

BAU UND AKUSTISCHE ANALYSE EINES MODERNEN DIDGERIDOOS



Maturaarbeit Fachbereich Musik
Erstellt durch Remo Wasmer, Klasse N 03-07
Betreuende Lehrkraft: Alfred Kesseli

19.04.07

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung.....	1
1.1 Vorwort: Motivation und Themenwahl.....	1
1.2 Zielsetzung und Fragestellungen.....	1
1.3 Vorgehensweise und Inhalt.....	2
2 Das Didgeridoo zwischen Tradition und Moderne.....	3
2.1 Entwicklung und Verbreitung des traditionellen Didgeridoos.....	3
2.2 Die aktuelle Didgeridooszene.....	5
2.3 Essay über ethisch-moralische Aspekte zum Didgeridoohandel.....	6
3 Theorie und Physik des Didgeridoos.....	10
3.1 Grundlagen zur Klangphysik des Didgeridoos.....	10
3.2 Das Konzept Reimer / Geipel.....	18
4 Fertigung eines eigenen modernen Didgeridoos.....	20
4.1 Vorbereitung und Planung.....	20
4.2 Erklärung des Vorgehens und Baubericht.....	24
4.3 Probleme bei der Fertigung und mögliche Umgehungsweisen.....	31
5 Akustische Analysen und Vergleiche mit den Vorgaben.....	32
5.1 Erarbeiten der Messdaten.....	32
5.2 Analyse und Interpretation der Messdaten.....	33
6 Zusammenfassung, Resultate und Schlusswort.....	39

7 Anhang.....	vii
7.1 Verwendete Software und Quelldaten für die akustischen Auswertungen.....	vii
7.2 Quellenverzeichnis.....	viii
7.3 Bilder.....	x
7.4 Dank.....	x
7.5 Deklaration zur Eigenständigkeit.....	xi

1 EINLEITUNG

1.1 Vorwort: Motivation und Themenwahl

Ich spiele seit einigen Jahren mit Begeisterung Didgeridoo – ein Instrument, welches immer noch recht wenig bekannt ist. Deswegen stand für mich eine Arbeit rund um das Didgeridoo schon ganz am Anfang der Themensuche – neben zwei weiteren Themen in den Bereichen Informatik und Psychologie – zur Diskussion. Weil ich aber grundsätzlich keine besonders theoretische oder weitgehend auf Literaturstudium gründende Arbeit verfassen wollte, war mir bald klar, mit dem Themenbereich Didgeridoo auf dem richtigen Weg zu sein.

Beim Durchstreifen von Fachbüchern und Internetseiten zum Thema suchte ich Ansätze für meine Zielsetzungen. Dabei griff ich einen Bereich auf, der mich schon seit längerem interessierte, ohne dass ich mich je weiter damit beschäftigt hätte: der Eigenbau. Noch war mir unklar, wie ich den Bau eines Instruments sinnvoll in eine Arbeit integrieren sollte, bis ich beim Recherchieren auf die Methode des *computergestützten Didgeridoo-Sound-Designs* stieß, welche mich sogleich faszinierte. Zum einen interessiert mich die technisch-wissenschaftliche Komponente dieser Methode und zum anderen gefällt mir kreatives handwerkliches Arbeiten. Nach einigen Abklärungen war ich überzeugt, das richtige Thema gefunden zu haben, und freute mich bereits darauf.

1.2 Zielsetzung und Fragestellungen

Ziel der praktischen Arbeit ist es, ein modernes, möglichst hochwertiges Didgeridoo aus einheimischem Holz von Hand zu fertigen. Es soll vorgegebenen Klangcharakteristiken genügen und wird gegebenenfalls aufgrund akustischer Analysen angepasst. Dafür wird die zu realisierende Innenform mithilfe einer Simulation vorausbestimmt.

Die theoretische Auseinandersetzung erfolgt vor allem durch die Diskussion der Messdaten in Bezug auf klangliche Auffälligkeiten, Übereinstimmung zwischen Instrument und vorgegebenem Klangspektrum, und Veränderungen beim Bau beziehungsweise bei nachträglichen Anpassungen am Instrument.

Unter anderem sollen folgende Leitfragen geklärt werden:

- Was bewegte mich zur Wahl der verwendeten Arbeitsmethoden und Materialien bei der Fertigung, und wie haben sich diese bewährt?
- Was für Probleme stellten sich bei Planung, Fertigung und Überprüfung?

- Was bewegte mich zur Wahl der verwendeten Methoden und Messanordnungen zur akustischen Analyse?
- Wie genau entspricht das fertige Instrument den Vorgaben in Klang und Spielbarkeit?
- Wie stark machen sich weitere Bearbeitung wie Feinschliff, Ölung und Lackierung an der fertig ausgehöhlten Innenform im Klang bemerkbar?

1.3 Vorgehensweise und Inhalt

- Das Konzept *Reimer / Geipel*:
Zuerst sollen die gewünschten Klangeigenschaften festgelegt werden, worauf die entsprechende Bauform vorausbestimmt werden muss. Dazu nutze ich die in der Didgeridoobauszene zur Zeit fortgeschrittenste Projektierungsmethode von *Kay Reimer* und *Dr. Frank Geipel*, die es erlaubt, zu einem gewünschten Klangspektrum eine passende Didgeridoo-Innenform zu simulieren.
Da die dabei angewendeten Berechnungsverfahren bis anhin bei ihrem Autoren bleiben, ist die Methode *Reimer / Geipel* nicht weiter ein Bestandteil meiner Arbeit, sondern dient nur als Mittel zum Zweck. Im ersten Teil sollen aber mit einem kleinen Exkurs in die Klangphysik des Didgeridoos die nötigen theoretischen Grundlagen zum weiteren Verständnis meiner Arbeit geschaffen werden.
- Fertigung mit der Sandwich-Methode:
Zurzeit gilt die Sandwich-Baumethode als die anfängerfreundlichste Technik im westlichen Didgeridoobau. Ausserdem erlaubt sie als einzige den Bau nach einer genau vorgegebenen Innenform.
Dabei wird ein Holzast längs geteilt und muss anschliessend – da uns die hiesigen Ameisen anders als die australischen Termiten diese Arbeit nicht abnehmen – von Hand ausgehöhlt werden. Die Innenform soll dabei genau den zuvor erstellten Schablonen entsprechen. Daraufhin werden die zwei Halbschalen wieder zusammengefügt.
In der Arbeit wird dieser Teil in Form eines ausführlichen Bauberichts kommentiert.
- Analyse und Vergleiche:
Während und nach dem Bau wird der Klang des Instrumentes am Computer analysiert. Die gemessenen Spektrogramme werden mit dem angestrebten verglichen und interpretiert. Starke Abweichungen zu den Vorgaben werden wenn nötig durch Anpassungen am eigentlich fertig spielbaren Instrument zu minimieren versucht.

2 DAS DIDGERIDOO ZWISCHEN TRADITION UND MODERNE

2.1 Entwicklung und Verbreitung des traditionellen Didgeridoos

Das Didgeridoo ist eine Holztrompete der australischen Ureinwohner, der *Aborigines*. Das Instrument gehört zu den *Lippenton-Aerophonen* und daher eigentlich in die selbe Kategorie wie die *Blechblasinstrumente*¹. Es wirkt jedoch nach westlichem Musikverständnis recht ungewöhnlich. Als traditionelle Didgeridoos gelten von Termiten gehöhlte, bemalte Eukalyptusäste. Durch unterschiedliche Mund- und Lippenstellungen, den Einsatz von Stimmlauten oder Überblasen sowie einer besonderen Atemtechnik, der *Zirkuläratmung*, können dem an sich schon obertonreichen Instrument eine reiche Fülle unterschiedlichster Töne und Rhythmen entlockt werden.

Als die Europäer Ende 18. Jahrhundert Australien besiedelten, schufen wahrscheinlich Forscher für die Holztrompete wegen ihres merkwürdigen Klangs den lautmalerischen Begriff «Didgeridoo». In den weit über hundert verschiedenen Sprachen der Aborigines hat das Instrument hingegen unzählige unterschiedliche Namen. Oft wird heute deswegen auch der Begriff *Yidaki* gebraucht, wie das Didgeridoo bei Stämmen in *Arnhemland*, Nordaustralien, heisst².

Es ist nicht sonderlich viel über Alter, ursprünglichen Einsatz und Verbreitung des Instruments bekannt. Dies unter anderem, weil die Weissen die Aborigines zum Teil noch bis vor wenigen Jahrzehnten unterdrückten und ihr Volk beinahe ausgerottet hatten. Für die Aborigines existiert das Didgeridoo seit Anbeginn der Welt, und viele Stämme kennen ihre eigene «*Traumzeitgeschichte*» zu seiner Entstehung. Aus westlicher Sicht genügt diese Ursprungsmythe zur Erklärung kaum. Die ältesten Abbildungen in Felsmalereien sind ungefähr 2000 Jahre alt (was aber nicht unbedingt bedeutet, dass das Instrument nicht



Illustration 1:
Traditionelles
Eukalyptus-
didgeridoo

¹ <http://de.wikipedia.org/wiki/Aerophon>, 14. Jan. 07

² Tarnopolsky et al.: *Acoustics of the didjeridu*, S. 1

auch schon früher existierte)³. Ausserdem gilt das Arnhemland in Nordaustralien als Ursprungsgebiet. Das Didgeridoo gehörte wahrscheinlich nur zur Kultur weniger Sippen und war meist aus Bambus hergestellt⁴.

Unter den australischen Ureinwohnern verbreitete sich das Didgeridoo erst nach der Ankunft der Weissen. Vorher lebten die einzelnen Clans geografisch voneinander abgeschieden. Sie trieben zwar Handel, aber praktizierten ihre eigenen Riten und Bräuche. Erst nach dem Kontakt mit den Europäern standen Eisenwerkzeuge zur Verfügung, die eine Fertigung auch aus anderen Hölzern als Bambus, welches in Australien eher im Norden verbreitet ist, ermöglichte. Sicherlich trug jedoch auch die Unterdrückung der Aborigines durch die Weissen zur weiteren Verbreitung des Didgeridoos bei: Sie förderte ein Zusammengehörigkeitsgefühl und gemeinsames Kulturverständnis der Clans.

Gerade zu jener Zeit, als die enorme Vielfalt der Aboriginal-Kultur durch das Verschwinden ganzer Stämme und die Eingliederung abertausender Ureinwohner in die Zivilisation ernsthaft vom Aussterben bedroht war, diente das Didgeridoo als bindendes Glied der Stämme untereinander – auch wenn das Instrument von den verschiedenen Sippen recht unterschiedlich gehandhabt wurde und noch wird. Je nach Clan wird das Didgeridoo sitzend oder stehend von einem ausgewählten Stammesmitglied meist zur Untermalung von meditativen Gesängen oder Tänzen gespielt. Seit Anfang und besonders Mitte des 20. Jahrhunderts fand das Didgeridoo bei den Ureinwohnern so den Weg über den ganzen Kontinent⁵.

Ausserhalb der Reservate fristete das Didgeridoo hingegen bis in die 80er-Jahre ein Schattendasein. Das änderte sich ziemlich schlagartig, als Souvenirläden das Instrument für sich entdeckten. Anfangs interessierten sich besonders europäische Touristen für die schön bemalten Stücke, die von Eingeborenen gekauft worden waren und nun die Schaufenster schmückten. Es bildeten sich die ersten Didgeridoo-Formationen (sowohl indigener als auch westlicher Spieler), die weltweite Beachtung fanden. Anfangs der 90er-Jahre erlebte das Didgeridoo einen regelrechten Boom, unter anderem wegen spezieller Anfertigung für Touristen und damit gesunkener Preise. Obwohl keine offiziellen Zahlen existieren, ist davon auszugehen, dass inzwischen aufgrund der Produktionskosten mehr Didgeridoos in Asien hergestellt werden als in seinem Ursprungskontinent⁶.

³ <http://www.colindidj.com/historyofthedidgeridoo.html>, Stand 13. Jan. 2007

⁴ Lindner, *Das Didgeridoo Phänomen: McMahon*, S. 23

⁵ <http://de.wikipedia.org/wiki/Didgeridoo>, Stand 16. Jan. 2007

⁶ Lindner, *Das Didgeridoo Phänomen*, S. 256

2.2 Die aktuelle Didgeridooszene



Illustration 2:
*Teakholz-
didgeridoo*

Als das Didgeridoo in den Achtzigerjahren den Weg aus Australien hinausfand, konnte man hierzulande noch praktisch nirgends umfassende Informationen zum Instrument beziehen, geschweige denn Unterricht nehmen. Wer damals Didgeridoospielen lernen wollte, dem blieb eigentlich nichts anderes übrig, als in Australien ein Instrument zu kaufen und dort bei einem Aborigine Stunden zu nehmen.

Das traditionelle Spiel der australischen Eingeborenen dient meist zur rhythmischen Begleitung von Gesängen⁷. Um das Instrument auch solo besser einsetzen zu können, verwendeten oder entwickelten – meist westliche – Didgeridoo-Schüler Spieltechniken, welche in den traditionellen Spielweisen seltener vorkommen: unregelmässige Rhythmen, den intensiven Einsatz von Stimmlauten, Überblasen⁸ sowie ausgeprägtere Mund- und Zungenartikulationstechniken. Diese Elemente verleihen dem Spiel eine noch viel grössere Fülle an Tönen und vereinfachen auch den Einsatz in westlichen Musikrichtungen.

Gleichzeitig begannen begeisterte Tüftler und Künstler, mit selbstgebaute Instrumenten zu experimentieren. Der Kreativität sind im Didgeridobau keine Grenzen gesetzt: bald tauchten Instrumente aus einheimischen Hölzern, aber auch aus verschiedensten anderen Baustoffen wie Plastik, Glas, Metall oder Hanf auf. So entstanden die unglaublichsten Modelle und Formen mit merkwürdigen Windungen, Klappen oder Teleskop-Klangkörper; eine Entwicklung, die ungebremst weitergeht. Viele dieser Instrumente werden auch verkauft und zum Teil in Serien produziert.

Anfang der Neunzigerjahre öffneten einige der ehemaligen westlichen «Schüler» in Europa Import-Didgeridooshops und boten schliesslich selber Unterricht an. Seither ist es auch in der Schweiz nicht mehr schwierig, ein Didgeridoo zu kaufen und es spielen zu lernen.

Fundierte Informationen zum Didgeridoo suchte man hingegen bis vor wenigen Jahren meist vergeblich. Sehr viele Quellen zum Thema gründeten auf Spekulationen und völlig veralteten Forschungen, die sich oftmals auch wider-

⁷ Lindner, *Das Didgeridoo Phänomen*, S. 62ff

⁸ siehe Abs. 3.1 «Grundlagen zur Klangphysik des Didgeridoos»

sprachen. Das scheint sich aber seit Neuestem langsam zu ändern: immer mehr glaubwürdige Facharbeiten und Publikationen erscheinen, welche das Didgeridoo aus wissenschaftlicher oder auch kultureller Sicht behandeln⁹.

2.3 Essay über ethisch-moralische Aspekte zum Didgeridoohandel

Wer sich heute ein Didgeridoo kauft – sei es im Souvenirshop in Australien, am Jahrmarkt in der Schweiz oder sonst wo – steht vor einem breiten Angebot verschiedenster Materialien und Herkünften in allen Preisklassen. Weil man als Beginner das Instrument noch nicht gut kennt und gar nicht weiss, woran man traditionelle Didgeridoos ausmacht, dürfte man sich leicht zum Kauf eines sehr günstigen und doch hübsch bemalten Bambus- oder Teakholzdidgeridoos verleiten lassen. Aber auch für Kenner gibt es eine ganze Menge guter Gründe, sich ein modernes Didgeridoo zu kaufen. Exakt verarbeitete Instrumente verschiedenster Materialien weisen nämlich oft Klangeigenschaften auf, nach denen man bei traditionellen Didgeridoos lange suchen müsste. Dazu sind besser haltbar und günstiger. Trotzdem gibt es kaum einen Didgeridoo-Spieler, der sich nicht früher oder später auch ein echtes, ein authentisches Instrument für seine Sammlung wünscht. Aber – was ist überhaupt ein *authentisches* Didgeridoo?

Als erstes müsste das Instrument sicher aus Australien stammen, was gar nicht so selbstverständlich ist – erinnern wir uns nur daran, dass Teakholzdidgeridoos gleich zu Hunderttausenden in Indonesien produziert werden.

Aus der relativ jungen Verbreitungsgeschichte und der Tatsache, dass die ersten Instrumente wohl eher aus Bambus hergestellt waren, folgt, dass ein ursprüngliches Didgeridoo nicht einmal unbedingt ein von Termiten ausgehöhlter Eukalyptusast sein muss. Es stimmt zwar schon, dass die meisten zeremoniellen Didgeridoos der Aboriginal-Clans heute eben solche Instrumente sind. Offensichtlich ist um sie herum in den letzten hundert Jahren auch eine sehr ausgeprägte Kultur entstanden; diese Instrumente können also schon als traditionell angesehen werden – sind aber nicht «das einzig Wahre». Und auch sie entwickeln sich weiter: die Bemalung traditioneller Didgeridoos ist von modernen Strömungen der Aboriginal-Kunst beeinflusst worden, die Form und somit auch der Klang haben sich tendenziell verändert und auch die Art der Herstellung durchgeht einen Wandel.

⁹ siehe auch Erscheinungsdaten im Quellenverzeichnis (Abs. 7.2 am Ende dieser Arbeit)

Bei der traditionellen Herstellung schneidet ein einzelner Baukünstler eines Clans einen einzelnen geeigneten, hohlen Ast eines Eukalyptusbaumes ab (der danach wieder neue Triebe bilden kann). Viele Äste sind hohl, weil sich Termiten in gewissen Regionen Australiens fast gänzlich von Eukalyptusholz ernähren und manchmal die Bäume ganzer Landstriche befallen. Da Termiten lichtscheu sind und das Eukalyptus-Splintholz eine für sie giftige Substanz (*Kreosot*) enthält, arbeiten sie sorgfältig eine Röhre durch die Äste und Stämme¹⁰ (was der Baum aber oft überlebt). Der Erbauer achtet darauf, dass der Ast möglichst wenig weiter bearbeitet werden muss (vielleicht brennt er ihn noch mit glühender Kohle aus), und widmet seine volle Aufmerksamkeit der sorgfältigen Bemalung mit religiösen Symbolen. Augenscheinlich handelt es sich also hierbei um eine nachhaltige Fertigung.

Ganz anders, seit Didgeridoos extra für Touristen hergestellt werden, was Massenanfertigung und Arbeitsteilung erfordert. Neben den Erbauern qualitativ hochwertiger Instrumente tauchten viele Massenproduzenten auf – viele nicht-indigenen Ursprungs, teils aber auch Aborigines. Ein grosser Preisdruck (auch, weil anfangs der 90iger der Didgeridoobau in Indonesien begann) hatte zur Folge, dass nicht mehr auf Qualität und Spielbarkeit Wert gelegt wurde, sondern auf die Menge. Oft stellen städtische Zwischenhändler auch arbeitslose Aborigines an, die heute zur sozial niedrigsten Schicht gehören. Wirklich grosse Händlermargen verdienen sich dann erst die Endverkäufer. Es ist auch nicht ungewöhnlich, dass minderwertige Rohlinge zum Ausbohren und zur Bemalung nach Asien exportiert und dann nach Australien reimportiert werden. Diese Art der Beschaffung kann auch die ökologischen Gleichgewichte des australischen Busches gefährden. Manchmal werden halbe Eukalyptuswälder auf der Suche nach Rohlingen durchforstet, wobei am Ende kaum ein Drittel der gefälltten Bäume verwertbare Äste bietet. Zum Teil verkaufen auch Clans ihre Eukalyptusbestände, weil sie sonst nicht zu Geld kommen. Inzwischen ist der Eukalyptusbezug staatlich geregelt, was die Situation ein wenig entschärft hat.

Verkaufen lassen sich die Instrumente wegen den oft schönen, indigenen Motiven. Anders als bei der traditionellen Bauweise werden zur Rationalisierung oft fertige Schablonen zum Ansprachen verwendet, die Aboriginal-Symbole und Muster abbilden. Für die Eingeborenen haben diese Zeichen jedoch oft einen spirituellen Wert, weswegen Aboriginal-Clans das Nachahmen ihrer Malereien in der Regel ablehnen und als Urheberrechtsverletzung betrachten.

¹⁰ Lindner, *Das Didgeridoo Phänomen: McMahon*, S. 22

Ein so hergestelltes Didgeridoo lässt sich im Didgeridoo-Shop nicht mehr so leicht von ursprünglichen unterscheiden, und nichts deutet auf die ökologischen und sozialen Probleme in Australien rund um das Didgeridoo hin. Immerhin bemühen sich inzwischen viele Händler, nur noch von indigenen Künstlern signierte Instrumente anzubieten. Dennoch scheiterten auf längere Sicht bisher alle Versuche, ein Label aufzubauen, welches die Authentizität von Aboriginal-Produkten zertifizieren sollte, an fehlender Rentabilität¹¹.

Daraus wird klar, dass australische Eukalyptus-Didgeridoos keineswegs bedenkenlos als Originale angesehen werden können. Im Gegenteil: der weit überwiegende Teil der angebotenen Stücke hat mit ihrem ursprünglichen kulturellen Kontext nichts mehr gemeinsam.

Obwohl das Didgeridoo für die Aborigines immer ein «heiliges» Instrument ist, haben sie nichts dagegen einzuwenden, wenn ihr Instrument auch von westlichen Spielern benutzt wird. Angesichts der sozialen Not der Aborigines finde ich es aber respektlos, ihre Instrumente mit billigen Imitaten vom Markt zu verdrängen.

Gleichzeitig begrüße ich das breite Angebot moderner, westlicher Instrumente – solange sie sich von Originalen abgrenzen. Diese decken nämlich einen Teil der Nachfrage ab, welcher sonst sowieso nur mit «Fälschungen» auszufüllen wäre. Viele davon sind mit grosser Hingabe gefertigt, einzigartig und damit fast schon kleine Kunstwerke. Gegenüber Serienprodukten wurden sie also nicht in erster Linie für finanzielle Zwecke gebaut.

Weil nicht-traditionelle Didgeridoos ausser der Spieltechnik nichts mehr mit Originalen gemeinsam haben, nennen sie manche Didgeridoospieler auch anders, nämlich *Windhörner*. Ein Ausdruck aber, der ausserhalb der Szene bisher kaum bekannt ist, weswegen ich auch darauf verzichtet habe, ihn in dieser Arbeit zu verwenden.

Es ist praktisch unmöglich, einen Überblick über die aktuelle Vermarktung, Verwendung und Verbreitung des Didgeridoos zu gewinnen, da rund um das Didgeridoo viele Halbwahrheiten und ungestützte Theorien kursieren. Dies ist auf verschiedene Gründe zurückzuführen: wie bereits erwähnt, wendete sich die Forschung erst viel zu spät der Aboriginal-Kultur zu. Ausserdem war das Didgeridoo hierzulande bis in die Neunzigerjahre weitgehend unbekannt. Weil bis vor kurzem zum Thema nur sehr wenige aktuelle und glaubwürdige Quellen zur Verfügung standen, sind aus jener Zeit immer noch viele haltlose

¹¹ seit 2004 unternimmt *iDIDJ Australia*, ein privater Verein zur Wahrung der kulturellen Wurzeln des Didgeridoos, wieder Bemühungen in diese Richtung

Behauptungen über das Didgeridoo und die Aborigines im Umlauf (etwa liest man immer wieder, das Didgeridoo sei wahrscheinlich über 40'000 Jahre alt). Ein weiterer Grund für die breite Desinformation dürfte in der kommerziellen Ausschöpfbarkeit gewisser Aussagen liegen (Didgeridoos werden manchmal auch mitten unter Gestellen von tibetischen Buddhas und indianischen Traumfängern angeboten, was den Verkäufer nicht unbedingt dazu anregen wird, besonders fundierte Tatsachen zu deren Ursprung darzulegen). Und hier kommen wir gleich zum nächsten Bereich, in dem – meiner Meinung nach! – mit dem Didgeridoo bei uns Missbrauch betrieben wird: nämlich zu esoterischen Zwecken. Obwohl ich finde, man kann und soll das Didgeridoo zur persönlichen Entspannung, vielleicht auch zur Meditation, einsetzen, bin ich der Meinung, dass sein Einsatz in Patchwork-Religionen oder Ähnlichem fehl am Platz ist. Diese Art der Benutzung lehnen auch die Aborigines ab, für die *ihr* Didgeridoospiel *immer* spirituelle Bedeutung trägt und etwas «Heiliges» ist. Persönlich denke ich auch, dass die religiöse Benutzung des Didgeridoos als eben spirituelles, «heiliges» Objekt ausserhalb seines ursprünglichen Kulturkreises alles andere als eine ehrliche Aufarbeitung des Umgangs der Weissen mit der Kultur der Aborigines darstellt. Auch die allgemeine Aufklärung zum Ursprung und der «korrektere» Verkauf authentischer Instrumente wird so wohl kaum gefördert.

Ich hoffe, mit obigen Gedankengängen einen kritischen, aber gleichzeitig objektiveren Blickwinkel zum Thema Didgeridoo eröffnet zu haben.

3 THEORIE UND PHYSIK DES DIDGERIDOOS

3.1 Grundlagen zur Klangphysik des Didgeridoos

Um die nachher folgenden Analysen verstehen zu können, werden gewisse Grundlagen aus der Akustik benötigt. Diese hier vollständig und korrekt zu vermitteln, würde aber den Rahmen der Arbeit sprengen.

Um uns grob den akustischen Eigenschaften des Didgeridoos anzunähern, nehmen wir erst einmal das einfachste vorstellbare Didgeridoo als Modell: Es ist ein *zylindrisches Rohr*, auf der einen Seite offen, auf der anderen begrenzt durch die Lippen (III3). Das offene (oft aufgeweitete) Ende bezeichnet man beim Didgeridoo als *Bell* oder *Glockenende*.

Wie wird der Ton im als halboffenes Rohr angenäherten Didgeridoo erzeugt?

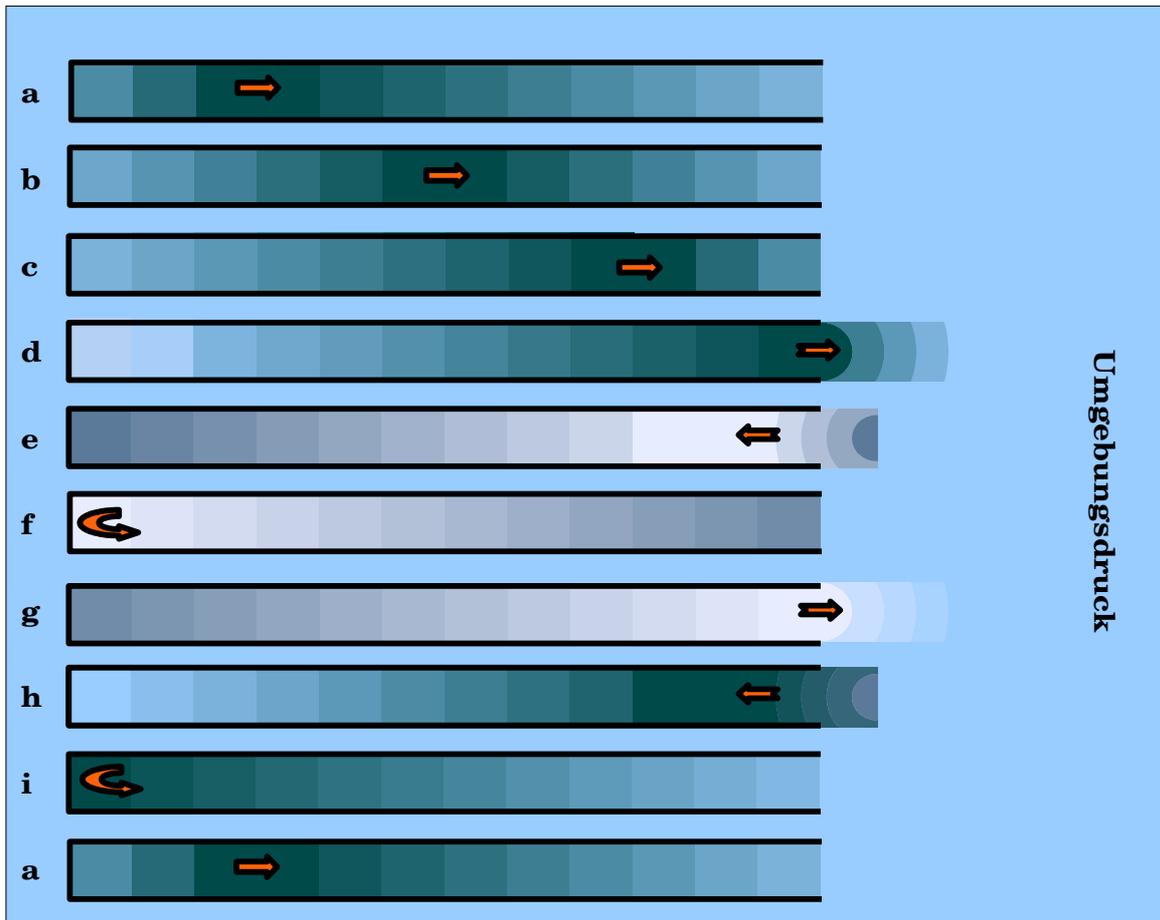


Illustration 3: Bereiche mit hohem Luftdruck sind dunkler, jene mit tieferem heller. (Anm.: Zwischen e und f, f und g sowie h und i wurden einige Bilder ausgelassen. Ausserdem ist die stetige Druckabnahme durch Energieverlust nicht berücksichtigt.)

Grundsätzlich gleicht der Tonerzeugungsprozess des Didgeridoos dem der *Blechblasinstrumente*¹²: Der Spieler erzeugt mit Lunge, Backenmuskulatur sowie Lippenspannung einen Luftfluss, der die Lippen flattern lässt. Die angespannten Lippen dienen gewissermassen als *Druckventil* für die austretende Luft¹³. Diese hat einen höheren Druck (bzw. eine höhere Dichte) als die Umgebungsluft. Sie breitet sich in Form einer *Longitudinalwelle*¹⁴ (Längswelle) aus (siehe **III3: a-c**). Sobald diese Druckwelle aus dem offene Ende des Rohres herausragt, kann sie sich in alle Richtungen frei ausbreiten (**III3: d**). Beim Auftreffen auf das Trommelfell des menschlichen Gehörs wird sie als Schall wahrgenommen.

Die austretende Luft (**III3: e**) erzeugt jedoch einen Unterdruck im Instrument; sie hinterlässt also einen Sog (ähnlich einem vorbeifahrenden Zug)¹⁵. Dieser zieht Luft von weiter hinten im Instrument nach sich, wo wiederum ein Unterdruck entsteht, und so fort: während vorher eine *Überdruckwelle* aus dem Instrument austrat, bewegt sich nun eine *Unterdruckwelle* zum geschlossenen Ende hinein. Dort prallt sie an der Wand ab und wird umgelenkt (**III3: f**). Analoges zur Überdruckwelle geschieht nun mit der Unterdruckwelle, welche beim Austreten wieder Umgebungsluft «hereinsaugt», die in Richtung Mundstück wandert. Von dort kann der Zyklus wieder beginnen, den man als *schwingende Luftsäule* bezeichnet.

Ein einzelner Luftimpuls durchgeht – wie aus obigem Modell ersichtlich – also vier Reflexionen (zwei am Bellend, zwei am Mundstück), welche aber theoretisch beliebig oft wiederholt werden könnten. Wie jeder weiss, verstummt jedoch der Klang eines Instruments bald einmal, wenn man aufhört darauf zu spielen. Das liegt am *Energieverlust* durch Schallaustritt und – bemerkenswerterweise – beim Didgeridoo noch viel mehr am Energieverlust durch die Reibung der Luftteilchen an den Innenwänden (was Wärme erzeugt)¹⁶.

Die vorausgegangenen Überlegungen sollten uns nun helfen zu verstehen, wie man den Klang eines solchen Instruments beschreiben und berechnen kann:

- Ein Geräusch (bzw. Ton oder Klang), das wir hören, ist eigentlich nichts anderes als die *Vibration* von Luftpartikeln. Dabei nehmen wir die Geschwindigkeit, mit der die Luftteilchen schwingen, als *Frequenz* bezeichnet, als Tonhöhe («höhere Frequenz = höherer Ton»), den «Luft-

¹² University of New South Wales Webpage: *Didjeridu acoustics / yidaki acoustics*

¹³ Fletcher, *The Didjeridu (Didgeridoo)*, Abs. 2 «Passive Acoustics»

¹⁴ University of New South Wales Webpage: *Strings, standing waves and harmonics*

¹⁵ University of New South Wales Webpage: *FAQ in music acoustics*

¹⁶ University of New South Wales Webpage: *Acoustics of brass instruments (lip reeds)*

druck» als Lautstärke wahr. Ein Klang besteht in der Regel aus einer ganzen Variation von Tonhöhen mit jeweils unterschiedlichen Lautstärken, was man als *Klangfarbe* (oder *Timbre*) bezeichnet.

- In Realität werden beim Spiel kontinuierlich neue Luftimpulse erzeugt, welche schliesslich auf entgegenkommende auftreffen. Dabei verstärken sie sich. Die sich ausbreitende Welle überlagert sich also selber, weil sie reflektiert wird. Dies kann bei bestimmten, als *Eigenschwingungen* bezeichnen Frequenzen zu einer sogenannten *stehenden Welle* (siehe **III4**, S.14) führen¹⁷. Gewisse Tönhöhen lassen sich daher besonders gut und laut spielen. Alle Klangkörper weisen solche Eigenschaften auf. Die tiefste Eigenschwingung mit der Frequenz f bezeichnet man als *Grundton*; zusammen mit seinen Vielfachen $1f, 2f, 3f, 4f$ etc., als *harmonische Reihe*.¹⁸
- Um den Grundton herzuleiten, gehen wir wieder von unserem idealen, zylindrischen halboffenen Didgeridoo aus. Kehren wir zum Modellzyklus von **Illustration 3** zurück: ein Luftimpuls braucht *vier* Mal reflektiert zu werden, um wieder am Ausgangspunkt anzukommen. Er legt also *vier Mal die Länge* des Didgeridoos zurück. Mathematisch lässt sich dieses Verhalten mit der *Wellenlänge* λ , der *Amplitude* (=maximalen Auslenkung) \hat{y} sowie der *Winkelgeschwindigkeit* ω beschreiben. Für allgemeine harmonische Wellen kann man dabei folgende Relation aufstellen:

$$\lambda = \frac{\omega}{\hat{y}}$$

Bei Schallwellen entspricht die Amplitude \hat{y} der akustischen Frequenz f in *Hz*, also der Anzahl Auslenkungen eines Luftpartikels pro Sekunde. Für ω setzt man die *Schallgeschwindigkeit* $c_{\text{Luft}} \approx 343 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ und für die Wellenlänge λ den Weg eines Luftimpulses ein (also die vierfache Länge unseres Instruments $4 \cdot l$). Lösen wir noch nach f auf, so erhalten

$$\text{Frequenz } f = \frac{c}{4 \cdot l}$$

wir¹⁹:

¹⁷ Baars et al.: *Leitprogramm Quantenchemie*, S. 15ff

¹⁸ University of New South Wales Webpage: *Open vs Closed pipes (Flutes vs Clarinets)*

¹⁹ Hammond, *analysis of the acoustical properties of a didgeridoo*, S. 3ff

- Angenommen, unser Didgeridoo sei einen Meter lang, erhielten wir folglich eine Grundtonfrequenz von $f = \frac{343\text{m/s}}{4 \cdot 1\text{m}} \approx 85\text{Hz}$, also einem Grundton zwischen irgendwo zwischen Note *E* und *F*.²⁰ Meine Messung an einem Plastik-Didgeridoo dieser Länge ergab für den Grundton 84.2Hz (siehe **III5**, S. 15) – wir liegen also schon nicht schlecht!
Das Grundton-Klangspektrum der meisten Didgeridoos umfasst ungefähr eine Oktave zwischen dem Kontra-G bei 55Hz und dem grossen G bei 110Hz.
- Aber warum dürfen wir für die Wellenlänge des Grundtons überhaupt einfach den Weg $4 \cdot l$ eines Luftimpulses einsetzen? Und wie bestimmen wir die weiteren harmonischen Vielfachen des Grundtons? Sie sind nämlich auch wichtig für den Klang, und unter anderem einer der Gründe dafür, dass verschiedene Instrumente, die beide denselben Ton bei gleicher Lautstärke spielen, nicht gleich tönen.
Beim halboffenen Rohr ist die Luftdruckschwankung beim Mundansatz am grössten (Minima und Maxima siehe S. 10, **III3**: *f* und *i*), während sie am offenen Ende Null ist, da praktisch atmosphärischer Druck herrscht («Luftpakete» lösen sich fast umgehend nach dem Austritt auf)²¹. Diese Bedingung ist nur für bestimmte stehende Wellen erfüllt; beim perfekt zylindrischen Didgeridoo sind dies die *ungeraden Vielfachen der Grundtonfrequenz f*, wie dem Modell auf der nächsten Seite zu entnehmen ist.

²⁰ Die den Noten entsprechenden Frequenzen sind international standardisiert und können an verschiedensten Stellen in Tabellen nachgeschaut werden, z.B. http://www.ica.uni-stuttgart.de/frik_html/ton_freq_tab.php

²¹ *University of New South Wales* Webpage: *Open vs Closed popes (Flutes vs Clarinets)*

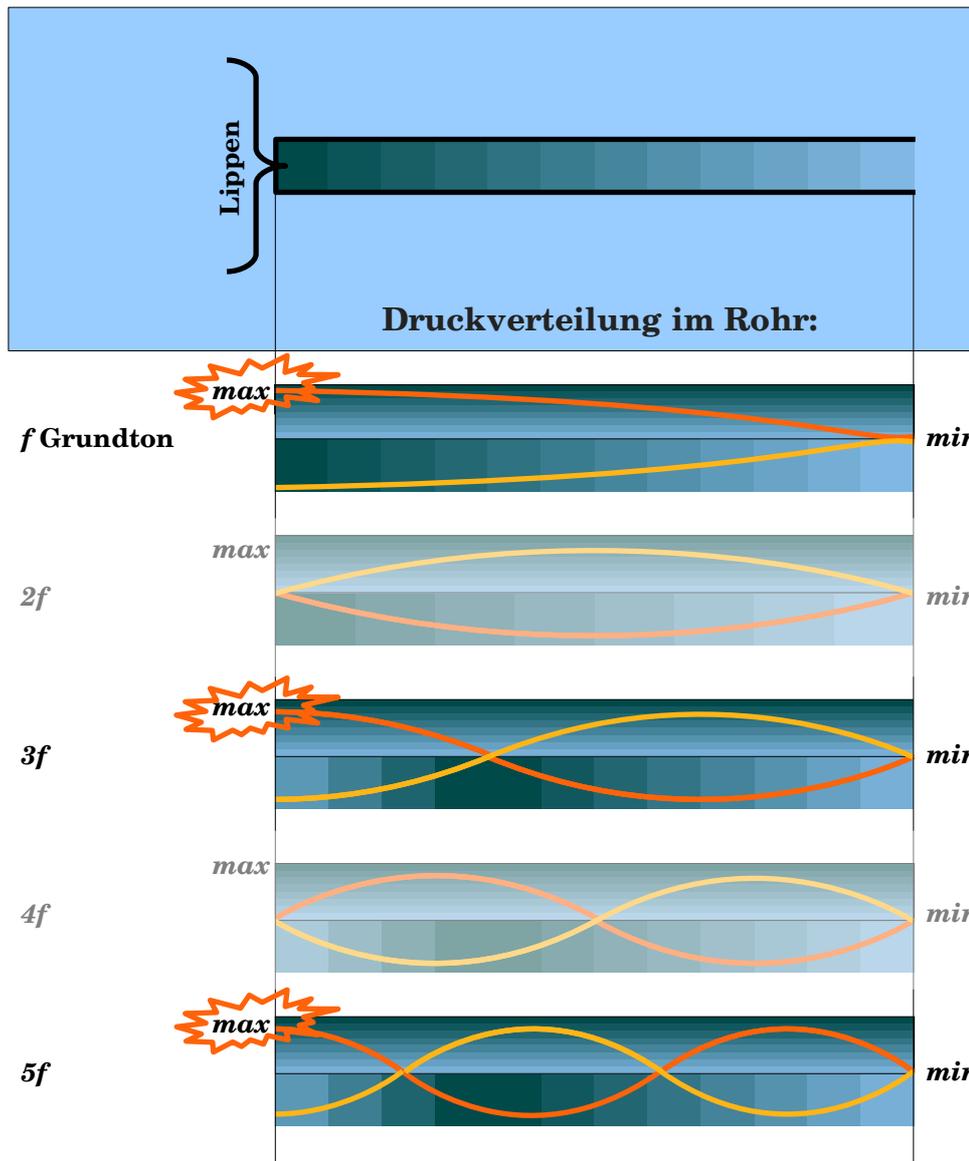


Illustration 4: Stehende Longitudinalwellen. Beachte: Nur bei f , $3f$, $5f$ ist der Druck beim offenen Ende minimal UND beim Mundstück maximal!

- Konkret bedeutet dies hier, dass wir beim Klang unseres Ein-Meter-Didgeridoos nicht nur den Grundton f bei 85Hz hören, sondern auch die mitschwingenden Frequenzen $3f = 3 \cdot 85\text{Hz} = 255\text{Hz}$, $5f = 425\text{Hz}$, $7f = 595\text{Hz}$, $9f$, $11f$... In **Illustration 5** sehen wir die gemessenen Werte. Das Interpretieren eines solchen Spektrogramms wird in Kapitel 5.1 noch genau behandelt. Wichtig ist im Moment nur die blaue Linie, welche an den Spitzen die gemessenen Frequenzen (auf der x-Achse) meines Ein-Meter-Plastik-Didgeridoos aufzeigt. Diese Spitzen befinden sich bei $f_1 = 84\text{Hz}$, $f_3 = 246\text{Hz}$, $f_5 = 408\text{Hz}$, $f_6 = 570\text{Hz}$...

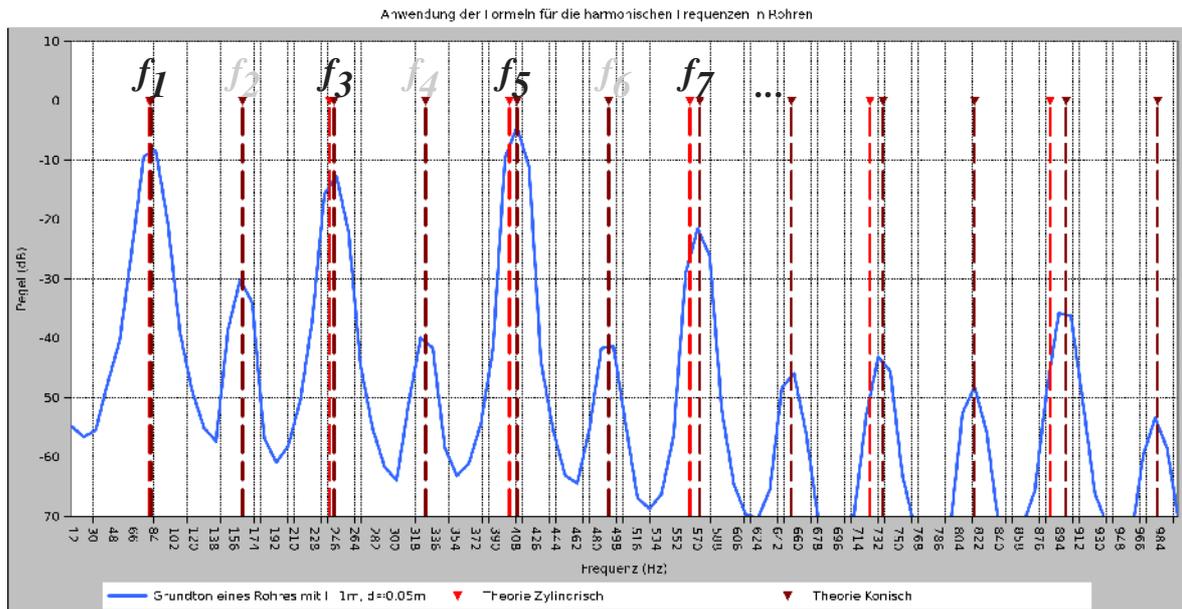


Illustration 5: Anwendung der theoretischen Formeln für die Frequenzen von perfekt zylindrischen bzw. konischen Röhren im Vergleich zu den tatsächlichen Messungen.

Länge $l=1\text{m}$, Durchmesser $d \approx 5\text{mm}$

- Es ist erstaunlich, wie nahe unsere primitive Formel bereits an die tatsächlichen Werte kommt. Mit wenigen Anpassungen bringen wir's sogar noch besser hin: Erst einmal wird noch die *Endkorrektur* $L=l+0.3d$ hinzugenommen, welche berücksichtigt, dass die Luft bei der Reflexion am Bellend noch ein wenig aus dem Instrument herausragt. Sie wurde bereits im 19. Jahrhundert zur genaueren Berechnung von Orgelpfeifen verwendet²², weil sie auch den *Durchmesser* d des Rohrs berücksichtigt.

$$f = \frac{c}{4 \cdot (l + 0.3d)}$$

Auf diese Weise wurden auch die roten Falllinien («*Theorie Zylindrisch*») in **III1** bestimmt.

- Es fällt aber auf, dass neben den ungeraden Vielfachen des Grundtons f_1 trotzdem auch die geraden Vielfachen f_2, f_4 etc. auf der Graphik vertreten sind. Dies widerspricht meinen vorherigen Ausführungen und der genannten Formel. Erklären lässt sich das dadurch, dass eben kein Didgeridoo *perfekt zylindrisch* ist, sondern Verengungen aufweist – mindes-

²² <http://www.didjshop.com/physicsDidj02.html>, Prof. Ulf Sandberg, Stand 19. Okt. 2006

tens beim Mundstück. Wir haben aber bisher immer nur diesen Idealfall betrachtet. Die Formel für perfekt *konische* (aufgeweitete) Instrumente lautet (nach *Fletcher*):

$$f_n = \left(n - \frac{1}{2} \right) \frac{c}{4(l + 0.3d)} \left(1 + \left(1 + \frac{4(d_2 - d_1)}{\pi^2 d_1 \left(n - \frac{1}{2} \right)^2} \right)^{\frac{1}{2}} \right)$$

Mit ihrer Hilfe wurden die braunen Falllinien («*Theorie Konisch*») in **III5** generiert. Sie berücksichtigt die geraden harmonischen Vielfachen und stimmt auch im höheren Frequenzbereich genauer.

- Grundsätzlich gilt zu bemerken, dass beim Didgeridoo Biegungen im Profil für die Frequenzen der Grund- und Obertonreihen relativ irrelevant sind. Gleiches gilt für die Wandstärke (solange diese konstant ist). Verwendetes Material und Wandstärke können dagegen einen Einfluss auf die Lautstärke und die Klangfarbe ausüben²³.
- Eine der vielen Besonderheiten des Didgeridoos ist der unglaubliche Obertonreichtum, der unter anderem auf den Einfluss des menschlichen *Vokaltraktes* zurückgeht. Der Vokaltrakt ist der gesamte Hohlraum zwischen den Lippen und den Stimmbändern, dessen Resonanz uns beim Sprechen hilft²⁴. Neueste Forschungen²⁵ erklären, wie durch die Interaktion zwischen Vokaltrakt und dem Didgeridoo beim Spiel Frequenzbänder entstehen, die im hohen Bereich jenen von gesprochenen Vokalen ähneln. Man hört also nicht nur den im Rohr entstehenden Ton, sondern auch jenen aus dem menschlichen Vokaltrakt. Das entstehende Frequenzband ist also auch vom Spieler abhängig und deswegen sehr komplex. Offensichtlich macht das aber in ganz wesentlichem Ausmass den besonderen Klang des Didgeridoospiels aus.

²³ Lindner, *Das Didgeridoo Phänomen: Dr. Frank Geipel*, S. 237 sowie <http://www.didgeridoo-physics.com/CADSD/holzdaten/holzdaten-frameset.htm>

²⁴ University of New South Wales Webpage: *Didgeridoo acoustics/yidaki acoustics*

²⁵ *nature*, Vol436, July 7, 2005, brief communication, p. 39

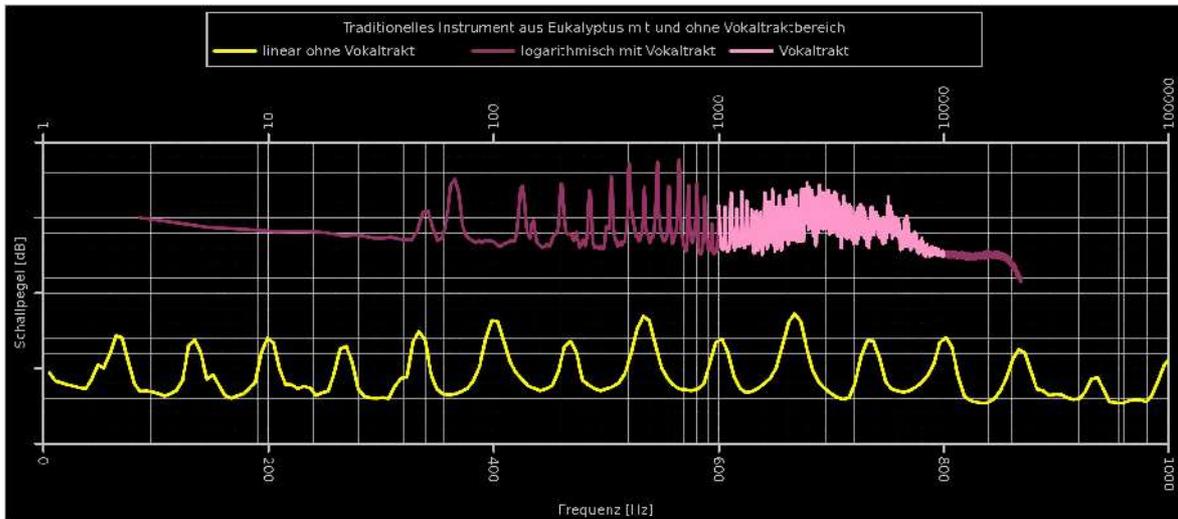


Illustration 6: Die gelbe Kurve stellt den berechenbaren, mehr oder weniger harmonischen Frequenzbereich bis 1000Hz dar. Die weinrote Kurve demonstriert das volle Frequenzspektrum eines Didgeridoos. Dabei beginnt der Klang des menschlichen Vokaltraktes irgendwo oberhalb der 1000Hz.

Schauen wir uns noch ein bestimmtes Spielelement etwas genauer an: den *Overblow*, auch *Toot* oder zu Deutsch *überblasener Ton* beziehungsweise *Trompetenton* genannt.

Er ist deswegen interessant, weil beim Didgeridoo normalerweise auf der Grundtonfrequenz (der niedrigsten Eigenresonanz) gespielt wird. Dabei vibrieren die Lippen relativ locker und entspannt gerade etwa mit der gespielten Tonfrequenz²⁶. Das heisst, die Lippen kontrahieren sich beim Spielen des Grundtons rund 40 bis 100 Mal die Sekunde.

Geübte Spieler sind jedoch in der Lage, durch Erhöhen ihrer Lippenvibrationsfrequenz kurzzeitig auf eine höhere Tonlage (eine höhere Eigenresonanz) zu wechseln. Dabei entsteht ein dröhnender, lauter Ton, der dem Spieler mehr Luft abverlangt.

Die Overblowfrequenzen liegen ungefähr auf den geraden Vielfachen der Grundtonfrequenz. Somit bilden der Grundton und die Overblows etwa eine *Naturtonreihe*.

Zuletzt möchte ich noch ganz kurz auf eine rein physikalische Angelegenheit eingehen, nämlich auf die *Impedanz*.

Die akustische Impedanz beschreibt eine Art Widerstand (vergleichbar mit

²⁶ Lindner (Hrsg.), *Das Didgeridoo Phänomen: Prof. Lloyd Hollenberg*, S. 117

dem elektrischen Widerstand) der einer Schallwelle entgegenwirkt²⁷.

Für uns ist nur wichtig zu wissen, dass beim Didgeridoo gilt: Töne mit hoher Impedanz, also starkem Gegendruck, sind leichter anzuspielen als solche mit tiefer²⁸. In diesem Zusammenhang wird sie uns später auch noch begegnen.

3.2 Das Konzept Reimer / Geipel

Wieso möchten wir überhaupt die akustischen Eigenschaften eines Didgeridoos vorausbestimmen?

Zum einen erspart es misslungene Bauversuche, da man sich nicht mehr auf grosse Überraschungen im Klang gefasst machen muss.

Zum anderen erlaubt es auch das Planen von ganz speziell klingenden Instrumenten mit bestimmten Eigenschaften, die beispielsweise das Zusammenspiel mit anderen Instrumenten ermöglichen oder das Spielen gewisser gewünschter Effekte erleichtern.

Wie erwähnt, hängt der Klang eines Didgeridoos wesentlich von seiner Innenform ab. Bisher sind wir jedoch bei unseren physikalischen Betrachtungen immer nur von idealen Formen ausgegangen. In Wirklichkeit ist aber gerade bei den Didgeridoos jedes ein Unikat.

Die Berechnungen für konische Rohre helfen zur Bestimmung des Klangs schon eine ganze Menge. Aber sie lassen das Planen komplexer Innenformen mit Verengungen und Ausweitungen nicht zu. Dies wäre jedoch wünschenswert, da ideale Innenformen auch keine besonderen Klangfarben zulassen, und daher etwas trocken oder eintönig klingen könnten.

Diese Einschränkungen liessen *Doktor Frank Geipel*, Naturwissenschaftler und passionierter Didgeridoospieler, nicht los. In Zusammenarbeit mit dem Tüftler *Kay Reimer*, welcher ein modular zusammenstellbares Didgeridoo entwickelt hatte, entwickelte er eine Simulation, welche die Frequenzspektren beliebiger Didgeridoo-Innenformen vorausberechnen kann. Ihre Resultate wurden erstmals im Buch *Das Didgeridoo Phänomen* (siehe Quellen) veröffentlicht, während die Simulation, *Computer Aided Didgeridoo Sound Design (CADSD)* genannt, bisher unveröffentlicht blieb.

Diese basiert auf der Zerlegung einer Didgeridoo-Innenform in eine überschaubare Anzahl rein konischer und zylindrischer Stücke.

²⁷ University of New South Wales Webpage: *What is acoustic impedance and why is it important?*

²⁸ Fletcher, *The Didjeridu (Didgeridoo)*, Abs. 2 «Passive Acoustics»

Die Methode funktioniert so gut, dass sie Anfängern erlaubt, Didgeridoos mit bester Tonqualität zu bauen. Sie ermöglicht auch das Rekonstruieren von Didgeridoo-Profilen anhand von Tonaufnahmen oder die Planung von Innenformen für spezielle Spieleffekte (wie etwa das «*Obertonwobbeln*», einer Art Vibrato).

4 FERTIGUNG EINES EIGENEN MODERNEN DIDGERIDOOS

4.1 Vorbereitung und Planung

- **Festlegung der gewünschten Klangcharakteristiken:**

Ich wünschte mir für mein selbergebautes Didgeridoo die Tonlage *F*, da ich bereits zwei eher tiefe Instrumente in *Cis* besitze. Hilfreich für den ersten Eigenbau wäre auch eine eher leicht herzustellende Innenform. Ich fragte *Herrn Dr. Geipel* an, ob er mir die Simulation für ein entsprechendes Tonspektrum zur Verfügung stellen könne, wozu er freundlicherweise bereit war.

Frank Geipel plante für mich ein Klangspektrum mit einem Grundton bei ca. 86Hz sowie einem Sington. Ein Sington ist ein Oberton, der beim Spielen des Grundtons im Hintergrund deutlich hervortritt – eine begehrte und bei traditionellen Instrumenten seltene Eigenschaft. Der Simulation zufolge sollte der dazugehörige Klangkörper 1,49 Meter lang werden, 87mm-Bellend-Durchmesser aufweisen und mehrere Verengungen im Profil aufweisen.

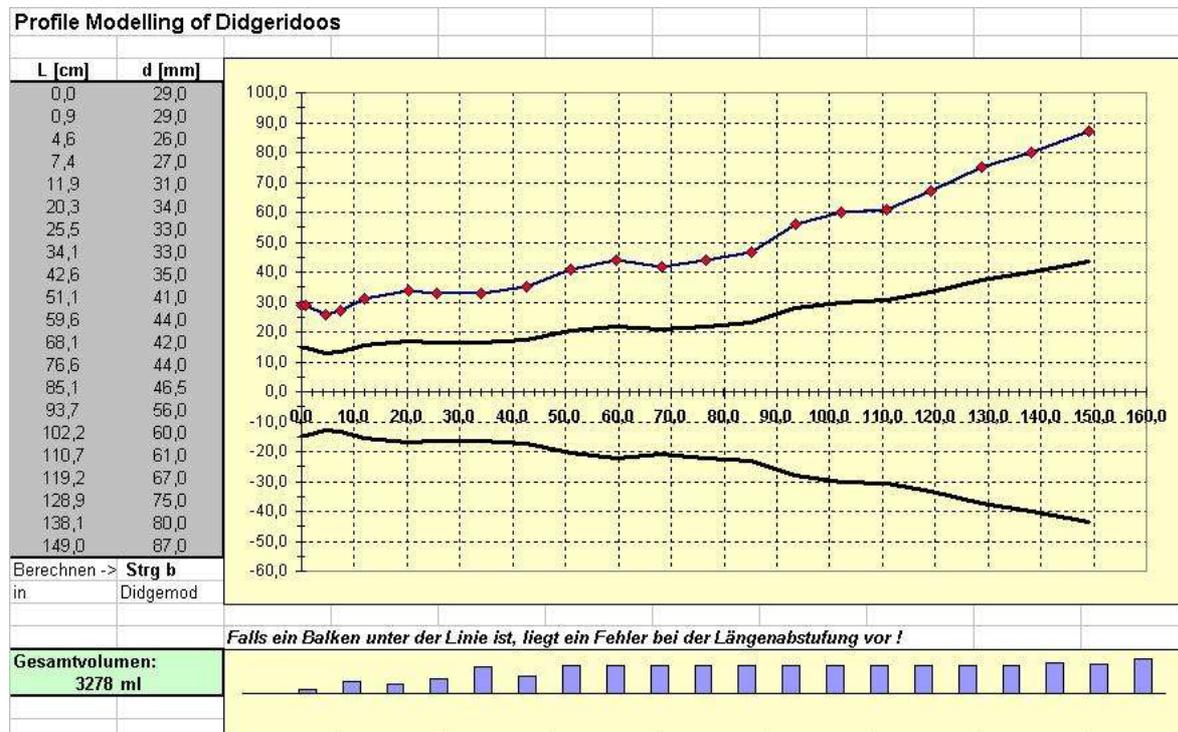


Illustration 7: Profil der geplanten Innenform

- Anhand obiger Tabelle, die mir *Frank Geipel* per e-Mail zugestellt hatte, fertigte ich sorgfältig beschriftete Schablonen aus Karton an. Diese waren kreisrunde Scheiben für jede der 19 Biegungen im Profil der Innenform sowie für Mundstück und Bell mit dem jeweiligen Durchmesser.
- Für den Bau eines Didgeridoos mit einheimischem Holz kommen im wesentlichen zwei Methoden in Frage:
Erstens, die sogenannte *Sandwich-Bauart*, auf die noch eingegangen wird, und zweitens das Ausbohren. Letzteres steht jedoch beim Bau nach Plan nicht zur Auswahl, da die Innenform nicht genau herausgearbeitet werden kann.

Der Bau von Didgeridoos ist im Buch «Das Didgeridoo Phänomen» ausführlich anhand verschiedener Bauberichte ausgeführt, welche mir hier als Anleitung dienten.

- **Die Sandwich-Methode:**

Beim Sandwich-Bau wird ein Holzrohling der Länge nach aufgesägt, mit Stechbeiteln von Hand ausgehöhlt und anschliessend mit Leim wieder zusammengefügt.

Je nach Holz und gewünschter Innenform besteht die Gefahr von Rissen. Im allgemeinen gilt diese Bauform jedoch als anfängerfreundlich. Sie fordert hauptsächlich ein wenig handwerkliches Geschick, viel Feinarbeit und eine Menge Geduld.

- **Benötigte Werkzeuge:**

Hier eine Übersicht der wichtigsten beim Sandwichbau benötigten Werkzeuge. Das ganze Werkmaterial lässt sich für rund 150.- Fr. kaufen.

- Japanische Säge (III8 ganz links aussen)
- Ziehmesser (links unten)
- Raspeln und Feilen aller möglichen Grössen
- Holz- oder Gummihammer («Klöppel»)
- verschiedene Hohlbeitel (zB. 20mm, 16mm, 8mm)
- Schleifpapier (Kömungen 60, 120, 180)
- Schweifhobel (auf Abb. schwarz, Mitte links)
- elektrischer Einhand-Winkelschleifer («Flex»)
- möglichst viele Spanngurte
- Schlauchschellen (mitte-rechts, grün unterlegt) aller möglichen Grössen
- Weissleim, sowie Zweikomponentenkleber
- je nach Bedarf Lacke, Farben etc. zur Behandlung desHolzes



Illustration 8: Zusammenstellung einiger der verwendeten Werkzeuge.
(Betriebseigene Werkstatt Malvaglia TI)

- **Zur Wahl des verwendeten Holzes:**

Verschiedene einheimische Holzarten von Kastanie über Kirsche bis zu Tanne eignen sich zum Didgeridoo Bau, alle mit verschiedenen Vor- und Nachteilen.

Als Baumaterial für mein Didgeridoo habe ich *Robinie* (auch als *Falsche Akazie* bekannt) gewählt. Dieser ursprünglich in Nordamerika beheimatete, äusserst anpassungsfähige und weit verbreitete Baum wird seit seiner Einführung nach Europa Ende 16. Jh. traditionell zur Herstellung von Wagenrädern sowie für Drechslerarbeiten genutzt.²⁹

Nebst der Tatsache, dass Robinie verbreitet auf unserem privaten Waldgrundstück im Tessin zu finden ist, habe ich diese Wahl getroffen, weil mir das Holz für den erstmaligen Bau sehr geeignete Eigenschaften aufzuweisen schien. Es ist sehr rissfest, da es eine hohe Dichte aufweist. Gleichzeitig ist Robinie deswegen aber natürlich auch relativ hart zu bearbeiten. Ausserdem ist das Kernholz giftig, weswegen sich bei Staubbildung die Arbeit mit Atemschutz empfiehlt.



Illustration 9: Zur Trocknung gelegte Rohlinge. Ausgewählt wurde schlussendlich jener ganz rechts aussen.

So stellte ich Mitte Februar einige Robinien- sowie Haselnussrohlinge zur Trocknung an einen regengeschützten Ort. Zu jener Zeit war noch alles andere als klar, ob ein Selbstbau als Maturaarbeit wirklich realisiert werden sollte, und erst recht nicht welche Form der Rohling aufweisen müsste. Da sich jedoch eine am besten mehrjährige Trocknungszeit zur Verarbeitung empfiehlt – welche auch schon so bei weitem nicht eingehalten wurde – legte ich mir gleich mehrere verschiedene, bereits umgefallene Stämme zur Reserve.

Eine weise Entscheidung, wie sich später gezeigt hat: als ich Anfang Juli die Bau- daten von *Frank Geipel* erhielt, musste ich feststellen, dass nur ein einziger Rohling überhaupt passende Dimensionen aufwies, was mir dafür aber auch die Auswahl entscheidend vereinfachte.

²⁹ *rororo Pflanzenlexikon*, Band III, 1969 Rowohlt Taschenbuch Verlag

4.2 Erklärung des Vorgehens und Baubericht

- **Aufsägen des Rohlings:**

Als erstes wurde der ausgewählte Robinien-Stamm mit einem Ziehmesser entrindet und auf die ungefähre Länge (beidseitig ca. 10 cm Reserve) zugesägt.

Um die geplante Form anzudeuten, wurde mit einem Beil vom Mundstückbereich bis etwa in die Mitte bereits vorsichtig ein wenig Material abgetragen.

Mit einem Lot hatte ich versucht, auf beiden Seiten möglichst genau die geplante Teilungslinie einzuzeichnen.

Da diese ersten Bearbeitungsschritte sehr entscheidend für das Gelingen des Bauvorhabens sind – schliesslich lassen sie sich nicht mehr rückgängig machen und Ungenauigkeiten im Bereich weniger Millimeter könnten auf das ganze Instrument sehr ausgeprägt in Erscheinung treten – dauerten alleine diese Vorbereitungen einige Stunden.

Dann ging's ans Aufsägen. Mit einer sogenannten *Japanischen Säge*, welche ein sehr dünnes Sägeblatt aufweist, arbeitete ich mich mühsam Zentimeter um Zentimeter den Stamm hinab. Unerklärlicherweise brauchte ich – gegenüber den in Baubeschreibungen³⁰ angegebenen höchstens zwei Stunden – dafür schlussendlich fast zehn Stunden nervenzehrender Arbeit! Ausserdem bog sich der gut zur Hälfte angesägte Stamm während der Nacht wegen unzureichender Trocknung. Diese Biegung ist auch am fertigen Instrument noch sanft zu erkennen – macht sich aber glücklicherweise recht gut und hat auch keinen Einfluss auf den Klang. Trotzdem würde ich heute empfehlen,



³⁰ zB. Lindner, *Das Didgeridoo Phänomen: Stefan Thiel*, S 171

den Stamm von einem Schreiner teilen zu lassen. Später durfte ich erleichtert feststellen, dass das Längsteilen des Stammes eigentlich den undankbarsten Teil der ganzen Fertigung dargestellt hatte.

- **Das Ausbeiteln:**

Nachdem der Stamm schliesslich längs geteilt war – erstaunlich exakt übrigens, trotz der entstandenen Biegung – wurde er sorgfältigst beschriftet; eine Arbeit, die etwa zwei Stunden erforderte. Mithilfe von Winkeln, Massstäben und Schnüren konnte ich schliesslich auf beide Halbschalen das geplante Profil mit allen nötigen Beschriftungen einzeichnen. Unter anderem wurden dabei die Punkte eingezeichnet, auf denen später die Schablonen eingesetzt werden können, dann eine Wandstärke von einem Zentimeter im Mundstück- sowie Bellend-Bereich, und in der Mitte von zwei Zentimetern festgelegt. Dies wegen den stellenweise sehr knappen Dimensionen des Rohlings. Aus dem selben Grund durchläuft die Wand einen Übergang von reinem Kernholz (dunkel) im Mundstückbereich zu reinem Splintholz (hell) beim Bellend.

Daraufhin wurde die Form mit verschiedenen Hohlbeiteln (grösstenteils 16mm) und einem Gummihammer grob, immer gegen ein offenes Ende hin, also gegen aussen, ausgehöhlt (III10, nächste Seite).

Diese Arbeit, für die ich je Halbschale etwa drei Stunden brauchte, ging unerwartet leicht und hatte für mich etwas recht Freudiges an sich. Mit etwas Übung lässt sich leicht zwischen sorgfältig-genauem und grobem, schnellem Aushöhlen variieren.

Überraschenderweise erschwerte der fließende Wechsel von Kern- zu Splintholz diese Arbeit kaum. Beide Schichten wiesen ähnliche Eigenschaften zum Bearbeiten auf.



Nochmals so lange dauerte dann das nachträgliche exakte Feinausbeiteln (4mm-Beitel) in Bereichen mit sehr dünnem Wanddurchmesser, sowie das Ausglätten von Unebenheiten in der Höhlung mit Hilfe von Raspeln, Feilen und Schleifpapier.



Illustration 10: Ausbeiteln der Rohlinge. Wenn möglich wurden zur Fixierung Spanngurte verwendet, die das Holz nicht beschädigen.

Leider war das schon viel schwieriger, da das Holz inzwischen wegen der vergrößerten Oberfläche viel stärker ausgetrocknet und deswegen «spröd» geworden war. Wegen der Trocknung begannen sich die Halbschalen auch zu verformen. Man musste also plötzlich aufpassen, nicht zu viel Holz «mitzureissen». Dazu tauchten einige morsche Stellen auf, die wiederum sehr weich waren.

Es entstanden zwei kleine Risse in der Aussenwand. Ausserdem musste ich ein Astloch ausbohren, um spätere Fäulnis zu vermeiden. Diese Stellen lassen sich aber später mit



einem Sägemehl-Leim-Gemisch auskorrigieren.

- Das Zusammenfügen der Halbschalen:**
 Trotz – oder gerade wegen – der extrem dünnen Wandstärke, welche jetzt stellenweise nur noch einen halben Zentimeter betrug (auch hier kamen die Vorteile eines sehr dichten Holzes zum Vorschein!), beschloss ich, die Halbschalen zu verdübeln. Dies sollte die Stabilität beim Zusammenfügen erhöhen und spätere Risse im Kontaktbereich (also der verleimten Naht zwischen den Halbschalen) verhindern.

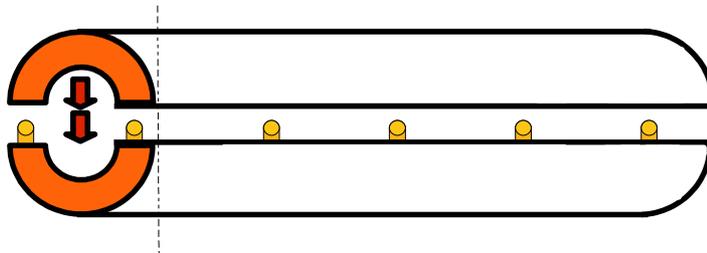


Illustration 11: Zusammenfügen der beiden Halbschalen

Dafür betupfte ich mit den mit Signalfarbe bestrichenen Dübel der einen Seite die andere Halbschale, mass mehrfach nach und bohrte an den entsprechenden Stellen Löcher in die zweite Halbschale. Danach kürzte und schliff ich nicht ganz passende Dübel zurecht. Zu dieser Zeit war bereits ein gefährlicher Riss von etwa acht Zentimeter am dünnen Bellend entstanden, welchen ich mit einem Holzkeil und Leim provisorisch flickte. Der entscheidende Moment nahte: ich hatte Angst, die Halbschalen liessen sich nicht mehr zusammenfügen, da sich beide getrennt gedehnt und gebogen hatten. Damit das Holz im dünnen Bellend-Wandbereich unter dem späteren Druck der Schraubzwingen bei der Trocknung des Leims nicht



reißen konnte, schloss ich eine exakt zugeschnittene Holzscheibe zwischen die beiden Halbschalen ein. Diese war mit einem Haken versehen, damit sie sich nach dem Trocknungsprozess auch wieder entfernen liess. Mit zwei Tuben *Zweikomponentenkleber* («*Araldit*») ³¹ wurden beide Halbschalen bestrichen. Sie liessen sich überraschenderweise tatsächlich noch exakt aufeinanderpassen!

- **Feinarbeiten:**

- Weitere drei Wochen lang durfte das Didge-ridoo nun ruhen und der Leim trocknen (anfangs mit Hilfe eines Heissluftföhns). Dabei zog ich ständig die umgelegten Schlauchschellen, Schraubzwingen und Spanngurten an.
- Mehrere Male suchte ich mit dem am Mundstück angebrachten Heissluftföhn den Kontaktbereich nach ausströmender Luft ab. Diese undichten Stellen wurden dann von aussen mit einem Leimgemisch versiegelt.
- Nachdem dieser Prozess abgeschlossen war, machte ich mich an die Gestaltung der Aussenform. Mit einem *Dremel*-Winkelschleifer konnte ich innerhalb weniger Stunden die Aussenform grob zurechtfräsen.
- Jetzt wagte ich das erste Mal zu spielen. Von diesem Zeitpunkt stammen auch die ersten Aufnahmen. Ich war völlig überwältigt vom schönen Klang, den das Instrument schon so hergab. Nach den ersten Frequenzanalysen am Computer wusste ich jedoch, dass es noch mehr zu optimieren gab.



³¹ MIOCOLL Profi sowie UHU Plus

- Danach feilte ich mit dem Schweifhobel, einem elektrischen Schwingschleifer und 180er-Schleifpapier noch alles glatt. Ausserdem wurden die vorher provisorisch geflickten Löcher und Risse noch besser und schöner versiegelt und der innere Bellendbereich von aussen her feingefeilt. Mit herunterrinnendem Leim und mit an Stäben befestigten Spachteln, Feilen und Beiteln wurden Unebenheiten und undichte Stellen im inneren Kontaktbereich ausgebessert. Alle diese Feinarbeiten erforderten nochmals etwa vier Stunden. Danach wurde die zweite Tonaufnahme gemacht.
- Nun wurde das Didgeridoo noch mit natur echtem Holzhartöl behandelt. Dieses dichtet zusätzlich ab, schützt das Holz vor dem Austrocknen und vor Pilzen und lässt es dabei noch atmen. Dazu wurde ein ölgetränktes Tuch an einem langen Stab das Bellend hinuntergelassen. Nach dieser Behandlung wurden wieder Tonaufzeichnungen gemacht, um den stetigen Fortschritt während dem Bau festzuhalten.
- Bisher fehlte dem Instrument noch ein Mundstück. Der Spielkomfort und die möglichen Lippenstellungen lassen sich jedoch mit einem guten Mundstück mit dem richtigen Durchmesser erheblich erhöhen. Traditionell werden als Mundstück einfache Bienenwachs-Ringe verwendet³² (Fotografieren *Mitte*). Dies wäre auch für mich eine Möglichkeit gewesen. Da mir jedoch alle Optionen offenstanden, wollte ich etwas Neues ausprobieren: ein Kokosnussmundstück. Dieses hat – ausser ein Blickfang zu sein – den Vorteil, dass man es – einmal angebracht – nicht mehr erneuern muss



³² Tarnopolsky et al.: *Acoustics of the didgeridu*, S. 2

und leicht reinigen kann. Ich bastelte also dieses Mundstück frei nach einer Anleitung von <http://www.detididge.de/kokosnuss.html> aus einer geschliffenen Kokosnussschale und befestigte es mit Zweikomponentenkleber am Mundansatz.

- Obwohl das Instrument gerade auch wegen des Übergangs von Splint- zu Kernholz eine schöne natürliche Maserung aufwies, entschied ich mich dazu, im Bellendbereich eine schlichte Bemalung anzubringen.

Diese sollte modern sein, und – wie das ganze restliche Instrument auch – nicht versuchen, ein traditionelles Didgeridoo nachzubilden.

Schliesslich habe ich ein abstraktes Muster entworfen, welches symbolisch für den fruchtbaren Wald, von dem ich das Holz genommen hatte, steht. Dieses wurde kleinstmöglichst in über zehn Stunden Arbeit mit Acrylfarben aufgepinselt.

- Um die Haltbarkeit des Instruments zu erhöhen, habe ich danach mehrfach Natur-Holzwachs von aussen einmassiert.

Fazit: Nach knapp 70 Stunden und für nur rund 150.- Fr. waren die Arbeiten im ersten Versuch gelungen. Das fertige Didgeridoo übertraf meine Erwartungen sowohl in klanglicher wie auch in optischer Hinsicht bei weitem. Die sehr dünne Wand sorgt für eine kräftige Resonanz.



4.3 Probleme bei der Fertigung und mögliche Umgehungsweisen

- Grundsätzlich lässt sich sagen, dass für ein derartiges Holzhandwerk eine möglichst lange Trocknungszeit und danach möglichst unterbrochungslose Bearbeitung erfolgen sollten. Auf diese Weise liessen sich Dehnungen und Fäulnis des Holzes vermeiden.
Dies war für mich leider aufgrund des zeitlichen Rahmens der Arbeit und anderweitiger Belastung nicht möglich.
Die Folge waren eine schwierigere Bearbeitung, Verfärbung sowie ein Spalt und Risse, die ich aber glücklicherweise immerhin gut flicken konnte.
- Die ganze Fertigung, mitsamt Planung und Bemalung, benötigte beinahe 70 Stunden! Dies ist etwa ein Drittel mehr als ich dafür eingerechnet hatte. Nebst fehlender Übung im Holzhandwerk spielte hauptsächlich fehlende Erfahrung mit, wie exakt die einzelnen Arbeitsschritte an welcher Stelle überhaupt sein müssten.
Ich glaube, genug Erfahrungen gesammelt zu haben, um bei einem nächsten Bau eine solche Arbeit effizienter bewerkstelligen zu können. Trotzdem möchte ich hier noch erwähnen, dass mir der ganze kreative und handwerkliche Teil – fast – immer Freude bereitet hat.



Illustration 12: So ist mein selbstgebautes Didgeridoo schliesslich herausgekommen.

5 AKUSTISCHE ANALYSEN UND VERGLEICHE MIT DEN VORGABEN

5.1 Erarbeiten der Messdaten

- **Erörterung der Frequenzspektrum-Analyse**

Sämtliche Informationen eines beliebigen Tons lassen sich vollständig in *Zeit t*, *Frequenz f* und *Amplitude A* zerlegen. Dies ist beispielsweise mit Hilfe der *Fast-Fourier-Transformation* (kurz *FFT*) möglich, eines mathematischen Algorithmus, welcher uns die Amplituden der jeweiligen Frequenzanteile zu einem bestimmten Zeitpunkt angibt ($A(f,t)$). Tragen wir einen Ton in einem dreidimensionalen Diagramm auf, erhalten wir eine Oberfläche:

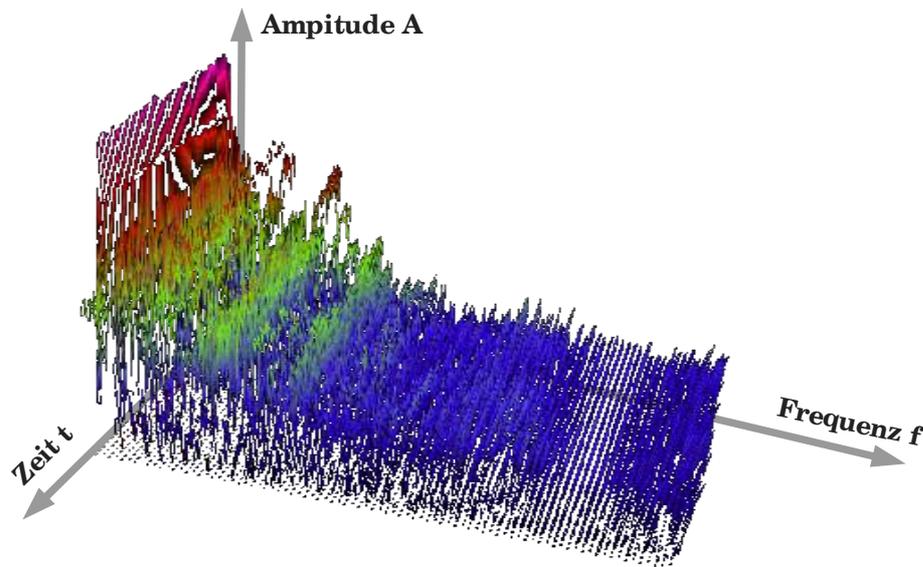


Illustration 13: Perspektivisches Frequenzspektrum

Beim obigen Beispiel nimmt die Amplitude mit zunehmender Frequenz ab, während sich das Profil im Laufe der Zeit nicht bedeutend verändert. Wir dürfen also annehmen, dass sich das Spektrum beim kontinuierlichen Spielen des *selben* Tons kaum verändert und auch jedes Mal gleich herauskommen sollte. Deswegen reicht es, wenn wir uns für die Klanganalyse auf die Betrachtung der Frequenz in Abhängigkeit der Amplitude auf einen zeitlichen Durchschnitt beschränken.

- **Erarbeiten der Messdaten**

Die Frequenzspektrum-Analyse hilft dabei, die klanglichen Eigenschaften des Didgeridoos objektiv zu quantifizieren und zu vergleichen. Heutzutage reicht ein handelsüblicher Computer mit Mikrofon und geeigneter Software³³, um ein *FFT-Spektrum* zu erstellen.

Während und nach dem Bau erfolgten regelmässige Aufnahmeserien, um Veränderungen im Klang zu dokumentieren. Diese wurden zuhause mit einem gewöhnlichen, günstigen Mikrofon immer auf die selbe Weise durchgeführt: das Mikrofon wenige Zentimeter vom Bellend entfernt, wurden zuerst einige Sekunden Grundton und darauf der erste Overblow gespielt und schliesslich mit der offenen Hand auf das Mundstück geklopft, womit sich die Stellen der Impedanzspitzen bestimmen lassen. Jeder dieser drei Abschnitte einer Aufnahme aller Serien wurden dann einzeln als FFT-Spektrum aufgezeichnet und qualitativ analysiert.

5.2 Analyse und Interpretation der Messdaten

- **Interpretation der FFT-Spektren**

Als erstes analysieren wir Schritt für Schritt das vorgegebene Spektrum, also jenes, das *Dr. Geipel* als Ausgangslage für die für mich simulierte Innenform verwendete. Bei einem idealen Nachbau anhand der entsprechenden Innendaten sollten die Aufnahmen meines Didgeridoos also möglichst stark jenem Spektrum gleichen.

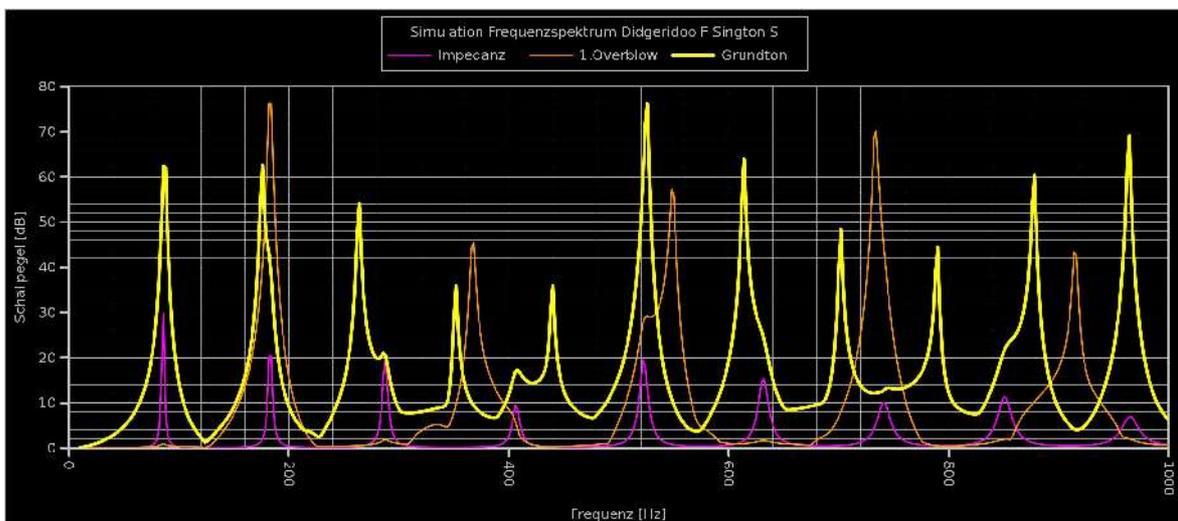


Illustration 14: Simuliertes Frequenzspektrum für die dann von mir gebaute Innenform.

³³ siehe Anhang: 6.1 Software und Quelldaten für die Auswertungen

Anhand dieses Spektrums lassen sich nun einige klangliche Eigenschaften, welche bei korrektem Nachbau zu erwarten wären, abschätzen. Als erstes schauen wir den Bereich des Frequenzspektrums an: Auf der x-Achse (waagrecht) werden die Frequenzen in Hertz, Hz aufgetragen. (Wir erinnern uns: je höher die Frequenz, desto höher die Tonwahrnehmung). Obwohl das menschliche Ohr Frequenzen bis zu 20'000Hz wahrnehmen kann, lassen sie sich – unter anderem wegen dem Vokaltrakteinfluss – nur etwa bis in den Bereich von 1000Hz relativ genau simulieren, was aber bereits reicht, um wichtigste Teile des Klangs zu bestimmen. Auf der y-Achse (senkrecht) sind die entsprechenden Lautstärken in *Dezibel (dB)* aufgetragen. Bei Dezibel handelt es sich um ein Mass für die *Lautstärke* (den wahrgenommenen Schalldruck), welches uns aber nicht weiter zu beschäftigen braucht. Wichtig ist nur zu wissen, dass es sich um ein relatives Mass handelt, das logarithmisch gehandhabt wird, wir deshalb die numerischen Werte auf verschiedenen Spektren normalerweise *nicht direkt vergleichen* dürfen, sondern nur ihre *Verhältnisse*.

Jetzt betrachten wir die Kurven: Das *gelbe* Band zeigt uns das Frequenzspektrum des Grundtons, das *orange* jenes der ersten Overblows und das *violette* jenes der akustischen Impedanz.

Was lässt sich nun über den Klang des entsprechenden Instruments sagen?

Beschränken wir uns anfangs auf den Grundton. Wenn wir dem gelben Graphen folgen, erkennen wir mehrere, mehr oder weniger in regelmässigem Abstand angeordnete *Spitzen* (oder *Peaks*). Sie entsprechen der *harmonischen Reihe*, wobei der *erste Peak* immer dem *Grundton* entspricht. Folglich müssen alle weiteren Peaks als Vielfache der Grundtonfrequenz f (hier bei ca. 87Hz) erscheinen, also bei 194Hz, 261Hz etc., was offensichtlich der Fall ist. Es lässt sich die erste klare Aussage machen: der Grundton des simulierten Didgeridoos entspricht annähernd einem kleinen F .

Üblicherweise nimmt die Lautstärke tendenziell mit steigender Frequenz ab. Hier fällt uns aber auf, dass der 5. Oberton (der sechste Peak) *höher* ist und damit lauter als der Grundton zu hören sein sollte. Dies ist ein *Sington*, der beim Spiel deutlich als leises, hohes Summen im Hintergrund wahrgenommen werden *kann*.³⁴ Normalerweise achtet man ihn aber nicht bewusst, sondern empfindet einfach die Klangfarbe als besonders lebendig.

³⁴ siehe 4.1 «Vorbereitung und Planung»

Overblow und Impedanz werden wir nicht genauer unter die Lupe nehmen. Folgende Feststellungen sind dazu aber noch erwähnenswert: Der erste Peak des ersten Overblows liegt – wie zu erwarten – etwa eine Oktave über dem Grundton. Beim Abzählen der Impedanzpeaks wird erkennbar, dass der erste und zweite Overblow (zweiter und dritter Peak der Impedanzkurve) relativ hoch liegen. Dies bedeutet, dass sie eher gut anspielbar sein sollten. Der dritte ist hingegen bereits schwieriger zu treffen.

- **Analyse der auftretenden Veränderungen während der verschiedenen Bauphasen**

Während wir vorher ein simuliertes und daher «ideales» FFT-Spektrum betrachtet haben, werden wir jetzt die Frequenzspektren von selbstgemachten Aufnahmen analysieren. Dabei gilt zu beachten, dass diese immer von Messfehlern beeinflusst sein können: billige Aufnahmeausrüstung, nicht genau gleiche Versuchsanordnungen sowie nicht identisches Anspielen des Grundtons beeinflussen die Kurven. Diese beeinflussen aber eher die Tonfarbe weshalb *die Stelle* der Spitzen im Frequenzband immer erstaunlich exakt übereinstimmen. Auch beim Vergleich der Lautstärke ist wegen der Dezibel-Skala Vorsicht geboten. Man sollte sich deswegen beim Vergleich unterschiedlicher Aufnahmen in erster Linie auf die Frequenzen des Grundtons und der Obertöne beschränken.

Wie schon erwähnt, wurden während dem Bau nach bedeutsamen Veränderungen Aufnahmen vom Instrument genommen. Auf diese Weise sollten sich Entwicklungen im Klang aufzeichnen lassen. Um dies darzustellen, wurden die Grundtonspektren jeder dieser Aufnahmen in dieselbe Grafik eingetragen:

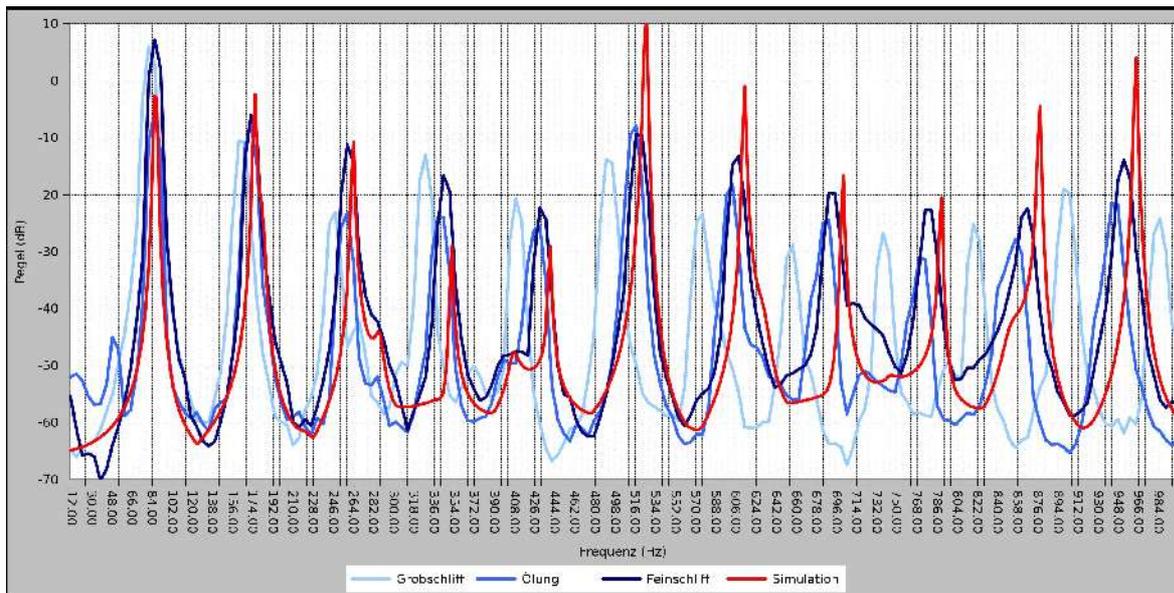


Illustration 15: Die verschiedenen Baustadien sind chronologisch von hell- nach dunkelblau angeordnet. Die rote Linie zeigt zum Vergleich den simulierten Grundton.

Augenscheinlicherweise nähert sich der Klang des Grundtons während der Bauschritte immer näher dem simulierten: nach dem Grobschliff sind noch starke Differenzen zu erkennen, aber bereits die Ölung bringt grosse Fortschritte und mit dem Feinschliff erreichte ich nur noch im höheren Frequenzbereich eine bessere Übereinstimmung.

Die nächste Illustration zeigt Analoges für die weitere Bearbeitung. Diese wurde getrennt dargestellt, da seit dem Anbringen des Mundstücks die Innenform natürlich nicht mehr exakt jener der Simulation entspricht. Deswegen wäre ein objektiver Vergleich des Fortschritts mit der ersten Bauphase von oben nur schlecht möglich.

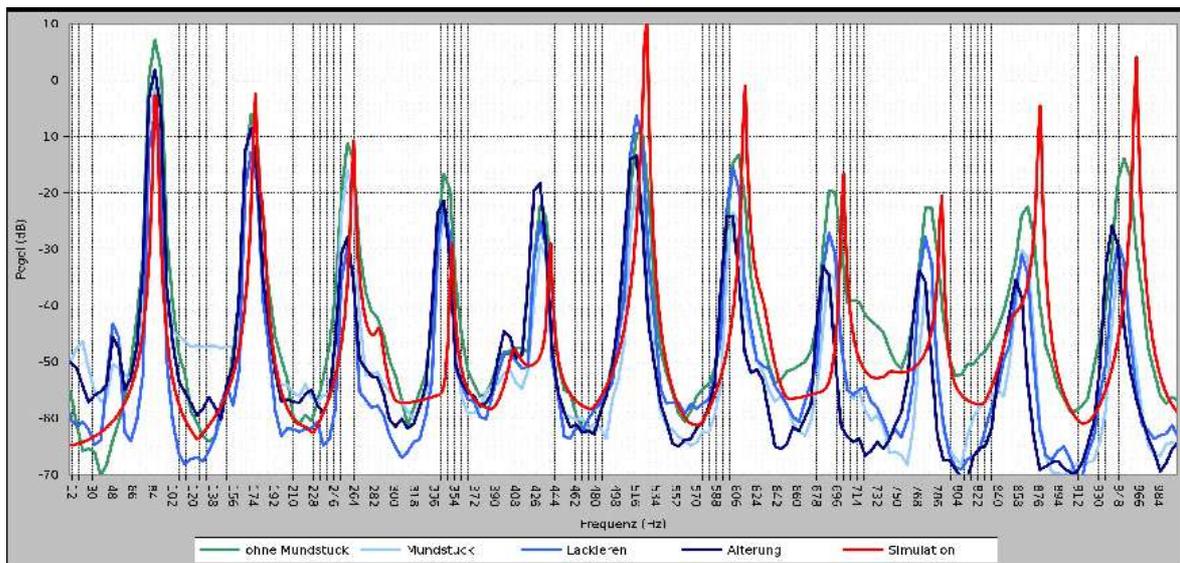


Illustration 16: Auch in der zweiten Bauphase wurden die Grundtöne aus verschiedenen Bearbeitungsschritten nebeneinandergestellt. Dabei stellt die grüne Linie den Endzustand der ersten Phase (III15: «Feinschliff») dar. Der Graph «Alterung» zeigt Veränderungen im Klang zwei Monate nach Fertigstellung des Instruments (Zustand «Lackierung»).

Interpretation: Wie zu erwarten, war die Übereinstimmung mit der Simulation vor dem Anbringen des Mundstücks etwas grösser, was wohl auf das veränderte Profil zurückzuführen ist. Sieht man aber davon ab, so ist zu erkennen, dass keine bedeutsame Änderung mehr stattgefunden hat. Die Maxima und Minima im Frequenzband des frisch lackierten Didgeridoos sind praktisch durchs Band ausgeprägter als vorher, was sich durch die abdichtende Lackschicht erklären liesse. Vielleicht tritt sie aber vielleicht auch nur zufällig aufgrund von Messfehlern auf. Die Messung nach zwei Monaten zeigt – wie in einem solch kurzen Zeitraum zu erwarten – keine klaren Unterschiede. Nach vielleicht zwei Jahren hingegen dürfte die Alterung wegen der Behandlung mit Naturprodukten sowie des Holzleims durchaus Einfluss auf den Klang zeigen.

- **Diskussion zum Vergleich des simulierten zum tatsächlich gemessenen Frequenzspektrum**

Um die Qualität meines Baus in Hinsicht auf die klanglichen Vorgaben zu beurteilen, bleibt schliesslich nur noch ein Vergleich des Grund-, Overblow-, und Impedanzspektrums zu jenen der Simulation (III14). Dazu nehmen wir die Aufnahmen des Zustands vor Anbringen des Mundstücks – welche mit professioneller Aufnahmeausrüstung und grösserer Sorgfalt gemacht wurden – als Referenz:

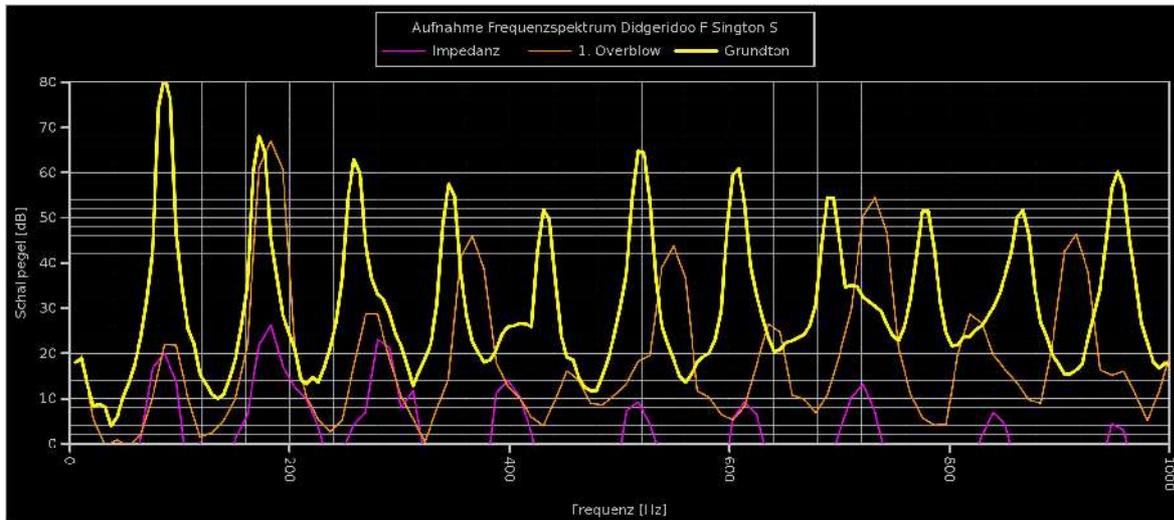


Illustration 17: Tatsächlich aufgenommenes Spektrum meines Didgeridoos. Gelb der Grundton, Orange der überblasene Ton, Violett die Impedanz.

Offensichtlich ist die Übereinstimmung zum vorgegebenen Klangspektrum von **Illustration 14** weit mehr als zufällig. Nicht nur die Frequenzen der Spitzen, sondern auch das Profil der Kurven schmiegt sich weitgehend jenem der Simulation an. Dies gilt auch für den Overblow und für die Stellen der Impedanzpeaks.

Mir ist also ein relativ guter Nachbau gelungen. Dies bestätigte mir so auch *Dr. Geipel*³⁵. Durch noch genaueres Arbeiten wäre eine noch bessere Übereinstimmung zu erreichen gewesen.

Nebst der Qualität des Baus – welche sicherlich hauptverantwortlich ist – liessen sich die Abweichungen aber auch noch anderweitig erklären: So wäre es möglich, dass die Simulation ungenau ist. Das verwendete Modell hat sich aber bereits mehrfach als relativ zuverlässig bewährt. Hinzu kommt, dass eine Simulation eigentlich immer nur bei Idealbedingungen gilt. Diese sind in der Wirklichkeit aber niemals gegeben: Anspielvariationen im Grundton, Resonanzen von Gegenständen und Wänden des Aufnahmehimmers, Temperatur und Luftfeuchtigkeit, Qualitätsverlust bei Aufnahme und Verarbeitung, nicht quantifizierbare Eigenschaften des Holzes und viele weitere Faktoren sorgen so oder so zu gewissen Ungenauigkeiten.

³⁵ Siehe E-Mail auf der beiliegenden CD im Verzeichnis /Quellen/E-Mail-Konversationen

6 ZUSAMMENFASSUNG, RESULTATE UND SCHLUSSWORT

Offensichtlich ist es mit geeigneten Verfahren möglich, ohne besondere Vorkenntnisse ein qualitativ hochwertiges, modernes Didgeridoo (beziehungsweise Windhorn) zu bauen. Dank der computergestützten Planungsmethode *Reimer / Geipel* lässt sich dabei auch noch eine hohe Klangqualität erreichen.

Mit Hilfe der Signalanalyse lässt sich der Bau überwachen. Frequenzspektren zeigten im Bezug auf meine Arbeit eine grosse Übereinstimmung zwischen den vorgegebenen und den in meinem selbstgebauten Didgeridoo verwirklichten Klangcharakteristiken. Ausserdem konnte ich mit diesen Methoden unter anderem die positive Wirkung von Feinschliff und Ölung meines Instruments auf den Klang eindeutig aufzeigen.

Trotz aller technischen und modernen Hilfsmittel sind für ein erfolgreiches Gelingen eines schönen und wohlklingenden Instruments viel Sorgfalt, Geduld und Begeisterung nötig.

Sowohl in Bezug auf das fertiggebaute Instrument als auch auf die Messergebnisse wurden meine Erwartungen um einiges übertroffen. Die akustischen Analysen ergaben überraschend schöne und weitgehend erklärbare Resultate. Darüber hinaus bin ich nun – dank dieser Arbeit – stolzer Besitzer eines ganz persönlichen, optisch und klanglich ansprechenden Didgeridoos geworden.

Die modernen, westlichen Didgeridoos und ihre Verwendung scheinen vom Ursprung weit entfernt. In den letzten Jahren widmete sich auch die Wissenschaft immer mehr dem Didgeridoo. Inzwischen scheint auch die Physik dieses besonderen Instruments weitgehend erfasst zu sein. Trotzdem bleibt dieses Instrument etwas Faszinierendes. Die traditionellen Instrumente ziehen durch ihr archaisches Aussehen und ihren erdigen Klang immer noch in ihren Bann. Aber auch die modernen Didgeridoos sind meistens kunstvolle, mit viel Liebe gefertigte Unikate mit völlig individuellen Eigenschaften.

7 ANHANG

7.1 Verwendete Software und Quelldaten für die akustischen Auswertungen

Sämtliche verwendeten Aufnahmen sind auf der beiliegenden CD im Verzeichnis */Materialien/Records* zu finden. Sie lassen sich mit der freien Software *Audacity* (<http://audacity.sourceforge.net>) unter *Windows*, *Mac* und *Linux* öffnen. *Audacity* erlaubt auch den Export der Frequenzspektren in ein Tabellenkalkulationsprogramm.

Zur grafischen Auswertung der FFT-Spektren wurde das Tabellenkalkulationsprogramm *Gnumeric* (unter *Linux* lauffähig, frei verfügbar, siehe <http://www.gnome.org/projects/gnumeric>) verwendet, welches das übersichtliche Erstellen auch komplexer Graphen ermöglicht. Im Ordner */Materialien/Spektrogramme/export* finden sich weitere, in der Arbeit unveröffentlichte Diagramme, die hauptsächlich zur Überprüfung der Messanordnung verwendet wurden oder die Genauigkeit der angenäherten Formeln aus Kapitel 3 «*Theorie und Physik des Didgeridoo*» aufzeigen. Um die Kompatibilität zu gewährleisten, wurden diese auch als Bilder exportiert.

Schliesslich wurden noch die Audioanalyseanwendungen *baudline* (*Freeware* für *Linux*, <http://www.baudline.com/>) sowie *Sonogram*, plattformunabhängig, freie Software von <http://sourceforge.net/projects/sonogram> gebraucht. *baudline* ist eine professionelle Anwendung zur Signalanalyse und gab mir die Möglichkeit, mein Didgeridoospiel live während der Aufnahme zu untersuchen, ist jedoch ein wenig komplex in der Bedienung. Mit *Sonogram* lassen sich unter anderem sehr anschauliche und optisch ansprechende Spektren in räumlicher Darstellung erstellen (siehe **Illustration 18**).

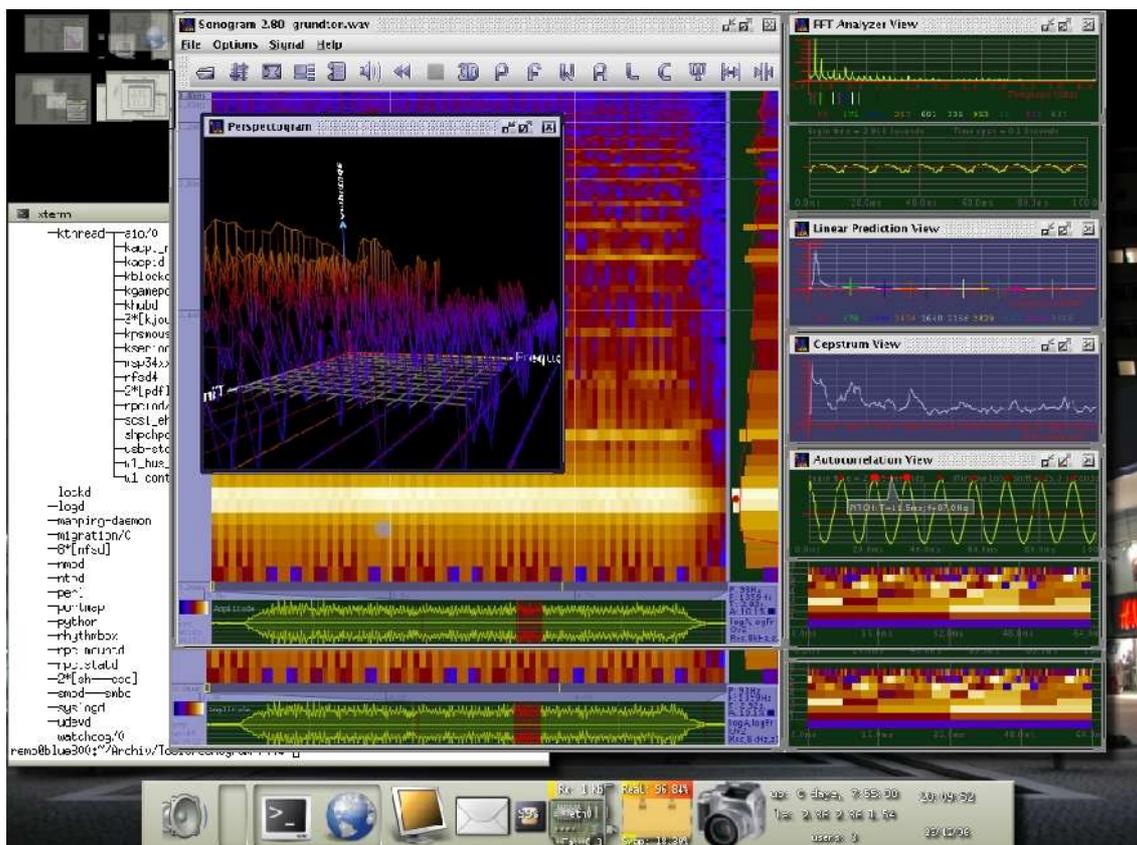


Illustration 18: Das Programm «Sonogram» in Aktion.

Unter /Materialien/Screenshots finden sich weitere Bildschirmfotos, welche unter anderem oben beschriebene Programme bei der Arbeit zeigen.

7.2 Quellenverzeichnis

Als Hauptreferenz, insbesondere auch als Bauanleitung, diente vor allem folgendes Buch, welches versucht, in Interviews, Artikeln und Bauberichten verschiedener Autoren einen Überblick über die aktuelle Didgeridoo-Szene zu vermitteln:

- *David Lindner (Hrsg.): Das Didgeridoo Phänomen – Von der Urzeit zur Moderne, Traumzeit Verlag, 2. Aufl., erschienen 2004*

Folgende weitere Quellen wurden zum Teil längere Zeit vor der Arbeit eingesehen; das daraus bezogene Wissen ist jedoch meist nur indirekt in die Arbeit eingeflossen. Wurden die Quellen während der Arbeit direkt hinzugezogen, ist an entsprechender Stelle mit einer Fussnote abgekürzt darauf hingewiesen.

- *Alastair Lachlan Black: DIDGERIDOO – Ein Kurs für Anfänger*, 1994
- *Tarnopolsky et al.: Acoustics of the didjeridu* (1204 J. Acoust. Soc. Am., Vol. 119, No. 2, February 2006), «Vocal tract resonances and the sound of the Australian didjeridu (yidaki) I. Experiment», S. 1-4
- *Benjamin Hammond: The Physics of Dreamtime: An analysis of the acoustical properties of a didgeridoo.* (PHYS225 Musical Acoustic Prof. dik Harris)
- *Neville Fletcher: The Didjeridu (Didgeridoo)*, University Canberra ACT0200, published 1996 in *Acoustics Australia*, Vol 24, pp 11-15
- *Baars et al.: Leitprogramm Quantenchemie*, 2. Fassung, hrsg. 1994 vom Institut für Verhaltenswissenschaften der ETH Zürich, S. 1-49
- *David Lindner: Traumzeit – Das Geheimnis des Didgeridoo, Traumzeit Verlag*, 4. Aufl., erschienen 2004

Internet:

- <http://www.didjshop.com/physicsDidj02.html>, Prof. Ulf Sandberg, Stand 19. Okt. 2006
- Music Acoustics *University of New South Wales*, Published by Joe Wolfe:
 - Stand 28. Dez. 2006:
 - FAQ in music acoustics
<http://www.phys.unsw.edu.au/jw/musFAQ.html>
 - What is a Sound Spectrum?
<http://www.phys.unsw.edu.au/jw/sound.spectrum.html>
 - What is acoustic impedance and why is it important?
<http://www.phys.unsw.edu.au/jw/z.html>
 - Open vs Closed Pipes (Flutes vs Clarinets)
<http://www.phys.unsw.edu.au/jw/flutes.v.clarinets.html>
 - Strings, standing waves and harmonics
<http://www.phys.unsw.edu.au/jw/strings.html>
 - Stand 08. Juli 2006:
 - Didjeridu acoustics/ yidaki acoustics
<http://www.phys.unsw.edu.au/jw/didjeridu.html>

- Acoustics of brass instruments (lip reeds): an introduction
<http://www.phys.unsw.edu.au/jw/brassacoustics.html>
- <http://www.didgeridoo-physics.com>, Stand 17. Jan. 2007
- http://en.wikipedia.org/wiki/Indigenous_Australians, Stand 15. Jan. 2007

Ausserdem wurden die Maturaarbeit von *Martin Wasmer*, «Berichterstattung von *Le Monde* und *NZZ* im Vorfeld des Irakkriegs», KSS 2004, sowie das *Praktikum zu den Modulen PHY117 und PHY118 - Wintersemester 06/07* des Physikinstituts der Uni Zürich eingesehen. Die Inhalte dieser Quellen dienten aber nur dazu, Umfang und Strukturierung meiner Arbeit einzuschätzen, und sie erscheinen in keiner Weise in dieser Arbeit.

7.3 Bilder

- **Illustration 7:** Die Innendaten für mein Didgeridoo wurden von *Dr. Frank Geipel* zur Verfügung gestellt.

Sämtliche weitere Illustrationen und Fotos wurden von mir selber angefertigt. Dabei sind:

- **Illustration 3:** frei nach *Rossing, Moore, Wheeler, The Science of Sound*, 3rd Ed., p. 65, sowie *University of New South Wales Webpage: Acoustics of brass instruments (lip reeds): an introduction*
- **Illustration 4:** frei nach *Hammond*, p. 6, sowie *University of New South Wales Webpage: Open vs Closed pipes (Flutes vs Clarinets)*

7.4 Dank

Mein besonderer Dank gilt *Alfred Kesseli*, meiner betreuenden Lehrkraft, für seine Unterstützung und sein volles Vertrauen in das Gelingen meiner Arbeit.

Ein ganz herzlicher Dank geht auch an *Dr. Frank Geipel* für Simulation und Innendaten meines Didgeridoos. Er hat sich Zeit genommen, diese für mich aufzubereiten und in ausführlichen E-Mails zu kommentieren. Ohne seine Hilfe wäre die Arbeit auf diese Weise nicht möglich gewesen.

Ebenfalls möchte ich mich bedanken bei:

Thomas Leumann, der mir bei der Tontechnik behilflich war, wertvolle Tipps gab sowie sein Audio-Equipment zur Verfügung gestellt hat.

Felice Limmacher, Manfred Scheffknecht, Norbert Poffet, alles ehemalige Didgeridoo-Lehrer von mir, welche ich beim Bau per E-Mail nach Tipps zum Flickern von Rissen angefragt hatte. Alle antworteten prompt und ausführlich und konnten mir damit weiterhelfen.

Jean Brugger, welcher mir seine *Dremel*-Fräse zur Verfügung gestellt hat, die mir gegen Schluss äusserst gelegen kam.

Ausserdem möchte ich mich bedanken bei meinen Eltern *Kurt* und *Monika*, meinem Bruder *Martin*, sowie bei *Carina Muoth, Elisabeth Ramer* und *Anton Poltera*, welche mir als LektorInnen wertvolle Korrekturvorschläge mitteilten, mir während der Arbeit mit Rat und Tat beigestanden waren oder beim Bau kurzzeitig Hand bieten mussten.

7.5 Deklaration zur Eigenständigkeit

Hiermit bestätige ich, den praktischen Teil der Arbeit, die Resultate und die Illustrationen selbständig erarbeitet zu haben sowie den schriftlichen Teil, sofern nicht anders vermerkt, selber verfasst zu haben.