf Java üblich sind. Die FFT-Analysen zu den Anschlägen schwach, mittelstark und stark (4.2.7.1) sowie mit beschwertem Schlagbuckel (4.2.7.2) und mit beschwerter Oberflächenkante (4.2.7.3) gaben Aufschluß zu Veränderungen im Spektrum des Instrumentes.

4.2.7.1. Schwacher, mittelstarker und starker Anschlag

a) Spektrum (Fig. 54)

Wie der für Buckelgongs ausgeglichene Klang dieses Instrumentes erwarten lässt, zeigt sich ein teiltönmäßiges Spektrum mit den drei Teiltönen Nr. 6, 8 und 10/11. Dabei bildet Teilton Nr. 8 zum I. Teilton eine große „Quinte“ (Verhältnis 1,63) und zum II. Teilton eine „neutrale Terz“ (1,22). Der I. und der II. Teilton zeigen bei schwachem (Fig. 56) wie starkem Anschlag (Fig. 57, nur Wasserfalldiagramm) fast die gleichen Pegel. Zwischen I. und II. Teilton bildet sich ein deutliches 1:2-Verhältnis, dargestellt durch die Teiltöne Nr. 6 und Nr. 10. Teilton Nr. 11 gehört somit als Modulationsfrequenz zu einer anderen Eigenschwingung. Auffallend ist eine Häufung von Teiltönen mit niedrigen Pegeln im tiefen Bereich zwischen 38 bis 55 Hz (Teiltöne Nr. 1, 2, 3, 4, 5). Unter ihnen befindet sich auch die „Unteroktave“ des I. Teiltönen (Teilton Nr. 2). Die daraus resultierenden Teiltöne werden allerdings durch ihre um fast 40 dB niedrigeren Pegel verdeckt und sind wohl nicht wahrnehmbar. Woher diese Eigenfrequenzen kommen, muß noch untersucht werden. Möglicherweise handelt es sich hier um antimetrische Moden der gesamten *suwukan*-Oberfläche, deren Knotenkreis nicht schon in der *rejab*-Rinne liegt, wie der rotationssymmetrische Knotenkreis der 01-Mode in den PSV-Bildern des *gong ageng* (Fig. 17ff) zeigt, sondern am Rand (*adhadha*, s. Fig. 1)²³ der gesamten „Membran“. Die geringe Wandungsstärke des polierten *rejab*-Teils dieses Instrumentes könnte die Ausbreitung der Biege-Wellen bis zum Instrumentenrand begünstigen.

b) Zeit-Pegel-Diagramm (Fig. 57)

Das Wasserfalldiagramm bestätigt die Dominanz von I. und II. Teilton, die beide über 15 Sekunden wirksam sind und bei stetig abnehmendem Pegel des II. Teiltönen. Teilton Nr. 8 verschwindet bei ebenfalls regelmäßig abnehmendem Pegel bereits nach 12 Sekunden und Teilton Nr. 9 bleibt nur etwa 3 Sekunden erkennbar.

22 Vgl. Varsányi 2000-I, Kap. 2.1. Gongphrasen.

23 Vgl. Varsányi 2000-I, Kap. 6.5. Querschnittszeichnungen.

c) Schwebungen

Die *gong*-spezifischen und auditiv feststellbaren Schwebungen von 2,5 Hz sind in Konkordanz zur Frequenzdifferenz der Teiltöne Nr. 10 und Nr. 11 (Fig. 54). Teilton Nr. 8 verursacht mit Teilton Nr. 9 rechnerisch eine Schwebung von 3.5 Hz, die für die Hörwahrnehmung wegen der großen Pegelunterschiede und der damit zusammenhängenden Verdeckung keine Rolle spielen dürfte. Wie sich jedoch in den Modifikationen zeigen wird, gebührt diesen Teiltönen eine gewisse Aufmerksamkeit. Als Kuriosum ohne weitere Auswirkung auf Klang oder Schwingungseigenschaften sei das Intervall einer „neutralen Terz“ (1:1,22) zwischen den Teiltönen Nr. 8 und Nr. 11 erwähnt.

Nr.	Frequenz in Hz	musikal. Bezeichnung	Mode	Pegel mit willkürlicher Referenz
1	38,50	Es1 -17		-53,61
2	42,00	E1 +24		-53,67
3	43,00	F1 -26		-53,11
4	48,50	G1 -18		-50,10
5	55,00	A1 ±0		-52,08
6	83,50	E +23	-01-	-13,97
7	-			
8	138,00	des -7	-11-	-36,47
9	141,50	cis +26		-49,94
10	166,50	e +18	-02-	-13,38
11	169,00	e +44	"xx"	-18,40

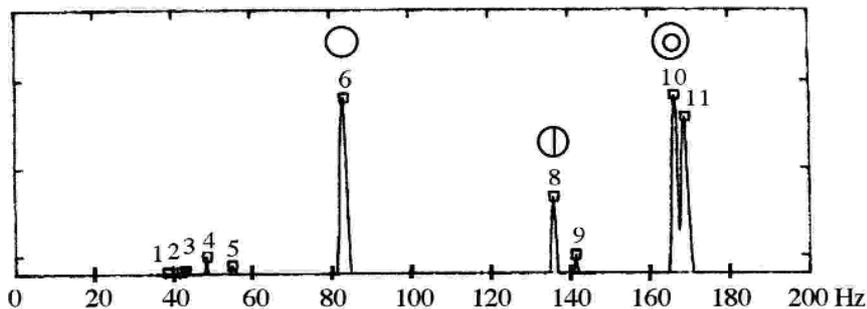


Fig. 54. Spektrum *gong suwukan* (AV.88) mittelstarker Anschlag; Modenzuordnung (nach Twork); Bandbreite 0 - 200 Hz.

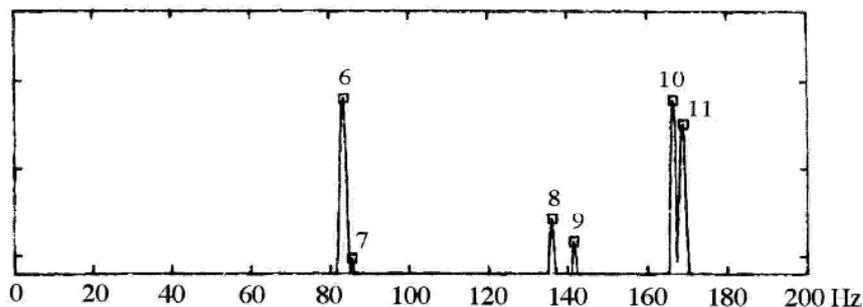
Bei einem starken Anschlag (nur Wasserfalldiagramm Fig. 57) vergrößert sich der Frequenzabstand von Modulationsfrequenz (Nr. 11) zum II. Teilton (Nr. 10) und führt zu etwas schnelleren Schwebungen (3.5 Hz), die nach Fig. 57 bereits nach 5 Sekunden verschwinden. Teilton Nr. 8 zeigt vermutlich wegen der Ungenauigkeit der Auflösung eine um 2 Hz niedrigere Frequenz gegenüber dem Wert in Fig. 54. Da jedoch Teilton Nr. 9 in seiner Frequenz anscheinend konstant bleibt, erhöht sich rein rechnerisch die Geschwindigkeit der durch diese beiden Teiltöne verursachten Schwebung auf 5 Hz. Eine sehr schwach ausgebildete Modulationsfrequenz (Fig. 56, Teilton Nr. 7) zum I. Teilton (Nr. 6) führt zwar in der Differenz zu Schwebungen von 2 Hz, die jedoch bei diesem Pegelunterschied kaum wirksam werden.

Hz (PSV)	Hz (FFT)	dB(-Vr)	Mode	Ton (Cent)	entsprechende Teilton-Nr. in Fig. 54
167,5	169,0	-12.17		e +34 ¢	11
82,5	83,0	-13.35	-01-	E +13 ¢	6
167,5	167,0	-13.59	-02-	e +13 ¢	10
135,0	136,0	-38.78	-11-	des -32 ¢	8
	142,0	-44.07		cis +43 ¢	9
	87,0	-50.53		F -6 ¢	
	252,0	-54.17		h +36 ¢	
	250,0	-55.96		h +12 ¢	
	60,0	-59.42		H -49 ¢	7?
210,0			-12-	gis +20 ¢	
245,0			-21-	h -13 ¢	
390,0			-31-	g1 -8 ¢	
470,6			-22-	ais1 +8 ¢	

Fig. 55. Tabelle *gong suwukan* (AV.88)

FFT- und PSV-Analysewerte mit Modenzuordnung (nach Twork) sowie analoge Tonhöhenangaben, geordnet nach Pegel.

Nr.	Frequenz in Hz	musikal. Bezeichnung	Pegel mit willkürlicher Referenz
6	83,50	E +23	-13,95
7	85,50	F -36	-50,54
8	136,00	des -32	-41,37
9	141,00	cis +30	-46,62
10	166,50	e +18	-14,22
11	169,00	e +44	-19,65

Fig. 56. Spektrum *gong suwukan* (AV.88) schwacher Anschlag; Bandbreite 0 - 200 Hz, geordnet nach Pegel.

Um die leicht divergierenden Ergebnisse aus PSV- und FFT-Analysen (Twork 1997) mit der früher durchgeführten FFT-Analyse (Fig. 54) zu vergleichen, werden die Messwerte in Fig. 55 nebeneinander dargestellt. Da die Bandbreite bei der FFT-Analyse für dieses Instrument zunächst nur bis 200 Hz eingestellt wurde, konnten zwei Frequenzen, die bei Twork (1997:6-19 und 31) dargestellt sind, nicht erfasst werden, die für das Schwingungsverhalten des Instrumentes von Bedeutung sein dürften. Es handelt sich um die Teiltöne, die in der Tabelle in Fig. 55 mit 250 Hz und 252 Hz angegeben sind. Sie entsprechen vermutlich dem Teilton Nr. „x“ im Wasserfalldiagramm Fig. 57. Dabei fällt nicht nur das perfekte 1,5-Verhältnis („Quint“) zum II. Teilton auf, sondern auch eine Parallelität in der Schwingungsdifferenz wie zwischen den Teiltönen Nr. 10 und Nr. 11, die also genau der Frequenz

der Schwebungen entspricht (vgl. die Beobachtungen zum *gong gedè* aus Bali, Kap. 4.2.6). Allerdings liegen auch diese Eigenschwingungen bei einem 40 dB schwächeren Pegel im subauditiven Bereich.

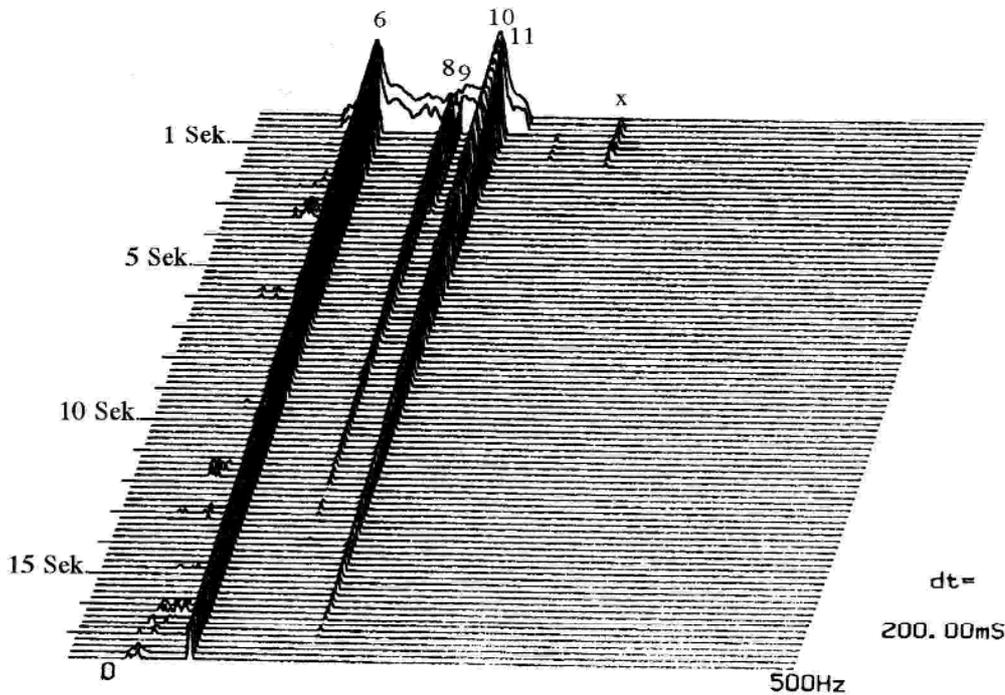


Fig. 57. Wasserfalldiagramm *gong suwukan* (AV.88) starker Anschlag; Bandbreite 0 - 200 Hz.

4.2.7.2. Anschlag bei mit Lehm beschwertem Schlagbuckel

a) Spektrum (Fig. 58)

Zur ersten Modifikation wurde die Buckelmasse mit selbsthaftendem feuchten Lehm um 200 Gramm erhöht. Geht man davon aus, daß die FFT-Messungen mit gleicher Bandbreite (200 Hz) auch annähernd gleiche Werte liefern, so sind Vergleiche der Veränderungen der Teiltöne bis zu einem gewissen Grad möglich. Legt man als Referenz den relativen Pegelwert des I. Teiltones beim „normalen“ Anschlag (Fig. 54, Nr. 6) zugrunde, so ist hier zu erkennen, daß nach dem Beschweren des Buckels der I. Teilton um 1,48 dB angestiegen ist. Gleichzeitig sank seine Grundfrequenz um 2 Hz. Die Frequenz des II. Teiltones (Nr. 10) sank um 3 Hz, am auffälligsten war jedoch der Rückgang seines Pegels um mehr als 3 dB unter den des geltenden I. Teiltons. Die Frequenz von Teilton Nr. 11 sank lediglich um 1 Hz und sein Pegel näherte sich von ca. 5 dB auf nur noch 1 dB Differenz zum Teilton Nr. 10. Von den anderen Teiltönen zeigt insbesondere Teilton Nr. 9 Veränderungen im Pegel. Er stieg offensichtlich parallel zum I. Teilton ebenfalls an und weist nun mit fast 7 dB eine etwa halb so hohe Differenz zum relativ konstant gebliebenen Teilton Nr. 8 auf als in Fig. 54. Ähnlich wie beim schwachen Anschlag (Fig. 56, Nr. 7) tritt hier ein neuer Teilton „y“ am Fuße des I. Teiltons auf, allerdings mit einer tieferen Frequenz und sehr kleinem Pegel. Welche -vermutlich- antimetrische Eigenform hier wirksam wird und ob diese mit der Entwicklung des Teiltons Nr. 9 in Verbindung stehen, ist noch nicht geklärt.

c) Schwebung

Die Vergrößerung des Frequenzabstandes zwischen Teilton Nr. 10 und Nr. 11 hatte zur Folge, daß sich auch die Schwebungsfrequenz gegenüber Fig. 54 analog um diesen Differenzwert auf 4,5 Hz erhöhte. Durch den fast gleichhohen Pegelwert beider Teiltöne ist die Bedeutung für die Hörwahrnehmung ersichtlich. Auch die Teiltöne Nr. 8 und Nr. 9 liefern eine Schwebung, die der Differenz nach ca. 5,5 Hz Schwankungsgeschwindigkeit aufweist. In der Hörwahrnehmung wird dies jedoch vermutlich verdeckt.

Die Frequenzerniedrigung des I. und II. Teiltöns zeigt eine Klangentwicklung, die besonders auch die Schwebung des II. Teiltöns beeinflusst. Wird dadurch eine befriedigende Lösung erreicht, kann der *gong*-Stimmer mit den Hämmermethoden *juluk* oder *ngentheng*²⁴ eine Entspannung der *gong*-Oberfläche bewirken und das Instrument auf diesen durch Lehm im Buckel erzielten „Testklang“ fixieren.

Nr.	Frequenz in Hz	musikal. Bezeichnung	Pegel mit willkürlicher Referenz	
y	79,50	Dis +38	-51,87	
6	81,50	E -19	-12,49	1,48
8	135,50	des -39	-37,44	-26,43
9	141,00	cis +30	-44,12	-8,16
10	163,50	e -3	-15,58	-4,57
11	168,00	e +24	-16,81	0,25

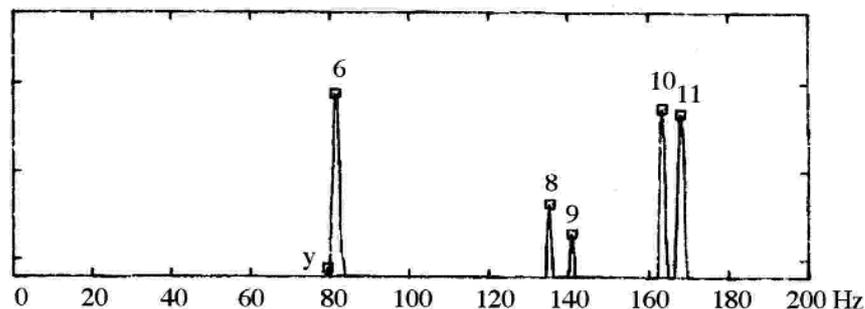


Fig. 58. Spektrum *gong suwukan* (AV.88) mittelstarker Anschlag mit 200 g Formlehm im Buckel; Bandbreite 0 - 200 Hz.

4.2.7.3. Anschlag bei gedämpfter Oberflächenkante (*pasu*) mit Lehm

a) Spektrum (Fig. 59)

Für die zweite Modifikation wurden 200 g schwere Lehmbatzen an der Oberflächenkante (*pasu*) des *gong suwukan* angebracht, was die einspannenden Randbedingungen verstärken und versteifen sollte. Als erstes fällt nun der wesentlich höhere Pegel des II. Teiltöns (Nr. 10) auf, der nun den Pegel des I. Teiltöns um fast 9 dB überragt. Gleichzeitig ist der Pegel des I. Teiltöns (Nr. 6) gegenüber Fig. 54 etwas zurückgegangen (um 2,5 dB). Die Frequenzen von I. und II. Teilton änderten sich gegenüber Fig. 54 nicht, jedoch verschwand Teilton Nr. 11. Diese Modulationsfrequenz scheint kleiner geworden zu sein, wodurch sie sich dem Teilton Nr. 10 so weit näherte, daß die Auflösung des Spektrums nicht mehr ansprach. Daher ist der II. Teilton nur noch als ein verbreiteter Zapfen dargestellt. Dagegen wurde am Zapfenfuß des I. Teiltöns (Nr. 6) die um 1,5 Hz niedrigere Frequenz des Teiltöns „y“

24 Vgl. Varsányi 2000-I: Kap. 1.3.4 Stimmen (auf Basis von Rossing & Fletcher 1983).

mit höherem Pegel als zuvor registriert. Auch der Teilton Nr. 7, der uns aus dem Spektrum des schwachen Anschlages her bekannt ist, erscheint wieder mit einem verschwindend kleinen Pegel. Der Pegel des Teiltönen Nr. 8 sank analog zum I. Teilton (Nr. 6), jedoch in höherem Maße, so daß er nun fast 30 dB Pegeldifferenz zum I. Teilton aufweist. Teilton Nr. 9 erniedrigte seinen Pegel gegenüber Fig. 54 kaum, so daß sich nun Teilton Nr. 8 nicht einmal 1 dB von Teilton Nr. 9 unterschied. Dies könnte ein Indiz dafür sein, daß Teilton Nr. 8 mit dem Teilton „y“ gewissermaßen gegenläufig gekoppelt ist.

c) Schwebung

Die Schwebungen des II. Teiltönen scheinen durch diesen Eingriff auf ein sehr langsames Maß eingeschränkt (> 1.2 Hz) wenn nicht gar vollständig gelöscht worden zu sein. Außer den Teiltönen Nr. 8 und Nr. 9 mit Schwebungen von ca. 6 Hz im niedrigen Pegelbereich tauchen keine markanten schwebungsbildenden Frequenzpaare auf. Teilton „y“ ist ebenfalls im Pegel zu niedrig um nennenswerte Schwebung mit Teilton Nr. 6 zu erzeugen.

Diese Modifikation betont nach den vorangegangenen Betrachtungen die *Tonhöhe* des Instrumentes, dem dann eine entsprechende Bearbeitung durch Hämmern folgen kann (z. B. *impesan*).²⁵

Nr.	Frequenz in Hz	musikal. Bezeichnung	Pegel mit willkürlicher Referenz
y	82,00	E -8	-38,59
6	83,50	E +23	-15,98
7	86,00	F -26	-52,25
8	135,50	des -39	-45,38
9	141,50	cis +26	-46,12
10	166,50	e +18	-7,33

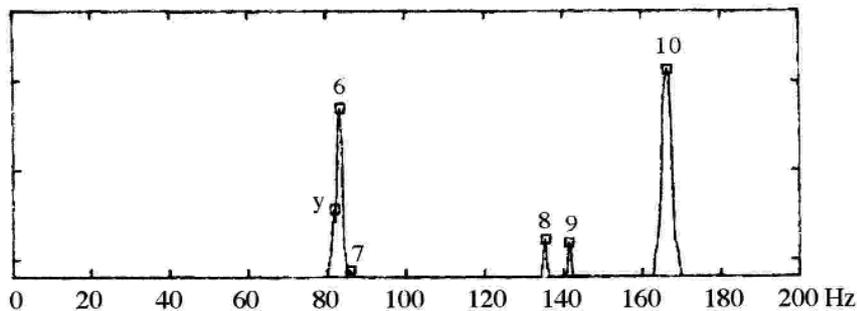


Fig. 59. Spektrum *gong suwukan* (AV.88) mittelstarker Anschlag mit 200 g Formlehm am Oberflächenrand (*pasu*); Bandbreite 0 - 200 Hz, geordnet nach Pegel.

25 Vgl. Varsányi 2000-I: Kap. 1.3.4 Stimmen.

4.2.8. Buckelgong mit umgeknicktem Rand (ø 75 cm): *gong ageng, Java (MIM 67-7)*

Das Musikinstrumentenmuseum im Münchner Stadtmuseum besitzt einen vertikal hängenden Buckelgong aus Java, der trotz relativ kleinem Durchmesser durch seinen voluminösen und ausgeglichenen Klang beeindruckt.²⁷ Obwohl seine geringe Wandungsstärke („Rippe“) und niedrige Randhöhe an sich Kennzeichen für westjavanische Manufaktur wären, weisen seine formalen Bestandteile auf mitteljavanische Provenienz (Semarang oder Solo). Bei diesem Instrument konnten neben den üblichen mittelstarken und starken Anschlägen (4.2.8.1) ein besonderer Anschlag vor einer Wand (4.2.8.2) untersucht werden.

4.2.8.1. Mittelstarker und starker Anschlag

a) Spektrum (Fig. 60)

Bei einem mittelkräftigen „normalen“ Anschlag dominieren erwartungsgemäß der I. und II. Teilton, repräsentiert durch Teilton Nr. 1 und Nr. 3 (Verhältnis 2,02). Die um 1.25 Hz zu groß dargestellte Oktave ist vermutlich auf die Auflösung der Bandbreite zurückzuführen. Teilton Nr. 4 stellt die mittlerweile bekannte Modulationsfrequenz einer anderen nicht näher bestimmten Eigenschwingung dar. Auch bei einem schwachen Anschlag (ohne Fig.) werden nur der I. und II. Teilton zu Eigenschwingungen angeregt und die Pegel anderer Frequenzen liegen offenbar außerhalb des hörbaren Bereichs (vgl. *agung* Kap. 4.2.4.). Für den „harmonischen“ Höreindruck sind drei Faktoren bestimmend: Zunächst wird der Grundton H in drei Oktaven repräsentiert (Teiltöne Nr. 1, 3 und 8). Teilton Nr. 6 steht im 1,5-Verhältnis zum II. Teilton („Quinte“) und wird zudem von Teilton Nr. 9 oktaviert (1,95). Die Teiltöne Nr. 2 und Nr. 5 stehen zwar untereinander in einem „Quint“-Verhältnis (1,53), müssen aber angesichts niedriger Pegel in Bezug zum Teilton Nr. 3 gesehen werden. Zwar ergibt Teilton Nr. 2 einen „Sekund“-Abstand (1,14) und stellt insofern eine *Trübung* dar, doch hat Teilton Nr. 5 zu Nr. 3 ein 1,34-Verhältnis, was einer „Quarte“ entspricht und wiederum im harmonischen Verhältnis zu sehen ist.

b) Zeit-Pegel-Diagramm (Fig. 61)

Die Pegel beider Frequenzen bleiben für eine lange Zeitdauer annähernd gleich. Wie beim *gong gedè* aus Bali (Kap. 4.2.6.b) kann man im Verlauf des II. Teiltönen (Nr. 3 und Nr. 4) einen Amplitudenwechsel feststellen, der in der 2. und 3. Sekunde nach Anschlag als kleine Bifurkation erkennbar ist. Bei niedrigem Pegel kann man bei ca. 550 Hz ($\sim \text{cis}^2 - 14 \phi$) eine Frequenz ausmachen, die nur für kurze Zeit (0,8 Sekunden) und daher nur zum typischen reicheren Teiltönenspektrum des Anschlagsgeräuschs zu zählen ist. Der starke Anschlag forciert bei gleichbleibendem I. Teilton die bereits beim mittelstarken Anschlag angeregten Eigenschwingungen, stärker in Erscheinung zu treten. Es kommt nun eine Frequenz mit 420 Hz ($\text{gis}^1 + 20 \phi$) neu hinzu, die sich allerdings nur für die ersten zwei Sekunden mit schnell abnehmender Pegel bemerkbar macht und vermutlich für eine erhöhte Rauigkeit im Klang sorgt.

²⁷ Aus diesem Grunde wurde dieser Buckelgong seit Ende der 1960er Jahre immer wieder von der Münchner Staatsoper für Aufführungen der Bühnenwerke von Carl Orff ausgeliehen.

c) Schwebungen

Die wahrnehmbaren langsamen Schwebungen, die der Differenz der Teiltöne Nr. 3 und Nr. 4, also der „Gabelung“ des II. Teiltens im Spektrum, entsprechen mit ihrer Frequenz von 2,5 Hz dem Ideal mitteljavanischer *gong ageng*. Auch der nur knappe Unterschied (1 dB) der hohen Pegel dieser Teiltöne erhärtet die Annahme, daß diese Frequenzen die Auslöser für die Schwebungserscheinung sind. Allerdings weisen auch die fast pegelgleichen Teiltöne Nr. 6 und Nr. 7 einen Unterschied von nur 5 Hz auf, ihr Gesamtpegel liegt jedoch ca. 30 dB unter dem des Teiltens Nr. 4, so daß mit Verdeckung zu rechnen ist. Bemerkenswert ist die Gabelung des Teiltens Nr. 5, die im Spektrum nicht weiter aufgefallen ist, im Wasserfalldiagramm jedoch lange (über vier Sekunden) wirksam erscheint. Seine Bedeutung für Schwebungserscheinungen muß noch untersucht werden.

Nr.	Frequenz in Hz	musikal. Bezeichnung	Pegel mit willkürlicher Referenz	
1	61,25	H1 -14	-10,24	
2	108,75	A +20	-39,46	1,14
3	123,75	H+4	-7,85	2,02
4	126,25	H+39	-6,73	2,06
5	166,25	e +15	-32,08	1,34
6	185,00	fis 0	-34,96	1,49
7	190,00	fis +46	-36,34	1,54
8	250,00	h +21	-41,26	2,02
9	371,25	fis1 +6	-38,21	1,95
10	373,75	fis1 +17	-40,65	3,02

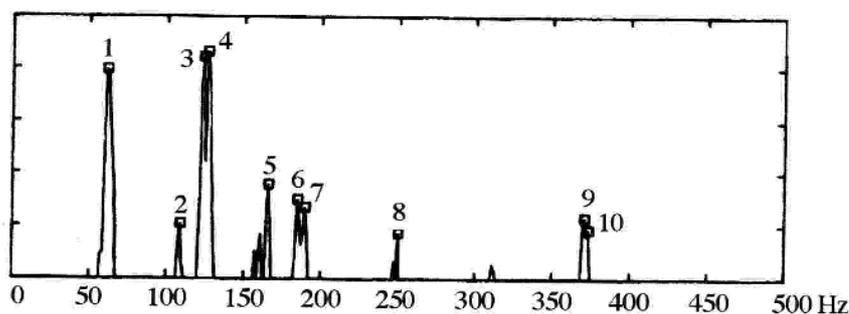


Fig. 60. Spektrum *gong ageng* Java (MIM 67-7) mittelstarker Anschlag; Bandbreite 0 - 500 Hz.

4.2.8.2. Anschlag vor einer Wand

Bei Tempel- und Hausfesten, kleinen javanischen Theatern, Tonstudios oder auch im Orchestergraben eines westlichen Opernhauses kann es vorkommen, daß aus Platzgründen der *gong* an den Rand des Ensembles, d. h. an eine Wand oder in eine Ecke gedrängt wird.

Nach dem Wasserfalldiagramm Fig. 62 zeigt sich als auffallendstes Merkmal dieser Messung, daß sich hier der Pegel des I. Teiltens (Nr. 1) erheblich niedriger darstellt als der des II. Teiltens (Nr. 3/4). Dieses Pegelverhältnis hält sich kontinuierlich über die mehr als vier Sekunden Dauer der Messung (bei anderen Messungen fällt der Pegel des II. Teiltens gegenüber dem des I. Teiltens bereits kurz nach dem Anschlag regelmäßig ab). Außerdem fallen die nun verstärkt hervortretenden Teiltöne Nr. 5 sowie Nr. 6/7 auf, die sich in ihrem Pegel in den ersten zwei Sekunden dem des I. Teiltens annähern. Bei den Teiltönen Nr. 3/4, 5 und 6/7 sowie rudimentär auch bei 9/10 sind Aufspaltungen der spektra-

len Hüllkurve zu erkennen, die auf Schwebungen verschiedener Frequenz hinweisen. Auch der bei den vorangegangenen Schlägen kaum erkennbare Teilton „X“ (um 320 Hz \sim dis¹ +49 ϕ) wird zwar erst nach einer Sekunde und bei niedrigem Pegel jedoch für längere Zeit (ca. 4 Sekunden) wirksam. Auditiv entsteht bei diesem Anschlag ein schnellschwebender Klang mit hoher „Rauhigkeit“, dessen Tonhöhe undeutlich erscheint. Die Gründe für diese Erscheinung beschreibt Fleischer (persönliche Notiz) folgendermaßen: *Eine Reflexion des nach hinten abgestrahlten Schalles kann zur Interaktion mit dem nach vorne abgestrahlten Schall führen. Infolge Interferenz können sowohl Abschwächung als auch Verstärkung auftreten.*

Dieser den Musikern bekannte Effekt der *reflektierenden Wand* führte wohl dazu, daß im javanischen Gamelan die *gong ageng*, wenn sie schon aus Platzgründen mit den mittelgroßen *suwukan* auf einem gemeinsamen Gestell (*gayor*) aufgehängt werden müssen, so doch wenigstens am Ende der Buckelgong-Reihe oder/und in ihrer Höhe unterschiedlich hängen, damit sie besonders nach hinten möglichst frei in den Raum abstrahlen können. Inwieweit durch den hohen zurückgeknickten Rand eines *gong*, wenn sich die hintere Öffnung sehr nahe an einer Wand befindet, der eingeschlossene Raum zu einer Art Hohlraum-Resonator entwickeln und dadurch Auswirkungen auf die Resonanz und den Gesamtklang des *gong* haben kann, muß noch untersucht werden.

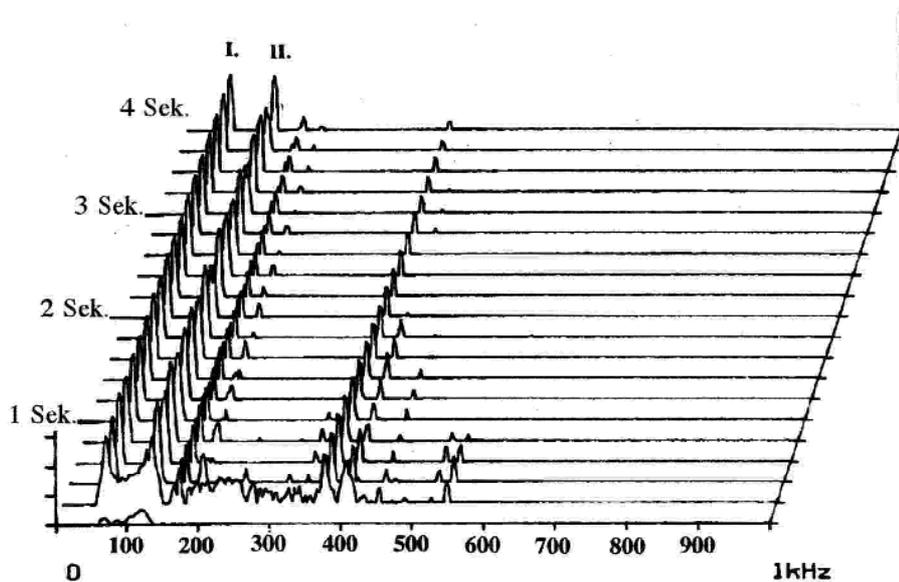


Fig. 61. Wasserfalldiagramm *gong ageng* Java (MIM 67-7) starker Anschlag; Bandbreite 0 - 1 kHz, Dauer 4 Sekunden.

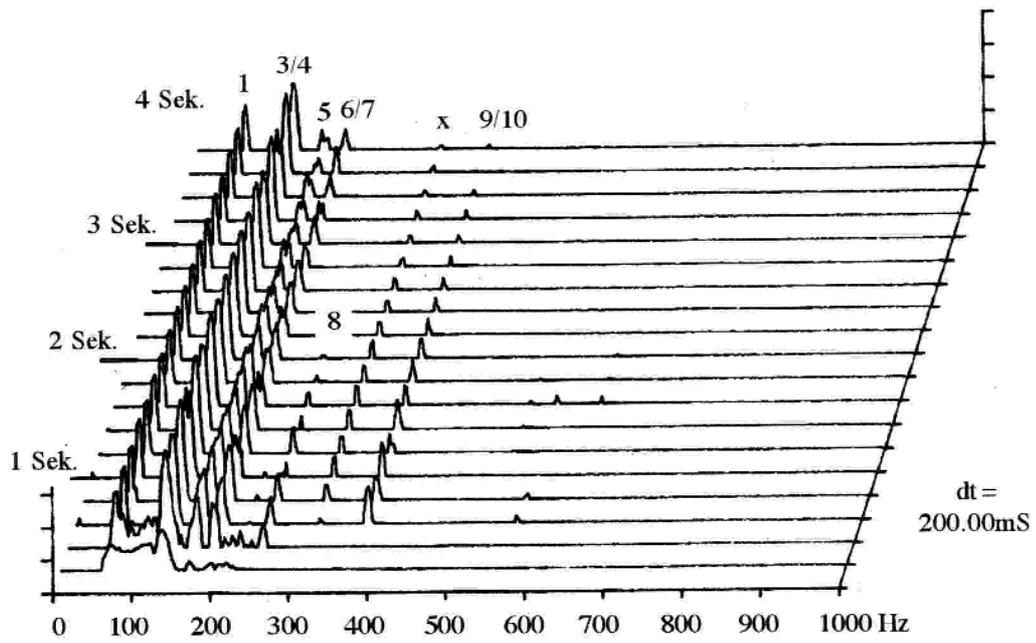


Fig. 62. Wasserfalldiagramm *gong ageng* Java (MIM 67-7) starker Anschlag vor einer Wand;
Bandbreite 0 - 1 kHz, Dauer 4 Sekunden.

4.2.9. Großer Buckelgong mit umgeknicktem Rand (ø 102 cm): *gong ageng, Wirun (AV.94)*

Das letzte Instrument dieser Betrachtungen ist der *gong ageng* (AV.94) aus Mitteljava, an dem auch die in Kapitel 3 beschriebenen PSV-Untersuchungen vorgenommen wurden. Das Instrument ist in allen Teilen traditionell hergestellt, entspricht zugleich einer in neuerer Zeit bevorzugten „starken Rippe“, was ihm die hohe Masse (45 kg) verleiht. Wie allgemein im internationalen Instrumentenbau, trägt auch diese Gestaltung zugunsten einer stärkeren Schallabstrahlung den veränderten Hörgewohnheiten Rechnung. Es wurde für die FFT-Analyse nur ein starker Anschlag untersucht, der mit den Ergebnissen aus den PSV-Untersuchungen verglichen wird.

a) Spektrum (Fig. 63)

Das für *gong ageng* relativ reiche Spektrum zeigt Frequenzen zwischen 45 Hz bis knapp über 300 Hz, wobei die Komponenten über 500 Hz nicht untersucht wurden. Der I. und II. Teilton werden von den Teiltönen Nr. 1 und Nr. 4 repräsentiert. Sie stehen in einem 2,05-Verhältnis. Dieser Wert wäre vom musikalischen Standpunkt her gesehen in dieser tiefen Lage eine „perfekte“ weil „gedehnte Oktave“, er ist jedoch auch auf die bereits erwähnte ungenaue Auflösung zurückzuführen. Das „harmonische Klangbild“ dominieren die Teiltöne Nr. 8 als „Quinte“ (1,47) sowie Nr. 5 als „Quarte“ (1,26) zum II. Teilton. Teilton Nr. 11 bildet zu Teilton Nr. 5 eine Oktave (1,97). Auffällig ist die von den Teiltönen Nr. 2 und Nr. 4 gebildete „kleine Quarte“ mit umgerechnet 469 Cent. Wie aus den PSV-Analysen hervorgeht (s. Fig. 17 bis 22), finden sich außerdem in der näheren Umgebung des Teiltönen Nr. 3 die Frequenzen von 70 Hz und 76 Hz bei niedrigem Pegel. Weitere annähernd „harmonische Beziehungen“ kann man noch mehrfach entdecken, wie z. B. Teilton Nr. 12, der die knappe Oktave (1,9) zu Teilton Nr. 8 (der „Quinte“ des II. Teiltönen) und Teilton Nr. 14, der annähernd die Doppeloktave zu Teilton Nr. 2 (der „Unterquarte“ des I. Teiltönen) bildet. Alle diese umgerechneten Frequenzwerte sind immer relativ zu betrachten, da bei mehreren Messungen und unterschiedlichen Bandbreiten zum Teil verschiedene Ergebnisse auftreten können. Diese Divergenzen soll die Tabelle Fig. 64. dokumentieren.

b) Zeit-Pegel-Diagramm (Fig. 64)

Nach dem Wasserfalldiagramm zu schließen, sind fast alle im Spektrum erfassten Frequenzen auch über die musikalisch relevante Zeit von 3-4 Sekunden präsent. Nach den Richtlinien javanischer Gamelanmusik soll der Ton eines *gong ageng* nicht zu lange nachschwingen, was beim klangbestimmenden II. Teilton (Nr. 4) durch seinen abfallenden Pegel realisiert ist. Nach 4 Sekunden kristallisieren sich die Teiltöne Nr. 1 bis Nr. 6 sowie Nr. 8 und Nr. 11 heraus und nach 14 Sekunden (!) stellen sich die Teiltöne Nr. 1, 2, 4 und 8 als stabile Frequenzen heraus.

c) Schwebungen

Pegelschwankungen, die auf Schwebungen deuten, sind in Fig. 64 unter Teilton Nr. 2, 4, 5, 8 und 11 zu erkennen. Die bei anderen *gong* als Gabelung des II. Teiltönen dargestellte Differenz von Eigenfrequenzen vermutlich zweier unabhängiger Eigenschwingungen zur Erzeugung der *gong*-typischen Schwebungen scheint hier unter 1.25 Hz zu liegen. Ein solcher Wert der Frequenzdifferenz ist für die eingestellte Bandbreite im Spektrum zu klein und wurde deshalb nicht erfasst. In Fig. 63 ist diese Frequenz lediglich durch eine unregelmäßige Verbreiterung der Spitze unter Teilton Nr. 4 zu vermuten.

Nr.	Frequenz in Hz	musikal. Bezeichnung	Modenzuordnung	Pegel mit willkürlicher Referenz
1	46,25	Fis1 ±0	-01-	-14,54
2	72,50	D -22	-11-	-21,56
3	81,25	E -25		-33,15
4	95,00	Fis +47	-02-	-4,62
5	120,00	H -49	-12-	-26,25
6	122,00	H -20		-26,58
7	130,00	c ±0		-
8	140,00	cis +18	-21-	-25,60
9	185,00	fis ±0		-
10	214,00	a -47	-31-	-
11	236,25	ais +25	-22-	-27,86
12	266,25	c1 +30	-03-	-37,21
13	280,00	cis1 +18	-32-	-
14	310,00	es1 -6		-36,98

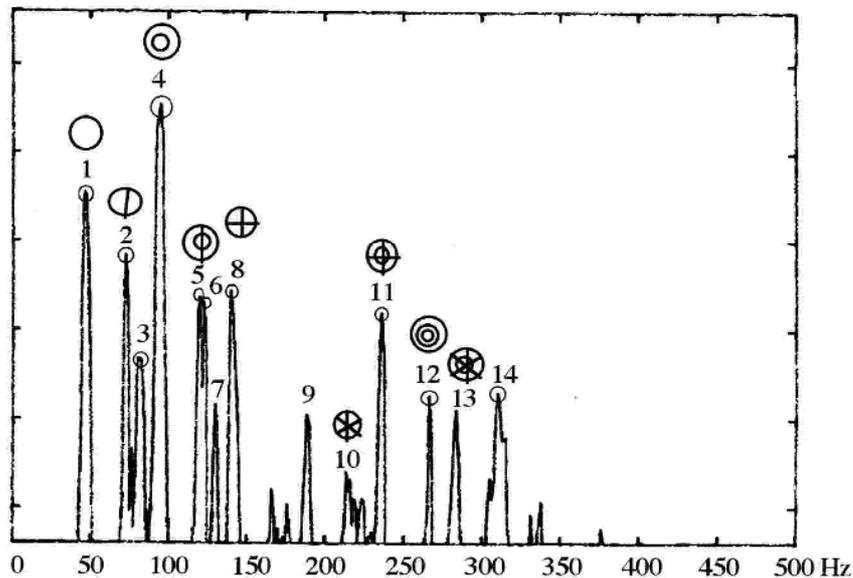


Fig. 63. Spektrum *gong ageng* Java (AV.94) starker Anschlag; Bandbreite 0 - 500 Hz; mit den aus den PSV-Messungen gewonnenen Zuordnungen zu den Eigenschwingungen (Moden) nach Twork 1997.

Die laut und deutlich hörbaren Schwebungen können mit dem Sekundenzeiger einer Armbanduhr verglichen werden. Die Frequenz der Schwebungen beträgt rein auditiv erfasst ca. 2 Hz, die jedoch erst eine Sekunde nach dem Anschlag wahrgenommen werden können. Eine Frequenzdifferenz von ebenfalls 2 Hz weisen auch die Teiltöne Nr. 5 und Nr. 6 auf. Dies würde wiederum die akustische Relevanz dieser beiden Teiltöne bestätigen. In welchem Maße das auf ein Modensplitting zurückzuführen ist, welches akustisch wirksam wird, bedarf noch näherer Untersuchungen.

Durch die Verdeckung „unharmonischer“ Teiltöne vermittelt der Hörindruck einen ausgeglichenen Klang. Der II. Teilton (Nr. 4) überragt anfänglich den I. Teilton (Nr. 1) um 10 dB (vgl. Kap. 4.2.8.1), einem relativ hohen Wert im Vergleich zu den anderen Ergebnissen. Die Kurven gleicher Lautstärke (s. Kap. 2.4.1) zeigen, daß die subjektive Lautstärkeempfindung bei tieffrequenten Teiltönen trotz gleicher Pegellautstärke niedriger ist. Daher kann man annehmen, daß hier dem klanglichen Gewicht des II. Teilton den 10 dB höherer Pegellautstärke (Fig. 7) noch zusätzlich ca. 10 dB subjektiver Lautstärkeempfindung hinzuzurechnen ist. Dadurch überwiegt der II. Teilton die darunterliegenden Frequenzen in erheblichem Maße.

Frequenz in Hz (PSV)	Frequenz in Hz (FFT-I)	Frequenz in Hz (FFT-II)	musikal. Bezeichnung (I+T-II)	Moden- zuordnung	Nr. in Fig. 63, 64
-	42,00	-	-	-	-
-	44,00	-	-	-	-
47,5	47,00	46,25	Fis1 ±0	-01-	1
-	51,00	-	-	-	-
-	60,00	-	-	-	-
-	70,00	-	-	-	-
72,5	73,00	72,50	D -22	-11-	2
-	76,00	-	-	-	-
-	81,00	81,25	E -25	-	3
95,0	94,00	95,00	Fis +47	-02-	4
122,5	119,00	120,00	H -49	-12-	5
-	123,00	122,00	H -20	-	6
-	130,00	130,00	c ±0	-	7
140,0	141,00	140,00	cis +18	-21-	8
-	189,00	185,00	fis ±0	-	9
214,4	214,00	-	a -47	-31-	10
-	224,00	-	-	-	-
237,5	236,00	236,25	ais +25	-22-	11
267,5	267,00	266,25	c1 +30	-03-	12
280,0	283,00	280,00	cis1 +18	-32-	13
		310,00	es1 -6	-	14

Fig. 64. Tabelle der durch PSV- und FFT-Analysen ermittelten Frequenzen von *gong ageng* Java (AV.94); PSV und FFT-I aus Twork 1997 (6-23, 32), FFT-II bei Bandbreite bis 500 Hz; dazu die umgerechneten Tonhöhen (nach Seidl), die zugeordneten Eigenschwingungen (Moden) nach Twork 1997 sowie die Numerierung in vorliegenden Abbildungen.

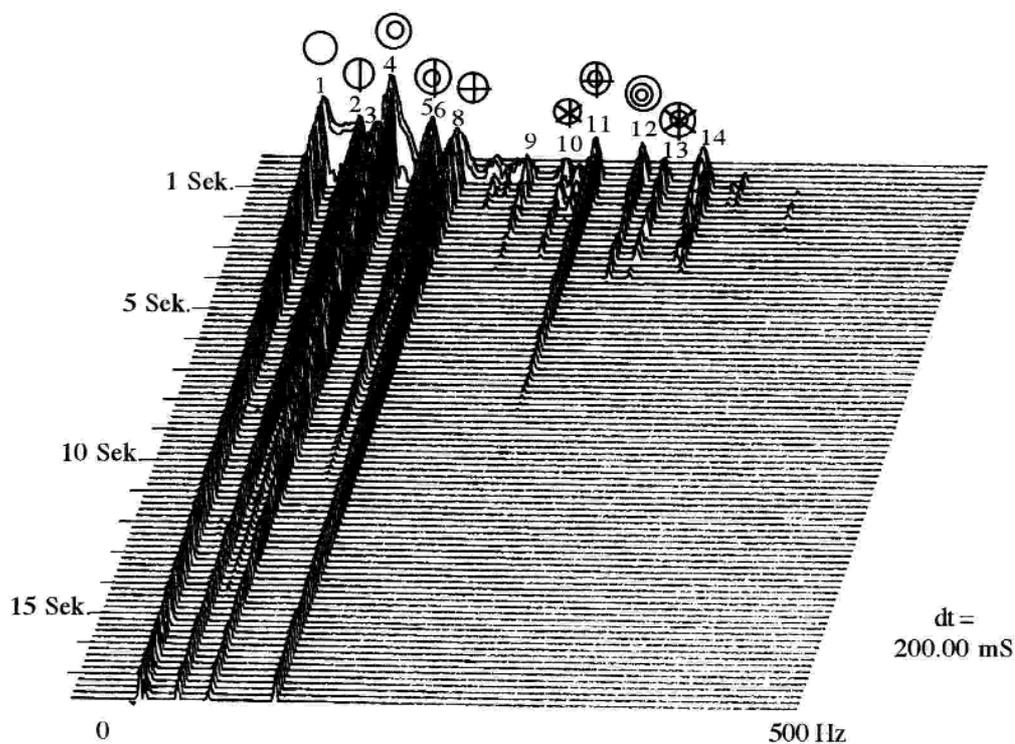


Fig. 65. Wasserfalldiagramm *gong ageng* Java (AV.94) starker Anschlag; Bandbreite 0 - 500 Hz, Dauer 18 Sekunden; mit den aus den PSV-Messungen gewonnenen Zuordnungen zu den Eigenschwingungen (Moden) nach Twork 1997.

5. Zusammenfassung und Schlußbemerkung

Von ihrer Herstellung her betrachtet, basiert die historische Entwicklung der Buckelgongs im südostasiatischen Kulturraum auf Techniken des Bronzegusses sowie empirischen Beobachtungen und Übernahmen von vermutlich nahöstlicher Kupfer- und Messingbearbeitung durch Hämmern.¹ Auf Java wurde für die Herstellung von *gong* und anderen Gamelaninstrumenten traditionellerweise Zinnbronze („Glockenbronze“) verwendet. Außerdem gab es auch Versuche mit anderen Legierungen wie Messing oder Aluminium-Bronze. Solche Materialien finden in den kleineren Instrumenten der dörflichen Ensembles Anwendung. Da aus musikalischen Gründen ein *gong ageng* im Gamelanspiel nicht sehr lange klingen soll, scheiden Materialien wie beispielsweise Stahl mit seiner niedrigen Dämpfung als Material für *gong* aus. Abgesehen davon wäre Stahl mit traditionellen Herstellungsverfahren nicht zu bearbeiten. Da aber auch getriebene und gehärtete Zinnbronze recht hohe Elastizitätswerte erreicht, wurde durch Formveränderung eine erhöhte Reibung und damit eine verkürzte Dämpfungszeit angestrebt. Außerdem sollen Knicke und Biegungen in der *gong*-Oberflächenstruktur bestimmte Eigenschwingungen unterstützen und ungewünschte unterdrücken. Diese Gründe führten vermutlich zur versenkten Randrinne *rejob*.

Die klangliche Entwicklung des javanischen *gong* zeigt zunächst eine enge Verwandtschaft mit Membraninstrumenten (Felltrommeln), doch folgt die Gestaltung jeder einzelnen Partie dieses Idiophons der Beobachtung verschiedener Phänomene von Eigenschwingungen und Resonanz. Im Gegensatz zu Felltrommeln, und hier insbesondere der westlichen Orchester-Pauken, sind für die klangbildenden Eigenschwingungen eines *gong* weniger die Knotenmeridiane als vielmehr die Knotenkreise von Bedeutung. Dominieren bei einer Pauke die 11-, 21- und 31-Moden (Quint-Oktav) das Klangfeld, so beschränkt sich die Wahrnehmung eines *gong ageng*-Klanges im Wesentlichen auf die 01- und 02-Moden, also dem I. und II. Teilton mit ihrem Oktavklang (in Bezug zur Hörrelevanz s. Valenzuela 1999). Diese großflächigen Eigenschwingungen bewegen eine große Luftmasse, was einen Hörer den Klang gleichsam auch „erfühlen“ lässt. Vermutlich liegt darin auch der überwältigende Eindruck, den ein Schlag auf einen großen *gong ageng* macht.

In der Entwicklung zum reinen Musikinstrument war offensichtlich auch die Beobachtung bedeutsam, daß der *gong* als zweidimensionaler Schwinger ohne einen zentralen Schlagbuckel sowie ohne oder nur mit einem flachen Rand (vgl. Flachgong: Tamtam) weniger intensiv tiefen und teiltonarmen Schall abstrahlt. Diese Beobachtung hat möglicherweise zu dem weit nach hinten zurückgebogenen und leicht nach innen geknickten Rand (*bau*) geführt, wodurch die Randeinspannung der Platte wesentlich steifer wurde. Mit ca. 20% des Durchmesser hat der javanische *gong*-Rand eine Höhe, die auch Auswirkungen auf das Schwingungsverhalten der eingeschlossenen Luft vermuten lässt und den Vergleich zum Korpus von einfelligen Felltrommeln aufdrängt (Kap. 2.2). Auch die Kenntnis von der Wirkung eines Paukenkessels, der den Druck-Sog-Effekt eines Fells unterbindet (Kap. 2.4.3), könnte bei der Gestaltung des sich tendenziell kesselförmig gestalteten Randes eine gewisse Rolle gespielt haben. Jedoch unterliegt die Formgebung des tiefen *gong*-Randes mehreren Gesichtspunkten, die nicht nur von schwingungstechnischen Erwägungen bestimmt sind, sondern z. B. Übernahmen bereits existenter Formen waren, wie z. B. der Gestalt der alten gegossenen Bronzetrommeln.² Bronzetrommeln

1 Dazu diene vermutlich z. B. die Beobachtung, daß durch Einhämmern eines Randes einer dünnen Bronzeplatte diese nicht nur als Halterung für zu tragendes Geschirr diene, sondern diese Behandlung gleichzeitig die Stabilität des gesamten Tablett erhöhte.

2 Vgl. Varsányi 2000-I: Kap. Bronzetrommel.

sowie einige Formen von Buckelgongs mit tiefem Rand (s. *agung* Kap. 4.2.4) dienen nicht nur als Schallgeräte sondern auch als Ritualbehälter (z. B. für Reis oder die Gebeine verstorbener Ahnen). Inwieweit letztendlich außermusikalische Beobachtungen oder sogar philosophische Betrachtungen Einflüsse auf die Gestaltung des javanischen und balinesischen *gong ageng* hatten, kann nur vermutet werden.³

Bis zu welchem Grad man auf rein graphischer Darstellung eine Übereinstimmung der PSV-Schwingungsbilder der 01-/02-Mode mit den ermittelten Richtcharakteristiken der Schallabstrahlung (s. Fig. 10) erkennen kann, muß noch untersucht werden. Ein *gong* entwickelt seine optimale Schallabstrahlung nach einigen Sekunden genau in der Mitte. Dies ist für die Aufnahmetechnik von Bedeutung und ein Mikrophon sollte demzufolge in einigem Abstand vor dem Schlagbuckel plaziert werden. Im Moment kurz nach dem Anschlag sind eine große Anzahl von unharmonischen Teiltönen feststellbar (z. B. Fig. 45). Sie sind für die Hörwahrnehmung des *gong*-Tones nur von sekundärer Bedeutung und gehören zum geräuschvollen „Anschlagton“ des Instrumentes mit indifferenter Tonhöhe.

Die ausbalancierten Klangeigenschaften eines Instrumentes zeigen sich dadurch, daß durch die Formgebung und die Dichteverteilung des Metallgefüges solche „störenden Klänge“ trotz hoher Energiezufuhr möglichst bald nach dem Anschlag unterdrückt werden können (vgl. Kap. 4.2.6. balinesischer *gong*). Daß die Klangeigenschaften eines Instrumentes von der richtigen Positionierung im Raum abhängig sind, ist bekannt. Für *gong* gilt besonders, daß die parallele Aufstellung zu einer Wand vermieden oder zumindest genügend Abstand zwischen *gong* und Wand gelassen werden sollte, um Interferenzen von Schallreflexion mit der Schallabstrahlung zu vermeiden (Kap. 4.2.8.c).

Daß sich große, tiefklingende *gong ageng* weniger als Signalinstrumente eignen als mittelgroße Instrumente des *kempur*-Typus, kann hörphysiologisch begründet werden (Kap. 2.4.1). Es läßt sich annehmen, daß der *gong ageng* eine Umgestaltung vom reinen Signalinstrument zum „Klangraum füllenden“ Musikinstrument aus diesen akustischen Beobachtungen erfahren hat. Belege hierfür liegen noch nicht vor, doch könnten Rückschlüsse aus der Spielweise der Musiker in diese Richtung gezogen werden: Wie Aufnahmen und eigene Beobachtungen belegen, herrscht in den javanischen Fürstenpalästen (*kraton*) eine langsame Spielweise vor, während bei Studioproduktionen für die Cassettenfirmen dieselben Stücke schneller gespielt werden. Es ist demnach anzunehmen, daß neben etikett- und geschmacksorientierten Maximen hinsichtlich der Spielweise an den Fürstenhöfen die Nachhallzeit des Raumes eine nicht unwesentliche Rolle spielt. Möglicherweise hat also auch die Architektur der mitteljavanischen Fürstenhöfe und der damit verbundene Raumklang die Entwicklung der javanischen Gamelanmusik beeinflusst, was wiederum auf die klangliche Gestaltung dieses Gamelaninstrumentes mit dem tiefsten Klang Auswirkungen hatte. Gegenüber der fürstlichen Gamelanmusik an den javanischen Höfen begünstigte also vermutlich auch der wesentlich trockenere Raumklang der kleineren Pavillons (*balè*) in den balinesischen Fürstenhäusern (*puri*) - neben dem Spiel unter freiem Himmel - die in Dynamik und Tempo so stark unterschiedliche Entwicklung der balinesischen Gamelanmusik. Eine fachgerechte Bedienung ist für den Klang eines Instrumentes grundlegend. Bei einem *gong* ist dies der Moment des Anschlages (Kap. 2.4.2). Bei einer überhöhten Anschlagsenergie ist bei Gongs mit einer vermehrten Anzahl von unharmonischen Frequenzen (*clinking harmonics*, Sachs 1940) zu rechnen (2.3.1). Daher wird für den Klang eines *gong ageng* ein teiltonarmes Spektrum angestrebt. Dafür ist ein vom Musiker gut abgestimmtes Masse-Stoß-Spektrum verantwortlich. Fehlende Masse des Anschlagmittels (*gong*-Schlägel, *tabuh*) wird durch die eigene Körpermasse des Spielers ausgegli-

3 S. Varsányi 2000-I: Kap. III.

chen, die an das Anschlagsmittel „gekoppelt“ wird.

Der Klang von *gong* unterscheidet sich von dem der Glocken weniger durch eine harmonische Teiltonstruktur des Grundtones als vielmehr durch seinen höheren Anteil an Rauschen und insbesondere seinen Schwebungen des vermutlich II. Teiltones. Dies entspricht der Maxime javanischer Musiker, nach der sein Klang weniger *farbig* als vielmehr *lebendig* sein soll (Kap. 2.3.1).⁴

Demzufolge ist das wesentlichste klangliche Element eines *gong ageng* nach javanischer und balinesischer Auffassung seine Schwebungen (javanisch *ombak* = Welle). In der westlichen Musik findet man Schwebungen nur noch beim *vox humana*-Register der Orgel, ansonsten werden sie eher vermieden.⁵ Von jedem Partialton, der von einer nicht rotationssymmetrischen Schwingungsmode stammt, existieren zwei Eigenschwingungen. Diese Eigenschwingungen liegen z. T. so nahe beieinander, daß sie nur bei entsprechend hoher Auflösung, also möglichst kleiner Bandbreite in den FFT-Analysen zu erkennen sind. Wie Fleischer (1997) bei Glocken nachgewiesen hat, sind die Schwebungserscheinungen abhängig vom Meßwinkel. Der Meßwinkel muß für *gong* naturgemäß in einer anderen Ebene als bei der Glocke angelegt werden. Da Schwebungen bei Glocken auf Unregelmäßigkeiten in der Axialsymmetrie zurückzuführen sind, könnte analog für *gong* die Schwebungsursache auf Unregelmäßigkeit in der Rotationssymmetrie angenommen werden, was noch nachzuweisen wäre. Dies könnte, wie die sechs PSV-Untersuchungen (Kap. 3.1) zeigen, für die von der Symmetrie stark abweichenden Felder der Eigenschwingungen aller „klangbildender“ Frequenzen gelten. Axialsymmetrische höherwertige Moden bilden in der Tendenz regelmäßiger Eigenschwingungsformen aus als rotationssymmetrische niederfrequente.

Man kann aber auch beobachten, daß bei allen *gong*, wo Schwebungen deutlich hörbar sind, die Spektren aus den FFT-Analysen ein nahe beieinanderliegendes Teiltonpaar erfassen, dessen Frequenzdifferenz meist auch den subjektiv wahrnehmbaren Pegelschwankungsgeschwindigkeit entspricht. Einer dieser Frequenzen läßt sich nach den PSV-Untersuchungen die Eigenschwingung der 12-Mode zuordnen. Allerdings zeigt sich bei dieser Mode im Vergleich der vorliegenden PSV- und FFT-Analysen des *gong ageng AV.94* eine Divergenz in der Pegeldarstellung (s. Fig. 20 sowie Fig. 63). Nach den Messergebnissen aus den PSV-Untersuchungen präsentiert sich der 12-Mode mit einem hohen Pegel als wichtigster Klangfaktor nach den 01-/02-Moden. Dagegen fällt bei der FFT-Untersuchungsart der Pegel dieser Frequenz so stark ab, daß man an der Bedeutung dieser Eigenschwingung für die Hörwahrnehmung zweifelt. Zukünftige Untersuchungen zu den Eigenschwingungen von *gong* werden die Bedeutung dieses 12-Mode für die Schwebungserscheinungen erklären. Schwebungscharakteristika verbunden mit einer virtuellen Tonhöhenempfindung des Grundtones sind die primären Klangmerkmale eines *gong ageng*, die seinen Wert bestimmen.

Während atmosphärische Einflüsse auf den Klang marginal sind, haben Temperaturschwankungen Auswirkungen auf die inneren Spannkraften, die das Schwingungsverhalten und somit auch den Klang eines *gong* beeinflussen. Einflüsse auf die Tonhöhe können vernachlässigt werden. Deutlich vernehmbar jedoch sind für geübte Gamelanmusiker die jahreszeitlich bedingten Schwankungen in der Schwebungsfrequenz (Kap. 2.3.2). Dennoch wird sich die Frage nach dem tatsächlichen Grad der Veränderungen nur durch längerfristige Untersuchungen unter kontrollierten klimatischen Bedingungen beantworten lassen.

4 Vgl. dazu Varsányi 2000-I, Kap. 1.3.4 Stimmen, Kap. 2.3 Klangästhetik und Kap. V. Zusammenfassung.

5 Das Vibraphon erzeugt seine *wow*-Effekte durch rotierende Scheiben über den Resonatoren, die auf eine Welle montiert von einem kleinen Elektromotor angetrieben werden. Dieses Öffnen und Schließen der Resonatoren führt zu Lautstärke-schwankungen, deren subjektiver Eindruck dem der Schwebungen sehr ähnlich ist.

Die Unregelmäßigkeit der schwingenden Felder in den PSV-Bildern ist nach der erwähnten Fertigungsweise nicht weiter verwunderlich. Hier beginnt die Aufgabe des *gong*-Stimmers, der abwägen muß, welche Eigenschaften von Form und Material eines *gong* klangbestimmend sind. Bei größeren Schwingern, wie dem *gong ageng*, gibt es mehrere Möglichkeiten der Feinabstimmung, die auf einer ausgewogenen, jedoch unregelmäßigen Dichteverteilung des Materials sowie auf Verbiegungen der Oberfläche (*rai*) basiert, die durch Hämmern in kaltem Zustand bewirkt wird. Sowohl die musikalische Tonhöhe als auch die Schwebungsfrequenz lassen sich auf diese Art bestimmen. Aus diesen Beobachtungen ergibt sich die Konsequenz, daß wenigstens zwei Ebenen von Eigenschwingungen den Klang eines *gong* gestalten (vgl. Valenzuela 1999, S. 32). Welche Stelle der *gong*-Oberfläche zu welcher Ebene gehört, ist bei jedem Instrument verschieden. Umso mehr verlangt die Kunst der *gong*-Stimmer großen Respekt ab, durch wenige Schläge auf die Oberfläche eines *gong* diese Eigenschwingungen zu beeinflussen.

In der ersten ausführlichen Monographie zur *gong*-Herstellung auf Java von Jacobson & v. Hasselt (1907) und in vielen nachfolgenden Aufsätzen zum Thema wird der javanische *gong* in erster Linie unter ethnologischen Aspekten untersucht. Seit den 1970er Jahren haben sich vermehrt auch Akustiker mit diesem Topos beschäftigt (Giles, Rossing, Fletcher, Legge u.a.m.). Die berührungsfreie optische Untersuchungsmethode, wie sie seit gut zehn Jahren mit einem Laser-Vibrometer (PSV) ermöglicht wird, bietet in Nachfolge bzw. in Erweiterung zur Modalanalyse die ideale Voraussetzung, um schwingende Platten wie die verschiedenen Gongs auch bei inhomogener Oberflächenstruktur in ihrem Schwingungsverhalten zu erfassen und darzustellen. Was noch fehlt, ist eine ausführliche Untersuchung mehrerer Stimmvorgänge eines erfahrenen *gong*-Stimmers aus Java. Es gilt, das mit modernen optisch-akustischen Analysemethoden detailliert zu erfassen, was in vorliegender Arbeit sowie in Varsányi 2000-I nur in einem beschränkten Grad dargestellt werden konnte: die Art der Veränderung von Eigenschwingungen durch Versteifen der verschiedenen Partien der Oberfläche mittels Hämmern und in besonderem Maße deren Lokalisation. Ziel einer solchen Untersuchung wäre es, die *gong ageng*-Oberfläche dergestalt „topographisch zu kartographieren“, daß daraus hervorgeht, welche Art der Manipulation zu welchem Schwingungsverhalten und somit zu welchem klanglichen Resultat führt. Eine solche höchst komplexe Untersuchung wird den qualifizierten *gong*-Stimmern in ihrer Arbeit wohl kaum ernsthafte Konkurrenz machen. Eine strikte Anwendung solcher Ergebnisse ohne den entsprechenden Erfahrungshintergrund dürfte vom musikalischen Standpunkt zu ähnlich unbefriedigenden Ergebnissen führen, wie ein Klavier, das nur mit Stimmgerät nach berechneter Frequenz eingestimmt würde, anstatt von einem guten Klavierstimmer mit geschultem subjektivem Gehör. Bis zu welchem Feinheitsgrad allerdings eine solche Untersuchung gebracht werden kann, ist wiederum Aufgabe von Fachleuten der Vibroakustik und der Schwingungstechnik.

An dieser Stelle geht mein Dank an Prof. Dr.-Ing. Helmut Fleischer, der mir ermöglichte, diesen Artikel in der von ihm zusammen mit Prof. Dr.-Ing. Hugo Fastl herausgegebenen Reihe zu veröffentlichen und ohne dessen freundliche Hilfe bei der Erstellung der PSV- und FFT-Analysen sowie den vielen guten Ratschlägen dieser Artikel von einem Nicht-Akustiker nicht hätte erstellt werden können.

6. LITERATUR

- Andrus, Donald George, 1969, An analysis of the acoustics of Tamtam sounds. Thesis, University of Illinois, Urbana, Illinois.
- Beck, John II. (Hg.), 1995, Encyclopedia of Percussion, Garland, New York.
- Bork, Ingolf, 1988, Schwingungen und Schallabstrahlungen von Trommeln, Vortrag auf der 15. Tonmeistertagung in Mainz.
- , 1992, Resonatoren für Xylophonstäbe, in: Instrumentenbau-Zeitschrift, S. 53-61.
- , 1994, Dynamische Eigenschaften von Schlegeln für Schlaginstrumente, Instrumentenbau-Zeitschrift (48/4 Juni), S. 13-17.
- Brüderlin, René, 1978, Akustik für Musiker-eine Einführung, Bosse/Regensburg.
- Collaer, Paul, 1979, Musikgeschichte in Bildern, Bd. I/3 Südostasien, VEB/Leipzig.
- Fleischer, Helmut, 1992, Zur Rolle des Kessels bei Pauken, Forschungsbericht aus dem Institut für Mechanik, Fakultät für Luft- und Raumfahrttechnik, Universität der Bundeswehr München Neubiberg.
- , 1996, Schwingung und Tonhöhe von Glockenspielglocken, Forschungs- und Seminarberichte aus dem Gebiet Technische Mechanik und Flächentragwerke, Institut für Mechanik, Fakultät für Luft- und Raumfahrttechnik, Universität der Bundeswehr München Neubiberg.
- , 1997, Glockenschwingungen, Beiträge zur Vibro- und Psychoakustik Heft 1/97, Institut für Mechanik, Fakultät für Luft- und Raumfahrttechnik, Universität der Bundeswehr München Neubiberg.
- Fletcher, N. H. & Rossing, Th. D., 1998, The physics of musical instruments (1991), Springer/New York.
- Giles, Ray, 1974, *Ombak* in the Style of the Javanese Gongs, in: Selected Reports in Ethnomusicology, Vol. II, No.1, University of California Los Angeles (UCLA), S. 158-165.
- Groneman, J., 1890, De gamelan te Jogjakartå. in: Verhandelingen der Koninklijke Akademie van Wetenschappen XIX. Deel, Müller/Amsterdam.
- Grützmacher, U. & E. Wesselhöft, 1959, Über den Klang eines chinesischen Gonges [=kin-Glocke!], Acoustica Vol. 9, S. 221-223.
- Hagedorn, Peter, 1989, Technische Schwingungslehre. Berlin.
- Hahn, Hans Georg, 1975, Einführung in die Methode der Finiten Elemente in der Festigkeitslehre.
- Hall, Donald E., 1997, Musikalische Akustik. (1991) Schott/Mainz.
- Heger, Franz, 1902, Alte Metalltrommeln aus Südost-Asien, Text- und Tafelband, Leipzig.
- Helmholtz, Hermann v., 1863, Die Lehre von den Tonempfindungen als Physiologische Grundlage für die Theorie der Musik, Braunschweig.
- Hood, Mantle, 1971, The Ethnomusicologist, Kent State University Press/McGraw Hill (21982).

- Hornbostel, Erich Moritz von & Curt Sachs, 1914, Systematik der Musikinstrumente, in: Zeitschrift für Ethnologie, Heft IV-V, Berlin.
- Jacobson, Edw. und Hasselt, J.H. van, 1907, Die Verfertigung der Gong in Semarang, E. J. Brill/Leiden.
- Kramer, Kurt, 1986, Glocken in Geschichte und Gegenwart. Badenia/Karlsruhe.
- Kunst, Jaap, 1973, Music in Java. 2 vols. 3rd rev. Ernst Heins (Hg.) M. Nijhoff/The Hague (1933).
- Legge, K.A. und N.H. Fletcher, 1989, Nonlinearity, chaos, and the sound of shallow gongs, in: Journal of the Acoustic Society of America (JASA) 86(6)-December, S. 2439-2443.
- Maceda, Josè, 1973, Music in the Philippines in the Nineteenth Century, in: Musikkulturen Asiens, Ozeaniens ... im 19. Jahrhundert, Bosse/Regensburg.
- Marschall, Wolfgang, 1968, Metallurgie und frühe Besiedlungsgeschichte Indonesiens. in: Ethnologica, Neue Folge Bd.4 - Beiträge zur Völkerkunde Südasiens und Ozeaniens, Brill/Köln.
- McPhee, Colin, 1966, Music in Bali: A Study in Form and Instrumental Organization, Yale University Press, New Haven.
- Meyer, Jürgen, 1995, Akustik und musikalische Aufführungspraxis. Bochinsky/Frankfurt a. M. (1972).
- Oehlmann, Johannes, 1992, Empirische Untersuchung zur Wirkung der Klänge von Gongs und Tam-Tams, Klang, Lautstärke Emotion, Schriften zur Musikpsychologie und Musikästhetik; Bd.5. Peter Lang/Frankfurt a. M.
- Rieländer, Michael M. (Hg.), 1982, Reallexikon der Akustik, Bochinsky/Frankfurt a. Main.
- Rossing, Th. D., 1982, Chladni's law for vibrating plates, in: American Journal of Physics 50, S. 271-274.
- , & Fletcher, N. H., 1983, Nonlinear vibrations in plates and gongs, in: Journal of the Acoustical Society of America 73/1, S. 345-351.
- , 1984, Acoustics of bells, Van Nostrand Reinhold Company Inc./New York.
- , & Shepherd, Robert B., 1988, Acoustics of gamelan instruments, Nachdruck aus: Percussive Notes Research Edition, 19/3, 1982, in: Musical Acoustics, Selected Reprints, College Park, S.169-179.
- , 1992, Die Pauke, in: Die Physik der Musikinstrumente , Spektrum/Heidelberg, S.128-135.
- Schad, Carl-Rainer, 1986, Werkstoffeinflüsse auf die Klangeigenschaften von Glocken, in: Kurt Kramer, Glocken in Geschichte und Gegenwart. Badenia/Karlsruhe, S. 148-156.
- , 1973, Akustische Untersuchungen zum Einfluß des Werkstoffs auf den Klang von Glocken. (Auszug aus Dr. Ing. Diss. Stuttgart 1969), in: ACUSTICA 29/1, S. 1-13.
- Seidl, Helmut, 1970, Frequenztafeln Cent-Hertz, Bochinsky/Frankfurt a.M.
- Takaoka, Yuki, 1994, The process of constructing and tuning the *gong ageng* of Javanese *gamelan*, in: Mabuchi, Usaburô und Osamu Yamaguti (Hg.), Music cultures in interaction-cases between

Asia and Europe, Academia Music Ltd./Tôkyô, S. 169-174.

Terhardt, E. und M. Seewann, 1984, Auditive und objektive Bestimmung der Schlagtonhöhe von historischen Kirchenglocken, in: ACUSTICA vol. 54, S. 129-144.

Trendelenburg, Ferdinand, 1961, Einführung in die Akustik, Springer/Berlin.

Twoerk, Thomas, 1997, Laser-Vibrometrie: Berührungsloses Messen von Oberflächenschwingungen, Diplomarbeit am Institut für Mechanik, Fakultät für Luft- und Raumfahrttechnik, Universität der Bundeswehr Neubiberg.

Valenzuela, Miriam Noemi, 1999, *Zur Rolle des Gehörs bei akustischen Untersuchungen an Musikinstrumenten*, Beiträge zur Vibro- und Psychoakustik, 01/99 Hg. Helmut Fleischer und Hugo Fastl, UniBw München, Neubiberg.

Varsányi, András, 2000, *gong ageng* - Herstellung, Klang und Gestalt eines königlichen Instruments des Ostens, Diss. Eberhard-Karls-Universität, Tübingen, Verlag Hans Schneider/Tutzing.

Waller, Mary Dèsirèe, 1961, Chladni Figures - A Study in Symmetry, Bell/London.

Yupho, Danit, 1960, Thai musical instruments (transl. David Morton), The Departement of Fine Arts/Bangkok (21971).

In der Reihe

Beiträge zur Vibro- und Psychoakustik

sind bisher erschienen:

- Heft 1/96 Fleischer, H. und Zwicker, T., DEAD SPOTS. Zum Schwingungsverhalten elektrischer Gitarren und Baßgitarren.
- Heft 1/97 Fleischer, H., Glockenschwingungen.
- Heft 1/98 Fleischer, H., Schwingungen akustischer Gitarren.
- Heft 1/99 Valenzuela, M.N., Zur Rolle des Gehörs bei akustischen Untersuchungen an Musikinstrumenten.
- Heft 2/99 Fleischer, H., Dead Spots of Electric Basses. I. Structural Vibrations (in Englisch).
- Heft 1/00 Fleischer, H., Dead Spots of Electric Basses. II. Diagnosis (in Englisch).

ISSN 1430-936X

Beiträge zur Vibro- und Psychoakustik