

# Mein Alphorn



Matthias Tschirren, 1GHa  
Betreuer: Dr. Erich Wenger  
Gymnasium Neufeld, 4. 11. 2009

## **Inhalt**

1	Vorwort	3
2	Einleitung	4
3	Der Bau	5
3.1	Grundsätzliches	5
3.2	Vom Rohling zu Rohr und Becher	7
3.3	Das Peddigrohr	10
3.4	Becherring, Zierringe, Füßchen, Fässchen	12
3.5	Die Buchsen, das Zusammenstecken	14
3.6	Lackieren und imprägnieren	15
3.7	Das Mundstück	16
3.8	Mein Alphorn	16
4	Theorie	17
4.1	Wie entsteht ein Ton	17
4.2	Wie entsteht ein Ton im Alphorn	18
4.3	Warum man nicht alle Töne spielen kann	19
4.4	Spektralmessungen	20
5	Schlusswort	25
6	Danksagungen	25
7	Selbstständigkeitserklärung	26
8	Quellenangabe	27
9	Abbildungsverzeichnis	27
10	Anhang	28
10.1	Mein Arbeitsablauf	28
10.2	Graphiken der Messungen	29

# 1 Vorwort

Wer bleibt nicht eine Weile stehen, wenn er in den Bergen einen Alphornspieler am Wegrand spielen sieht und hört? Mir geht es jedenfalls so.

Als sich Mitte der 4. Klasse die Frage stellte, was für ein Instrument ich nach dem Flötenunterricht spielen will, war für mich sofort klar: Alphorn!

Leider musste ich dann feststellen, dass in den Musikschulen unserer Region kein Alphornunterricht angeboten wird. Nach langem hin und her habe ich mich dann für das Waldhorn entschieden, nicht zuletzt, da es dem Alphorn am nächsten kommt. Zu meinem Glück lag auf dem Schrank meines Nachbarn Samuel Lemann ein Alphorn brach, welches er mir freundlicherweise über Monate auslieh. So konnte ich trotzdem erste Erfahrungen sammeln.

Mit der Zeit fand ich heraus, dass meine Hornlehrerin auch Alphorn spielt. Darauf haben wir einen Alphornblock eingeschoben, der in einem Auftritt an meiner Konfirmation gipfelte.

Als ich dann das Thema für meine Maturarbeit auswählen musste, war eine der ersten Ideen natürlich, ein Alphorn zu bauen. Ich verwarf diese aber ziemlich schnell wieder. Drei Wochen vor dem Abgabetermin des Projektvertrags sprach mich meine Hornlehrerin auf meine Maturarbeit an und fragte mich, ob ich nicht ein Alphorn bauen wolle. Da war sie wieder, diese Idee, und plötzlich auch der Glaube an die Umsetzbarkeit.

Die Hörner, auf denen wir an meiner Konfirmation spielten, stammten beide aus dem Eggiwil. Ich erkundigte mich, ob es möglich wäre dort mein Alphorn zu bauen. Da aber Bachmanns ihre Hörner in vollständiger Handarbeit fertigen, hätte meine verfügbare Zeit nicht gereicht. Enttäuscht wollte ich schon aufgeben, doch dann lieferte das Internet noch einen Namen: Matthias Wetter. Er bietet auf dem Ballenberg zehntägige Alphornbaukurse an. Da diese für mich zu spät waren, erkundigte ich mich, ob es nicht möglich wäre, bei ihm in Ossingen (Zürcher Weinland) ein Alphorn zu bauen. Er sagte mir zu und so begann ich in den Frühlingsferien mit meiner Maturarbeit.

## 2 Einleitung

Mein grosses Ziel der Maturarbeit war, ein funktionierendes Alphorn zu bauen. Deshalb beschreibe ich im ersten Teil ausführlich, wie ich vorgegangen bin. Ich probiere, nicht nur meinen Arbeitsgang zu beschreiben, sondern auch in einem gewissen Masse den Blick zu öffnen und andere Vorgehensweisen zu erwähnen.

In einem zweiten Teil will ich mich etwas mehr den physikalischen Aspekten zuwenden. Ich probiere die Fragen zu beantworten, wie eigentlich in einem Holzrohr so warme Klänge entstehen können und warum man nicht alle Töne spielen kann. Des Weiteren interessiert es mich und meine Hornlehrerin, ob mein Alphorn mit ihrem Profihorn mithalten kann. Ich probiere das mit Hilfe von Spektralmessungen mit einem Vernier-Messgerät an beiden Instrumenten herauszufinden.

## 3 Der Bau

### 3.1 Grundsätzliches

Es gibt viele verschiedene Möglichkeiten, ein Alphorn zu bauen. Jeder Alphornbauer hat seine eigenen Techniken und Tricks. Einige haben Maschinen, die einen grossen Teil der Arbeit abnehmen oder ihn zumindest erleichtern, andere machen fast alles von Hand.

Früher wurden Alp- und Hirtenhörner aus einem krumm gewachsenen Baum oder Ast gefertigt. Dieser wurde der Länge nach aufgeschnitten, ausgehöhlt und danach mit Rindenstreifen wieder zusammen gebunden. Das australische Didgeridoo, ein mit unserem Alphorn verwandtes Instrument, wird noch immer aus von Termiten ausgehöhlten Bambusstäben gebaut.

Heutzutage werden Alphörner sehr präzise gebaut. Trotzdem gibt es Unterschiede von Instrument zu Instrument. Man achtet vor allem auf den guten Klang und die Stimmung, da häufig auch in Formationen gespielt wird. Eine wichtige Verbesserung ist, dass viele Instrumente nicht mehr aus einem Stück gefertigt sind. So kann schlechtes Holz (z.B. der Chrump, Seitenäste, sonstige Verhärtungen oder Harzgallen) ausgespart werden. Denn Verhärtungen schwingen und klingen nicht so gut wie „normales“ Holz.

Ansätze von Seitenästen sind solche Verhärtungen und haben zudem den Nachteil, dass sie heikel zu bearbeiten sind und leicht kaputtgehen.

Der Chrump ist der unterste, gebogene Teil eines am Hang gewachsenen Baumes. Früher wurde er seiner Form wegen als Becher benutzt. Da auf der Bergseite die Jahrringe viel enger beieinander liegen als auf der Talseite, ist das Holz nicht gleich hart, dehnt sich deshalb nicht gleichmässig aus und läuft darum Gefahr zu zerspringen.



Abb.1: Querschnitt durch einen Chrump

Heutzutage benutzt man zum Alphornbau feinjähri- ges Fichtenholz. Feinjähri- g bedeutet, dass die Fichten sehr langsam gewachsen sind und darum die Jahr- ringe eng beieinander lie- gen. Dadurch hat das Holz einen guten Klang und es hat kleine Zwischenräume in denen sich nur wenig Wasser ansammeln kann. So verzieht sich das Horn später weniger und ist da- mit weniger gefährdet, Risse zu bekommen. Zudem ist die feine Maserung ge- rade am Becher eine will- kommene Verzierung. Besonders beliebt zum Bau von Alphörnern ist das Holz der Haseltanne. Die Haseltanne ist eine ganz normale Fichte, hat aber spezielle Jahrringe. Sie beschreiben keinen schö- nen Kreis ums Zentrum, sondern haben hie und da Zacken drin. Haseltannen- holz ist ein gutes Klangholz und ergibt schöne Muster, wenn es bearbeitet wird.



- 1) Mundstück
- 2) Fässchen
- 3) Handrohr
- 4) Mittelrohr
- 5) Becherrohr
- 6) Zierringe
- 7) Füsschen
- 8) Becher
- 9) Becherring

Abb. 2: Teile des Alphorns

### 3.2 Vom Rohling zu Rohr und Becher

Beim Bau von Hand-, Mittel-, Becherrohr und Becher beginnt man nicht mit einem ganzen Baumstamm, sondern mit einzelnen dachlattenähnlichen Stücken, den sogenannten Rohlingen. Diese sind für den Becher etwa 12 cm und für die Rohre zwischen 5 und 10 cm dick. Beim Aussägen der Becherrohlinge aus einer Platte wird auf das Muster der Jahrringe geachtet. Sie sollen die Öffnung des Bechers unterstützen und ihr nicht entgegenwirken. Die Rohrohlinge werden unterschiedlich lang und dick ausgesägt, je nach Rohr, zu dem sie einmal verarbeitet werden sollen. Die Stirnseiten der Rohlinge werden nach dem Sägen in Wachs getunkt, damit das Holz nicht von dort her austrocknet und Risse bekommt. Diese Rohlinge werden etwa zehn Jahre gelagert, damit sie langsam von der Seite her austrocknen können.

Danach beginnt der Bau. Als erstes werden die Rohrhälften ausgehöhlt. Dies geschieht entweder mit Hammer und Stechbeutel oder mit einer Fräsmaschine, was viel Zeit spart. Die Maschine besteht aus zwei Fräsbohrern und einem Tastfinger, die an einem beweglichen Gestell befestigt sind. Auf die darunterliegende Platte werden die Rohlinge und eine Formvorlage mit Schraubzwingen oder Teppichklebeband befestigt. Beim Fräsen wird mit dem Tastfinger der Vorlage nachgefahren und somit Schicht für Schicht Holz abgetragen, wobei darauf geachtet werden muss, dass die Bohrer nicht zu tief geführt werden, d.h. zu viel Material aufs Mal genommen wird, da sie sonst abbrechen. Auch der Becher wird wie alle Rohre auf diese Weise ausgehöhlt, nachdem er auf dieser Maschine auch in seine Aussenform gefräst wurde. Je genauer gefräst wird, desto weniger muss man danach von Hand schleifen. Die Enden, an die die Maschine nicht heran kommt, werden am Schluss mit Hammer und Stechbeutel von Hand entfernt.

Sind alle Hälften gefräst, werden sie zusammengeleimt. Die Ränder der beiden Hälften werden mit Leim bestrichen und mit über 20 Zwingen pro Rohr zusammengepresst. Dabei muss darauf geachtet werden, dass die Ränder innen schön aufeinander passen und nicht verschoben werden. Der Becher wird ebenfalls verleimt und



Abb. 3: Fräsmaschine

dann mit warmem Klebeband umwickelt. Dieses zieht sich beim Erkalten zusammen und stabilisiert so den Becher. Dieser Leim wird sehr hart. So können die Überreste später weggeschliffen werden, ohne dass das Schleifpapier dabei verklebt.

Nach etwa drei Stunden ist der Leim trocken. Danach wird das Innere der Rohre in die richtige Form geschliffen. Dafür verwendet man einen konischen Holzbohrer, der mit Schleifpapier umwickelt ist.

Die Aussenform der bis anhin viereckigen Rohre wird auf einer Kopierdrechselmaschine gedrechselt. Die Maschine muss für jedes Rohr neu eingestellt werden, drechselt aber dafür ganz selbstständig die richtige konische Aussenform. Die eingespannten Rohre drehen um die eigene Achse, und drei Messer schneiden hintereinander die richtige Form. Das ganze wird durch einen Metallbalken an der Rückseite gesteuert.



Abb. 4: Frisch geleimte Rohre



Abb. 5: Frisch geleimter Becher



Abb. 6: Schleifpapierumwickelter Bohrer



Abb.7: Schnitzmesser und Lunette



Abb. 8: Kopierdrechselmaschine



Damit sind die Rohre fertig gestellt. Beim Becher geht das nicht so einfach. Da er nicht in eine Drechselmaschine eingespannt werden kann, muss sowohl die Aussen- als auch die Innenform von Hand geschliffen werden.

Als erstes wird die Stirnseite des Bechers an der Tellerschleifmaschine egalisiert. Danach zeichnet man mit einer Schablone den Rand ein. Nun wird mit der Holzraspel der ganze Becher bis zum eingezeichneten Rand grob geschliffen. Danach werden verschieden grosse, steuerradähnliche Ringe über den Becher gestülpt. Diese sind mit Schleifpapier ausgekleidet. Wenn



Abb. 9: Ring zum markieren der Becherform



Abb. 10: Becher wird an Stirnseite egalisiert

man Slalom fährt, d.h. die Ringe dreht, entstehen Markierungen. Diese Markierungen werden nun mit der Raspel von Hand schleifend miteinander „verbunden“. Somit wird überall etwa gleich viel abgeschliffen und die Form wird beibehalten. Danach wird der Becher mit einer speziellen Handschleifmaschine egalisiert und zu guter Letzt von Hand geschliffen, bis alle Bauchungen verschwunden sind. Dabei werden die Arbeitsgeräte immer feiner. Angefangen mit einer Raspel, beendet man die Arbeit via Schleifmaschine und verschiedene Schleifpapiere mit einem Poliertuch. Um sicher zu stellen, dass die Form noch stimmt, prüft man immer wieder mit einer Schablone nach. Stimmt die Form aussen, beginnt man innen zu schleifen. Auch hier be-



Abb. 11: Becherinnenschliff mit Freiwelle

ginnt man grob, mit einer sogenannten Freiwelle, (das ist eine Schleifmaschine, deren Antriebswelle beweglich ist. Der Schleifkopf ist nur mit einem Schlauch mit dem Motor verbunden und kann so viel kleinere Innenräume ausschleifen.) und wird immer feiner mit verschiedenen Schleifpapiersorten. Die Becherwand sollte überall etwa 12 mm stark sein. Der Becherschliff ist eine Geduldssprobe, denn ist die Wand zu dick, muss man aufpassen, dass sie nicht plötzlich zu dünn wird. Hat der Becher einen Höcker, schleift man ein bisschen - und schon ist es eine Delle. Ist diese Probe überstanden, wird vorne an



Abb. 12: Gedultsprobe Becherschliff



Abb. 13: Ausbohren des Bechers

der Becherkante eine Kerbe gefräst, um dort später den Becherring anzuleimen. Die andere Seite des Bechers bohrt man aus und schleift sie so, dass das Becherrohr darauf gesteckt werden kann. Das Becherrohr seinerseits wird an der unteren, weiten Seite angedrechselt. Dann wird beides miteinander verleimt. Der Übergang muss nun ausgeglichen werden. Das Becherrohr wird eingespannt, der Becher abgestützt und die Arbeit von Hand mit Hobel, Raspel und Schleifpapier erledigt.

Der Übergang muss nun ausgeglichen werden. Das Becherrohr wird eingespannt, der Becher abgestützt und die Arbeit von Hand mit Hobel, Raspel und Schleifpapier erledigt.

### 3.3 Das Peddigrohr

Zum Schutz der Rohre, zur Stabilisation der Leimnähte, zum verbessern des Klangs und zu guter Letzt auch fürs Auge wird der gerade Teil des Horns, d.h. vom Rohrübergang am Schallbecher bis zum Fässchen, mit Peddigrohr umwickelt.

Das Peddigrohr stammt von der Rotangpalme. Sie gehört zur Familie der Palmengewächse. Die Rotangpalme ist eine Kletterpflanze. Sie wächst an den hohen Bäumen des südostasiatischen Regenwalds und kann bis zu 150 Meter lang werden. Da das Holz der Rotangpalme zwar genauso fest, aber viel biegsamer als das anderer Baumarten ist, werden die nur wenige Zentimeter dicken Sprossen längs geschnitten und als Flecht- und Wickelmaterial verkauft.

Für ein Alphorn werden etwa 130 Meter Peddigrohr am Stück benötigt. Importiert wird es aber in 1-2 Meter langen Ruten. Diese müssen zu einem Band zusammengeleimt werden. Damit es flexibel bleibt und die Leimstellen gut halten, wird das Peddigrohr auf beiden Seiten mit einem Stechbeutel zugespitzt. So bleibt es auch an den Leimstellen gleich dick und durch die grosse Auflagefläche gut verklebt. Die beiden Flächen werden mit



Abb. 14: Rotangpalme

Weissleim eingestrichen, aufeinander gedrückt, mit Klebeband fixiert und mit einer Zwinne zusammengepresst. Ist das ganze Band fertig verleimt, werden mit Schleifpapier sorgfältig vorstehende Fasern entfernt und überflüssiger Leim abgeschliffen. Zum Schluss wird das fertige Peddigrohr auf eine Kabelrolle aufgewickelt und so gelagert, bis es weiterverarbeitet wird.

Die Rohre werden zum Wickeln in eine Wickelmaschine eingespannt. Diese kann mittels Gaspedal in eine langsame Rotierbewegung versetzt werden.

Am oberen Ende des Handrohres wird eine kleine Ritze gebohrt. Dorthinein steckt man den Anfang des Peddigrohrs und befestigt ihn mit einer Stecknadel. Dann werden die ersten 5-8 cm des Rohres mit Weissleim eingestrichen und mit etwa fünf Kilogramm Druck aufgewickelt, damit das Peddigrohr schön satt anliegt. Dabei werden alle paar Millimeter die Windungen mit einem Hölzchen aneinander gedrückt. Am Ende der eingeleimten Stelle wird das Peddigrohr mit einer Stecknadel fixiert. Die ganze Stelle wird sofort mit Schwamm, Zahnbürste und heissem Wasser vom überschüssigen Leim befreit, da dieser sonst nach dem Lackieren unschön zeichnen würde. Danach wird das ganze Rohr nach diesem Schema umwickelt und am Schluss mit einer Stecknadel festgesteckt.

Auch bei Mittel- und Becherröhr beginnt man beim oberen Ende mit wickeln. Auf der Buchse wird das Peddigrohr mit Araldit angeleimt. Danach fährt man wie beim



Abb. 15: Zuspitzen des Peddigrohrs



Abb. 17: Lagerform des Peddigrohrs



Abb. 16: Verleimtes Peddigrohr



Abb. 18: Wickeln des Rohrs



Abb. 19: Der Leim muss weg

Handrohr weiter.

Der Becher wird bis 10 cm vor den ersten Zierring wie oben beschrieben eingewickelt. Weil er sich jetzt zu krümmen beginnt, braucht es an der einen Seite weniger Peddigrohr als an der andern. Darum wird das Peddigrohr zuerst mit gleich viel Druck und Konzentration wie vorher, aber ohne Leim aufgewickelt. Die Seite, an der zu viel Peddigrohr vorhanden ist, wird bezeichnet. Danach wird das Peddigrohr bis zur Leimkante, also bis zur letzten Stecknadel, wieder abgerollt. Jetzt wird an allen bezeichneten Stellen auf beiden Seiten des Peddigrohrs ein wenig abgeschliffen, bis man die ganze Stelle sauber wickeln kann. Dann wird auch der letzte Teil Peddigrohr angeleimt und schlussendlich festgesteckt.



Abb. 20: Wickeln der letzten 10 cm

### 3.4 Becherring, Zierringe, Füßchen, Fässchen

Becherring, Zierringe, Füßchen und Fässchen sind die Verzierungen des Alphorns. Sie werden im Gegensatz zum eigentlichen Instrument nicht aus weichem Fichtenholz, sondern aus Hartholz, zum Beispiel vom Nussbaum oder von der Waldkirsche, gefertigt.



Abb. 21: Fässchen in Drehbank eingespannt

Das Fässchen ist der Abschluss des Handrohres und dient als Halterung des Mundstücks. Es hat die Form eines Fässchens und ist je nach Bauart zwischen 3 und 6 cm lang. Das Fässchen wird aus einem Holzquader gedrechselt und mit Rillen oder Wellen verziert. Nach dem Schleifen wird es aufs Handrohr geleimt. Danach wird mit einem konischen Spezialbohrer das Loch fürs Mundstück gebohrt.

Die Zierringe sind gebogene Holzstreifen. Diese werden für eine halbe Stunde in ein heisses Dampfbad gestellt, was die Poren öffnet. Das nun biegsamere Holz wird um ein heisses, rundes Eisen herum gebogen, sofort überspannt und mit einer Zwinde befestigt.



Abb. 22: Biegen eines Rings um heisses Eisen



Abb. 23: Überspannter Zierring

Nach dem Erkalten und Austrocknen werden die Ringe auf die richtige Länge gekürzt, wie beim Peddigrohr zugespitzt und anschliessend geleimt. Da Holz nicht sehr biegsam ist, ist diese Arbeit heikel und es brechen viele Ringe. Die brauchbaren Zierringe werden auf der Drehbank egalisiert und leicht abgerundet, danach dort entweder mit einfachen Rillen verziert oder von Hand aufwändig beschnitzt. Die Ringe werden nach dem Verleimen des Becherrohrs mit dem Becher so weit als möglich nach vorne über das Rohr gestülpt und mit Weissleim angeleimt. Der überschüssige Leim wird sofort mit Schwamm und heissem Wasser entfernt. Das Füsschen wird aus einem Massivholzklotz nach Schablone mit der Stichsäge ausgesägt. Die Rundungen



Abb. 25: Schleifen des Füsschens

werden auf einer Schleifmaschine ausgebessert und an den Becher angepasst. Mit Schleifpapier werden die scharfen Kanten gebrochen und die Oberfläche verfeinert. Häufig werden in das Füsschen der Name oder die Initialen des Bauers

und das Baujahr eingebrannt oder geschnitzt. Eine Variante ist, mit Metallstempeln die Form zu definieren und diese mit dem LötKolben auszubrennen. Zum Schutz werden unten auf die beiden Beine Kunststoffsohlen aufgeklebt. Das Füsschen wird gerade hinter dem vorderen Zierring angeleimt. Damit der Becher nicht kaputtgeht, wenn man es mit Zwingen befestigt, stellt man in den Becher einen Holzklotz, der ihn stabilisiert. Der überschüssige Leim wird wie immer sofort entfernt.

Der Becherring wird wie das Fässchen und das Füsschen aus einer Massivholzplatte gemacht. Zuerst wird eine runde Scheibe ausgesägt und in deren Mitte ein Loch gebohrt, damit das Werkstück in die Drehbank eingespannt werden kann.



Abb. 27: Becherring an Drehbank



Abb. 24: Abrunden und Verziern des Rings auf Drehbank

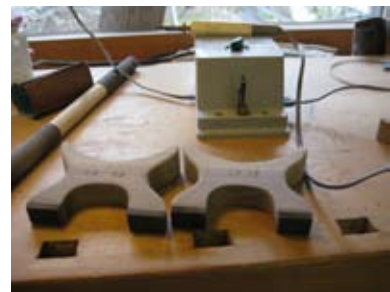


Abb. 26: Initialen und Baujahr werden eingebrannt



Abb. 28: Der abgestochene Becherring wird aufgefangen

Anschliessend wird die Form des Becherrings gedreht. Wenn er genau auf den Becher passt, wird der Ring vom Rest des Werkstückes abgestochen und mit einem Stab aufgefangen. Der Becherring wird nun mit dem gleichen Leim auf den Becher geleimt, mit dem schon die Rohrhälften zusammengeleimt wurden. So können die Übergänge wiederum verschliffen werden.



Abb. 29: Frisch angeleimter Becherring

### 3.5 Die Buchsen, das Zusammenstecken

Die heutigen Alphörner bestehen meist aus drei Teilen. Einem Unterteil mit Becher, einem Mittelrohr und einem Handrohr, in das das Mundstück gesteckt wird. Die Verbindungsstellen bestanden früher oft aus nicht rostfreiem Stahl, weshalb sie nach jedem Spiel eingefettet werden mussten. Häufig sieht man auch Buchsen aus Messing oder sogar Messinggewinde. Sie sind zwar fast wartungsfrei, aber dafür sehr weich und kratzempfindlich. Heutzutage bauen fast alle Alphornbauer viel leichtere, wartungsfreie Aluminiumbuchsen mit Gummidichtungsringen ein. Die Steckbuchsen befinden sich ausserhalb des Holzes. Somit ist der Innenteil des Hornes durchgehend aus Holz.

Mittel- und Becherrohr werden an den engeren Seiten angedreht und verkürzt, damit die Aussenbuchsen darübergestülpt und angeleimt werden können. Das Rohr wird in die Werkbank eingespannt, die Stelle, über die die Buchse gestülpt wird, mit Araldit eingeleimt, die Buchse aufgesetzt, und dann wird die Werkbank sorgfältig zuge dreht.

Die Innenbuchsen werden auf die weiten Enden von Hand- und Mittelrohr aufgeleimt. Zuvor werden die Rohre in die Drechselmaschine eingespannt. Dann wird mit einem Stechbeutel das Peddigrohr entfernt und anschliessend die Rohre mit der Maschine gedreht, bis der richtige Innendurchmesser erreicht ist.

Erst ganz am Schluss wird das fertige Alphorn ein erstes Mal zusammengesteckt. Man dreht die Rohre so, dass die Peddigrohrübergänge möglichst nicht sichtbar sind, was häufig gut gelingt.



Abb. 30: Aufleimen der Buchse

### 3.6 Lackieren und imprägnieren

Becher, Fässchen und Füsschen werden grundiert. Die Aussen- und 20 cm der Innen-seite des Bechers werden drei Mal lackiert. Nach jedem Arbeitsgang wird mit Stahl-watte poliert. Die Rohre werden nur einmal mit Klarlack besprüht. Alle Buchsen müs-sen dabei mit Klebeband abgedeckt sein.

Die Übergänge vom Holz zu den Buchsen werden versiegelt.

Es gibt Alphörner, die auch innen mit Klarlack behan-delt sind. Die Mehrheit wird aber heutzutage mit atmungsaktivem Öl be-handelt. Man kocht das Öl auf und füllt die unten mit einem Zapfen verschlos-senen Rohre bis obenhin.

Auch der Becher wird bis in den Chrump gefüllt und bis zur Lackgrenze gut ein-gerieben. Nach etwa zehn Minuten leert man das Öl wieder aus und wischt die Rohre aus. Dafür befestigt man ein Stück Stoff an zwei Schnüren und zieht es eine Weile durch das Rohr.

Zu guter Letzt werden die Gummidichtungen über die Buchsen gestreift, die Buchsen mit Vaseline einge-rieben und zusammengesteckt. Die Rohre werden auf der Unterseite mit zwei Punkten des LötKolbens markiert, damit man die gewählten Übergänge wieder findet. Jetzt ist das Alphorn fertig und man kann mit dem Einblasen beginnen, vorausgesetzt man hat ein Mundstück.



Abb. 31: Lackieren des Bechers



Abb. 32: Frisch lackierte Rohre



Abb. 33: Mit Öl gefüllte Rohre



Abb. 34: „Ushüdele“



Abb. 35: Einblasen

### 3.7 Das Mundstück

Das Mundstück übernimmt eine wichtige Rolle beim Erzeugen des Tones. Da der Bau eines Mundstücks äusserst schwierig ist, habe ich mein Mundstück

nicht selbst gebaut, sondern es bei einem spezia-

lisierten Mundstückbauer gekauft. Das Mundstück besteht aus Kessel, Engnis und einem konischen Rohr, das ins Fässchen gesteckt wird. Die Masse von Kessel, Kesselrand und Engnis sind immer eine Gratwanderung. Ein durchschnittlicher Kessel hat einen Durchmesser von 18mm und eine Länge von 25mm. Kleinere Kessel vereinfachen das Spielen hoher Töne, ergeben aber einen weniger vollen Klang.

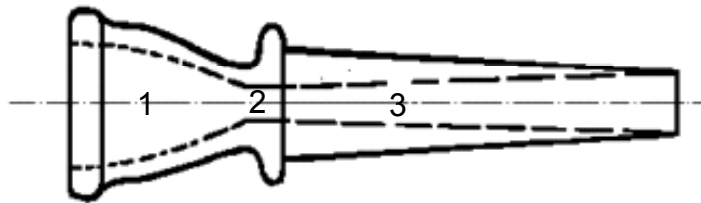


Abb. 36: Das Mundstück mit 1) Kessel, 2) Engnis und 3) Konus

### 3.8 Mein Alphorn

Natürlich baut man ein Alphorn nicht in dieser Reihenfolge. Die Arbeitsschritte sind ineinander verschachtelt, da immer, wenn etwas trocknen muss, an etwas anderem weitergearbeitet wird. Vor allem das Peddigrohrleimen ist eine Lückenfüllerarbeit.

Mein Alphorn habe ich, wie oben erwähnt, bei Matthias Wetter in Ossingen gebaut. Er ist ein Alphornbauer, der kein Geheimnis aus seinen Methoden macht. Er vertraut auf die Hilfe von Maschinen, ist aber der Überzeugung, dass man seine Hörner immer noch als handgemacht bezeichnen darf. Die Maschinen sind nur zur Unterstützung da und erledigen nicht die ganze Arbeit. Dank den präzisen Maschinen und dem fehlenden Zeitdruck können selbstgebaute Alphörner qualitativ fast mit Profihörnern mithalten, so Wetter.

Zur selben Zeit hat auch Lukas sein eigenes Alphorn gebaut, was für gewisse Arbeitsabläufe hilfreich war. Mein Arbeitsablauf der rund 75 Arbeitsstunden ist im Anhang zu sehen.



## 4 Theorie

### 4.1 Wie entsteht ein Ton

Töne sind Luftschwingungen. Sie haben eine definierbare Frequenz und somit eine Höhe. Wenn wir uns beim Sprechen oder Singen an den Hals greifen, fühlen wir eine Vibration. Also ist dort etwas, das die Luft in Schwingung versetzt. Das sind unsere Stimmbänder. So kann man sich vorstellen, dass auch bei jedem Instrument etwas schwingen muss, um diese Schwingungen auf die Luft zu übertragen. Bei der Gitarre sind es die Saiten, bei der Trommel das Fell, bei der Klarinette das Rohrblatt. Und beim Alphorn?

Zupft man an einer gespannten Saite, so beginnt sie in ihrer Eigenfrequenz zu schwingen und man hört einen Ton. Die Saite bewegt sich als Ganzes zwischen den beiden Punkten, an denen sie befestigt ist, hin und her. Diese Schwingung mit nur einem Wellenbauch bezeichnet man als Grundschwingung. Nun kann die Saite aber auch so schwingen, dass die eine Hälfte nach oben und die andere nach unten schwingt und umgekehrt. In der Mitte liegt ein starrer Bewegungsknoten. Die Frequenz dieser Schwingung ist doppelt so gross wie die der Grundschwingung und ist der erste Oberton. Bei entsprechend grösseren Frequenzen schwingt die Saite mit mehr Bäuchen. Eine Saite schwingt also nicht nur in einer Eigenfrequenz, sondern in ganz vielen. Zupft man eine Saite an, so erzeugt sie, als Ganzes schwingend, ihren Grundton, aber immer, gleichzeitig auch in Teilen schwingend, ihre Obertöne. Die Tonhöhe wird durch den Grundton definiert, die Klangfarbe hingegen durch die Überlagerung aller Schwingungen zusammen. Jedes Instrument hat seine ganz charakteristische Klangfarbe, da jeder Tonerreger seine eigenen, charakteristischen Obertöne erzeugt. Bei Saiteninstrumenten beginnt die Schwingung immer mit einem Knoten und hört auch damit auf, da die Saiten ja dort befestigt sind.

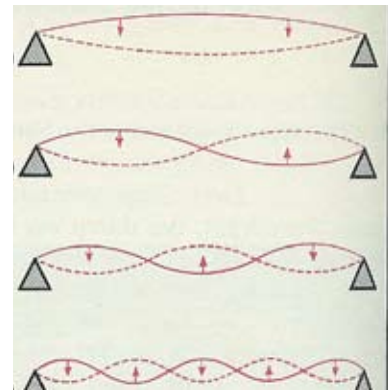


Abb. 37: Verschiedene Saitenschwingungen

## 4.2 Wie entsteht ein Ton im Alphorn

Wenn man das erste Mal in ein Alphorn bläst, passiert vielleicht gar nichts. Dann kommt der Tipp: „Spann die Lippen!“ und plötzlich hört man etwas. Es ist wahrscheinlich kein definierbarer Ton, aber immerhin schon mehr als das Geräusch von Luft, die durch ein Rohr geblasen wird. Man spürt, wie die Lippen vibrieren. Da das ganze Instrument unbeweglich ist, müssen also die Lippen die Luft zum Schwingen bringen.

Grundsätzlich kann man sagen: Die Lippen geraten durch die Luft, die hindurchströmt, in Schwingung. Diese wird auf die Luft in der sogenannten Zündflamme übertragen. Die Zündflamme wiederum überträgt die Schwingung auf die Luft im Rohr.

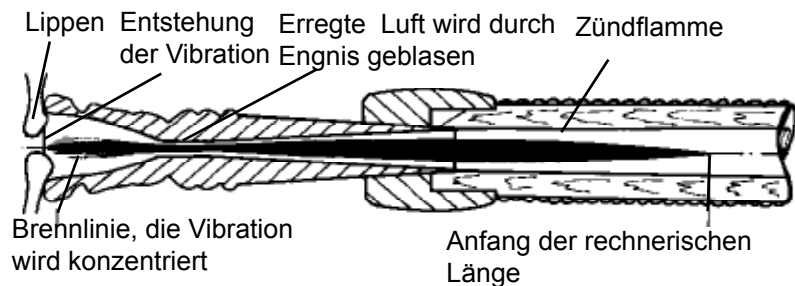


Abb. 38: Vorgänge im Mundstück

Genauer formuliert: Mit Zwerchfelldruck lässt der Bläser Luft aus den Lungen strömen. Diese lässt die Lippen am Mundstückrand vibrieren. Die entstandene Erregerfrequenz regt die hindurchströmende Luft ihrerseits zum Schwingen an. Diese bildet nach dem Engris die Zündflamme aus Luft. Die Zündflamme regt die Luft im Alphorn zum Schwingen an. Stimmt die Erregerfrequenz der Lippen und der Zündflamme mit der Eigenfrequenz der Luftsäule im Rohr überein, beginnt diese in Resonanz mitzuschwingen.

Die Höhe des Grundtons wird durch die Länge des Rohrs bestimmt. Wobei man eher von der rechnerischen Länge sprechen sollte. Damit ist die Länge der Luftsäule, die beim Spielen schwingt, gemeint. Sie beginnt nicht am Anfang des Rohrs, sondern an einem vom Bläser beeinflussbaren Ort, nämlich am Ende der Zündflamme. Je nachdem, wie stark die Lippen vibrieren und mit wie viel Druck die Luft durch das Engris strömt, ist die Zündflamme unterschiedlich lang. Das Ende der Luftsäule hängt direkt von der Form des Bechers ab. Beim Fis/Ges-Horn kommt sie etwa 30 cm über den Becher hinaus. Damit ist klar, dass jede Veränderung im Luftbereich vor dem Becher zu Störungen in der Intonation führt. Möchte man also einen Schalldämpfer für ein Alphorn bauen, der den Ton nicht beeinflussen soll, dann müsste er weit über den Becher hinausragen.

### 4.3 Warum man nicht alle Töne spielen kann

Auf dem Alphorn sind nicht alle Töne spielbar. In unteren Lagen sind die Schritte zwischen den Tönen relativ gross, gegen oben werden sie immer kleiner. Dazwischen sind nur Luftgeräusche hörbar. Warum ist das so?

Die rechnerische Länge des Alphornes gibt die Höhe des Grundtons an. Auf dieser Frequenz hat die Schwingung nur einen Bauch. Das ist der tiefstmögliche Ton dieses Instruments. Der nächste erkennbare Ton, der erste Oberton, ist eine Oktave höher. Die Frequenz hat sich also verdoppelt und die Schwingung hat zwei Bäuche. Der dritte Ton klingt noch eine Quinte höher. Er hat also die dreifache Frequenz des Grundtones und damit drei Bäuche. Das Ganze setzt sich dann immer so fort. Diese Reihe von Tönen nennt man Naturtonreihe.



Abb. 39 Naturtonreihe, das fehlende Grund- C und die drei höchsten Töne werden üblicherweise nicht gespielt, die Töne mit Versetzungszeichen stimmen nicht mit der temperierten Tonleiter überein

In offenen Rohren beginnen und enden die Schwingungen, anders als Saitenschwingungen, immer mit Schwingungsbäuchen. Beim Grundton ist nur die halbe Welle im Rohr drin. Darum hat der Grundton auch nur einen Wellenbauch, respektive zwei Halbbäuche.

Die Töne, die nicht auf der Naturtonreihe liegen, kann man nicht spielen, da die Wellenlänge kein exakter Teiler der Rohrlänge ist und darum die Luftsäule im Horn nicht schwingen kann. Bei Blechblasinstrumenten kann die Länge der Luftsäule verändert werden, indem man mit Ventilen zusätzliche Rohrabschnitte hinzufügt.

Es gibt aber auch Naturtöne, die auf der temperierten Tonleiter nicht existieren. So sind zum Beispiel der 7., Naturseptime genannt, 11., Alhorn-fa, und 14. Naturton falsch intoniert. Geht man von einem c als Grundton aus, sind die Naturseptime und der 14. Naturton zu tiefe b, aber noch keine a. Das Alhorn-fa ist ein zu hohes f, aber seinerseits immer noch zu tief für ein fis.

Spielt ein Alphornbläser auf seinem Instrument, so hört man die Naturtonleiter doppelt. Einerseits in der Melodie, andererseits schwingt sie bei jedem Ton als Obertöne mit. Sie wird folglich auch Obertonleiter genannt. Das Alphorn ist besonders reich an Obertönen. Das lässt es so voll und warm klingen.

#### 4.4 Spektralmessungen

Die Frequenz des Grund- c eines Fis/Ges- Alphorns beträgt 46,25 Hertz. Diesen Wert habe ich aus einer Tabelle abgelesen (<http://www.pianotip.de/frequenz.htm>, 10.10.09). Kennt man die Länge des Alphornes, kann man ganz einfach nachprüfen, ob der Wert stimmen kann. Denn es gilt:  $f=c/\lambda$ , wobei  $\lambda$  in offenen Rohren der doppelten Rohrlänge entspricht. Somit gilt:  $46,25=340/2L$ . Mein Alphorn ist etwa 3.40 Meter lang. Die rechnerische Länge wäre circa 3.70 Meter. Löst man die Gleichung auf, ergibt das eine Länge von 3.67 Meter. Die Frequenz aus der Tabelle stimmt also.

Folglich lässt sich nun die Obertonreihe ausrechnen und sollte mit den gemessenen Werten übereinstimmen.

Gemessen und verglichen habe ich zwei Alphörner, mein eigenes (MT) und ein professionell von Schüpbach und Bachmann (SB) aus Eggwil hergestelltes. Alle Werte sind als Grafiken im Anhang zu sehen. Ich habe sie mit einem Vernier- Messgerät bestimmt, und die Grafiken mit dem Programm loggerPro 3.3 ausgewertet.



Abb. 40 Messanordnung

Ton	Frequenz theoretisch (Hz) Genauigkeit 1	Frequenz MT (Hz) Genauigkeit 1	Frequenz SB (Hz) Genauigkeit 1	$\Delta f$
Grund- C	46.25			
Bass- C (1.Oberton)	92.5	90	90	+0
Bass- G (2.OT)	138.75	136	135	+1
c' (3.OT)	185	182	179	+3
e' (4.OT)	231.25	229	226	+3
g' (5.OT)	277.5	271	275	-4
b' (6.OT)	323.75	318	323	-5
c'' (7.OT)	370	368	369	-1
d'' (8.OT)	416.25	414	415	-1
e'' (9.OT)	462.5	463	465	-2
Fa (10.OT)	508.75	506	513	-7
g'' (11.OT)	555	553	560	-7
a'' (12.OT)	601.25	600	601	-1

Tab. 1: Errechnete und gemessene Frequenzen der spielbaren Töne

Das Grund- C habe ich nicht gemessen, da es sehr schwer zu spielen ist, und sollte es doch ansprechen, wäre die Qualität nicht sehr gut.

Erfreulicherweise sind die Abweichungen zwischen Theorie und Praxis bescheiden. Beim Messen habe ich probiert, Zwischentöne zu spielen. Aber es spricht zwischen den oben genannten Tönen kein einziger an. Somit ist gezeigt, dass nur Naturtöne gespielt werden können. Durch die Änderung der Lippenspannung kann ein Ton in der Höhe ein wenig korrigiert werden. So sind auch die Abweichungen zu kompensieren.

Kann mein eigenes Alphorn mit einem von Profis hergestellten mithalten?

Angesichts der Frequenzen in der obigen Tabelle in diesem Punkt sicher. Mein Horn ist im Vergleich zum SB- Horn in der Tiefe etwas zu hoch und in der Höhe etwas zu tief. Die Abweichungen sind aber gering. Mit mehrmaligen Messungen ergäben sich höchstwahrscheinlich Durchschnittswerte, die bei beiden Instrumenten identisch wären. Das heißt, sie tönen beide gleich hoch. Ein Zusammenspiel ist also kein Problem. Wir müssen nicht einmal lange stimmen.

Die Formen der Peaks in den Messungen ausführlich zu interpretieren sprengt den Rahmen meiner Maturarbeit. Trotzdem schreibe ich im Folgenden einige Gedanken dazu auf.

Anhand der Breite der Peaks kann man ablesen, wie genau der Ton getroffen wurde. Die Messungen beim g'' haben mich überrascht. Bei meinem Alphorn sieht man deutliche Nebenhöcker bei jedem Peak. Vergleicht man es mit den Werten des SB- Horns haben die Peaks dort alle einen breiten Fuss. Die Obertöne sind nicht mehr als Spitzen, sondern nur noch als Hügel zu erkennen.

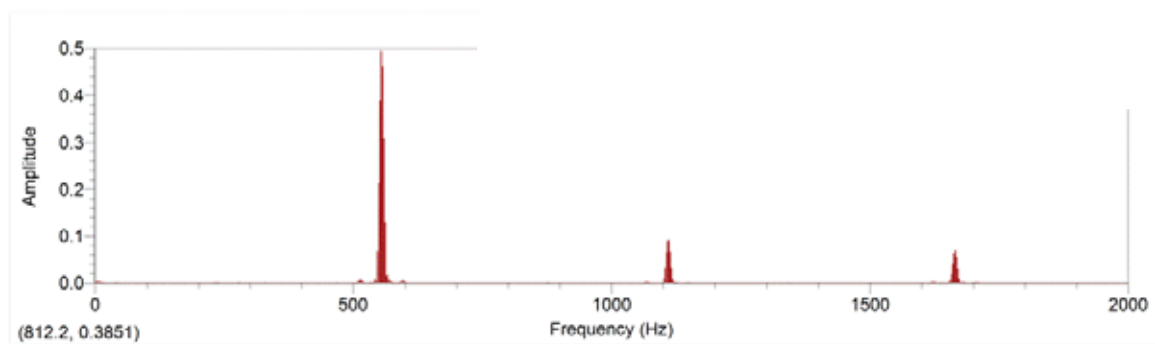


Abb. 41: MT g''

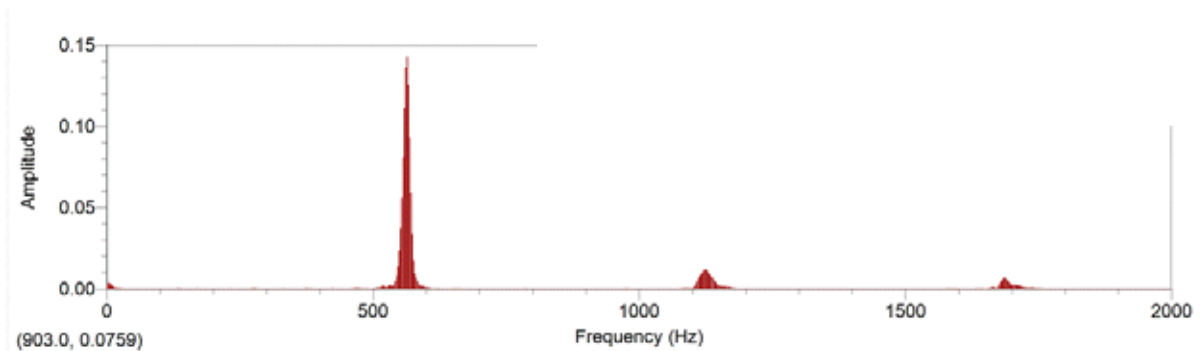


Abb. 42: SB g''

Noch deutlicher sieht man diese Verschwimmung in der Basslage. Meine Peaks sind zuerst noch ziemlich scharf, verebnen dann immer mehr, bis sie praktisch zusammenwachsen. Beim SB-Horn sind die drei ersten Peaks noch hoch, die restlichen sind nur noch Hügel. Aber alle sind durchgehend mit einander verbunden.

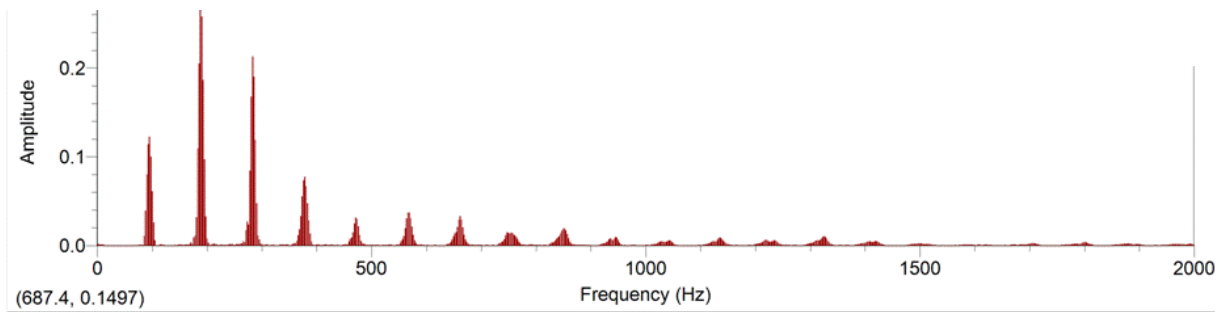


Abb. 43: MT Bass- C

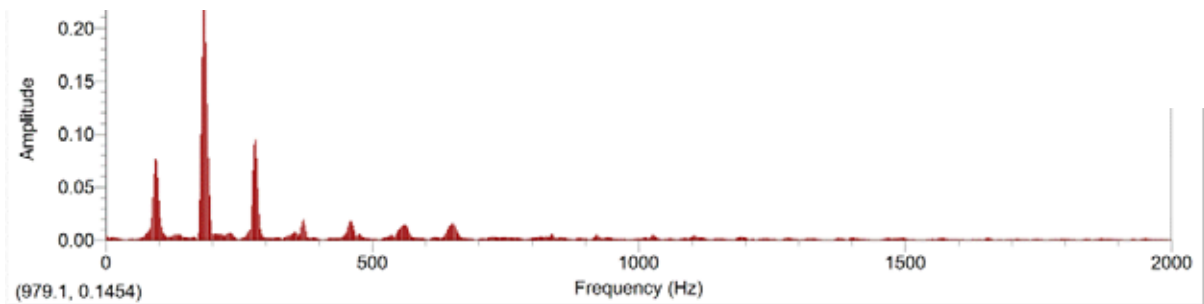


Abb. 44: SB Bass- C

Die Peaks meines Alphorns sind also klarer und schärfer. Daraus könnte man schließen, dass sich die Töne auf dem SB- Horn leichter, aber dafür nicht ganz so klar anspielen lassen. Die breiteren Spektren könnten dazu beitragen, dass kleine Abweichungen in der Intonation nicht sofort bemerkt werden oder generell schwerer zu hören sind. Es könnte auch sein, dass sich durch die breiten Spektren eine wärmere Klangfarbe entwickelt. All diese Unterschiede sind jedoch so gering, dass sie mir als eher ungeübtem Alphornbläser beim Spielen nicht aufgefallen sind. Es könnte sein, dass diese breiten Spektren auf die Bauart zurückzuführen sind. Mein Alphorn hat dank der maschinellen Hilfe eine sehr genaue und glatte Oberfläche. Das SB- Horn ist reine Handarbeit, was vielleicht zur Folge hat, dass die Innenoberfläche nicht ganz so glatt ist. Eventuell spielen auch Alter und Betriebsstunden eine Rolle.

Bei beiden Hörnern erstaunt die Tatsache, dass der Peak der Frequenz des gespielten Tones weniger hoch ist als die der beiden ersten Obertöne. Was es mit diesem Phänomen auf sich hat, kann ich mir nicht erklären, zumal ich allen Kurven zum Trotz den Grundton gespielt und auch gehört habe.

Sowohl die Verschmelzung der Peaks als auch die Überhöhung der Obertöne tauchen nur in den Extremlagen auf. Sie sind zwar nicht wegzudiskutieren, aber vielleicht trotzdem zu relativieren. Einen Ton in diesen Lagen schön gleichmässig auszuhalten ist selbst mit gutem Ansatz sehr schwer. Ich habe im Vorfeld der Messungen relativ viel Waldhorn, aber wenig auf dem Alphorn gespielt. Der Ansatz war also vorhanden, aber nur auf einem ähnlichen Instrument.

In den gemässigten Lagen sind die Peaks einander sehr ähnlich.

Vergleicht man die Oberschwingungen der beiden Hörner, so kann man zur Beruhigung feststellen, dass grundsätzlich bei allen Tonhöhen beide gleich viele Oberschwingungen haben. In den oberen Lagen kommt es vor, dass tiefere Frequenzen analog zu den Obertönen mitschwingen. Sie erzeugen selbst auch Obertöne.

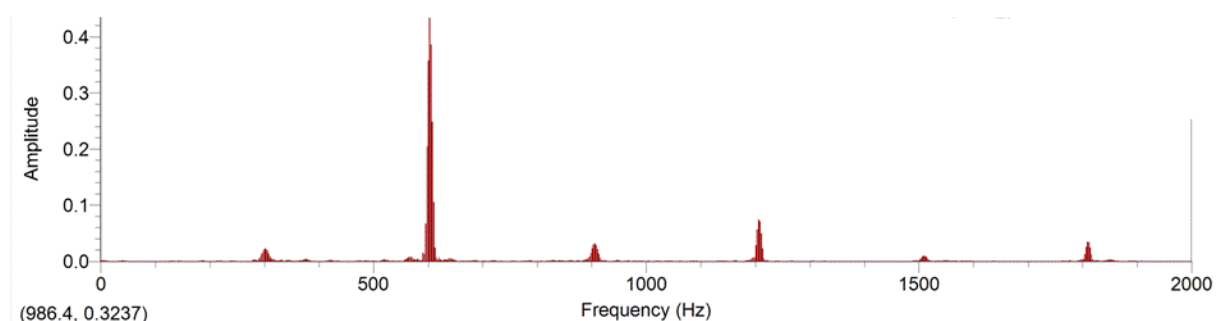


Abb. 45: SB a“ mit „Unterschwingung“



## 5 Schlusswort

Mein grosses Ziel habe ich erreicht. Mein mit grosser Freude in vielen Arbeitsstunden selbstgebautes Alphorn ist nicht nur fertig und funktionstüchtig, sondern klingt auch schön und warm. Das dank der vielen Obertöne, die mitschwingen.

Wie auf allen Naturtoninstrumenten kann ich auf meinem Alphorn nur gewisse Töne spielen. Es sind die Naturtöne, die beim Grundton als Obertöne mitschwingen, da nur bei diesen Tönen die Luftsäule exakt geteilt wird und in Resonanz mitschwingen kann.

Zudem kann mein Alphorn durchaus mit dem verglichenen Alphorn von Schüpbach/Bachmann aus dem Eggiwil mithalten. Die Tonfrequenzen stimmen ziemlich genau überein. Nach meiner Interpretation der Spektralmessungen sind die Töne auf meinem Horn sogar eine Spur besser platzierbar. Dies liegt vielleicht an der millimetergenauen Bearbeitung mit maschineller Unterstützung, muss aber nicht heissen, dass es schöner klingt. Es könnte aber auch sein, dass die Unterschiede auf Ungenauigkeiten bei der Messung zurückzuführen sind.

Am Ende meiner Maturarbeit angekommen, wird es Zeit zurückzublicken. Es ist nicht einfach, sich nach erreichtem Hauptziel zum Schreiben einer Arbeit aufzurappeln. Nach dem sommerlichen Zwischentief gelang mir das doch, und je mehr ich mich ins Thema vertiefte, desto mehr begann mir die Arbeit auch Freude zu machen. Ich habe jetzt nicht nur ein selbstgebautes Alphorn, sondern ich weiss auch, wie sein Ton theoretisch entsteht, und worauf ich beim Spielen achten soll. Zum Teil bin ich bei meinen Recherchen auf Informationen gestossen, die ich nicht für meine Arbeit verwenden konnte, die mich aber so in ihren Bann zogen, dass ich trotzdem weiter gelesen habe.

## 6 Danksagungen

- Ich möchte mich bei Herrn Dr. Erich Wenger für die Betreuung meiner Maturarbeit bedanken.
- Ich danke Herrn Matthias Wetter für seine Unterstützung und Ausführungen während des Baus.
- Ich danke der ganzen Familie Wetter ganz herzlich für die Gastfreundschaft und das viele gute Essen während des Baus.
- Ich danke meinem Grossvater Reinhold de Quervain für das Gegenlesen.
- Des Weiteren danke ich meinem Bruder Lukas und meiner Mutter Beatrice für die Unterstützung in schwierigen Stunden vor und neben dem Computer.

## 7 Selbstständigkeitserklärung

*Ich erkläre hiermit, dass ich diese Arbeit selbständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen benutzt habe. Das Informationsblatt „Plagiatserkennung“ ist mir bekannt und somit auch die Konsequenzen eines Teil- oder Vollplagiates.*

Unterschrift der Verfasserin /des Verfassers: \_\_\_\_\_

## 8 Quellenangabe

Meine grösste Quelle ist Herr Matthias Wetter mit seinen Ausführungen während der ganzen Bauzeit.

Literatur:

Schneider, Christian. (1995). Der Alphornbläser. 4. Auflage, Eigenverlag

Dorn, Friedrich, Bader, Franz. (1974). Physik Mittelstufe. 1. Auflage, Hannover: Hermann Schroedel Verlag KG.

Bredthauer, Wilhelm, Klar, Gunter, Lichtfeld, Michael, Reimers, Jürgen, Schmidt, Martin, Wessels, Peter. (1996). Impulse Physik 1. 1. Auflage, Zug: Klett und Balmer & Co. Verlag.

Pierce, John R. (1985). Klang: Musik mit den Ohren der Physik. 1. Auflage, Heidelberg: Spektrum der Wissenschaft mbH & Co.

Internetadressen:

<http://www.pianotip.de/frequenz.htm>, 10.10.09

[http://www.blaswerk.ch/pages/alphornde.html#\\_21](http://www.blaswerk.ch/pages/alphornde.html#_21), 8.10.09

<http://www.flechtmoebel24.de/rotangpalme.html>, 26.10.09

<http://www.margotmargot.ch/mmnaturt.html>, 7.10.09

## 9 Abbildungsverzeichnis

Abb. 1-13, 15-35, 40-69: Eigene Abbildungen

Abb14: <http://www.flechtmoebel24.de/rotangpalme.html>, 26.10.09

Abb. 36: Schneider, Christian. 1995. S. 15

Abb. 37: Dorn, Bader. 1974. S.200

Abb. 38: Schneider, Christian. 1995. S. 31

Abb. 39: [http://www.blaswerk.ch/pages/alphornde.html#\\_21](http://www.blaswerk.ch/pages/alphornde.html#_21), 8.10.09

Tab. 1: Eigene Tabelle

# 10 Anhang

## 10.1 Mein Arbeitsablauf

Montag, 6. April

Becherinnenschliff und leimen  
Peddigrohr leimen als Lückenfüller  
Mittel- und Handrohr fräsen  
Arbeitszeit: ca. 9½h

Dienstag, 7. April

Peddigrohr leimen als Lückenfüller  
Hand- und Mittelrohr leimen  
Becherrohr fräsen, leimen  
Becher Aussenschliff mit Raspeln  
und „Steuerrädern“  
Rohre mit grosser Bohrmaschine  
ausschleifen  
Arbeitszeit ca. 9h

Mittwoch, 8. April

Rohre dreheln  
Becheraussenschliff mit Maschine  
Rohre andreheln für Buchsen  
Becher ausbohren, bereitmachen zum  
Zusammenleimen  
Peddigrohr leimen  
Arbeitszeit ca. 9h

Donnerstag, 9. April

Peddigrohr putzen  
Becherring dreheln, leimen  
Buchsen leimen  
Handrohr wickeln  
Peddigrohr fertig leimen  
Arbeitszeit ca. 9h

Dienstag, 14. April

Peddigrohr fertig putzen  
Mittel- und Becherrohr wickeln  
Becher mit Becherrohr verleimen  
Becher fertig schleifen  
Arbeitszeit ca. 11½h

Mittwoch, 15. April

Zierringe dreheln, anleimen  
Füsschen machen, anleimen  
Becherinnenschliff  
Arbeitszeit ca. 12h

Donnerstag, 16. April

Fässchen dreheln  
Becher, Fässchen grundieren  
Alles lackieren  
Rohre versiegeln  
Arbeitszeit ca. 10h

Freitag, 17. April

Mundstückbohrung  
Ölen  
Einblasen  
Arbeitszeit ca. 4h

## 10.2 Graphiken der Messungen

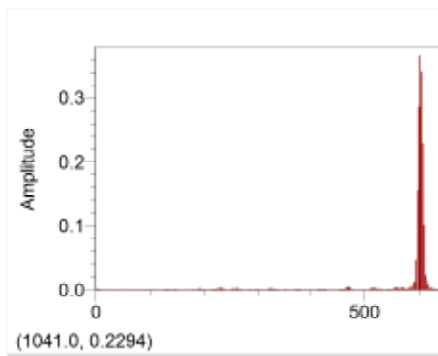


Abb. 46: MT a“

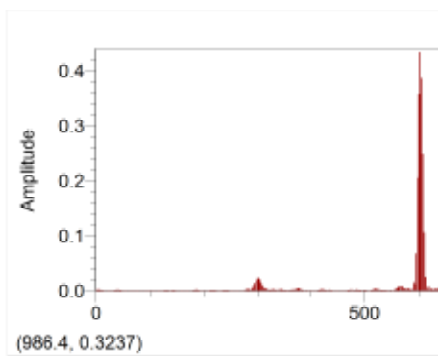


Abb. 47: SB a“

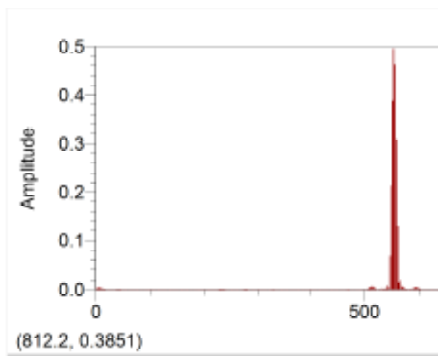


Abb. 48: MT g“

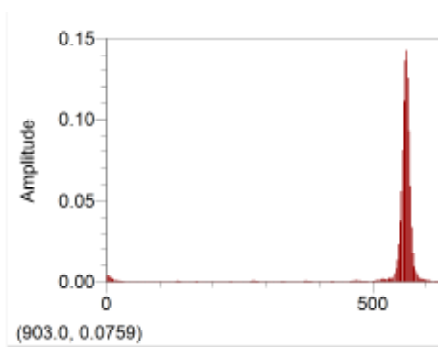


Abb. 49: SB g“

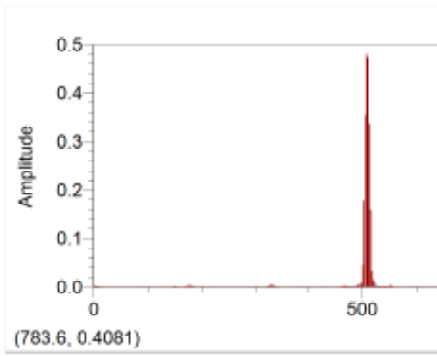


Abb. 50:MT fa

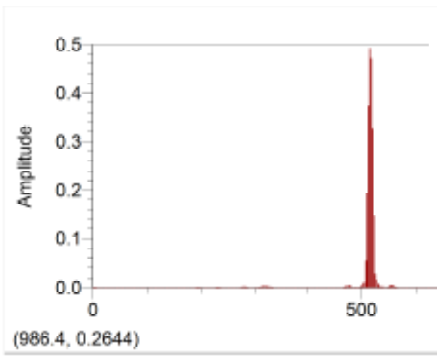


Abb. 51: SB fa

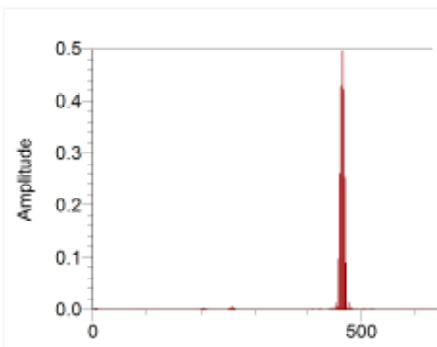


Abb. 52: MT e

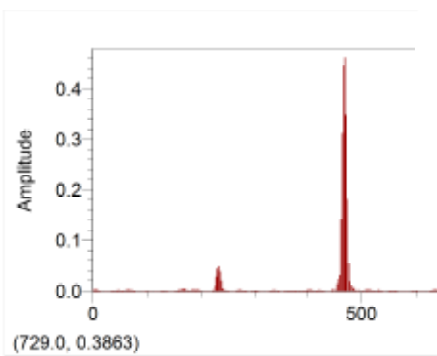


Abb. 53: SB e

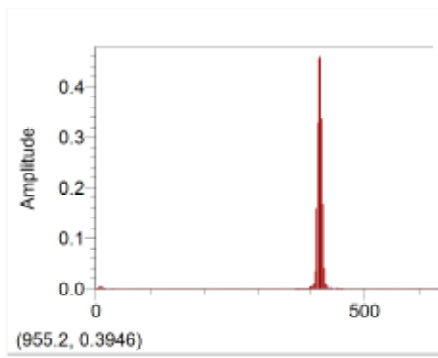


Abb. 54: MT d“

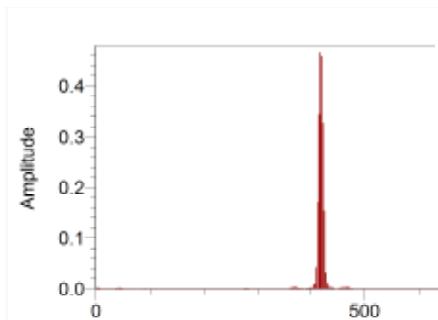


Abb. 55: SB d“

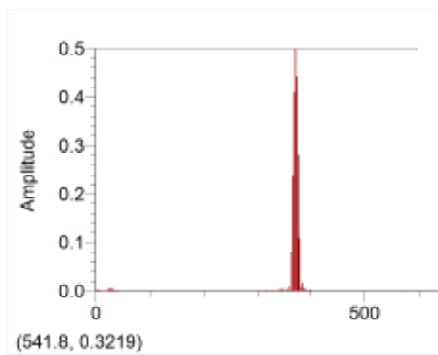


Abb. 56: MT c“

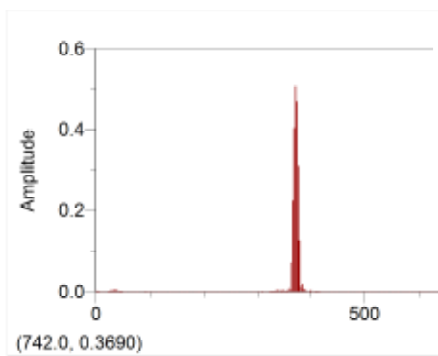


Abb. 57: SB c“

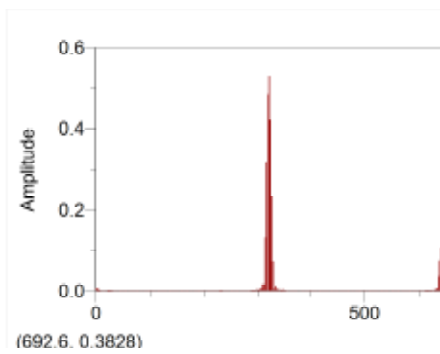


Abb. 58: MT b'

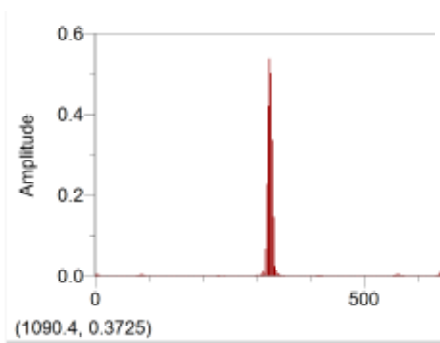


Abb. 59: SB b'

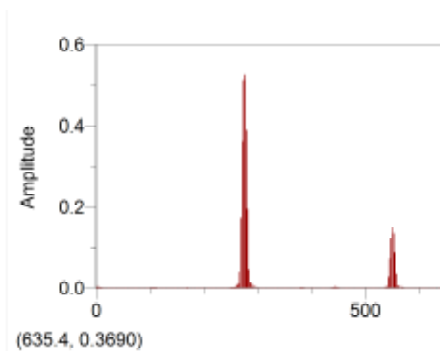


Abb. 60: MT g'

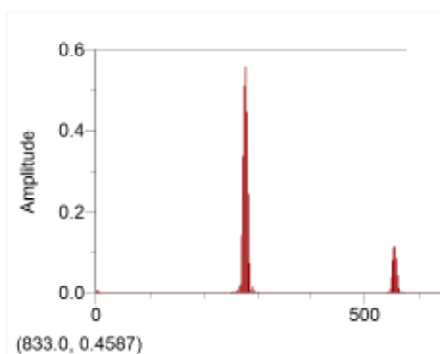


Abb. 61: SB g'



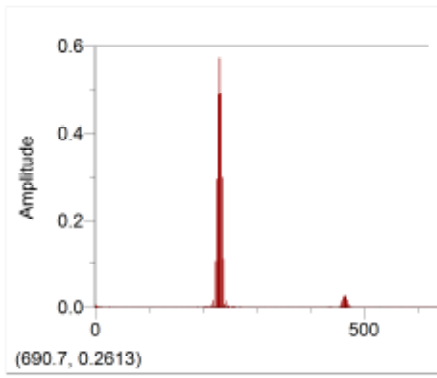


Abb. 62: MT e'

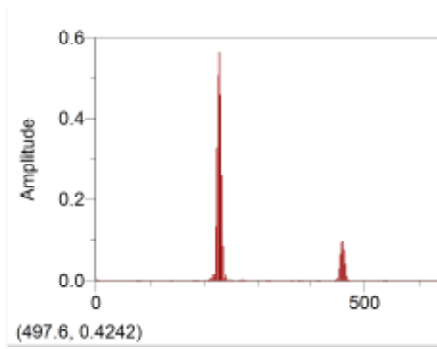


Abb. 63: SB e'

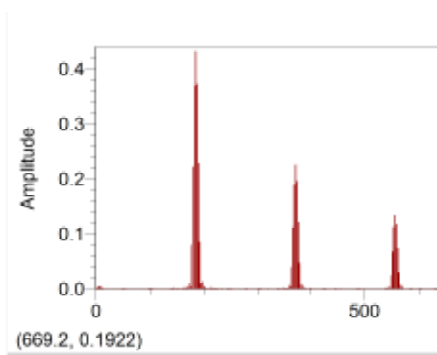


Abb. 64: MT c'

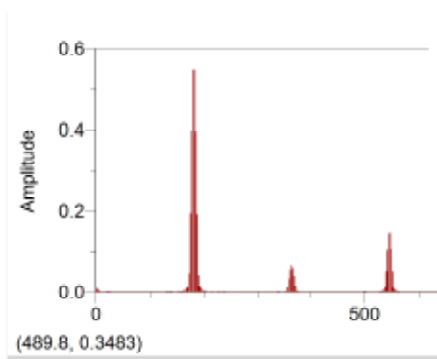


Abb. 65: SB c'

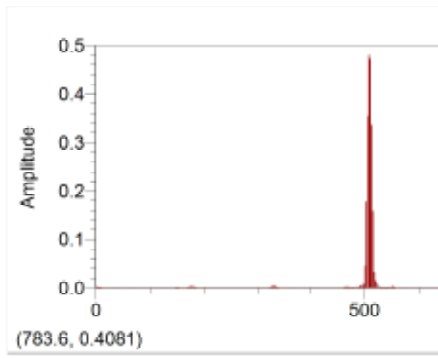


Abb. 66: MT Bass- G

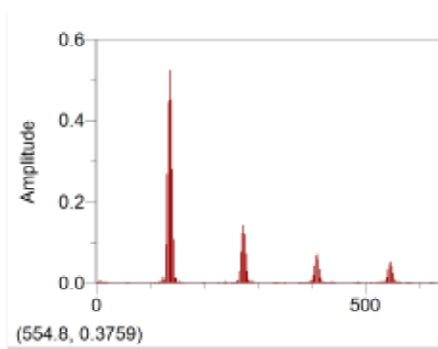


Abb. 67: SB Bass- G

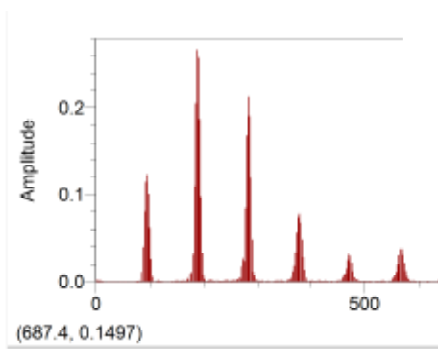


Abb. 68: MT Bass- C

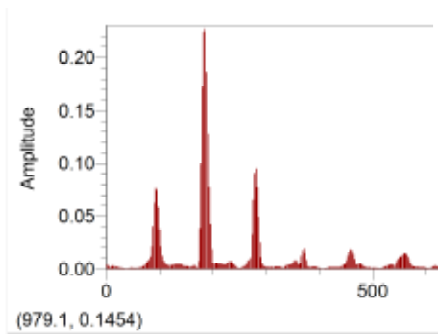


Abb. 69: SB Bass- C