

**Resonanztechnische Aspekte der Klarinette und die daraus  
folgenden klanglichen und musikalischen Konsequenzen**

***Diplomarbeit im musikpädagogischen Diplomstudiengang der  
Instrumentalpädagogik***

an der

Hochschule für Musik Nürnberg-Augsburg

Abteilung Nürnberg

Erstellt von Patrick Vogel

Betreuer: Günter Voit

Eingereicht von:  
Patrick Vogel  
Studienfach: MuP Klarinette  
Wodanstr. 65  
90461 Nürnberg

Nürnberg, Januar 2004

## **Inhaltsverzeichnis:**

<b>1. Einleitung</b>	<b>2</b>
<b>2. Definition Resonanz</b>	<b>3</b>
<b>3. Physikalische Theorien in der Akustik und zur akustischen Funktionsweise der Klarinette</b>	<b>6</b>
3.1 Das Blatt	6
3.2 Schwingungsknoten und Schwingungsbäuche	7
3.3 Die stehende Welle	8
3.4 Die offene und die gedeckte Pfeife	8
3.5 Die Luftsäule	10
3.6 Die Impedanz der Luftsäule	10
3.7 Das Klangspektrum und die Register der Klarinette	11
<b>4. Die verschiedenen Meinungen</b>	<b>13</b>
<b>5. Das Ziel der resonanztechnischen Forschung</b>	<b>17</b>
5.1 Was ist Resonanztechnologie?	17
5.2 Der Ansatz der Resonanztechnologie im Klarinettenbau	17
5.3 Wie sollte eine Klarinette klingen?	18
<b>6. Spezielle, vorwiegend resonanztechnische Beobachtungen und Theorien</b>	<b>21</b>
6.1 Grundsätzlich resonanztechnische Beobachtungen	21
6.2 Die Chladnischen Klangfiguren	22
6.3 Die Schwingungsmodi des Blattes	23
<b>7. Resonanztechnische Beobachtungen in der Physik der Klarinette</b>	<b>24</b>
7.1 Das Wandungsmaterial von Pfeifen und Klarinetten	24
7.2 Grundsätzliche materialbedingte Auswirkungen	27
7.3 Einfluss von Material und Abmessungen der Mundstücke	29
<b>8. Einflussmöglichkeiten auf die Klangeigenschaften des Instrumentes</b>	<b>32</b>
8.1 Bohrungseinflüsse und Auswirkungen der Luftströmung	32
8.2 Beeinflussung der Eigenresonanz durch verschiedene Materialien	35
8.3 Einfluss der Korke	37
8.4 Beeinflussung durch die Mechanik	38
8.5 Der Einfluss der Polster	39
<b>9. Schluss</b>	<b>42</b>
<b>10. Literaturverzeichnis</b>	<b>44</b>

## **Anhang**

## Einleitung:

Man kann von einem Klarinettenisten wohl nicht erwarten, dass er genauestens um die akustischen und physikalischen Vorgänge in seinem Instrument Bescheid weiß, ist er doch Musiker, kein Physiker und braucht eigentlich lediglich zu wissen, wie man eine Klarinette spielt und nicht wie und warum sie funktioniert. Ich denke dennoch, dass ein Verständnis der physikalischen Funktionsweisen der Klarinette nur förderlich sein kann, da sich hieraus oftmals neue Ideen betreffend des Materials auf dem man bläst, beziehungsweise auch ein kritischerer Blick auf die eigene Blasweise ergibt. Jeder Klarinettenist versucht verständlicherweise bewusst oder auch unbewusst beim Spielen eine Art akustischen Idealzustand zu erreichen. Dieser sieht jedoch bei verschiedenen Bläsern unterschiedlich aus: Die einen brauchen mehr Widerstand im Instrument, die anderen weniger, die einen wollen einen "hellen" Klang, die anderen einen "dunklen" usw. . Das klangliche und musikalische Ergebnis hängt natürlich in erster Linie vom Bläser, von dessen Ansatz, Stütze, Vorstellung, Anatomie etc. selbst ab, und ein guter Bläser wird dementsprechend auf beinahe jeder brauchbaren Klarinette seine Vorstellungen irgendwie umsetzen können. *Die Frage ist nur mit welchem Aufwand?* So wird jeder Klarinettenist in der Regel dasjenige Material blasen wollen, mit dem er am einfachsten seinem subjektiven akustischen Idealzustand möglichst nahe kommt, mit dem er am einfachsten seine Vorstellungen realisieren kann.

Eine sehr bedeutende und physikalisch gesehen teils leider noch recht unerforschte Größe, die die akustischen Vorgänge beim Klarinette Blasen maßgeblich bestimmt, sind die zahlreich auftretenden Resonanzerscheinungen, ohne die das Spielen auf einer Klarinette unmöglich wäre, denn genaugenommen ist z.B. auch schon die Schwingung der Luftsäule eine solche (vgl. Krüger 1993, 64).

Die Resonanztechnik beschäftigt sich nun unter anderem mit der Suche nach den Ursachen, die die entstehenden Resonanzen beim Spielen der Klarinette beeinflussen, um dieses durch Anwendung der gewonnenen Erkenntnisse z.B. durch neue Ideen im Instrumentenbau dementsprechend zu erleichtern bzw. zu verbessern. Vor allem neueren, aber teils noch recht umstrittenen Forschungen zufolge soll es sehr viele Faktoren geben, von denen die auftretenden Resonanzen beim Spielen einer Klarinette abhängen, da wäre z.B. das Mundstück (Material, Bahn, Innenraum...), das Blatt, der Blatthalter, der Korpus des Instrumentes und dessen Bohrung, die Mechanik, die Polster, die Korke, aber natürlich auch der Bläser selbst und der Raum, in dem er sich befindet (vgl. Schöttle 2002). Die Güte der Klarinette soll wiederum sehr stark von den auftretenden Resonanzerscheinungen abhängen. So kann demnach die tonliche Ausgeglichenheit und auch der klangliche Charakter eines Instrumentes sehr stark und direkt mit diesen Erscheinungen in Verbindung stehen, wobei immer beachtet werden muss, dass diese Folgen größtenteils einer subjektiven Bewertung unterliegen; somit ist also eine Vielzahl von verschiedenen Meinungen möglich und auch zu berücksichtigen.

Das Ziel meiner Arbeit "Resonanztechnische Aspekte der Klarinette und die daraus folgenden klanglichen und musikalischen Konsequenzen" besteht aus dem wertungsfreien Zusammentragen und Ordnen der bisher gewonnenen Erkenntnisse und Theorien um resonanztechnische Phänomene, sowie, wenn möglich, aus der Beschreibung der Folgen, vor allem aus der Sicht des Musikers, dem es in erster Linie auf den Klang, die musikalische Nutzbarkeit und auf das resultierende Spielgefühl ankommt. Da in diesem Themengebiet noch verhältnismäßig wenig veröffentlichte Fachliteratur zu finden ist, werde ich hierzu zusätzlich einige Interviews mit verschiedenen Klarinettenisten, Instrumentenbauern und Akustikern vornehmen.

Besonders die Bedeutung der Eigenschwingung des Korpus und der daran angebrachten Materialien betreffend, gibt es unterschiedliche und teils umstrittene Theorien, wobei ich zumindest die zwei möglichen Extrempositionen im Kapitel "Die verschiedenen Meinungen" darstellen werde. Um die Zusammenhänge der resonanztechnischen Aspekte und deren Folgen verstehen zu können, ist ein grundlegendes physikalisches Wissen um bestimmte akustische Vorgänge sehr hilfreich, weshalb ich bemüht bin diese in einer möglichst logischen Reihenfolge und in ausreichendem Maße zu beschreiben, auch wenn es aufgrund der unterschiedlichen existierenden Theorien und aufgrund einer Komplexität, die den Rahmen meiner Diplomarbeit weit sprengen würde, nicht möglich ist, dies eindeutig und vollständig zu bewerkstelligen.

### **Definition Resonanz:**

Als Resonanz<sup>1</sup> wird im Allgemeinen "das Mitschwingen von physikalischen Systemen (Körpern, Molekülen, Atomen) mit schwach gedämpften Eigenschwingungen [bezeichnet], wenn sie durch relativ schwache äußere Kräfte mit einer Schwingungszahl (Frequenz) erregt werden, die einer Eigenschwingungszahl des Systems benachbart ist. Resonanzfähig sind z.B. Metall- und Glasstücke, gespannte Saiten, eingeschlossene Luft (z.B. in der Mundhöhle, in Flaschen) [...]". (Brockhaus 1968, 335) Diese oder ähnliche Definitionen lassen sich besonders in Enzyklopädien oftmals finden, obwohl sie bei genauerer Betrachtung unvollständig und zudem fehlerhaft bzw. zumindest missverständlich sind. Ich werde im Folgenden versuchen, eine genauere und eindeutige Definition aufzustellen:

Bei einer Resonanz sind immer mindestens zwei physikalische Systeme beteiligt, zwischen denen genaugenommen ein Energieaustausch stattfindet. Die Resonanzleistung eines jeden Resonators wirkt dabei zunächst einmal schallabsorbierend (vgl. Ignatius 2004). D.h. die Schwingungsenergie geht von einem Schwingungsgenerator oder -erzeuger langsam auf den Resonator über (vgl. Schöttle 1999,165). Die absorbierte Schwingungsenergie wird dann entsprechend der Schwingungseigenschaften

---

<sup>1</sup>von lat.: resonare = widerklingen

des Resonators in den Raum abgegeben. Dies führt bei einer starken Resonatorschwingung zu einer Schwingungsverstärkung, allerdings nur in den Frequenzbereichen, in denen der Resonator auch tatsächlich schwingt. Ein Maximum der Resonanzschwingung erhält man, wenn die Eigenschwingung des Generators mit der Eigenschwingung des Resonators identisch ist (vgl. Borucki 1980, 133f.). In diesem Fall kann die Resonanzschwingung mit einem relativ geringem Energieaufwand (nahe null) aufrechterhalten werden. Einfach ausgedrückt ist Resonanz also so etwas wie eine Form der Kommunikation, bei der ein Sender (Generator) eine Information (Schwingung) aussendet, die ein Empfänger (Resonator) entgegennimmt. Resonanz entsteht dann, wenn sich die Information im Verständnisbereich des Empfängers befindet, und er dementsprechend darauf reagiert, worauf die Information wiederum zurückgesendet wird und den ursprünglichen Sender diesmal zum Empfänger macht etc. (vgl. Schöttle 2004). Sie ist also immer eine Art Wechselbeziehung, in der die teilhabenden Faktoren sich gegenseitig beeinflussen. *Auf das Klarinetteblasen übertragen ist dann eine gute Resonanz gegeben, wenn die Klarinette immer genau das tut, was der Bläser in sie hineinsteckt, während der Bläser immer genau das hineinsteckt was sie sozusagen verlangt; wenn man mit einem bestimmten Energieaufwand eine möglichst hohe Klangausbeute bekommt.*

Von besonderer Bedeutung ist auch, dass eine Resonanzleistung niemals nur auf einer einzigen Frequenz stattfindet. Wird ein physikalisches System bei einer bestimmten Frequenz zu einer Eigenschwingung angeregt, so funktioniert dies auch bei allen harmonischen Ober- und Untertönen, wie ein anschauliches Beispiel verdeutlicht:

Sitzt ein Kind auf einer Schaukel (=Resonator) und soll von einer anderen Person (=Generator) durch Anstoßen zum Schaukeln gebracht werden, so ist es egal, ob das Anstoßen doppelt, dreimal oder halb so oft stattfindet. Wichtig ist nur, dass die zeitlichen Abstände so gesteuert werden, dass es immer wieder erfolgt, wenn das Kind in Reichweite ist. Natürlich ist die Schwingung weniger stark, wenn sie nur jede zweite Schwingung eine Unterstützung bekommt (vgl. Schöttle 2004).

Neben dieser grundsätzlichen Definition muss man außerdem zwischen freier und erzwungener Resonanz unterscheiden. "Freie Resonanz spielt bei gleichgestimmten oder in reinen Obertonverhältnissen gestimmten elastischen Körpern die entscheidende Rolle" (Schöttle 1999,165). Im Falle der freien Resonanz ist eine feststoffliche Koppelung des Generators zum Resonator nicht nötig, da hierbei nur so geringe Energiemengen benötigt werden, um die Schwingung zu übertragen, dass selbst Luft oder Wasser hierzu in der Lage ist. Jedoch bleibt hier die Resonanz aus, wenn die Eigenfrequenz oder auch die so genannte Eigenresonanz des Resonator von der Erregerfrequenz nur um wenige Prozente differiert (vgl. Schöttle 1999,165). "Sind jedoch Generator und Resonator starr miteinander verbunden, so wird sich die Eigenschwingung des Generators auch auf den Resonator übertragen" (Schöttle 1999,165). In diesem Fall ist von

erzwungener Resonanz die Rede, da der Resonator auch bei einer Generatorfrequenz zum Schwingen angeregt wird, die sich doch relativ deutlich von der Eigenfrequenz des Resonators unterscheiden kann. Die Art der Schwingungsübertragung wird hierbei hauptsächlich von der Form der Koppelung bestimmt. Nach Martin Schöttle gibt es drei Grenzzustände, die bei der Art der Koppelung unterschieden werden können: 1. die vollkommene Koppelung, 2. die partielle Koppelung und 3. die Entkoppelung (vgl. Schöttle 1999,167).

Eine vollkommene Koppelung ist gegeben, wenn beide Körper so starr verbunden sind, "dass dem Resonator nichts anderes übrigbleibt, als genau in derselben Frequenz zu schwingen wie der Generator, ungeachtet seiner Eigenfrequenz" (Schöttle 1999,167). Bei relativ stark unterschiedlichen Eigenfrequenzen kann hierbei nur ein Teil der Schwingungsenergie übergehen. Hohe Energieverluste sind die Folge.

Wenn die Verbindung zwischen den Teilen aber weniger fest ist, kann es durchaus vorkommen, dass der Resonator die ihm eigene Frequenz beibehält, unabhängig von der Generatorfrequenz. Hierbei handelt es sich um eine partielle Koppelung, bei der ebenfalls hohe Energieverluste auftreten können.

Eine Entkoppelung findet statt, wenn sich ein schwingungsdämpfendes System (z.B. ein Polster) zwischen Generator und Resonator befindet. Hier kommt es nur im Falle freier Resonanz zur Schwingungsübertragung (vgl. Schöttle 1999,167).

## Physikalische Theorien in der Akustik und zur akustischen Funktionsweise der Klarinette<sup>2</sup>

### **Das Blatt:**

Natürlich ist zur Entstehung einer jeden Schwingung zuerst einmal eine äußere Schwingungsquelle nötig, die die Schwingung erzeugt. Im Fall der Klarinette ist dies bekannterweise das Blatt. Dieses wird durch Lippendruck so an das Mundstück herangedrückt, dass es sich in einer abrollenden Bewegung völlig schließt, wenn Luft darüber hinweg strömt<sup>3</sup> (vgl. Krüger, Ziegenhals 1995, 4). Da das Blatt aber, wie z.B. Jack Brymer in "die Klarinette" schreibt, eine Art Holzfeder ist (vgl. Brymer 1987, 84) und es bei einer Beugung dementsprechend unter Spannung steht, und da sich bei einem geschlossenen Blatt ein akustischer Druck im Innenraum des Mundstücks aufbaut, schnell es wieder zurück in seine Ursprungsposition und sogar darüber hinaus, womit sich das Ganze wiederholt (vgl. Krüger, Ziegenhals 1995, 3).

Durch diesen Vorgang erfährt die Luftsäule im Inneren der Klarinette eine periodisch auftretende Druckänderung, wodurch diese in Resonanz gerät und ebenfalls in Schwingung versetzt wird. Die Geschwindigkeit mit der Druckänderungen auftreten und somit auch die daraus entstehende Tonhöhe, wird durch die Länge und Form der Luftsäule bestimmt (vgl. Wolfe 2004 bzw. Krüger, Ziegenhals 1995, 3). Weiterhin geht man heutzutage davon aus, dass das Blatt auch eine bestimmte Eigenfrequenz bzw. Eigenresonanz besitzt, die nach Aussage von Herrn Krüger bei guten Blättern etwa bei 2000 Hz liegt. Diese soll aber im Normalfall eher unterdrückt werden, da hierbei der allseits bekannte "Quietscher" entsteht. Er wird z.B. dann hörbar wird, wenn mit den Zähnen direkt auf dem Blatt gespielt wird (vgl. Wolfe 2004). Aus diesem Grund benötigen wir zur Erzeugung eines tieferen Tones ein durch Feuchtigkeit gedämpftes Blatt und die dämpfende Wirkung der Unterlippe. Diese dämpft die Eigenschwingung des Blattes soweit ab, dass die Resonanzen der Bohrung bzw. der Luftsäule sozusagen die Kontrolle übernehmen können.

Wenn wir einen Ton auf der Klarinette erzeugen, schwingt das Blatt auf einer bestimmten Tonhöhe. Laut J. Brymer kann es dabei im Extremfall, "Luft für nur 1/20 einer Schwingung durchlassen" (Brymer 1978, 84f.), was zur Bildung der vollen auf dem Instrument möglichen Obertonreihe ausreicht. Abhängig vom Ansatzpunkt, sowie vom Druck, welcher durch die Unterlippe auf das Blatt wirkt und abhängig von der Windgeschwindigkeit, mit der die Luft über das Blatt strömt, birgt das schwingende Blatt bereits das Potential für den Klang des Tones, bzw. für dessen Obertonstruktur (vgl. Wolfe 2004). Im Falle vieler starker Obertöne wird der Klang eher "heller" aber auch lauter, während bei weniger und schwächeren Obertönen ein grundtöniger weicher Klang entsteht. Grundsätzlich kann man sagen, dass das Blatt bei einer

---

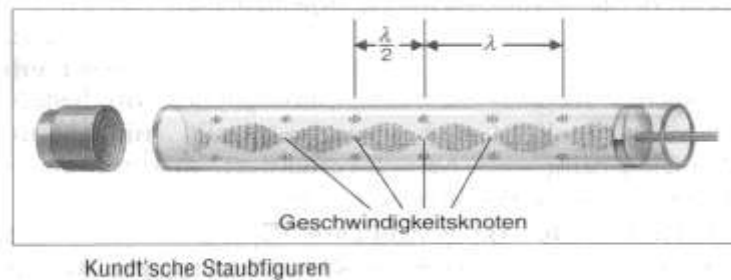
<sup>2</sup> Definitionen physikalischer Grundbegriffe befinden sich im Anhang.

<sup>3</sup> Es wird durch das Auftreten der so genannten Bernoulli-Kräfte quasi angesaugt.

hohen Vibration, z.B. wenn wir ein forte spielen, sehr viele ungeradzahlige und geradzahlige Obertöne erzeugt und bei schwächerer Vibration eben weniger (vgl. Wolfe 2004). Für den Klang der Klarinette ist die Tatsache, dass das Blatt zur Bildung aller harmonischen Obertöne fähig ist, von großer Bedeutung, denn das Blatt ist Schwingungsquelle und bietet somit eine Art Primärschwingung, die die Form des letztendlich resultierenden Klangs zu einem großen Teil mitbestimmt. Der Bläser hat durch seinen Ansatz (Lippen, Zungenstellung...) und seine Stütze auf die Primärschwingung direkten Einfluss und kann somit die Schwingungseigenschaften des Blattes bis zu einem gewissen Grad steuern.

### Schwingungsknoten und Schwingungsbäuche:

Wenn beispielsweise vor einem einseitig offenen Glasrohr, welches fein verteiltes trockenes Korkmehl enthält ein Lautsprecher aufgestellt wird, der mit einem Tonfrequenzgenerator verbunden ist, so wird bei bestimmten Frequenzen an mehreren Stellen, die gleiche Abstände voneinander haben (= Schwingungsabschnitte mit  $\frac{\lambda}{2}$ ) das Korkmehl auf eine bestimmte Art und Weise in Schwingung versetzt. Diese Versuchsaufstellung wird auch Kundt'sche Röhre genannt und die Form des schwingenden Korkmehls Kundt'sche Staubfiguren<sup>4</sup> (Vgl. Grehn/ Krause 1998, 142).



(Abb.1 aus Grehn, Krause 1998, 142)

Jede stehende Welle besitzt solche Schwingungsabschnitte, die zwischen Punkten ständiger Ruhe (=Schwingungsknoten, Geschwindigkeitsknoten oder auch Bewegungsknoten) mit gleicher Phase und Frequenz, aber mit verschiedenen Amplituden schwingen. In den Schwingungsknoten ist die Amplitude dauernd null; d.h. es ist keine Auslenkung vorhanden und die zur Schwingung gehörenden Teilchen (im Falle des Schalls sind das schwingende Moleküle) bewegen sich nicht. Genau in der Mitte zwischen den Knoten liegen die Schwingungsbäuche, in denen die Schwingung mit maximaler Amplitude verläuft, also in denen die Teilchen eine maximal Hin- und Herbewegung erfahren können. Jede dieser Schwingungsabschnitte erreicht zur gleichen Zeit seine größte Auslenkung und verläuft deshalb gleichförmig mit allen anderen Schwingungsabschnitten.

<sup>4</sup> Siehe Abb.1.



Neben den Schwingungsknotenpunkten und -bäuchen gibt es noch Druckknotenpunkte und Druckbäuche, welche aber antiproportional zu den ersteren verlaufen. An einem Schwingungsknotenpunkt erreicht eine Druckdifferenz deshalb ihr Maximum, während anstelle der Schwingungsbäuche die Druckdifferenzen ständig minimal sind (Vgl. Grehn/Krause 1998, 138) .

Vereinfacht kann man sich vorstellen, dass die zum Schwingen angeregten Teilchen sich gerne innerhalb der Schwingung bewegen möchten. Im Falle eines Schwingungsknotenpunktes können sie dies jedoch nicht, da die Teilchen vom nächsten Schwingungsabschnitt in entgegengesetzter Richtung dagegedrückt und zwar mit derselben Kraft, weshalb es auf diese Teilchen so wirkt, als würden sie gegen eine Wand gedrückt. Deshalb ist hier der Druck phasenweise am höchsten. Spricht man von Knotenpunkten, also ohne genauere Bezeichnung, so sind im Normalfall Schwingungsknotenpunkte gemeint. In meiner Diplomarbeit werde ich die Terminologie im folgenden ebenfalls anwenden.

Da jeder Ton der Klarinette letztendlich das Resultat einer eigenen von anderen Tönen unterschiedlichen stehende Welle ist, besitzt jeder Ton auch eigene Schwingungsknoten, d.h. bei jedem Ton befinden sich die Knoten in einem unterschiedlichen Bereich des Korpus.

### **Die stehende Welle**

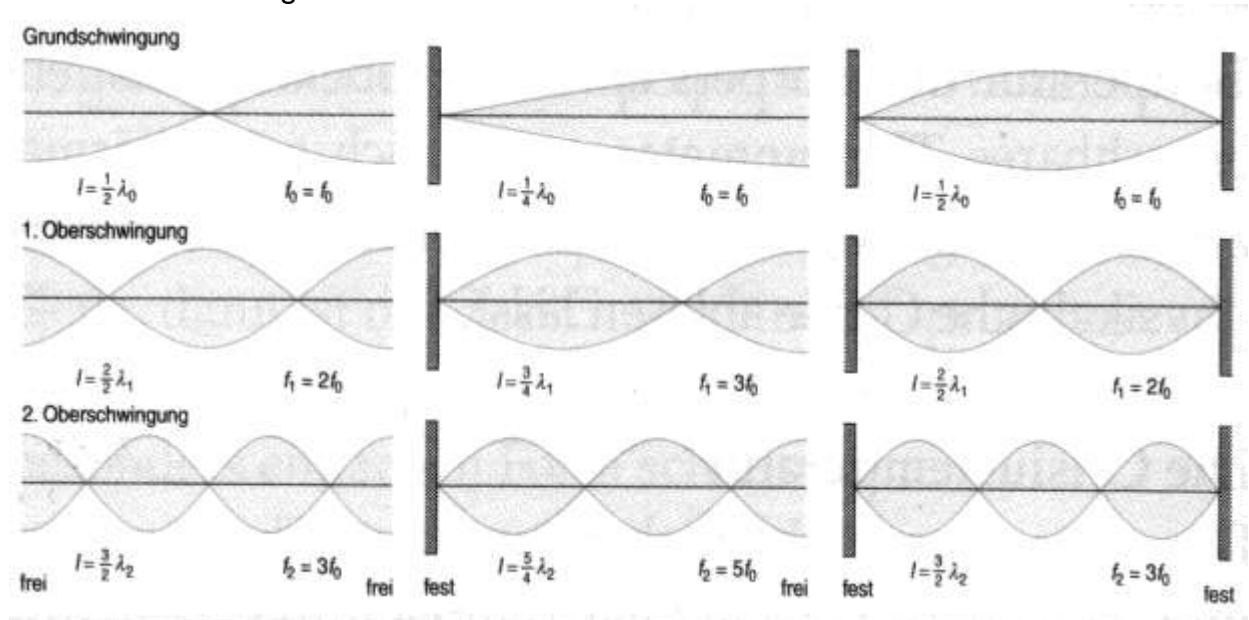
Stehende Wellen sind z.B. die Eigenschwingungen bzw. Eigenresonanzen von Luftsäulen, wobei sie sich aus dem Reflexionsverhalten an Röhrenden ergeben. Wenn eine (Schall-)Welle senkrecht (also mit Reflexionswinkel  $\alpha = 0$  Grad) auf ein Hindernis trifft und so in sich selbst reflektiert wird, so kommt es nach dem Reflexionsgesetz zu einer stehenden Welle, wenn die Frequenz der Reflexionsschwingung mit der Ursprungsschwingung nahezu übereinstimmt und zusätzlich phasengleich verläuft. Die Schwingungsknoten und Schwingungsbäuche bleiben bei einer stehenden Welle immer am selben Platz stehen (daher der Name stehende Welle) (vgl. Borucki 1980, 68f., 81).

### **Die offene und die gedeckte Pfeife:**

Bei einer offenen Pfeife entstehen an beiden Enden der schwingenden Luftsäule Schwingungsbäuche, da sich die Luftmoleküle hier frei bewegen können; es kann sich hier nur ein Bauch der Geschwindigkeitswelle ergeben während in der Mitte des Rohres ein Schwingungsknoten zustande kommt. Daher kommt es in einer solchen Luftsäule nur dann zu einer stehende Welle, wenn der Abstand der beiden freien Enden, genau gesagt der Rohrlänge  $L$ , eine halbe Wellenlänge oder ein ganzzahliges Vielfaches davon ist ( $\Rightarrow L = n \cdot \lambda / 2$  mit  $n = 1, 2, 3, \dots$ ), oder andersherum muss die Wellenlänge entweder die doppelte Rohrlänge oder ein ganzzahliger Teiler davon sein ( $\Rightarrow$

$\lambda = 2L/n$  (vgl. Borucki 1980, 95). Es ergibt sich hieraus dann auch die Anzahl der möglichen Frequenzen, welche ja antiproportional zur Wellenlänge stehen. D.h. es sind außer der Grundschwingung noch ganzzahlige Vielfache, welche als Obertöne (Oberschwingungen) den Klang formen, davon möglich. (vgl. Grehn, Krause 1998, 142). Bei einer einseitig geschlossenen oder auch einer so genannten gedeckten Pfeife entsteht an dem offenen Ende, wie bei der offenen Pfeife auch, ein Schwingungsbauch; am geschlossenen Ende jedoch ein Schwingungsknoten, da die Luftteilchen hier nicht schwingen können, was zur Folge hat, dass die kürzeste mögliche Welle eine viertel Wellenlänge beträgt (vgl. Borucki 1980, 81). Die nächst höhere Wellenform<sup>5</sup> muss um eine halbe Wellenlänge länger sein und besteht demnach aus einer  $\frac{3}{4}$  Wellenlänge. Dies bedeutet, die entstehende Schallwelle muss so kurz oder lang sein, dass eine  $\frac{3}{4}$  Wellenlänge auf der vorgegebenen und immer gleich bleibenden Länge der schwingenden Luftsäule Platz hat.

Deshalb kommt es in diesem Fall dann zur Ausbildung einer stehenden Welle, wenn die Rohrlänge ein ungeradzahliges Vielfaches von  $\lambda/2$  beträgt ( $\Rightarrow L = (2n+1) * \lambda/4$  mit  $n = 1,2,3$  oder wieder andersherum  $\lambda = 4L/2n+1$ ). Hier sind demnach nur ungeradzahlige Vielfache der Grundschwingung, also ungeradzahlige Partialtöne möglich. Da die Wellenlänge der Grundschwingung einer gedeckten Pfeife doppelt so lang ist, wie die einer offenen, erklingt erstere etwa eine Oktave tiefer. Diese Sachverhalte lassen sich anhand der folgenden Grafik leicht verstehen:



(Abb.2 aus Grehn, Krause 1998 ,145)

<sup>5</sup> Also der erste Oberton bzw. die erste Oberschwingung.

## **Die Luftsäule:**

Zuerst einmal können wir festhalten, dass die Luftsäule einer Klarinette über einen Großteil ihrer Länge hinweg mehr oder weniger zylindrisch ist. Druckimpulse, welche durch das schwingende Blatt in die Klarinette gelangen, durchlaufen diese und gelangen so irgendwann an die Außenluft. Sie werden dann, z.B. beim tiefsten Ton e etwas hinter dem Ende der Klarinette, also etwas hinter dem Becher, reflektiert (vgl. Brymer 1978, 88). D.h. genaugenommen sorgt die austretende Luft für ein Druckloch, welches hinter dieser entsteht. Dieses Druckloch läuft nun wieder zurück bis zum Mundstück und löst somit eine in umgekehrter Phase laufende Gegenschwingung aus, d.h. vorige Druckmaxima sind nun Druckminima und umgekehrt. Da sich die Reflexionswelle mit der ersten Welle überlagert ist das Ergebnis hier bereits eine stehende Welle. Über der die Ursache der nun folgenden Vorgänge sind sich selbst die Physiker nicht ganz einig. In der gängigen Fachliteratur wird meistens vereinfacht gesagt, dass für diese Luftsäule die schmale Öffnung zwischen Blatt und Mundstück wie ein fast ständig verschlossenes Ende wirkt, da dieser Zwischenraum sehr viel kleiner ist als der Durchschnitt der Bohrung unterhalb des Mundstücks; die Öffnung ist für die Reflexionswelle zu klein, als dass sie hierdurch entweichen könnte (vgl. Wolfe 2004). Aus diesem Grund wird die zurückgeworfene Welle an dem wie verschlossen wirkendem Blatt erneut so reflektiert, dass wieder eine Phasenumkehr stattfindet, wodurch sich der ganze Vorgang noch einmal wiederholt. Die Luftsäule der Klarinette besitzt letztendlich die akustischen Eigenschaften der Luftsäule einer einseitig geschlossenen Pfeife, einer sogenannten gedeckten Pfeife und diese lässt rein theoretisch nur ungeradzahlige Partialtöne zu. D.h. sie resoniert in der Theorie nur auf die ungeradzahligen Partialtöne des Blattes, genauer gesagt auf den Grundton und den 3.,5.,7. ... Partialton. Dies ist der Grund, weswegen die Klarinette in die Duodezime überbläst. Die Luftsäule einer Oboe beispielsweise verhält sich aufgrund ihrer konischen Gestalt wie eine in einer offenen Pfeife, die auch geradzahlige Partialtöne zulässt, da hier der Größenunterschied zwischen Bohrung und Öffnung des Blattes sehr viel geringer ist. Dies genau zu erläutern würde aber den Rahmen dieser Arbeit sprengen. Die Oboe kann deshalb in die Oktave überblasen und klingt bei gleicher Rohrlänge eine Oktave höher als die Klarinette (vgl. Wolfe 2004).

## **Die Impedanz der Luftsäule:**

Das Blatt und die Luftsäule stehen in einer großen Wechselbeziehung, d.h. die Resonanzen der Luftsäule beeinflussen und kontrollieren die Schwingung des Blattes und die Resonanzen des Blattes beeinflussen die Schwingung der Luftsäule. Die Höhe des Grundtones wird maßgeblich durch die Länge der Luftsäule bestimmt. Da ein großer Teil der Gesamtenergie durch Reibung, z.B. mit der Röhre, verloren geht, muss der Klarinettist ständig die verlorene Energie wieder erzeugen, um den entstandenen Ton zu erhalten (vgl. Wolfe 2004).

Die Impedanz der Luftsäule ist nun ein aus der Physik stammender Begriff, der in einer gewissen Analogie zum in der Elektrotechnik existierenden Wechselstrom den akustischen Widerstand beschreibt, der sich aus dem Verhältnis des periodisch auftretend und abfallenden Drucks der im Instrument bestehenden Schallwelle zur Schallschnelle errechnet. Dieser Widerstand ist für die Erzeugung einer stehenden Welle von entscheidender Bedeutung, da sie dafür sorgen müssen, dass die Schalldruckamplituden in Mundstücknähe die erforderliche Stärke zur Steuerung der Blätter besitzen, man spricht deshalb auch von den Steuerkräften. Diese Steuerwirkung kann nur bei denjenigen Frequenzen zustande kommen, welche etwas unterhalb der Mundstückspitze ein Impedanzmaximum aufweisen. Letztlich ist dieses Maximum gleichbedeutend mit einem Schwingungsknoten (vgl. Wolfe 2004).

Vereinfacht könnte man sagen, dass durch die Impedanz die Schwingung der Luftsäule das Blatt dazu zwingt auf einer bestimmten Tonhöhe, einer niedrigeren als die der Eigenschwingung, mit zu schwingen; oder andersherum wird der von der Rohrblattschwingung erzeugte Druckimpuls als primäres Schallsignal entsprechend der akustischen Proportionen des Resonators lediglich modifiziert (Krüger, Ziegenhals 1995, 3), wobei die Luftsäule bestimmte Schwingungen verstärkt und andere eher unterdrückt. Die Luftsäule fungiert also als eine Art akustischer Filter. Voraussetzung für diese Steuerung ist, wie zuvor bereits erwähnt, dass die Eigenschwingung des Blattes durch Feuchtigkeit und durch die weiche Unterlippe gedämpft wird.

Ein Holzblasinstrument besitzt für jeden Griff eigene Impedanzen. Für den Instrumentenbauer sollten die Impedanzen eines Griffes von entscheidender Bedeutung sein, da diese die Stabilität, die Klangfarbe und die Ansprache des jeweiligen Tones entscheidend mitbestimmen (vgl. Wolfe 2004).

### **Das Klangspektrum und die Register der Klarinette:**

Natürlich ist die letztendlich resultierende Schwingung, welche beim Spielen eines Tones auf der Klarinette entsteht, nicht nur eine einfache Sinusschwingung. Sie setzt sich aus einem ganzen Komplex von Einzelschwingungen zusammen. Die Art der Zusammensetzung dieser Einzelschwingungen aus qualitativer und quantitativer Sicht, nennt man Klangspektrum bzw. Obertonstruktur, welche die Ursache für den spezifischen Klang der Klarinette ist.

Der bekannte Akustiker G.v.Bekey hat das Klangspektrum der verschiedenen Vokale, welche in der Mundhöhle entstehen bzw. geformt werden, untersucht und die Frequenzlagen der verschiedenen Vokale festgestellt. Er hat erkannt, dass die Resonanzlagen der Mundhöhle maßgeblich die Klangfarbe der Vokale und anderer Laute bilden. Genauer gesagt wird die Klangfarbe von speziell hervortretenden Frequenzbereichen

geformt. Man spricht hierbei deshalb auch von Formanten. Daraus folgt, dass ein Ton eines Instrumentes, dessen Formanten sich mit den Formanten eines bestimmten Vokals decken, auch nach diesem Vokal klingt (Lottermoser 1983, 58,59]. Jeder Resonator, ob eingeschlossene Luft oder ein Festkörper, besitzt eigene Formanten, die sich trotz einer gleichen Erzeugerschwingung an unterschiedlicher Stelle befinden. Die Frequenzen und die Stärke der Formanten hängen von der akustischen Impedanz der jeweiligen Frequenzlage ab, die wiederum an bestimmte z.B. durch die Form vorgegebene Resonatoreigenschaften gekoppelt ist. Ein Impedanzmaximum am Mundstück bei einer bestimmten Frequenz erzeugt bei dieser oder in der Nähe von dieser einen Formanten. Die Stärke des Formanten ist dabei von der Stärke der Impedanz abhängig. Die Luftsäule beispielsweise einer Trompete besitzt andere Impedanzen als die eines Flügelhorns. Der Klangunterschied dieser Instrumente ist zu einem recht großen Teil wohl hierauf zurückzuführen. Dennoch können verschiedene Musiker auf ein und demselben Instrument sehr verschieden klingen. Dies ist durch eine unterschiedliche Erzeugerschwingung zu erklären. Die Formanten werden in ihrer Quantität und Qualität mit unterschiedlicher Ausprägung angesprochen. Man kann also sagen, dass bei Blasinstrumenten der Erreger von primärer Bedeutung ist, dennoch kann kein Musiker Formanten in seinem Instrument erzeugen, die schlichtweg durch die Art der Resonatoreigenschaften nicht vorhanden sind.

Die Luftsäule einer zylindrischen, gedeckten Pfeife kann rein theoretisch nur ungeradzahlige Partialtöne erzeugen. Durch eine Trägheit der schwingenden Luft modifiziert diese die Schwingungsknoten in der Weise, dass die Partialtöne in ihrer Frequenz stets höher als die Ganzzahligen Vielfachen der Grundresonanz liegen, wobei eine weite Bohrung diesen Effekt verstärkt. Die Verschiebung steigt mit der Ordnung der Partialtöne; d.h. bei Partialtönen 1. und 3. Ordnung fallen die Resonanzen der Luftsäule relativ genau mit den harmonischen Partialtönen zusammen, während sich Partialtöne höherer Ordnung immer weiter entfernen. (Lottermoser 1983, 122). Dieses Problem tritt bei Klarinetten ebenso auf, was besonders wegen des daraus folgenden Überblasens in eine unreine Duodezime und wegen eines unreinen (im Extremfall schon etwas geräuschhaften) Klangs Schwierigkeiten verursacht. Der Klarinettenbauer hat die Aufgabe, z.B. durch diverse Bohrungsveränderungen diese Verschiebung so gut als möglich zu eliminieren. Durch bestimmte blastechnische Voraussetzungen lassen sich auch seitens des Bläusers kleinere Verschiebungen korrigieren (vgl. Wolfe 2004).

Obwohl die Luftsäulenschwingung einer Klarinette sich physikalisch gesehen gleich verhält, lassen sich trotzdem in Spektrumsanalysen der Klarinette auch geradzahlige Partialtöne erkennen. Dies ist verschiedenen Akustikern zufolge durch die Schwingung des Blattes zu erklären, welche, wie zuvor schon

beschrieben, alle Partialtöne gleichermaßen beinhaltet (vgl. Wolfe 2004 und Krüger 2004). Da die Resonanzen der Luftsäule an sich aber andererseits hauptsächlich ungeradzahlige unterstützen und geradzahlige eher unterdrücken, setzen sich die ungeraden Partialtöne in erster Linie durch, auch wenn aus bisher weitgehend unbekanntem Gründen die geradzahligen nicht komplett ausgelöscht werden können. Eine Erklärung hierfür könnte nach Meinung einiger Akustiker die Tatsache sein, dass die Bohrung im Normalfall nicht vollkommen zylindrisch verläuft.

In den tiefen Registern ist eine starke Dominanz der ungeradzahligen Obertöne noch relativ deutlich zu beobachten, während ab der Verwendung der Duodezimakklappe der Unterschied immer mehr verschwindet<sup>6</sup>. Man könnte sagen, mit zunehmender Höhe, also mit zunehmender Übereinstimmung des gespielten Tones zur theoretischen Eigenschwingung des Blattes gewinnen die Schwingungen des Blattes immer mehr Bedeutung, oder andersherum verliert die Luftsäule immer mehr die kontrollierende Wirkung auf die Schwingung des Blattes. Deshalb setzt sich das Klangspektrum bei tiefen Tönen aus starken 1. und 3. Partialtönen und aus relativ schwachen 2. und 4. Partialtönen zusammen, was uns den Klang manchmal etwas "hohl" oder wie den Buchstaben "o" erscheinen lässt. Diese Töne, vom kleinen e bis zum g, nennt man auch das Chalumeau-Register. Von e - ais gewinnen die geraden Partialtöne etwas mehr Bedeutung, wobei der Grundton aber nicht mehr so gefestigt wirkt. Deshalb reagieren diese Töne in der Intonation und der Klangfarbe leichter auf Ansatzänderungen. Durch die gleichmäßigere Verteilung der Partialtöne im sogenannten Clarin-Register, von h - c, erscheint der Klang hier heller, obertonreicher und klarer. Nimmt man den Zeigefinger der linken Hand noch zusätzlich weg, so wirkt dieses Loch ebenfalls als Überblasloch, wodurch man bis zum 5. Partialton (also noch mal eine Sexte höher) überblasen kann (vgl. Wolfe 2004).

### **Die verschiedenen Meinungen**

Obwohl man um die Eigenschwingung des Instrumentenkörpers längst Bescheid weiß, wurde diese aber "in der Vergangenheit vor allem auch deshalb vernachlässigt, weil die auf ihm [dem Korpus] aufgebrachten Materialien (Polster, Kork Filz, Spielfinger...) diese Eigenvibration größtenteils vernichten" (Schöttle 2002). So geht die heutzutage weithin vertretene theoretische Lehrmeinung zur akustischen Funktionsweise der Klarinette davon aus, "dass nicht die Klarinette selbst schwingt, sondern die Luftsäule innerhalb der Röhre. Form, Proportionen und Länge dieser Säule bestimmen die Art des Schallereignisses, sowie seine Höhe." (Brymer 1976, 83) Diese Annahmen legen bestimmte Schlussfolgerungen nahe, wie Walther Krüger, Diplomphysiker und Klarinettenforscher, sie beispielsweise in seinem Fachartikel "Zur Dimensionierung von Mundstücken und Birne bei Klarinetten" über den Einfluss des verwendeten Materials bei Mundstücken folgendermaßen beschreibt: "Die bisher verbreitete akustische Lehrmeinung

---

<sup>6</sup> Vergleiche Abb. 3 im Anhang.

bestreitet einen solchen Einfluss mit dem Hinweis, dass die Luftschwingung im Instrumenteninneren um ein Vielfaches stärker ist als die Materialschwingung im Korpusmaterial"<sup>7</sup> (Krüger 1997, 12). Daher wird weitgehend angenommen, dass die Bedeutung des Wandungsmaterials bei Blasinstrumenten generell eher nebensächlich sei. Lediglich in puncto Bearbeitungsmöglichkeiten, z.B. für eine möglichst glatte Innenbohrung, sollen deutliche Unterschiede bestehen. Natürlich spielen die Kosten bei der Materialauswahl normalerweise ebenso eine wichtige Rolle (vgl. Wolfe 2004). In einem kurzen Gespräch mit Herrn Krüger berichtete mir dieser sogar, eine bei Akustikern oft anzutreffende Vorstellung wäre, dass die auftauchenden Vibrationen des Korpus einer Klarinette, wenn überhaupt, dann höchstens immer negative Folgen haben müsste, ist sie doch offensichtlich für die eigentliche Tonerzeugung unbrauchbar und führt allenfalls zu einem Energieverlust oder zu Störgeräuschen. Herr Krüger selbst hält dies ebenfalls für wahrscheinlich, allerdings betonte er, dass dies nur eine Vermutung sei, zu der er bisher keine Tests durchgeführt hat (vgl. Krüger 2004). Meines Wissens nach wurde diese Meinung bisher noch von niemanden durch entsprechende Tests bewiesen, und sie ist gleichzeitig wohl der größte Streitpunkt zwischen den klassischen Akustikern unter den Klarinettenbauern, -forschern und denjenigen, welche resonanztechnische Ansätze verfolgen.

Dass die Eigenresonanz des Instrumentes aber auch vorteilhaft, ja vielleicht sogar notwendig sein könnte, wurde bis in die nähere Vergangenheit hinein deshalb meist bestritten. Weiterhin liest man in der gängigen Fachliteratur des öfteren, dass die an der Klarinette angebrachten Materialien lediglich ihrer dämmenden Wirkung wegen von Bedeutung wären und dass diese Dämmung möglichst groß sein sollte, da sie die anscheinend negativen Korpuschwingungen eliminieren (vgl. Wolfe 2004).

Im großen und ganzen basiert diese Meinung oftmals auf keinen wirklichen und objektiven Beweisen, sondern ist eine naheliegende Deutung der Ergebnisse so mancher Tests, die mit verschiedenen Blasinstrumenten durchgeführt wurden. Beispielsweise wurde von Herrn G. Widholm und seinen Kollegen an der Hochschule für Musik Wien ein Experiment mit 7 Flötisten der Wiener Philharmoniker und des Opernorchesters Wien und 15 weiteren professionellen Musikern durchgeführt:

Querflöten aus unterschiedlichen Materialien (Silber, Silberbeschichtet, Gold (9-,14-,24 Karat), Platin und Platinbeschichtet), aber mit exakt gleichen Konstruktionsmaßen wurden von den Flötisten gespielt und sollten durch reines Hören im Rahmen eines Blindtests von den anderen Musikern unterschieden und eindeutig identifiziert werden, was aber nur im Falle der Silberflöte einigermaßen gelang. Eine Bewertung der verschiedenen Flöten fiel den Hörenden ebenfalls sehr schwer, wodurch keine klare Tendenz bemerkbar gewesen wäre. Der Autor resümierte, dass somit kein Hinweis auf eine klangliche oder dynamische Auswirkung hinsichtlich der Verwendung verschiedener Wandungsmaterialien gefunden worden ist, was wiederum von

---

<sup>7</sup>Doch dazu im Kapitel "Einfluss von Material und Abmessungen der Mundstücke" mehr.

einigen als Beweis für die unbedeutende Rolle dieses Materials gehalten wird (vgl. Wolfe 2004).

Ebenso wurden aber bereits einige Tests durchgeführt, welche wiederum gegenteilige Erfahrungen und somit auch gegenteilige Schlussfolgerungen zuließen. Als Beispiel hierfür kann ich die Forschungsarbeit "Der Einfluss des Wandungsmaterials bei Holzblasinstrumenten" von Dr. F. Blutner<sup>8</sup> oder auch die Untersuchungen von Dr. Phil. W. Lottermoser<sup>9</sup> nennen. Und so machten sich in den letzten Jahren immer mehr Stimmen laut, die jedem Detail der Klarinette, sowie der Mechanik, dem Holz bis hin zu den Korken einen direkten Einfluss durch ihre Eigenschwingung und deren Klangeigenschaften beimessen. In einer Veröffentlichung von Herrn Schöttle, selbst studierter Orchestermusiker, Instrumentenbauer und Diplombiologe, ist beispielsweise zu lesen: "Jedes physische Detail am Instrument hat auch akustische Auswirkungen auf das gesamte Instrument" und "Alles tritt mit allem in Wechselwirkung" (Schöttle 2002). Auch Herr Ignatius, ebenfalls studierter Musiker, Instrumentenbauer und Inhaber der auf Firma Respa, die sich auf Resonanztechnologien in der Raumakustik spezialisiert hat, ist unabhängig von Herrn Schöttle, wie inzwischen immer mehr Instrumentenbauer, von der Wahrheit dieser Aussagen überzeugt (vgl. Ignatius 2004).

Die Ursache für die unterschiedlichen Sichtweisen dürfte zu einem großen Teil wohl in verschiedenen Fehldeutungen und Missverständnissen zu finden sein. Der klassische Ansatz zur Gewinnung einer physikalischen Theorie ist ein hauptsächlich theoretischer, der durch Tests und Messungen (z.B. anhand von Mikrofonen) oft nur noch bestätigt werden soll. Ein Problem besteht aber gerade in der eindeutigen physikalischen Messbarkeit der Tests. Laut Ignatius führt leider viel zu oft eine mangelhafte Versuchsaufstellung zu verfälschten Ergebnissen. Bei akustischen Tests wird meist vergessen, dass die akustische Umgebung von entscheidender Bedeutung sein kann (als extremes Beispiel: manchmal finden reine Hörtests z.B. hinter einem Vorhang statt. Dies kann eventuelle klangliche Nuancen, auf die es eben ankommt, zunichte machen). Bei Messungen mit einem Mikrophon ist natürlich die Relevanz der Messdaten entscheidend. So kann eine subjektive Verbesserung durchaus mit einer scheinbaren Verschlechterung der objektiven Messdaten einhergehen oder es werden erst gar keine Veränderungen registriert (vgl. Ignatius 2004), was auch oft bei Tests zu bemerken ist, bei denen eine Hörschaft ihr Urteil abgeben soll. Veranstalter von Hörtests haben in der Regel mit folgender Problemstellung zu kämpfen: Einerseits sollten erfahrene Spieler die Tests durchführen, da nur solche für eine konstante Ausgangsleistung garantieren können, auf der anderen Seite gleichen diese erfahrene Spieler aber normalerweise instrumentenbedingte Mängel aus, wodurch sie bei jedem brauchbaren Material ein ähnliches Ergebnis erzielen werden. Herr Blutner erwähnte mir gegenüber in einem

---

<sup>8</sup>Siehe Kapitel Resonanztechnische Beobachtungen und Theorien: Einfluss von Material und Abmessungen der Mundstücke.

<sup>9</sup>Siehe Kapitel Resonanztechnische Beobachtungen und Theorien: das Wandungsmaterial.



Telefonat, dass ein Test-Hörer aus den genannten Gründen sehr feine, klangliche Unterschiede erkennen und benennen muss, ein möglicher Zuhörer muss schon sehr genau wissen, worauf er denn eigentlich hören soll, um die dementsprechend meistens sehr geringen Unterschiede zu realisieren. Dies würde jedoch ein ausgiebiges Hörtraining erfordern. Reine Hörtests sind also in der Praxis leider sehr schwierig. Die feinen Unterschiede wird also in erster Linie der Bläser selbst registrieren, da er "während der Spielertests in direktem Kontakt erheblich mehr über die Wechselwirkung zwischen ihm und dem Instrument erfährt, als die bloße Darbietung des Schallsignals ausdrückt" (Krüger 1995, 8). Weiterhin ist auch von der Verwendung bestimmter Anblasvorrichtungen abzuraten, da diese den Klarinettenisten niemals vollkommen realistisch ersetzen können (vgl. Krüger 1995, 8).

Herr Schöttle und Herr Ignatius betonten in Gesprächen auch, dass der Vorgang bis zur eigentlichen Klangentstehung ein chaotischer sei, in den eben sehr viele leicht zu übersehende Einzelheiten drastisch einwirken können. Es ist es also immer durchaus möglich, dass bestimmte Aspekte eine große Rolle spielen, die schlichtweg nicht berücksichtigt wurden und damit selbst bei einer an sich richtigen und in sich stimmenden, nur eben unvollständigen Theorie ein verfälschtes Gesamtbild ergeben, woraus wiederum falsche Schlussfolgerungen resultieren (vgl. Ignatius 2004 und Schöttle 2004). In einem Gespräch mit Herrn Leitner, von der bekannten Klarinettenbaufirma Leitner & Kraus, bemerkte dieser, dass es aus eben jenen Gründen leider unmöglich sei, nach bestimmten Theorien und ohne jahrelange Erfahrungen eine Klarinette zu bauen. So stimmen zum Beispiel die mathematisch errechneten Positionen der Tonlochbohrungen nicht exakt mit den realen, aus Erfahrung gewonnenen Werten überein. Auch Herrn Leitner zufolge muss man als Instrumentenbauer natürlich beachten, dass "der Spieler selbst wahrscheinlich am ehesten bestimmte instrumentenspezifische Unterschiede feststellen wird, da sie sich manchmal nur in einem veränderten Spielgefühl zeigen" (Leitner 2004). Dies würde aber wiederum immer auf einer persönlichen, emotional geprägten Meinung beruhen, weshalb gleiche Instrumente von unterschiedlichen Musikern auch unterschiedlich bewertet würden (vgl. Leitner 2004). In manchen Fällen spielen bestimmt auch eine persönliche Erwartungshaltung und eine gewisse Einbildungskraft eine Rolle.

Ein weiteres großes Problem liegt aber meines Erachtens nach in der Gefahr folgenschwerer Missverständnisse. Beispielsweise ist die Aussage, Material und Wandungsstärke seien von nur sekundärer Bedeutung, nicht gerade eindeutig. Die Fragen, die sich hier stellen müssen, sind natürlich die nach dem Verhältnis<sup>10</sup> und die nach der Art der Bedeutung, oder genauer gesagt, worin sie denn genau liegen soll. Je nachdem, in welchem Bereich eine Beeinflussung stattfindet, kann sie, wenn auch noch so klein, für den Musiker

---

<sup>10</sup>D.h. wenn von einer sekundären Bedeutung die Rede ist, muss man wissen, was im Vergleich dazu denn von primärer Bedeutung sei.

von Bedeutung sein. Deshalb wird ein reiner Akustiker, der keine eigene Spielerfahrung hat, bestimmte Aspekte immer anders bewerten als ein Musiker.

## **Das Ziel der resonanztechnischen Forschung**

### **Was ist Resonanztechnologie?**

An sich ist die resonanztechnische Forschung ein unüberschaubar weites Feld, welches nicht nur musikalische, ja nicht einmal nur akustische Sachverhalte betrifft (so ist sie beispielsweise ein wichtiger Bestandteil in der Quantenphysik). Resonanzleistungen gehören zu den Grundprinzipien, durch welche unsere komplette physische Welt überhaupt erst funktionieren kann. Das besondere an ihnen ist, dass sie in jedem Gebiet die gleichen Grundprinzipien aufweisen. Die Resonanztechnologie soll deshalb auch spartenübergreifend zu neuen Entdeckungen, Theorien und Technologien führen.

Für den Klarinettenbau sind hier besonders die Entdeckungen und Errungenschaften im Instrumentenbau und eventuell auch in der Raumakustik interessant. Das Ziel der Resonanztechnik besteht für den Klarinettenbau und den Instrumentenbauer ganz allgemein gesagt in einer akustischen Verbesserung, die durch bestimmte Veränderungen am Instrument oder auch an der akustischen Umgebung und nicht zuletzt natürlich auch am Bläser selbst, den ich hier aber verständlicherweise vorerst außer acht lassen muss, erzielt werden.

### **Der Ansatz der Resonanztechnologie im Klarinettenbau:**

Der Ansatz der resonanztechnischen Überlegungen im Klarinettenbau besteht im Gegensatz zu rein physikalischen Theorien meistens aus in der Praxis gewonnenen Erfahrungen, zu denen erst nachträglich eventuelle Erklärungstheorien angestellt werden. Letztlich sollen hier die Erfahrungen des Spielers selbst an erster Stelle stehen.

Will ein Instrumentenbauer ein Instrument resonanztechnisch aufwerten, so kann dies nur in Zusammenarbeit mit dem Musiker geschehen, der als einziger weiß, wo die Probleme liegen und wie sein Instrument klingen soll. Da jeder Klarinettenbauer anders ist, fällt zunächst ein Versuch einer objektiven und allgemeingültigen Bewertung weg. Dies ist auch der Weg, den die meisten Klarinettenbauer und früher (teils heute noch) auch die Instrumentenmacher beschreiten oder beschritten haben, sei es bei der geschichtlichen Entwicklung der Instrumente oder bei der jedem Klarinettenbauer bekannten Suche nach einer besseren Blattspange oder einem Mundstück oder gar einer ganzen Klarinette. Kein experimentierfreudiger Klarinettenbauer würde bestreiten, dass verschiedene Mundstücke, Blattspangen oder z.B. auch S-Bögen bei einem Saxophon keine akustischen

Auswirkungen hätte, da seine reichhaltigen Erfahrungen diesbezüglich normalerweise etwas anderes zeigen. Ich kenne beispielsweise sogar viele Klarinettenisten (z.B. Prof. Norbert Kaiser), die bewusst ohne einen Daumenschoner auf dem Daumenhalter spielen, da dieser den Ton der Klarinette und speziell den der langen Töne blockiert. Wichtig ist, wie auch schon Martin Schöttle in dem Artikel "Das Ziel: Ein weittragender, klangstarker, voller und weicher Ton" bemerkte, eben nur, dass man das notwendige gute Gehör, eine Sensibilisierung für die vorhandenen Unterschiede und eine klare, ausgeprägte Klangvorstellungen, die im Notfall auch formuliert werden kann, besitzt (vgl. Schöttle 2001, 82). Insofern kann auch auf der Basis von aktiven Spieltests nur ein sehr fachkundiges Publikum für ernstzunehmende Erfahrungsberichte sorgen. Jedenfalls gibt es immer mehr Instrumentenbauer und Musiker, die aus klanglichen Gründen nur ausgewählte Materialien verwenden.

Verschreibt man sich nun der Resonanztechnik, so bewegt man sich im Normalfall dennoch auf weithin unbekanntem Terrain und muss sich recht oft auf zugegebenermaßen subjektive Ergebnisse verlassen, die manchmal eine wissenschaftliche Erläuterung oder gar eine Beweisbarkeit vermissen lassen. Aber man entdeckt auf diese Weise vielleicht Phänomene, die durch eine rein theoretische Vorgehensweise nicht entdeckt oder gar für möglich gehalten worden wären. Dennoch besteht auch hier die Gefahr der voreiligen Schlüsse, die sich letztendlich nicht halten lassen. Bestätigen sich aber die subjektiven Ergebnisse nun z.B. durch eine empirisch durchgeführte Studie oder durch eine langjährige Erfahrung, so kann man davon ausgehen, dass diese der Realität nahe kommen, auch wenn sie manchmal scheinbar nicht oder nur schwer in das klassische Erklärungsmodell zu integrieren sind. Wer dabei jedoch Patentlösungen erwartet muss leider enttäuscht werden. Durch ein undurchschaubares und sehr komplexes Geflecht von Wechselbeziehungen beeinflussen sich, so die Aussage der Resonanztechnologien, alle physischen Elemente der Klarinette und deren Umgebung gegenseitig in einer Weise, die schlichtweg nicht in eine alles erklärende Theorie gefasst werden kann (vgl. Schöttle 2004). Ist man z.B. mit dem Klang mancher Töne seiner Klarinette nicht ganz zufrieden, so kann der resonanztechnisch erfahrene Instrumentenbauer in den meisten Fällen auch nur abschätzen worin denn die Problemlösung bestehen könnte, ob diese dann wirklich zum Erfolg führt kann aber selbst dieser nur durch Ausprobieren feststellen. Die Ergebnisse der Resonanztechnologie im Klarinettenbau bieten also "nur" einen Fundus an akustischen Beeinflussungsmöglichkeiten, die der Instrumentenbauer oder der Klarinettenist selbst nutzen kann, und jeder Interessierte sollte sich letztendlich seine eigene Meinung dazu bilden.

### **Wie sollte eine Klarinette klingen?**

Durch resonanztechnische Veränderungen am Instrument, die teilweise auch der Klarinettenist ohne instrumentenbautechnisches Wissen selbst durchführen kann, soll es möglich sein, dieses in manchen Fällen doch sehr deutlich

aufzuwerten. Dabei kann man sich natürlich darüber streiten, wie ein Instrument zu klingen hat. Wie ich in der Einleitung schon schrieb, haben verschiedene Klarinettenisten meist auch verschiedene Klangvorstellungen. Man denke hierbei nur an den Unterschied des typischen Wiener-Klangs zu dem französischen Klang. Trotzdem lassen sich auch den Ton betreffend einige allgemeingültige Aussagen machen, denn rein theoretisch ist der klangliche Unterschied eines guten Wiener Klarinettenisten zu dem eines guten französischen akustisch gesehen nur sehr gering, es gibt weitaus mehr Übereinstimmungen als Abweichungen (die Formanten der Instrumente sind im Prinzip relativ ähnlich) (vgl. Krüger 2004). So gibt es viele Aspekte im Klang der Klarinette, auf die kein Klarinettenist verzichten wollte.

Zum einen ist die Tragfähigkeit<sup>11</sup> des Tones für jeden Klarinettenisten von großer Bedeutung. Physikalisch gesehen ist ein Ton besonders dann sehr tragfähig, wenn er quantitativ und qualitativ starke Obertöne besitzt, die in einem möglichst harmonischen Verhältnis zueinander stehen. Auf der anderen Seite ist ein solcher Ton aus akustischer Sicht als hell zu bezeichnen, während obertonarme Töne bzw. Töne mit schwach ausgeprägten Obertönen akustisch gesehen eher als dunkel zu bezeichnen sind (vgl. Schöttle 2004). Von den meisten werden jedoch eher dunkle Klangfärbungen bevorzugt (vgl. Krüger 1995, 110), was scheinbar in einen Widerspruch mündet.

Trotzdem gibt es Klarinettenisten, die einerseits zwar einen sehr tragfähigen Ton haben, die aber von anderen Klarinettenisten auch ihres dunklen Tones wegen sehr geschätzt werden. Dies kann mit der Tatsache begründet werden, dass normalerweise ein nach akustischen Maßstäben bewertet heller Ton von dem Zuhörer vor allem dann trotzdem als dunkel bezeichnet wird, wenn das Klangspektrum aus beinahe vollkommen harmonischen, also ganzzahligen, Partialtönen besteht, während der Grundton dennoch am deutlichsten vorhanden ist (vgl. Schöttle 2001, 83). Daraus folgt, dass ein Klarinettenklang möglichst viele harmonische Obertöne mit einer hohen Amplitude besitzen sollte. Ein solcher Klang wird von vielen als "klar", "rund" und "klangstark" bezeichnet.

Weiterhin spielt die generelle Eigendämpfung des Instrumentes<sup>12</sup> eine große Rolle, da aus ihr der Energieaufwand zum Erhalt des Tones resultiert. Herrn Ignatius zufolge sollte das Instrument eine geringe Eigendämpfung, somit *eine lange Ausschwingzeit* und eine *kurze Einschwingzeit* besitzen<sup>13</sup> (vgl. Ignatius 2004). Die Eigendämpfung gibt auch rein theoretisch vor, welchen Widerstand die Klarinette besitzt. Bei einem zu hohen Widerstand muss der Klarinettenist gegen den ständigen, im Instrument bestehenden Gegendruck ankämpfen, indem er durch eine forcierte Stütze und durch einen härteren Ansatz bzw. durch einen erhöhten Lippendruck - wenn man so will - den Ton

---

<sup>11</sup> D.h. die Durchdringungskraft des Tones im Raum.

<sup>12</sup> Die, um Missverständnisse zu vermeiden, nicht mit der beschriebenen, zur Steuerung des Blattes notwendigen ortsabhängigen akustischen Impedanz der Luftsäule gleichzusetzen ist.

<sup>13</sup> Dies ist ein in der Resonanztechnik besonders wichtiger Punkt, da das Ziel einer resonanztechnischen Verbesserung oft durch diesen beiden Faktoren definiert werden kann (vgl. Schöttle 2004).

nach vorne schiebt. Dies macht sich dann durch einen härteren Ton und durch einen höheren Luftverbrauch bemerkbar, was sich durchaus negativ auf die musikalische Ausdrucksfähigkeit des Bläusers auswirken kann (vgl. Schöttle 2004). Bricht die Stütze dann zusammen, so kann sich die Luftsäulenschwingung im Korpus zum Nachteil des Bläusers verändern. Rein theoretisch ist es möglich, dass sich dadurch alle in der Luftsäule bestehenden Knotenpunkte in Richtung Mundstückspitze verschieben. Der Effekt ist, dass die Steuerkräfte der Luftsäule nicht mehr so gut auf das Blatt wirken können, wodurch der Ton an Klangstärke und an Stabilität verliert; der Spieler bekommt das Gefühl, der Ton würde bereits im Hals entstehen. Trotzdem bevorzugen manche Klarinettenisten einen etwas höheren Widerstand, da der Klang dadurch grundtöniger aber auch obertonärmer wird. Die Erfahrung hat gezeigt, dass eine gewisse Eigendämpfung und damit ein gewisser Widerstand immer vorhanden sein sollte, da der Ton sonst nur noch extrem schwer zu kontrollieren ist und sehr leicht ausbricht. Das bei manchen mit wenig Klappen ausgestatteten Schülerinstrumenten auftauchende "Schnarren" des Tons ist oftmals auf die mit der relativ geringen Metallmasse einhergehende zu niedrige Eigendämpfung zurückzuführen (vgl. Schöttle 2004). Der Klarinettenist wird also bei Profi-Instrumenten um einen relativ stabilen Ansatz und um das Stützen nicht herumkommen. Es sollte aber keine Kraftanstrengung bedeuten, die zur Verkrampfung führt.

Neben einer passenden Eigendämpfung, erwartet man von einer guten Klarinette auch, dass diese in allen Lagen relativ ausgeglichen zu spielen ist. D.h. es sollten bei einer ausgeglichenen Spielweise keine Töne unangenehm hell herausplatzen oder verhältnismäßig "muffig" klingen. Genauso wenig sollten bestimmte Töne einen deutlich höheren oder niedrigeren Anblasdruck verlangen als andere; der Blaswiderstand sollte im Idealfall bei jedem Ton derselbe sein.

Die Aufgabe des Resonanztechnikers ist es, die Resonanzen des Instrumentes und der Luftsäule durch verschiedene Maßnahmen (wie Materialanbringungen oder -reduzierung, Bohrungsveränderungen, andere Mundstücke ...) so zu beeinflussen oder zu verändern, dass sie die oben genannten Kriterien möglichst gut erfüllen. Dabei muss er natürlich immer darauf bedacht sein, den grundsätzlichen Klangcharakter einer Klarinette sowie eine gute Intonation des Instrumentes zu erhalten und auf die Wünsche und Vorstellungen des Inhabers des Instrumentes zu achten.

## Spezielle, vorwiegend resonanztechnische Beobachtungen und Theorien

### **Grundsätzlich resonanztechnische Beobachtungen:**

Resonanzschwingungen sind Phänomene, die unseren Alltag immer und ständig begleiten. Singt man z.B. Töne verschiedener Frequenz in den Hohlraum einer Vase oder einer Flasche, so wird die eingeschlossene Luft bei bestimmten Tönen, nämlich bei denjenigen, deren Frequenzen im Eigenresonanzbereich der eingeschlossenen Luft liegt, zu einem kräftigen Mitschwingen angeregt, wodurch diese verstärkt werden. Bricht der gesungene Ton nun ab, so klingt die Resonanzschwingung nach und nach aus. Die Art und Weise und die Geschwindigkeit, mit der dieses "Ausklingen" von statten geht, hängt hauptsächlich von den Resonatoreigenschaften, aber auch von der akustischen Umgebung<sup>14</sup> ab. Besitzt der Resonator eine hohe Eigendämpfung, so wird der Ausschwingvorgang dementsprechend verkürzt, und ein hoher Energieverlust ist die Folge. Die Eigendämpfung hängt von vielen Einzelfaktoren wie z.B. von der Biegefestigkeit des Resonators etc. ab. Sie beschreibt, wie leicht oder schwer sich ein Resonator zum Mitschwingen anregen lässt und wie schnell die übergegangene Schwingungsenergie wieder verloren geht<sup>15</sup> (vgl. Lottermoser 1983, 58). Ein Resonator besitzt in der Regel in verschiedenen Frequenzbereichen unterschiedliche Eigendämpfungen, wodurch bestimmte Frequenzen mehr "blockiert" werden als andere .

Interessanterweise kann auch eine akustische Frequenz ein physikalisches System sein, welches durch Resonanz von anderen Frequenzen beeinflusst wird. Beim Klarinetteblasen beispielsweise verstärken sich alle auftretenden Partialtöne gegenseitig, vor allem dann, wenn sie in einer sehr harmonischen Beziehung zueinander stehen. Auch die Höhe der Frequenz kann durch andere beeinflusst werden, allerdings nur geringfügig. Eine Frequenz, welche sich nicht in einem vollkommen harmonischen Verhältnis zu einer stärkeren Grundfrequenz befindet, von dieser aber nicht weit entfernt ist, kann durch die auftretende Wechselwirkung dennoch in die vollkommen harmonische Lage gebracht werden. Es findet genau genommen eine leichte Frequenzmodulation statt. Der Verstärkungs- und der Modulationseffekt sind umso deutlicher, je mehr Frequenzen am gesamten Wechselspiel beteiligt sind. Andersherum kann eine bestimmte Frequenz, die phasenverkehrt zu einer Grundfrequenz schwingt, dieser Energie (sogar bis hin zur Auslöschung) entziehen (vgl. Schöttle 2004).

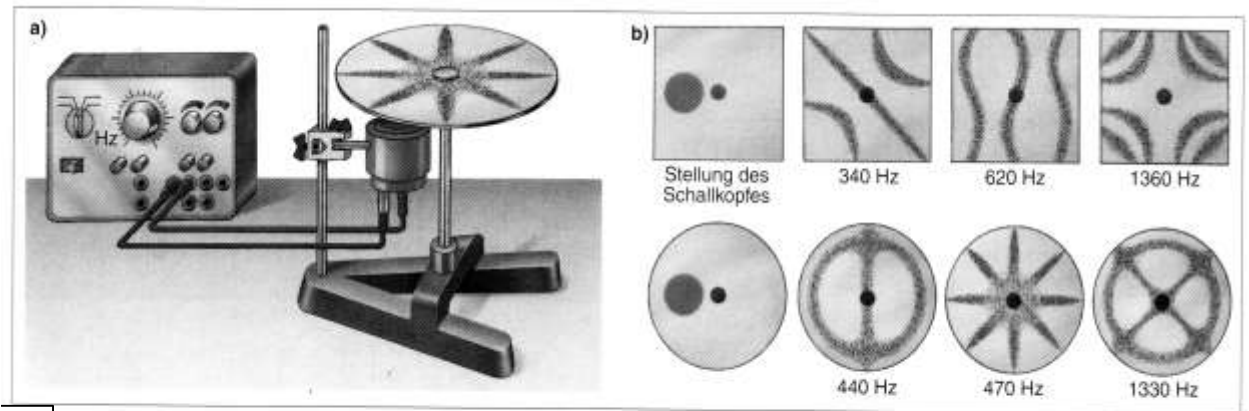
---

<sup>14</sup>Z.B. von eventuellen feststofflichen Koppelungen mit anderen Körpern.

<sup>15</sup>Bei geringer Eigendämpfung folgt ein leichtes Anregen und ein geringer Energieverlust.

## Die Chladnischen Klangfiguren:

Jedes physikalische System kann bei mindestens einer bestimmten Erregerfrequenz und entsprechend auch bei den darunter- oder darüberliegenden harmonischen Unter- oder Obertönen<sup>16</sup> durch freie Resonanz zum Mitschwingen angeregt werden, das eine mehr, das andere weniger. Bei festen Körpern, vor allem bei Platten und Membranen, können sogar meistens recht viele sehr unterschiedliche Frequenzen (und deren darunter- und darüberliegende Unter- Obertöne), die meist in keinem harmonischen Verhältnis zueinander stehen, eine freie Resonanzschwingung auslösen, aufgrund einer hier entstehenden großen Vielfalt von Schwingungsformen, die der bekannte Physiker und Akustiker E.F.F.Chladni an Platten bereits Ende des 18.Jh. untersucht hat. Er hat runde und rechteckige Platten mit feinem Sand bestreut, an verschiedenen Stellen eingespannt und an anderen Stellen mit einem Geigenbogen zum Schwingen angeregt. "Der Sand sammelt sich an den ruhenden Stellen, also an Schwingungsknoten, die bei einer Platte Knotenlinien bilden und so die so genannten Chladnischen Klangfiguren ergeben" (Grehn, Krause 1998, 142), wobei jede Form der Knotenlinien für einen eigenen Frequenzbereich gilt. Diese verschiedenen Schwingungsmuster werden auch Schwingungsmodi genannt, deren Art durch die Form und Beschaffenheit des Materials bestimmt wird. Es ist möglich, gezielt die Schwingungsmodi einzelner Frequenzen darzustellen, indem man einen Lautsprecher, der diese Frequenzen erzeugen kann, als Schwingungsgenerator benutzt. Durch freie Resonanz werden ausschließlich diese Frequenzen in der Platte zum Schwingen angeregt<sup>17</sup> (Grehn, Krause 1998, 142).



**Chladni'sche Klangfiguren:** a) Eine quadratische oder kreisrunde Glas- oder Metallplatte wird fest eingespannt, mit Sand oder trockenem Korkmehl bestreut und mit einem Bassbogen, einer Galtonpfeife oder einem Schallkopf angeregt. b) Je nach den verschiedenen Eigenfrequenzen der Platten bilden die Schwingungsknoten, an denen der Sand oder das Korkmehl sich ablagern, die charakteristischen Chladni'schen Figuren.

(Abb.4 aus Grehn, Krause 1998, 143)

<sup>16</sup>Also der halben, der viertel... und der doppelten, der dreifachen... Frequenz.

<sup>17</sup> Siehe Abb.4.

Man kann also sagen, dass die Eigenschwingung von festen Gegenständen meistens aus einem Klang besteht, der eben diese vielen verschiedenen Partialtöne in sich vereint. Bringt man metallene Platten, Membranen und Röhren durch Anschlagen, zum Beispiel mit einem Hammer, zum Schwingen, so kann man alle im Eigenresonanzbereich vorhandenen Frequenzen auf einmal hören, wie es zum Beispiel im Orchester bei Röhrenglocken oder auch bei Kirchturmglocken zu beobachten ist (vgl. Lottermoser 1983, 137).

Für den Klarinettenbau und im Besonderen für die Resonanztechnik ist dies deshalb von Interesse, da rein theoretisch auch alle physischen Elemente der Klarinette ihre Eigenschwingung haben. Dabei verhält sich der Korpus und die Mechanik wie die zuvor beschriebenen Platten und Membranen, sie besitzen also auch viele in unharmonischem Verhältnis zueinanderstehende Partialtöne. Diese Eigenschwingungen, und darüber herrscht im großen und ganzen wohl Einigkeit, sollten als solche nicht komplett, wie bei den Röhrenglocken, hörbar gemacht werden, da dies nur Störgeräusche verursachen würde. Der eigentlich Streitpunkt<sup>18</sup> besteht in der Frage, ob durch freie Resonanz bestimmte, von der Luftsäulenschwingung vorgegebene Frequenzen, auf den Korpus oder auf die Mechanik überhaupt übertragen werden und bewusst angeregt werden sollten.

### **Die Schwingungsmodi des Blattes:**

Die Art und Weise, in der das Blatt tatsächlich schwingt ist bis heute eigentlich immer noch nicht richtig geklärt. Sicher ist nur, dass die Blattspitze weit mehr als bloß eine einfache Öffnungs- und Schließbewegung ausführt. Der tatsächliche Schwingungsvorgang ist ein sehr vielschichtiger und komplizierter Prozess, der, entsprechend der chladnischen Klangfiguren, in verschiedenen Schwingungsmodi verläuft. Neben der Grundschiwingung, oder dem 1. Modus, bei der sich die gesamte Blattspitze in einer nahezu rollenden Bewegung in Richtung Mundstück und wieder von ihm weg bewegt, wobei die vollkommen offenen und vollkommen geschlossenen Zustände die meiste Zeit in Anspruch nehmen, führt es aber auch eine so genannte Torsionsschiwingung, den 2. Modus durch, bei der sich das Blatt in der Kippbewegung um das Herz bewegt, wobei bei einem 3. Modus nur das Herz auf und ab schwingt<sup>19</sup>.

Jeder dieser Schwingungsmodi findet genau genommen gleichzeitig statt und ist jeweils für einen bestimmten Frequenzbereich zuständig. Die Modi ergeben sich rein theoretisch, wie die chladnischen Klangfiguren, aus bestimmten, durch das Material bedingten Bewegungsknotenpunkte, um die die Schwingung herum erfolgt (vgl. Krüger, Ziegenhals 1995, 97 ff.). Diese Sachverhalte sind vor allem deshalb interessant, da sich hieraus

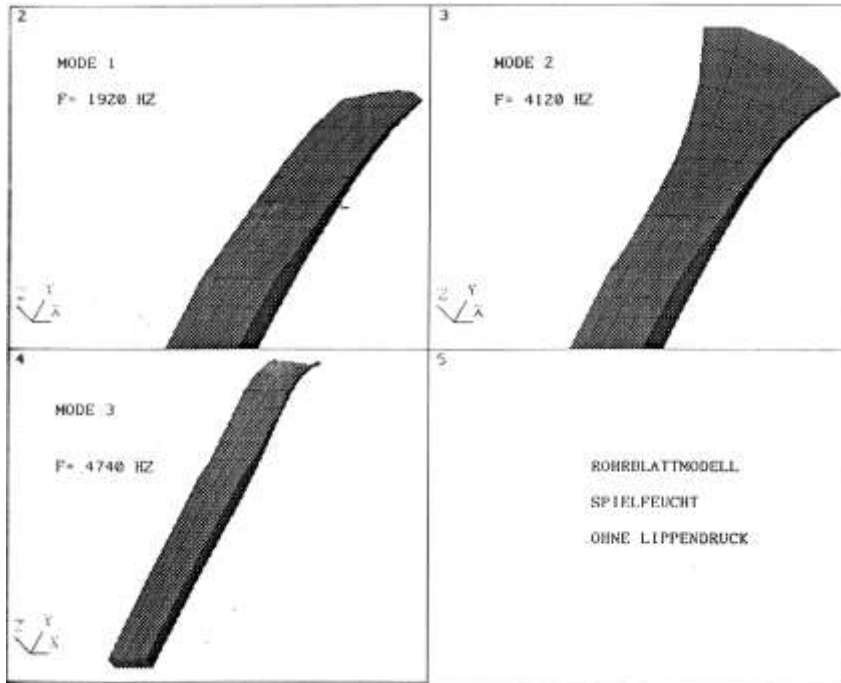
---

<sup>18</sup>Der im Kapitel "die verschiedenen Meinungen" beschrieben ist.

<sup>19</sup> Siehe Abb.5.



Rückschlüsse auf die notwendigen Voraussetzungen eines guten Blattes ergeben können. So müsste ein Blatt mit einem starken Herz und relativ dünnen Seiten einen hellen, obertonreichen Klang erzeugen, da die für höhere Schwingungen wichtige Torsionsschwingung dadurch erleichtert wird, während im umgekehrten Fall das Blatt wahrscheinlich unbrauchbar wäre.



Die ersten drei berechneten Eigenmoden des auf dem Mundstück freien Rohrblattes  
(Abb.5 aus Krüger, Ziegenhals 1995, 107)

## Resonanztechnische Beobachtungen in der Physik der Klarinette

### **Das Wandungsmaterial von Pfeifen und Klarinetten:**

Wie ich bereits beschrieben habe, ist nach Einschätzung verschiedener Physiker und Instrumentenbauer das Wandungsmaterial angeblich von sekundärer Bedeutung für den Klang. Der klassischen Denkweise zufolge sollte das Material aus akustischer Sicht möglichst wenig mitschwingen, da dies der schwingenden Luftsäule Energie entzieht. Nach eigener Aussage war Herr Leitner früher davon überzeugt, dass aufgrund der Dicke der Wandung diese sowieso zu starr sei, um am Schwingungsvorgang teilzunehmen. Eines Tages hatte er jedoch durch Zufall bei einem Kunden eine starke Vibration des Korpus entdeckt, sobald dieser zu spielen begann. Seither ist Herr Leitner von einer gewissen Beeinflussung des Klangs durch das Wandungsmaterial überzeugt, auch wenn sie seiner Einschätzung nach nicht unbedingt der entscheidende Faktor sei (vgl. Leitner 2004).

Seltsamerweise nehmen hier die Holzblasinstrumente eine Art Sonderposition ein. Im Blechblasinstrumentenbau oder besonders auch im Orgelbau geht man schon seit langem von unterschiedlichen Klangeigenschaften verschiedener Wandungsmaterialien aus, wobei man zugeben muss, dass auch hier über deren wirkliche Bedeutung gestritten wird. Gerade beim Bau von Orgelpfeifen, die physikalisch gesehen wie Holzblasinstrumente<sup>20</sup> funktionieren, werden schon seit Jahrhunderten nur bestimmte Materialien zur Erzeugung bestimmter Klangfarben und für bestimmte Register benutzt: z.B. Zinn für Prinzipale, Blei für gedeckte Pfeifen, Kupfer für die Becher von Zungenpfeifen etc., wobei dies zum Teil bestimmt auch aus nicht-klanglichen, wie z.B. aus Kosten-, Gewichts- oder optischen Gründen geschieht (vgl. Lottermoser 1983, 137). Wie Werner Lottermoser in seinem Buch über die Akustik der Orgeln betont, unterscheiden sich die geforderten akustischen Eigenschaften des Materials bei selbst klingenden Röhren (z.B. bei Röhrenglocken) von denen der Pfeifen, also von denen, deren Klang durch eine schwingende Luftsäule entsteht, da erstere eine hohe Biegesteife bzw. Elastizität und eine niedrige innere Dämpfung benötigen um einen hörbaren Klang zu erzeugen, während zweitere bei einer hohen inneren Dämpfung immer noch einen weichen Klang, aber mit weniger Obertönen ergeben (vgl. Lottermoser 1983, 138). Im Falle der Pfeifen hemmt eine hohe inneren Dämpfung und eine niedrige Biegesteifigkeit, wie sie z.B. Blei besitzt, die Korpussschwingung. "Die Wandungen vibrieren daher höchstens mit den stehenden Wellen niedriger Ordnung der Luftsäule mit, weswegen dann Schallenergie nach außen wandert und die stehende Welle im Rohr stärker bedämpft werden. Wenn die Biegesteife größer ist, so gibt es Eigentöne der Metallrohre, welche durch die Eigentöne der stehenden Wellen in der Luftsäule zum Schwingen angeregt und zwar umso mehr, je besser die Frequenzen Metallrohr-Luftsäule übereinstimmen " (Lottermoser 1983, 138). Man muss dabei beachten, dass auch unharmonische Partialtöne von den Wandungen abgestrahlt werden können, was bei Pfeifen und Blasinstrumenten allgemein natürlich eher unerwünscht ist, da dies zu unerwünschten Nebentönen oder zumindest zu einem unklarereren Klang führt. Ein geringer Rest solcher materialgebundener Beimischungen seien zur Charakterisierung des typischen Pfeifenklangs aber sogar notwendig (vgl. Lottermoser 1983, 142).

Um diese Gegebenheiten festzustellen und zu erforschen wurde eine Versuchsreihe durchgeführt, bei denen Pfeifen unterschiedlicher Materialien gleicher Länge (also gleicher Frequenz) unter gleichen Bedingungen getestet wurden. Es wurden Klangspektren<sup>21</sup>, Resonanzkurven und Klangabstrahlungsdiagramme für die verschiedenen Materialien erstellt. Dabei wurde in der Versuchsaufstellung darauf geachtet, beim Schwingungsvorgang nur die Abstrahlung der Wandung, also nicht die der Luftsäule zu messen.

---

<sup>20</sup>Speziell Zungenpfeifen weisen eine große Verwandtschaft zu Klarinetten auf.

<sup>21</sup> Siehe Abb.6 im Anhang.

Hier hat sich beispielsweise ergeben, wie man in Abbildung 6 im Anhang erkennen kann, dass bei Holz und Bleipfeifen die harmonischen Partialtöne bei weitem überwiegen, was wiederum besagt, "dass die Wandungen hauptsächlich den Vibrationen der Luftsäule folgen. Der Anteil unharmonischer Komponenten ist bei diesen Materialien nur gering." (Lottermoser 1983, 138). Weiterhin wurde festgestellt, dass verschiedene Materialien eine unterschiedliche Form der Klangabstrahlung besitzen, d.h. dass der Schall sich unterschiedlich in die Umgebung verteilt. Vor allem bei höheren Partialtönen wird der Unterschied deutlich, wie in der Abbildung gut zu sehen ist. Herr Lottermoser ist der Überzeugung: "Die Messungen beweisen, dass deutliche akustische Effekte bei der Verwendung verschiedener Materialien auftreten" (Lottermoser 1983, 142), was sich aufgrund der gleichen Funktionsweise direkt auf Klarinetten übertragen lässt. Bei Klarinetten hat die Erfahrung gezeigt, dass synthetische Stoffe nur sehr eingeschränkt geeignet sind. Im Normalfall führen diese Stoffe zu einer, wahrscheinlich durch die Struktur des Materials bedingten, Auslöschung bestimmter im Klang enthaltenen Frequenzbereiche. Einzig Kristallglas und Quarz- Silikon scheinen hier eine Ausnahme zu machen. Diese Materialien führen in vielen Fällen (z.B. Quarz- Silikon als Polstermaterial bei Saxophonen) zu einer Schwingungsverstärkung (Schöttle 2004).

In einem Interview mit Dipl. Ing. Emil Weiß, Leiter des Instituts für angewandte Akustik in Frankfurt, betonte dieser sogar die Notwendigkeit der Korpussschwingung. Diese habe seiner Meinung nach auch direkte Auswirkungen auf die schwingende Luftsäule und umgekehrt. So entsteht im Falle einer starken Korpussschwingung, die jedoch wie auch Herr Lottermoser beschreibt in erster Linie auf alle harmonische Partialtöne der Luftsäulenschwingung resonieren sollte (vgl. Lottermoser 1983, 137f.), eine zusätzliche klangabstrahlende Fläche, die klangverstärkend und energieerhaltend auf die schwingende Luftsäule rückwirkt. Rein theoretisch ist nur eine Resonanzschwingung der von der Luftsäulenschwingung vorgegebenen Frequenzen möglich. Dennoch wurden bei Orgelpfeifen mit einer verstärkten Korpussschwingung auch Zunahmen in Obertonbereichen registriert, die im ursprünglichen Spektrum der Luftsäulenschwingung nicht vorhanden waren. Bei Holz als Korpusmaterial sind dies jedoch glücklicherweise in erster Linie harmonische (bei gedeckten Pfeifen auch geradzahlige) Partialtöne der Grundschiwingung (vgl. Lottermoser 1983, 140f.). Eine Klarinette mit einer höheren Korpussschwingung besitzt also einen obertonreichen Klang bei dem sich geradzahlige Obertöne qualitätsmäßig den ungeraden etwas annähern. Dadurch wird der Klang wärmer und konkreter (mehr Kern). Andersherum wäre im Falle einer extrem hohen Dämpfung des Wandungsmaterials eine Klangerzeugung sehr erschwert, da die starre Wandung die Luftsäulenschwingung sogar blockiere.

Letztlich werden aber immer, da jedes Material seine Eigenschwingung besitzt<sup>22</sup>, bestimmte Frequenzen in der Wandung resoniert, wodurch es bei diesen zu einer verstärkten Klangabstrahlung kommt (vgl. Lottermoser 1983,

---

<sup>22</sup>Auch wenn diese oft durch Dämmmaterialien weitgehend ausgelöscht wird.

122f.). Für ein ausgeglichenes Instrument ist nur eine gleichmäßige Verteilung der Dämpfung auf alle Frequenzlagen notwendig, d.h. die Wandung sollte auf alle möglichen Frequenzen gleichermaßen resonieren (vgl. Ignatius, 2004).

### **Grundsätzliche materialbedingte Auswirkungen:**

Die Vertreter der resonanztechnischen Forschungen sind zu einem großen Teil davon überzeugt, dass jedes physische Detail Auswirkungen auf die Eigendämpfung und dadurch auch einen direkten Einfluss auf den Gesamtklang der Klarinette besitzt. Herr Ignatius spricht hierbei sogar von einer Analogie zu Streichinstrumenten, bei denen diese Annahmen längst als bestätigt gelten, auch wenn beispielsweise eine Geige physikalisch gesehen etwas anders funktioniert (vgl. Ignatius 2004). Langjährige Beobachtungen, die jene Annahmen zu bestätigen schienen, veranlassten Herrn Schöttle dazu sich diesem Thema genauer und intensiver zu widmen und die zahlreich auftretenden und sehr komplex zusammenspielenden Wechselwirkungen nach anfänglich noch recht subjektiven Bewertungsmaßstäben zu bewerten und zu strukturieren. Unabhängig von einer genaueren Qualitätsbewertung hat er hierbei festgestellt, "dass es kaum ein konstruktives Detail am Instrument und drum herum gibt, welches nicht einen Einfluß auf den Klang hätte" (Schöttle 1999, 164).

Nach Schöttle wären dies beispielsweise:

- Die Masseverteilung am Instrument und vor allem die absolute Metallmasse
- Das Blatt
- Das Mundstück und das Material aus dem es gemacht ist
- Die Blattspange oder die Blattschnur
- Der Korpus mit Birne, Ober- und Unterstück, sowie Becher
- Die Ringe (auch alle Reißringe oder Zapfenringe)
- Die Säulchen.<sup>23</sup> (auch die Beschaffenheit ihres galvanischen Überzugs)
- Die verwendeten Dämm-Materialien (Kork, Filz, Polster und sogar die Spielfinger)
- Die Mechanik (Stangen, Röhrchen, Drücker etc.)
- Das Material von Einsätzen, Ringen, Holzschrauben etc.

-Zusätzliche Materialien wie z.B. der Klebstoff für die Anbringung von Kork , Polster  
(vgl. Schöttle 1999, 164 und Schöttle 2004)

Selbst eine kleine, unscheinbare Anbringung, wie z.B. "ein auf dem Mundstück klebendes Etikett kann die klanglichen Eigenschaften beeinflussen" (Schöttle 2002). Generell kann man sagen, dass die

---

<sup>23</sup>Laut Schöttle durch Blindstudie von Buffet vor etwa 10 Jahren belegt (vgl. Schöttle 2002).

Einflussnahme aller Materialien in Richtung des Mundstücks zunimmt (vgl. Schöttle 2002). Hingegen nimmt sie bei einer Zunahme der gesamten Eigendämpfung ab; d.h. bei einer sehr gedämpften Klarinette wirkt sich ein schlechtes Polster weniger stark aus als bei einer sehr frei spielbaren Klarinette (vgl. Schöttle 2004). Aber nicht nur das Material an sich, sondern auch die Art und Weise wie es angebracht wird, soll Konsequenzen haben. Versuche hätten gezeigt, dass jedes polar strukturierte Material verschiedene Resonator- und Klangeigenschaften besitzt, je nachdem, in welcher räumlichen Ausrichtung es auf dem Instrument angebracht ist (vgl. Schöttle 2004). Nach Schöttle könnte dieser Effekt mit der dem Material eigenen Struktur zusammenhängen. So soll ein Kork eine geringere Dämpfungswirkung besitzen, wenn er so angebracht wird, dass die darauf zu erkennende Strukturlinien längs der Luftsäulenschwingung verläuft (vgl. Schöttle 2004). Man kann hierbei von einer gewissen Polarität sprechen, weshalb Herr Schöttle die Möglichkeit eines toroiden (d.h. die Form eines Ringwirbels) und damit polaren Schallfeldes, welches nicht nur im inneren der Klarinette schwingt, sondern jene auch umschließt, in Betracht zieht. Nach Schöttle wirkt sich jeder Fremdkörper, der in das Schallfeld eindringt unmittelbar akustisch aus (vgl. Schöttle 2002). Je nach Resonatoreigenschaften des Eindringlings, stört oder verstärkt dieser das Schallfeld.

Die beobachteten Auswirkungen des an der Klarinette angebrachten Materials erklärt Herr Schöttle wie folgt:

Alle Teile, welche sehr fest am Instrumentenkörper angebracht sind und dadurch in einer vollkommenen Koppelung zur Wandung stehen (z.B. sind das alle Säulchen), schwingen durch eine erzwungene Resonanz mit der Korpussschwingung mit. Ist diese Schwingung von der Eigenresonanz des Teils sehr verschieden, so wirkt sich dies energieentziehend auf die Korpussschwingung aus, wodurch diese gebremst wird. Wie im vorigen Kapitel beschrieben hat dies negative Konsequenzen auf die Luftsäulenschwingung. Da die Materialzusammensetzung die Eigenresonanz mitbestimmt, hat diese somit auch Auswirkungen auf den Klang (vgl. Schöttle 2004).

Alle Klappen und Klappendrucker befinden sich in einer partiellen Koppelung zur Wandung und verhalten sich deshalb mehr oder weniger wie eine Stimmgabel. Sie werden "durch den Schwingungsfluss, welcher über die Säulchen, die Schraube und das Röhrchen einwirkt, zur Eigenschwingung angeregt. Diese beeinflusst die Hauptschwingung im Instrumentenkörper ganz deutlich." (Schöttle 1999, 167).

Starke Dämmmaterialien, besonders schlechte und durchweichte Polster, können, bedingt durch ihre Trägheit, welche sie daran hindert am Schwingungsvorgang teilzunehmen, Schwingungsenergie verschiedener und vor allem hoher Frequenzen vernichten, was die Eigendämpfung und somit den Widerstand des Instrumentes erhöht und außerdem das mögliche Klangspektrum einschränkt. Der Klang wird obertonärmer, weswegen die Richtwirkung, die die Partialtöne auf ihren vollkommen harmonischen Platz

"zwingen", schwächer wird. Durch den vom Klarinettist notwendigen höheren Anblasdruck und durch das unharmonischere Klangbild wirkt der Ton eckiger und härter (vgl. Schöttle 2004).

Auch Öl kann als angebrachtes Material bezeichnet werden. So lange es in flüssigem Zustand ist, verhält es sich wie ein starkes Dämmmaterial. Dies ändert sich, sobald es getrocknet bzw. „verharzt“ ist. Neben dem für den hölzernen Korpus wichtigen Schutz gegen Feuchtigkeit, soll es bei abgeschlossener Verharzung sogar die Schwingungseigenschaften des Korpus verbessern. Deshalb sollte man nach Ansicht einiger Klarinettenbauer zum Ölen der Klarinette Öle verwenden, welche zur Verharzung fähig sind. Nicht tauglich sollen demnach Paraffinöle, sehr tauglich hingegen Leinöl und Hanföl sein. Man sollte hierbei jedoch darauf achten, klebrige Rückstände rechtzeitig (d.h. ca. 10 min. nach dem Ölen) mit einem trockenen Tuch zu entfernen (vgl. Schöttle 1998, 164 ff.).

Das besonders bei feuchtem und kaltem Raumklima verstärkt auftretende Kondenswasser im Instrument und in den Tonlöchern hat neben den schlechten Eigenschaften, frisches Holz und weiche Polster aufquellen zu lassen und das weiche Anblasen bestimmter Töne durch Ablagerungen im Tonloch, welches zu einem "blubbernden" Geräusch führt, zu blockieren ebenso die Wirkung eines starken Dämmmaterials. Zum Schutz des Holzes und der Polster, sowie zum Schutz gegen eventuelle Klangeinbußen empfiehlt es sich daher, das Instrument beim Spielen regelmäßig auszuwischen.

### **Einfluss von Material und Abmessungen der Mundstücke:**

Mundstücke sind in Bläserkreisen wohl schon seit jeher Gegenstand ausgedehnter Diskussionen und jeder Klarinettist begibt sich im Laufe seines Lebens auf eine mehr oder weniger aufwendige Suche nach einem geeigneten Stück. Es ist natürlich auch auf diesem Gebiet schwer allgemeingültige Aussagen oder gar Patentrezepte anzubieten, da für unterschiedliche Blätter und vor allem für unterschiedliche Spielweisen, Klangvorstellungen und anatomische Voraussetzungen der Spieler unterschiedliche Mundstücke in Frage kommen. Sehr hilfreich war mir in dieser Hinsicht der Forschungsbericht über die Akustik von Mundstücken von Walther Krüger und Gunther Ziegenhals, die im Besonderen auch einige Spieltests und passive Hörtests mit renommierten Klarinettisten und maschinell hergestellten Mundstücken durchgeführt haben und ein Artikel in der Fachzeitschrift "rohrblatt" von Walther Krüger. Die nun folgenden Informationen sind hauptsächlich entweder von Herrn Krüger getroffene Auswertungen der zugrundeliegenden Testreihe oder sie sind dem Fachartikel entnommen:

Generell kann man sagen, dass natürlich ein Zusammenhang zwischen der Biegefestigkeit, also der Härte der Blätter und dem Verlauf der Mundstückbahn besteht. Harte und somit "schwere Blätter erfordern eine geringe Bahnkrümmung" (Krüger, Ziegenhals 1995, 4), ergeben damit aber

auch einen stabilen und etwas dunkler gefärbten Ton, der dem Bläser aber auch einen höheren Anblasdruck abverlangt und eine niedrigere Blattgeschwindigkeit zur Folge hat, während leichtere Blätter eine offenere Bahn benötigen, zu einem helleren Klang führen, eine höhere Blattgeschwindigkeit besitzen und wiederum einen stabileren Ansatz, dafür aber einen geringeren Anblasdruck benötigen (Krüger, Ziegenhals 1995, 4 und Krüger 1997, 12). Außerdem muss die Blatt-Mundstückkombination, die nach Aussage von Jochen Seggelke bis zu ca. 60% den Klangcharakter eines Instrumentes bestimmen (vgl. Seggelke 1997, 127), passend sein. Der Verlauf der Bahnkurve sollte auf die elastischen Parametern bzw. auf die Biegelinie der Blätter abgestimmt sein oder umgekehrt, so dass sich dieses beim Schwingungsvorgang optimal abrollen kann. Ein langes, breites Blatt wird auf einer kurzen, schmalen Bahn keine zufriedenstellende Ergebnisse liefern (vgl. Krüger, Ziegenhals 1995, 4).

Neben der Abhängigkeit vom verwendeten Blatt spielt das gesamte Innenvolumen und speziell die Bohrung eine große Rolle. Mundstücke mit reduziertem Innenvolumen beispielsweise "führten schnell zu unbefriedigender klanglicher Beurteilung (zu hell, zu spitz)" (Krüger, Ziegenhals 1995, 110), vor allem die Kopftöne betreffend. Die objektiven Messdaten belegten hier deutlich "das im Spielbereich ungleichförmige Anwachsen der Intonation [...], das sehr schnell die Ausgeglichenheit der Intonation zerstört" (Krüger, Ziegenhals 1995, 110), wobei keine Erklärung auf die bei subjektiven Tests festgestellte Verschlechterung von Ansprache und Dynamik gefunden werden konnte. Herr Krüger geht davon aus, "dass diese subjektive Empfindung vor allem durch die Störung der Intonation induziert wird, die den Bläser intuitiv nötigt, ihm gewohnte Ansatzparameter zu verlassen und damit seine Ausdrucksmöglichkeiten und seine Aktionsfähigkeit einengen" (Krüger, Ziegenhals 1995, 110 f.). Man sieht daran deutlich, wie wichtig ein gut stimmendes Instrument ist. Allgemein wurde mit der Beeinträchtigung der Klangfarbe meistens auch eine zunehmende Verschlechterung der übrigen Spielparameter attestiert (Dynamik, Stimmung, Ansprache). Es hat sich gezeigt, dass sowohl für die deutsche Klarinette als auch die für Boehm- Klarinette eher dunkle Klangfärbungen bevorzugt werden.

Es wurde festgestellt, dass ein Mundstück mit verbreiterten Stegen eine Verstärkung der Bernoulli-Kräfte, also der Kräfte, die das Blatt an das Mundstück saugen, verursacht. Dies hat eine Einschränkung der dynamischen Möglichkeiten zur Folge, da sich das Blatt im Forte weniger gut wieder vom Mundstück löst; es klebt leichter an. "Überraschenderweise wird bei breiteren Stegen aber auch eine Verschiebung der Klangfarbe nach wärmeren, volleren Timbre festgestellt. Hierfür fehlt z.Zt. eine plausible Erklärung"(Krüger, Ziegenhals 1995, 110).

In dem genannten Fachartikel von W.Krüger waren auch die Ergebnisse der von dem Physiker Dr. F. Blutner durchgeführten Forschungsarbeit "Der

Einfluss des Wandungsmaterials bei Holzblasinstrumenten" betreffend des Materialeinsatzes für Mundstücke dargestellt. Für die sehr umfangreichen Tests wurden ebenfalls maschinell hergestellte Mundstücke mit exakt gleichen geometrischen Abmessungen, allerdings aus verschiedenen Materialien von verschiedenen Klarinettenisten zum einen einem Spieltest, zum anderen einem reinen Hörtest unterzogen. Leider musste aufgrund einer mangelhaften Genauigkeit in der Produktion auf Kristallglasmundstücke verzichtet werden. Es wurde eine Bewertungsskala von 7 (sehr gut) bis 0 (unbrauchbar) eingerichtet<sup>24</sup>.

			Gesamt	Baß	Mitte	Diskant
		Spieltest	4,707	4,828	4,671	4,62
	Grenadille Mundst.	Hörtest	5,687	5,881	5,978	5,444
<b>Verschiedener</b>		Mittelwert	<b>5,197</b>	<b>5,355</b>	<b>5,325</b>	<b>5,032</b>
<b>Material-Einsatz</b>		Spieltest	5,327	5,357	5,139	5,452
	Cocoswood Mundst	Hörtest	4,861	5,636	4,899	4,454
<b>beim Mundstück</b>		Mittelwert	<b>5,094</b>	<b>5,497</b>	<b>5,019</b>	<b>4,953</b>
<b>kombiniert mit</b>		Spieltest	3,813	3,643	3,853	4,073
	Akryl Mundst	Hörtest	6,071	5,321	5,069	4,948
<b>Grenadille-Korpus</b>		Mittelwert	<b>4,442</b>	<b>4,482</b>	<b>4,461</b>	<b>4,511</b>
		Spieltest	6,33	6,676	6,095	6,235
	Kautschuk Mundst	Hörtest	5,126	5,963	5,219	4,661
		Mittelwert	<b>5,728</b>	<b>6,321</b>	<b>5,657</b>	<b>5,448</b>

Ergebnisse subjektiver Tests an Klarinettenmundstücken nach BLUTNER (2)

(Abb.7 aus Krüger 1997, 13).

Herr Krüger deutete die Ergebnisse wie folgt: "Es ist sehr deutlich erkennbar, dass, insbesondere bei den Spieltests, die Präferenz dabei den Kautschuk-Mundstücken liegt, wogegen Acryl- (Plexiglas-) Mundstücke abgelehnt werden. Ein Materialeinfluß ist somit bei der Qualitätsbewertung eindeutig nachweisbar, auch wenn die bei den Spiel- und Hörtests unterschiedliche Urteilsschärfe auf gewisse emotionale Prägungen (um nicht zu sagen: Vorurteile) schließen läßt" (Krüger 1997, 13). Unabhängig von der Ursache einer Beeinflussung durch das Material scheint diese, zumindest das Mundstück betreffend, vor allem für die Klarinettenisten selbst demnach nicht bezweifelt zu werden.

Nach Ansicht von Herrn Krüger wurde dieser Einfluss in der Vergangenheit deshalb nicht für möglich gehalten, da "man bisher immer nur die stationäre Luftschwingung im Instrument bei den Betrachtungen berücksichtigt hat, niemals aber die Vorgänge bei der Anregung. Das schwingende Rohrblatt überträgt aber sehr wesentliche Kräfte auf das Mundstück [...]. Diese Kraftübertragung und insbesondere auch ihre Weiterleitung kann aber durchaus von Material zu Material (Dämpfung!) sehr unterschiedlich sein.

<sup>24</sup> Ergebnisse: Siehe Abb.7.



Darüber hinaus wird auch die unterschiedliche Nachgiebigkeit des Materials beim Aufschlagen des Rohrblatts auf die Bahn die Primärschwingung beeinflussen. So kann unterschiedlicher Materialeinsatz den Anregungsprozess und damit die Spieleigenschaften erheblich beeinflussen." (Krüger 1997, 13)

Die Entscheidung für ein bestimmtes Material des Mundstücks trifft der Klarinettist nicht nur aus klanglichen Gründen. Das Spielgefühl spielt mindestens eine ebenso große Rolle. Das überdurchschnittlich gute Abschneiden der Kautschukmundstücke bei den Spieltests ist meiner Meinung nach darauf zurückzuführen. Die meisten spielen wohl schon seit jeher diese Mundstücke und sind deshalb an das entsprechende Spielgefühl gewöhnt. Ein weiteres wichtiges Auswahlkriterium ist die Beständigkeit des Materials. Holzmundstücke haben sich in der Vergangenheit als schwierig erwiesen, da sich das Holz binnen weniger Monaten, Wochen oder gar Tagen zu stark verändert. Eine verschlechterte Ansprache und Intonationsprobleme sind die Folge. Kautschukmundstücke leiden hingegen an einem direkten Materialverschleiß. Je nach Härte des Kautschuks findet ein mehr oder weniger großer, durch die Blattschwingung hervorgerufener Abrieb der Bahn statt. Dieser Vorgang geht so allmählich vonstatten, dass der Klarinettist anfangs nichts davon mitbekommt. Selbst bei starker Benutzung kann man heutige Kautschukmundstücke bedenkenlos zwischen 2 und 3 1/2 Jahren gebrauchen, auch wenn in einem direkten Vergleich vielleicht schon nach einem Jahr erste Veränderungen zu bemerken wären. Einzig und allein die Plexiglas und die zum Teil stark favorisierten Kristallglasmundstücke sind einigermaßen materialbeständig. Im Falle der Kristallglasmundstücke muss bei der Auswahl jedoch eine durch die Produktion bedingte Ungenauigkeit beachtet werden, die selbst bei Mundstücken gleicher Art deutliche Unterschiede (besonders hinsichtlich der Intonation) hervorrufen kann (vgl. Schöttle 2004).

## **Einflussmöglichkeiten auf die Klangeigenschaften des Instrumentes**

### **Bohrungseinflüsse und Auswirkungen der Luftströmung:**

Bohrungseinflüsse sind sehr schwer zu beschreiben und, gerade was klang- und resonanztechnische Faktoren betrifft, oft nicht von anderen Einflussfaktoren zu trennen. Leider ist es auch recht schwierig, geeignetes und aussagekräftiges Informationsmaterial zu diesem Themengebiet zu finden. Jedenfalls haben die meisten Instrumentenbauer diesbezüglich ihre Geheimnisse, die sie nur ungern preisgeben wollen.

Martin Schöttle geht z.B. von einer sehr geringen Einflusskraft der absoluten Bohrungsweite aus. Dies erläuterte er mir wie folgt:

„Wir sollten einmal darüber nachdenken, dass die Mensur (in diesem Fall das Verhältnis zwischen Bohrungsweite und akustischer Position des Tonloches

am Instrument) für das kleine e der Klarinette bei etwa 15:500 liegt, jenes für das "kurze" a' bei etwa 15:150. Trotz dieses großen Mensurunterschiedes klingen beide Töne eindeutig nach Klarinette. Was könnte hier eine Abweichung des absoluten Bohrungsdurchmessers von einigen Hundertstel oder Zehntel Millimeter vergleichsweise bewirken? Schließlich haben es die Instrumentenmacher zu allen Zeiten mehr oder weniger gut geschafft, diese weit voneinander entfernten Töne im Klangcharakter durch geeignete Manipulationen am Tonloch selbst (Durchmesser, Kaminlänge, Unterschnitt etc.) anzugleichen“ (Schöttle 2004). Als Beispiel kann ich hier anfügen, dass das Unterschneiden eines Tonlochs neben der frequenzmäßigen Erhöhung des betreffenden Tones auch eine Klangverschärfung und oft eine Erleichterung der Ansprache mit sich bringt.

Die Struktur und Beschaffenheit des Tonlochnetzes und der einzelnen Tonlöcher soll nach Aussage einiger Klarinettenbauer einen größeren und direkteren Einfluss besitzen als die absolute Bohrungsweite. Der Klangunterschied der A-Klarinette zur B-Klarinette beispielsweise hat seine Ursache hauptsächlich, so Schöttle, in den, im Verhältnis zur Mensur des Instrumentes unterschiedlichen Größe und Länge der Tonlöcher (vgl. Schöttle 2004).

Von wesentlicher Bedeutung sei, so Schöttle, der relative Bohrungsverlauf. Das heißt, ob die Bohrung von oben nach unten enger oder weiter wird, ob dies gleichförmig oder in Stufen geschieht. So hat der untere Konus (jener zum Becher der Klarinette hin) vor allem klangliche Gründe: Die langen Töne sollen dadurch leichter ansprechen und runder klingen. Der Gegenkonus in Birne und im Eingang des Oberstücks dient vorrangig der Intonationskorrektur. Er beeinflusst maßgeblich die Registerweite der Klarinette. D.h er regelt so weit möglich den Abstand der Grundtöne zu den überblasenen (zweites und drittes Register) (vgl. Schöttle 2004). Diese Intonationsverbesserung hat jedoch ebenfalls positive Effekte auf den Klang, die Ansprache und die dynamische Steigerungsfähigkeit<sup>25</sup> (vgl. Krüger 1993, 66), insofern verbessert dieser Gegenkonus auch indirekt die Resonanzeigenschaften des Instrumentes.

Wird dieser Konus "stufig" ausgeführt, so können an den relativ "scharfen" Unebenheiten in der Bohrungswandung ("Stufen") Luftwirbel entstehen, die einerseits zu einer virtuellen Querschnittsverengung der Hauptbohrung führen, andererseits den Rauschpegel bestimmter kritischer Töne anheben können. Auch die Ansprache kann darunter leiden. (vgl. Schöttle 2004).

Um ein konkretes Beispiel für die „Anwendung“ von Stufen im Bohrungsverlauf zu geben, sei hier auf die Korrektur der Duodezim-Weite des tiefen e zum h1 bei modernen Boehm-Klarinetten hingewiesen. Üblicherweise ist die Duodezime in diesem Bereich bis zu 35 ct zu weit, weshalb bei deutschen Orchester-Instrumenten eine spezielle Becherklappe angebracht wird, welche nur beim kleinen e und f zum Intonations-Ausgleich geöffnet wird. Bei Boehm-Klarinetten wird in letzter Zeit häufig die Eingangsbohrung

---

<sup>25</sup> Vor allem wohl durch das resultierende harmonischere Klangspektrum.

des Bechers enger gehalten als die Austrittsbohrung des Unterstückes. Durch die „Stufe“, die häufig mehr als einen halben Millimeter, bezogen auf den Radius, ausmacht, wird das  $h_1$  nach unten „gedrückt“, die Weite der Duodezim bis fast auf 0 ct korrigiert. Dafür wird in Kauf genommen, dass vor allem das tiefe e keinen vollen und warmen Klang besitzt, sondern recht mühselig hervorzubringen ist (vgl. Schöttle 2004).

Ein weiteres Beispiel ist die Birne, die aus Intonationsgründen oft etwas enger gebohrt wird als das obere Ende des Oberstücks. Die hierbei entstehende Stufe sorgt durch die entstehenden Wirbel ebenfalls für eine Verschlechterung der Ansprache. Benutzt man in diesem Fall eine weitere Birne, so kann dies zu einem klanglich besseren Ergebnis führen, das allerdings eventuelle Intonationseinprobleme mit sich bringt. Man könnte sich dann überlegen, wie man diese wieder in den Griff bekommt (z.B. mit einem Konus in der Birne).

Auf eine detaillierte Beschreibung der genauen Verhältnisse und Wechselbeziehung bei Bohrungsverläufen und Tonlochänderungen muss ich an dieser Stelle leider verzichten, da dieses Themengebiet zu komplex ist<sup>26</sup>.

Stattdessen möchte ich die Auswirkungen der Luftströmung etwas genauer beleuchten. Rein theoretisch wird die Luftsäulenschwingung durch Reibung gedämpft. Diese Reibung ist eine Erscheinung, die sich natürlich nicht eliminieren lässt, aber man kann versuchen sie so weit wie möglich einzudämmen. Die Reibung entsteht in erster Linie durch zwei Faktoren: durch die Rauigkeit der Bohrungswandung (einschließlich der Tonlöcher) und durch das bereits erwähnte Auftauchen von Luftwirbel.

Man kann also sagen, dass eine Klarinette eine möglichst glatte Bohrung besitzen sollte, um ein leichtgängiges und freies Blasen zu gewährleisten<sup>27</sup>. Ebenso sollte der Luftfluss möglichst störungsfrei und glatt vonstatten gehen können. Stufen, wie die oben erwähnten, und auch jegliche Art von Hindernissen, wie zum Beispiel die Daumenhülse am Oberstück, die in die Bohrung hineinragt, sollten bereits beim Bau der Klarinette vermieden werden, da sie für Wirbel sorgen, die der Luftsäulenschwingung (Schwingungs-)Energie entziehen und sie somit, zum Nachteil des Bläusers, abdämpfen. Zusammenfassend kann man sagen, dass das Innere des Instrumentes möglichst windschnittig gestaltet sein sollte (vgl. Schöttle 2004). Der Einfluss der Luftströmung ist zur Zeit ein im Holzblasinstrumentenbau intensiv behandeltes Thema, wodurch bereits erste Erfolge, zum Beispiel bei der Gestaltung der S-Bögen bei Saxophonen und Fagotten durch den Luftfahrttechniker Roger Grundmann (vgl. Schade 2003), erzielt wurden.

---

<sup>26</sup> Es gibt einige Akustiker, wie z.B. Walther Krüger, die sich intensiv mit Bohrungsverläufen auseinandersetzen und mathematische Modelle zur Berechnung der Folgen von Bohrungsänderungen erstellen. Diese darzustellen wäre aber im Rahmen meiner Diplomarbeit unmöglich.

<sup>27</sup> Die Klarinettenbaufirma Keilwerth hat deshalb in der Vergangenheit oft die Innenbohrung lackiert.

## **Beeinflussung der Eigenresonanz durch verschiedene Materialien:**

Die Resonatoreigenschaften eines Gegenstandes werden durch mehrere Faktoren beeinflusst. Zum einen ist dies wie bereits erwähnt natürlich das Material, aus welchem der Gegenstand besteht. Zum anderen ist aber auch dessen Form und sogar die Masseverteilung<sup>28</sup> ausschlaggebend.

Die folgenden Informationen habe ich dem Interview mit Herrn Ignatius entnommen:

Herr Ignatius fand heraus, dass, ausgehend von der Eigenschwingung eines Gegenstandes, eine Materialverdünnung an Schwingungsbäuchen und eine Materialverdickung an Schwingungsknotenpunkten eine Erhöhung der Eigenresonanz, eine Abnahme der Eigendämpfung im gesamten Eigenschwingungsbereich und somit eine Verbesserung der Resonatoreigenschaften bewirkt, wodurch wiederum ein geringerer Energieaufwand nötig wird, um die Resonanzschwingung aufrecht zu erhalten. Die Materialverdünnung soll an den entsprechenden Stellen eine ungewollte Knotenbildung erschweren, indem sich das Material hier leichter in Bewegung setzt, die Schwingung also erleichtert wird. Durch die Materialverdickung wird das Material starrer. Dies soll die Entstehung eines nicht schwingenden Knotenpunktes begünstigen. Auf eine Platte übertragen müsste man also demnach die Linien so verstärken und die dazwischenliegenden Räume so verdünnen, dass die Chladnischen Klangfiguren die gewünschte Struktur besitzen.

Um tatsächlich ein für akustische Zwecke positives Ergebnis zu erlangen, muss aber noch eine bestimmte Hierarchie der Knotenlinien beachtet werden. Im Instrumentenbau muss man hierbei die Knotenlinien des tiefsten möglichen Tones als Grundlage für ein System benutzen, welches im Idealfall alle möglichen Töne und deren harmonische Partialtöne entsprechend gleichermaßen unterstützt. Man verdickt letztlich das Material des Korpus an allen Knotenpunkten der elf möglichen Zwischentöne, wobei manche Punkte entsprechend ihrer Reihenfolge in der Naturtonskala von höherer Bedeutung sind als andere und deshalb mehr Material, also sozusagen einen deutlicheren Knotenpunkt besitzen. Ab der Oktave sitzen diese Punkte wieder an den Ausgangsstellen. Da bei Blasinstrumenten (und vor allem bei Holzblasinstrumenten) die Resonanzleistung des Korpus hauptsächlich von der Ausgangsschwingung in der Luftsäule abhängt, bilden sich entsprechend nur die betreffenden Knotenpunkte des gespielten Tones und dessen Obertöne im Korpusmaterial aus, wodurch auch nur diese verstärkt werden. Dadurch wird die Einschwingzeit verkürzt<sup>29</sup> und die Ausschwingzeit dementsprechend verlängert. Weiterhin wird durch diese Änderungen das Klangspektrum beeinflusst, da die Energieausbeute bei bestimmten Partialtönen höher ist, speziell bei denjenigen, die zuvor etwas "blockiert" waren. Die Partialtöne nehmen also in Quantität und Qualität zu, wobei die

---

<sup>28</sup> Gemeint ist nicht absolute Masse oder Wandungsstärke, sondern die relative Verteilung..

<sup>29</sup>Nicht jedoch die Art des Einschwingvorgangs, was nämlich eine Änderung der Klangcharakteristika mit sich bringen würde (vgl. Grehn, Krause 1998, 117).

schwächeren deutlicher zunehmen und sich deshalb den stärkeren mehr annähern. Durch die gegenseitige Resonanzleistung der Einzelschwingungen im Klang, wird dieser ganze Effekt in der Wirkung noch potenziert. Man könnte bei Instrumenten auf diese Weise eine höhere tonliche Ausgeglichenheit und Tragfähigkeit erreichen. Herr Ignatius nutzt diese Entdeckungen im Geigenbau schon geraume Zeit mit Erfolg. Durch eine Rückwirkung auf die Luftsäule und durch die Tatsache einer zusätzlichen klangabstrahlenden Fläche ist dieses Verfahren nach Ansicht von Herrn Ignatius auch auf Blasinstrumente übertragbar.

Bei einer Klarinette ist zu beachten, dass jede feste Anbringung, vor allem der Böcke sowie der metallenen Ringe, ebenfalls einer leichten Materialverdickung entsprechen und Knotenpunktbildungen dementsprechend erleichtern. Ein Ring an der falschen Stelle kann also negative Folgen haben. Dies ist ein bedeutender Grund weswegen manche Birnen besser sind als andere. Der Gefahr eines Metallringes an falscher Stelle kann man durch die Verwendung von Carbonfaserringen entgehen. Herr Leitner erzählte mir, dass manche seiner Kunden auf Birnen mit diesen Carbonfaserringen schwören, da sie leichter losgehen sollen. Allerdings finden auch einige, dass eine gute, passende Birne mit gewöhnlichen Metallringen einen kräftigeren Klang ergebe. Wie überall sollte hier jeder selbst entscheiden. Auch der oft anzutreffende Bauch bei Birnen hat klangliche Gründe, die auf die bessere Knotenbildung zurückgehen sollen. Ich durfte eine so präparierte Schüler-Klarinette probespielen und war von der Klangstärke, vom Klangcharakter, von der Ausgeglichenheit, sowie von der Ansprache beeindruckt, wobei ich keinen direkten Vergleich hatte, da ich dieses Instrument nicht im ursprünglichen Zustand kenne. Ein Freund von Herrn Ignatius, selbst Klarinettist, meinte sogar, er hätte an seiner eigenen Klarinette beim Auftragen von Bleistiftlinien an den entsprechenden Stellen eine Verbesserung bemerkt (besonders im tiefen Register).

So bearbeitete Resonatoren resonieren im gesamten für akustische Zwecke relevanten Frequenzbereich mit gleicher Qualität. Die darauf folgende Klangabstrahlung der Resonanzleistung erfolgt, im Gegensatz zu den ebenfalls auftretenden Schallreflexionen, über die gesamte Länge und Breite des Resonators gleichmäßig und z.B. bei Platten auch immer in dieselbe Richtung (nämlich im Winkel von 90 Grad von ihr weg). Durch diesen Gleichrichtungseffekt werden energieauslöschende Interferenzen stark reduziert, wodurch der resultierende Klang an Tragfähigkeit gewinnt. Da jeder Resonator wiederum auf den Generator wirkt, kann diesem dadurch die Schwingung regelrecht erleichtert werden; er benötigt einen geringeren Energieaufwand, um seine Eigenschwingung zu erhalten. Deshalb können so konstruierte Plattenresonatoren rein theoretisch, bei richtiger Aufstellung, zur akustischen Aufwertung eines Raumes benutzt werden (vgl. Ignatius 2004).

Von der Wirkung konnte ich mich selbst überzeugen, als ich einen entsprechenden Resonator der Firma Respa getestet habe: Im direkten Vergleich hatte ich mit Resonator das Gefühl eines leichteren Blattes,

welches dennoch mehr Halt besitzt und vor allem einen ausgeglicheneren, stärkeren und freieren Ton zulässt.

Dipl. Ing. Emil Weiss hat ein weiteres Verfahren zur "Entdämpfung" des Materials gefunden. Durch gezielte Beschallung soll sich das Material an bestimmte Schwingungsmuster "gewöhnen". Nach Aussage von Herrn Weiss verhält sich dieses Phänomen analog zum Vorgang des Einspielens eines neuen Instrumentes, nur mit einer wesentlich höheren Effektivität. Letztlich passiert hierbei dasselbe wie bei der zuvor erwähnten Materialverdickung und -verdünnung: es wird durch mikroskopische Veränderungen in der Materialstruktur die Bildung bestimmter Knotenlinien im Material vereinfacht, die den gesamten Spielraum des Instrumentes aufwerten (vgl. Weiss 2004). Mehr Information kann ich zu dieser Methode leider nicht bieten. Ich selbst habe jedenfalls keine Erfahrungen damit gemacht. Erfahrungsberichte und Zeitungstexte zur Anwendung dieser Methode bei anderen Instrumenten lassen sich jedoch auf der Homepage des IFA (Institut für angewandte Akustik) unter [www.klangoptimierung.de](http://www.klangoptimierung.de) in der Rubrik Referenzen finden.

Bei einer Klarinette ist eine einheitliche Korpusschwingung dennoch schwer zu erreichen, da diese aus mehreren Teilen besteht. Das Oberteil besitzt beispielsweise theoretisch auch nach allen möglichen Veränderungen eine Eigenschwingung, die unter Umständen der Schwingung des Unterteils Energie entzieht und umgekehrt. Rein theoretisch wäre eine Klarinette aus einem Holzstück gedreht also klangtechnisch gesehen von Vorteil. Ebenso kann es deutliche Klangeinbußen mit sich bringen, wenn die Zapfen im Verbindungsstück zu viel Spiel haben (vgl. Schöttle 2004). Generell sollte man beachten, dass Risse im Holz die Korpusschwingung eventuell ebenfalls blockieren, vor allem wenn sie nach der heutzutage häufig angewandten Methode, die den Einsatz eines quer liegenden Holzstückes vorsieht, das als „Klammer“ fungiert, repariert werden (vgl. Schöttle 2004).

### **Einfluss der Korke:**

Wie erwähnt sollen verschiedene Korke verschiedene klangliche Auswirkungen haben. Ein jeder Kork besitzt in der Eigenschwingung ein eigenes Klangspektrum und wirkt deshalb unterschiedlich auf die Luftsäulenschwingung. Dieser Unterschied bezieht sich auf alle dem Klarinetten wichtigen Bereiche wie Ansprache, Klang, Ausgeglichenheit, Widerstand, Spielgefühl und dadurch nicht zuletzt sogar auf die Intonation. Nach eigener Erfahrung sind diese Effekte weitaus größer, als man normalerweise erwarten würde, sie überraschen geradezu. Je nach Klangspektrum des Korke werden manche Frequenzen stärker bedämpft als andere, manche werden sogar begünstigt. Dadurch haben manche Korke auf verschiedene Töne unterschiedliche Auswirkungen, wobei der Einfluss auf jene Töne am größten ist, bei denen der Kork in der Nähe des Luftaustritts ist; der Kork beeinflusst also die darum herumliegenden Töne im Normalfall am meisten. So kann also ein knalliger

1Ton durch die Auswahl bestimmter Korken entsprechend gezielt bedämpft werden (vgl. Schöttle 2004).

Im Folgenden erläutere ich eigene Erfahrungen hierzu:

Ich habe vor kurzem den Kork an der gis' Klappe gewechselt. Hierzu habe ich verschiedene Korken wie beschrieben getestet. Nach einiger Zeit hatte ich 2 Korken ausgewählt, zwischen denen ich mich noch entscheiden musste. Mit dem einen hatte ich zwar einen lauten, recht großen, freien Gesamtklang und ein schnelleres leichteres Staccato. Mit dem anderen dafür einen kontrollierbareren und etwas weicheren Klang. Die Entscheidung fiel letztlich durch die größere Ausgewogenheit des zweiten. Mit dem ersten hatte ich leider ein dumpfes a' und b', während mein c' herausplatzte, außerdem wirkten die langen Töne seltsam blockiert. Mit dem zweiten Kork traten diese Effekte bei weitem nicht so stark auf. Insgesamt ist mir aufgefallen, dass Naturkork mit einer relativ unregelmäßigen Oberflächenstruktur (mit vielen Poren und eventuell sogar einigen Löchern) die beste Ansprache und den freiesten und wärmsten Klang ergeben. Von den bei Saxophonen gern verwendeten Kunstkorken würde ich eher abraten, da diese der Klarinette einen leicht metallenen Klang verleihen können.

Inzwischen liegen in einigen bekannten resonanztheoretischen Bereichen, wie z.B. auch bei der Verwendung verschiedener Polster, eine Vielzahl an Erfahrungsberichten dieser Art vor. Eine Auswertung dieser Daten würde vielleicht zu einer Klärung des Mysteriums um die komplex zusammenspielenden Wechselbeziehungen in diesem Bereich beitragen, wäre allerdings ein Arbeitsaufwand, der eine eigene Diplomarbeit rechtfertigen würde. Aus diesem Grund muss ich an dieser Stelle leider darauf verzichten.

### **Beeinflussung durch die Mechanik:**

Man sollte die Eigenschwingung der nur in partieller Koppelung zum Korpus stehenden Mechanik möglichst weit reduzieren, da sie zu einer hohen Dämpfung und zu einem Energieverlust führt. Außerdem wirken durch sie unharmonische Klangkomponenten in den Ton mit ein. Der Effekt ist umso größer, je loser die Verbindung zum Korpus ist. So können Metallringe, welche nicht sehr fest sitzen oder lockere Säulchen das Spielen auf der Klarinette sehr erschweren. Im Extremfall kann man ein Surren hören, welches z.B. entsteht, wenn das Klappenröhrchen gegen die fest verankerten Säulchen schlägt. Besonders wenn Metall auf Metall schlägt ist der Energieverlust zu beobachten. Einerseits hilft hier das Ölen der Mechanik, die die energievernichtende Schwingung der Mechanik abdämpft; besonders Blattspangen mit Metallschraube profitieren von ein paar gelegentlich aufgetragenen Tropfen Öl. Andererseits ist es von Vorteil, die komplette Mechanik auf Plastikbuchsen zu lagern, die einen Metall-Metall Kontakt natürlich verhindern. Ein weiterer Vorteil einer ausgebuchsten Mechanik ist, dass sich der Verschleiß praktisch nur auf die Buchsen bezieht, die bei

Bedarf einfach und billig erneuert werden können. Die eigentliche Mechanik bleibt damit in ihrem Urzustand erhalten (vgl. Schöttle 2004).

### **Der Einfluss der Polster:**

Die Bedeutung der Polster liegt selbstverständlich zuerst einmal in der Abdichtung aller Tonlöcher, welche mit den Spielfingern nicht erreicht werden können und deshalb durch die Zuhilfenahme von Klappen geschlossen werden. Nun ist dies einfacher gesagt als getan. Jeder Klarinettist kennt das Problem eines undichten und nicht deckenden Polsters: das Spielen wird erschwert, eventuell funktionieren weniger Blätter und unter Umständen wird die Klarinette sogar unspielbar. Für eine gute Resonanzleistung sollte eine Klarinette also so dicht wie nur irgend möglich sein.

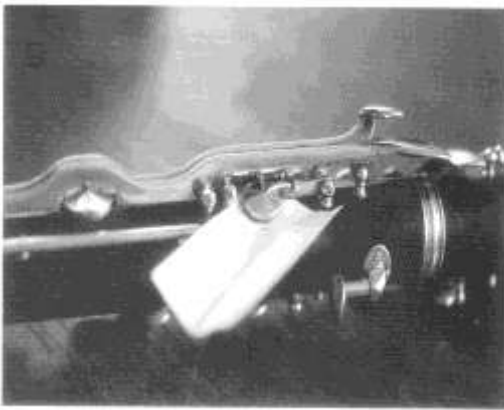
Von welchen Faktoren hängt die Dichtigkeit eines Polsters aber ab? Zum einen von dessen Härte und Materialbeschaffenheit. Vor allem sehr harte und feste Polster sind oft relativ luftundurchlässig und können rein theoretisch für ein sehr dichtes Instrument sorgen, sind in der Praxis aber schwerer zu handhaben, da sie eine geringe Anpassungsfähigkeit an den Zwirl (= Tonlochrand), auf dem das Polster aufliegt, besitzen. Kleine Unebenheiten im Zwirl können daher nicht ausgeglichen werden, was fatale Folgen haben kann, wenn z.B. ein Haar oder Ähnliches zwischen Polster und Zwirl gelangt. Deshalb ist der Zwirl selbst ebenfalls entscheidend. Er muss relativ gerade und gleichmäßig geschnitten und umso gleichmäßiger und spitzer sein, je härter das Polster ist. Weiterhin ist natürlich die Anbringung des Polsters im Klappendeckel sehr wichtig. Normalerweise sind Polster bereits vom Instrumentenmacher so angebracht, dass sie auch möglichst gut schließen. Weiche und vor allem feuchtigkeitsanfällige Polster können sich jedoch mit der Zeit stark verformen und somit undicht werden.

Eine weitere, nicht ganz so bekannte Auswirkung verschiedener Polster liegt in deren Resonanzverhalten begründet: "Auch die Polster [...] nehmen Schwingungsenergie (vor allem in den energiereichen hohen Frequenzen) aus dem Instrumentenkörper auf, sobald sie mit diesem in Berührung kommen. [...] Ein Lederpolster, das gerade Wasser gezogen hat, kann - nicht nur durch einen veränderten Aufgang - sondern schon alleine durch seine "Matschigkeit" verheerende Folgen für den Bläser haben" (Schöttle 1999, 166). Dieses Resonanzverhalten wirkt sich ähnlich wie bei den Korken auf die Ausgeglichenheit, auf die Dämpfung und auf den Klang des Instrumentes aus. Man könnte durch die Verwendung ausgesuchter Polster also ebenso wie mit den Korken sein Instrument den eigenen Wünschen entsprechend aussteuern. Was sich in der Theorie jedoch schön und einfach anhört, erweist sich in der Praxis als außerordentlich schwierig. Nicht nur, dass sich jeder Polstertypus anders verhält, nein, auch verschiedene Polster aus gleichem Material weisen mehr oder weniger deutliche Unterschiede auf. Außerdem darf man Faktoren wie Deckungsfähigkeit und Haltbarkeit nicht außer Acht lassen. Berücksichtigt man nun noch die unterschiedlichen



Klangvorstellungen, so ist es völlig unmöglich, einen bestimmten Polstertypus als das einzig Wahre zu bezeichnen. Aus diesem Grund verzichte ich weitgehend auf die zwangsweise subjektive Darstellung der Vor- und Nachteile verschiedener Polster. Im Folgenden will ich nur einen Test beschreiben, der es dem Klarinettenisten ermöglicht, selbst einzelne Polster auf deren Klang- und Resonanzeigenschaften zu testen:

Man klemmt, wie in der Abbildung dargestellt, ein möglichst knitterfreies Zigarettenpapierblättchen<sup>30</sup> so zwischen Polster und Tonloch, dass der Mittelknick zum Instrument hinzeigt, da die äußere Seite des Papierchen ein eindeutig besseres Klangergebnis zur Folge haben soll. Dabei muss beachtet werden, dass der Knick nach Möglichkeit nicht unter das Polster zu liegen kommt, dass das Blättchen während des Tests nicht feucht wird und dass das Polster auch ohne Blättchen möglichst dicht deckt<sup>31</sup>.



Der „Zigarettenpapier-Test“

(Abb.8 aus Schöttle 1999, 166)

Selbstverständlich können nur Töne getestet werden, bei denen das entsprechende Tonloch geschlossen ist. Man kann nun Ansprache und Klang einmal mit Papierchen und einmal ohne testen. In der Vergangenheit hat sich gezeigt, dass das Papierchen Ansprache und Klang der Töne rund um das betreffende Tonloch in vielen Fällen verbessert, indem es "aufgrund seines physikalischen Strukturaufbaus [...] als Phasengrenze [wirkt]. Die aus dem Holz dringenden Schwingungen werden zum Großteil reflektiert, anstatt absorbiert zu werden" (Schöttle 1999, 168).

Zugegebenermaßen sind die zu erwartende Unterschiede relativ gering, und es bedarf einiges an Erfahrung und Feingespür, um diese auf Anhieb zu bemerken. Es besteht natürlich durchaus auch die Möglichkeit eines dem Blättchen entsprechenden oder sogar eines besseren Polsters. Ein Zigarettenpapier bietet durch ein normalerweise konstant gutes Ergebnis einen idealen Vergleichsmaßstab für die eigenen Polster. Fällt ein Polster in der Bewertung sehr von der Bewertung des Zigarettenpapiers ab, so sollte

---

<sup>30</sup>Mit Blättchen der Firma Efka sollten hierbei sehr gleichbleibend gute Resultate erzielt werden (vgl. Schöttle 1999, 166)

<sup>31</sup> Siehe Abb.8.

dieses getauscht werden. Dieser "Zigarettenpapier-Test" lässt sich in gleicher Art auch auf Korken anwenden.

Die Auswertung eines Vergleichstests verschiedenartiger Polster, der, wie ich betonen muss, immer nur eine einzelne, subjektive Sichtweise widerspiegeln kann, könnte folgendermaßen aussehen:

Polstertypus	Resonanzbewertung
Lederpolster, 2,4 mm dünn, neu, unbehandelt, im besten Zustand	10-11
Lederpolster, 2,8-3,0 mm dick, neu und unbehandelt, im besten Zustand	6-8
Lederpolster, naß und gequollen	2-5
Älteres Lederpolster, aber mit Silikonspray behandelt	kurzzeitig 8-12
Lederpolster uralt und steinhart	7-12
Fischhautpolster, fest bespannt	9-10
Fischhautpolster, abgelöste Membran	2-5, je nachdem
Moosgummipolster schwarz	4-6
Silikonschaumstoffpolster	4-12, je nach Alter und Beanspruchung
Quarzipolster weiß	9-12, je nach Härte des Typs
Quarzipolster rot	9
Korkpolster	4-10, je nach Qualität
Elka-Zigarettenpapier, gute Seite	10
dito, weniger gute Seite	7

(Abb.9 aus Schöttle 1999, 167)

Herr Schöttle hat hier eine Resonanzbewertung verschiedenartiger Polster angenommen, wobei er der besseren Zigarettenpapierseite den Referenzwert 10 (umso höher, umso besser) gegeben hat. Alle anderen Bewertungen wurden im Vergleich hierzu getroffen.

Um ein eindeutiges Ergebnis zu erhalten empfiehlt es sich, folgende, von Herrn Schöttle aufgestellten Hinweise zu beachten :

- Der Test fällt deutlicher aus, wenn man schweres, rauschiges oder zähes Rohrmaterial zum Anblasen verwendet.
- Echte Gabeltöne reagieren auf schlechte Polster wesentlich drastischer als chromatische.
- Bei besonders knalligen oder schepprigen Tönen kann es sein, dass die Unterscheidung schwer fällt.
- Wenn man mit möglichst großem Atem fff bläst, so gelangt unter Umständen das eine Mal mehr Luft in das Instrument.

-Wenn man Töne ins Nichts verklingen lässt, werden Töne mit schlechter Resonanz früher abbrechen.

-Gut resonierende Töne lassen sich auch an einem leichteren Staccato erkennen.

-Um den Effekt zu erhöhen, kann man diesen Test an mehreren Polstern gleichzeitig durchführen. Der Unterschied wird unter Umständen besonders deutlich, wenn man auf einen Schlag alle Papierchen entfernt.

-Polster lassen die resonanzbeeinflussenden Effekte umso deutlicher erkennen, je höher sie am Instrument liegen.

-In der Regel sind die Auswirkungen eines einzelnen Polsters unüberschaubar. "So kann z.B. die Verbesserung der Resonanz der Hoch-e"-Mechanik [...] dazu führen, dass die Untertöne bei a" und c" zurückgehen. Dies ist erstaunlich, aber es verhält sich oft genau so" (Schöttle 1999, 166). Jedoch wird sich meist zunächst jener Ton spürbar verändern, der dem getesteten Polster am nächsten ist.

(vgl. Schöttle 1999, 166f.)

## **Schluss**

Ich hoffe, meine Diplomarbeit kann dazu beitragen, den Blick des Lesers für resonanztechnische Wechselbeziehungen und vor allem für deren Bedeutung zu schärfen. Im Grunde sind resonanztechnische Phänomene nicht wirklich kompliziert, sie können meiner Meinung nach von jedermann auch ohne tiefgreifende physikalische Kenntnisse verstanden werden. Die Schwierigkeiten bei der Aufstellung einer eindeutigen Resonanztheorie, vor allem bei der Beschreibung der Folgen, entstehen erst durch eine ungeheure Komplexität, die mir selbst erst im Laufe meiner Diplomarbeit wirklich bewusst geworden ist. Ich konnte letztlich nur einige wenige, aber wichtige Grundprinzipien und Einblicke in die Denkweise eines Resonanztheoretikers liefern. Sind diese Grundprinzipien aber erst einmal verinnerlicht, so kann sich ein jeder selbständig auf die Suche nach neuen Phänomenen und Ideen hinsichtlich der Verbesserung seines Instrumentes machen und seine eigenen Wahrheiten finden. Dabei wird er zwangsläufig einige, sich widersprechende Theorien kennen lernen. Schließlich bleibt dem interessierten Klarinettenisten also nur, sich alle Theorien anzuhören und sich dann durch eigenes Ausprobieren und Testen seine eigenen Meinungen zu bilden.

Wünschenswert hierbei wäre sicherlich eine groß angelegte Studie, in der Instrumentenbauer und Musiker gemeinsam forschen und ihre gesamten diesbezüglichen Erfahrungen offen legen würden. Gerade in Deutschland stößt man hierbei allerdings vor allem von Seiten mancher Instrumentenbauer auf Widerstand. Hier sind zwar, wie ich inzwischen festgestellt habe, die zwei im Kapitel „Die verschiedenen Meinungen“ vorgestellten extremen Sichtweisen in der Realität nur recht selten in Reinform vertreten, man sollte also meinen, die deutsche Klarinettenwelt wäre für eine offene Diskussion

aufgeschlossen. Leider gibt es vielmehr aber wohl so manchen Instrumentenbauer, der einerseits eigene Erfahrungen aus einem Konkurrenzgedanken heraus nicht öffentlich darstellen möchte und der andererseits in einer Tradition verharrt und deshalb Neuerungen zuerst einmal ablehnt, weil er auch ohne das Wissen um resonanztechnische Phänomene oder sonstige physikalische Erkenntnisse seit vielen Jahren sehr gute Instrumente in der gleichen Bauweise bauen kann (vgl. Krüger 1993, 64). Die Bauweise wird hier natürlich meist von den alten Lehrmeistern übernommen. Auch wenn eine solche Einstellung aus der Sicht des Instrumentenbauers ja vielleicht sogar verständlich sein mag, denke ich, dass diese Einstellung zu einer für die Deutsche Klarinette auf Dauer nicht zu tragenden Stagnation im Instrumentenbau führt. In anderen Ländern, so z.B. in den USA, wurde der Vorteil einer intensiven Zusammenarbeit, bei der man nach Verbesserungen sucht, bereits erkannt. Wenn wir also nicht wollen, dass das Boehm-System in ferner Zukunft das Deutsche-System auch in Deutschland selbst verdrängt, so müssen wir unter anderem dafür sorgen, dass das Deutsche System allein durch die Qualität der Instrumente überzeugen kann oder zumindest konkurrenzfähig bleibt.

Mir ist allerdings auch ein individueller, den einzelnen Musiker betreffender Gedanke wichtig: Mängel an einem bestimmten Instrument haben in sehr vielen Fällen resonanztechnische Gründe und das Wissen um bzw. das Gespür für die Ursachen verhilft dem Musiker erstens zu einem anderen Umgang mit dem Instrument und zweitens zu dem Wissen um die Möglichkeit der Beseitigung dieser Mängel. Dies kann auch dem erfahrenen Profi hilfreich sein. Auch wenn er, wie ich schon in der Einleitung bemerkte, auf beinahe jeder Klarinette seine Vorstellungen umsetzen kann, so wird ein besseres Instrument auch bei ihm zu einem freieren und leichteren Spiel führen. Auch wenn sich das Ergebnis nicht bahnbrechend ändert, so ändert sich doch der Weg zu ihm. Meiner Ansicht nach wäre es für jeden Klarinettisten eine immense Erleichterung, wenn seine Konzentration vollkommen in die Musik fließen kann und sich nicht mit instrumentenbedingten Problemen beschäftigen muss. Die Resonanztechnik hilft dem Musiker diesem Ziel nahe zu kommen.

Aber auch für jeden Klarinettenlehrer kann die Resonanztechnik vorteilhaft sein. Erfahrungsgemäß kann ein schlechtes Instrument die Entwicklung eines Schülers in einigen Fällen doch sehr deutlich bremsen. Um ein Beispiel zu nennen kann ich hier anfügen, dass ein schlecht stimmendes Instrument in der Anfangsphase des Klarinettenspiels zu einem „verdorbenen“ Gehör führen kann. Der Schüler gewöhnt sich an die schlechte Intonation. Natürlich kann der Profi diese ausgleichen, aber eben noch nicht der Anfänger. Ähnlich verhält es sich bei Instrumenten mit tonlichen Problemen. Wenn der Lehrer also gravierende instrumententechnische Mängel des Schülerinstrumentes, auch resonanztechnisch begründete, erkennt, so sollte er diese durch Änderungen am Instrument beheben oder beheben lassen. Ist dies nicht mehr möglich, hilft natürlich nur ein neues Instrument.

Ich möchte mich noch ganz herzlich bei Herrn Martin Schöttle und Herrn Georg Ignatius für deren große Unterstützung, ohne die diese Arbeit nicht in dieser Form möglich gewesen wäre, bedanken. Ich profitierte sehr von ihrem Wissen und ihrer Erfahrung. Auch meinem Lehrer und Betreuer Herrn Günter Voit, welcher mir immer mit gutem Rat zur Seite stand und der sich immer die Zeit nahm, mich und meine Probleme anzuhören und ernst zu nehmen, möchte ich großen Dank aussprechen.

## **Literaturverzeichnis**

Borucki, Hans: Einführung in die Akustik. 2.Auflage. Mannheim, Wien, Zürich: Wissenschaftsverlag Bibliographisches Institut 1980.

Brockhaus: Der neue Brockhaus. Lexikon und Wörterbuch in fünf Bänden und einem Atlas. 4.Auflage. Wiesbaden: F.A. Brockhaus 1968.

Brymer, Jack: Die Klarinette. CH-6300 Zug: Edition Sven Erik Bergh Europabuch AG 1978 (= Yehudi Menuhins Musikführer, Band 3)

Joachim, Grehn/ Joachim, Krause (Hrsg.): Metzler Physik. 3.Auflage. Hannover: Schroedel Verlag 1998.

Krüger, Walther: Vom Nutzen akustischer Forschung für Instrumentenmacher und Bläser. Teil 1. In: 'rohrblatt Heft 2/1993. Schorndorf: Verlag Karl Hofmann 1993. S. 64-66.

Krüger, Walther: Zur Dimensionierung von Mundstück und Birne bei Klarinetten. Kann man ein schlecht stimmendes Instrument durch Mundstück- und Birnenbohrung verbessern? Neue Untersuchungen in Zwota. In: 'rohrblatt Heft 1/1997. Schorndorf: Verlag Karl Hofmann 1997, S.10-19.

Krüger, Walther/ Ziegenhals, Gunther: Der akustische Einfluß der Form von Klarinettenmundstücken. Bericht über ein Forschungsprojekt, gefördert unter AZ: 9410 D vom Bundesministerium für Wirtschaft. Zwota: Institut für Musikinstrumentenbau 1995.

Lottermoser, Werner: Orgeln, Kirchen und Akustik 1. Die akustischen Grundlagen der Orgel. Frankfurt am Main: Bochinsky 1983 (= Fachbuchreihe Das Musikinstrument, Band 16/1)

Michels, Ulrich: dtv-Atlas Musik. Band1 Systematischer Teil. 19. Auflage. München: Deutscher Taschenbuchverlag. Kassel, Basel, Tours, London: Bärenreiter-Verlag Karl Vötterle 2000.

Seggelke, Jochen: Mundstück-Blatt-Instrument. "Verzweiflungsvolle und mutlose Stunden" Wie treffe ich meine Auswahl?. In: 'rohrblatt Heft 3/1999. Schorndorf: Verlag Karl Hofmann 1999. S.127-131.

Schöttle, Martin: Das Ziel: Ein weittragender, klangstarker, voller und weicher Ton. Resonanzverbesserungen an Holzblasinstrumenten. In: 'rohrblatt Heft 2/2001. Schorndorf: Verlag Karl Hofmann 2001. S. 82-85.

Schöttle, Martin: Ertrunken im Öl- vom Tod des Tons. Tips für Holzbläser und Instrumentenbauer. In: 'rohrblatt Heft 4/1998. Schorndorf: Verlag Karl Hofmann 1998. S.164-167.

Schöttle, Martin: Resonanztechnologien im Holzblasinstrumentenbau. In: 'rohrblatt Heft 4/1999. Schorndorf: Verlag Karl Hofmann 1999. S.164-168.

### **Internetquellen**

Schade, Hartmut: Feintuning. Ein Luftfahrttechniker will das Fagott optimieren. Url: <http://www.nmz.de/nmz/2003/11/dossier-fagott.shtml> (Stand 10. Dezember 2003).

Schöttle, Martin: Im Labyrinth der Resonanzen. Url: [http://www.clarissono.de/CS\\_Archiv/Publikationen/06LabyrinthDerResonanz.pdf](http://www.clarissono.de/CS_Archiv/Publikationen/06LabyrinthDerResonanz.pdf) (Stand 15. September 2002).

Wolfe, Joe/ The university of New South Wales-Sydney-Australia: Introduction to clarinet acoustics. URL: <http://www.phys.unsw.edu.au/~jw/clarinetacoustics.html> (Stand 19. Januar 2004).

Wolfe, Joe/ The university of New South Wales-Sydney-Australia: Introduction to clarinet acoustics. URL: <http://www.phys.unsw.edu.au/~jw/musFAQ.html#windmaterials> (Stand 19. Januar 2004).

Wolfe, Joe/ The university of New South Wales-Sydney-Australia: Introduction to clarinet acoustics. URL: <http://www.phys.unsw.edu.au/~jw/pipes.html> (Stand 19. Januar 2004).

## **Anhang:**

### **Definitionen physikalischer Grundbegriffe :**

#### **Amplitude:**

Die maximale Auslenkung innerhalb einer Periode (Michels 2000, 15).

#### **Elongation:**

Die momentane Auslenkung der Teilchen aus der Ruhelage (Michels 2000, 15).

#### **Frequenz (f):**

Die Anzahl der Schwingungen pro Sekunde. In Hertz (Hz) (Michels 2000, 15).

#### **Interferenz:**

Überlagerung von Wellen. Sie verstärken sich bei gleicher Phase, wobei die resultierende Amplitude die Summe der Ausgangsamplituden ist. Sie löschen sich bei entgegengesetzter Phase aus (Michels 2000, 15).

#### **Klang:**

Die Summe von Sinustönen, die als Teil- oder Partialtöne zu einem Ganzen verschmelzen. Der „natürliche“ Ton ist physikalisch gesehen bereits ein Klang (Michels 2000, 17).

#### **Naturtonskala, -reihe:**

Die Töne entsprechend der harmonischen Partialtonreihe.

#### **Oberton:**

Siehe Teil-, Partialton. Nur beginnt hier die Zählung erst mit dem 2. Partialton aufwärts.

#### **Periode (= Schwingung):**

Der Bewegungsablauf zwischen zwei gleichen Schwingungszuständen  
(= Doppelschwingung, d.h. Hin- und Herweg zusammen) (Michels 2000, 15).

#### **Phase:**

Der momentane Schwingungszustand. Sie beschreibt, an welcher Stelle der Periode man sich augenblicklich befindet. Es gibt positive Phasen (in der Hinbewegung) und ein negative (in der Herbewegung). Phasengleich laufen Schwingungen deren positive und negative Phasen parallel

verlaufen, phasenverkehrt Schwingungen deren Phasen genau versetzt verlaufen (positiv u. negative Phase gleichzeitig und umgekehrt).

**Schall:**

Schall entsteht durch die periodisch wiederkehrende Hin- und Herbewegung von Teilchen (Luft, Wasser, feste Körper usw.) (Michels 2000, 15). Mechanische Schwingungen im Frequenzbereich zwischen ca. 16 Hz -ca. 20000 Hz können vom menschlichen Ohr als Schall wahrgenommen werden (Borucki 1980, 86).

**Teil-, Partialton:**

Alle Einzelfrequenzen eines Klangs. Der stärkste (meistens ist dies der tiefste) Partialton (Grundton) bestimmt die Frequenz des natürlichen Tones. Die anderen bilden je nach Art und Zusammensetzung die Klangfarbe oder den Klangcharakter. Die Nummerierung erfolgt, indem man den Grundton miteinschließt.

Dabei unterscheidet man in:

*harmonische oder reine Partialtöne:* d.h. ausdrückbar in ganzzahligen Proportionen wie 1:2:3 usw.

*unharmonische oder unreine Partialtöne:* d.h. ausdrückbar in Bruchproportionen wie 1:1,1:2,1 usw.

**Unterton:**

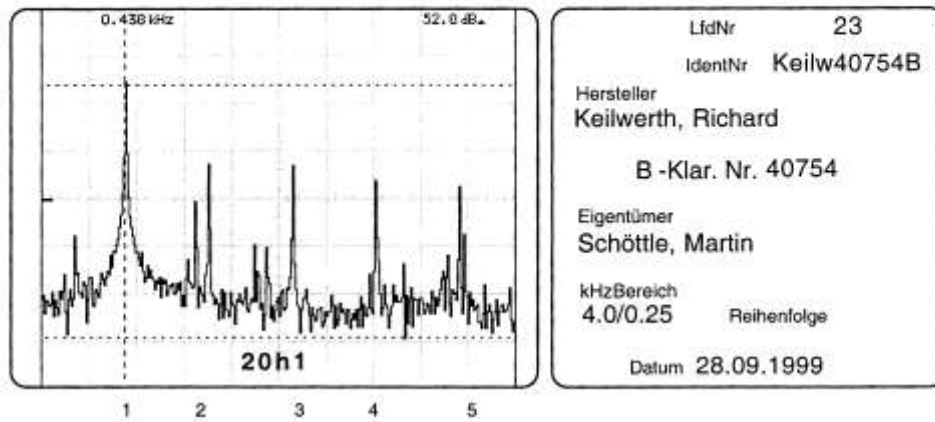
Wie Oberton, nur unterhalb des stärksten Partialtones (Grundtones). Bei der Klarinette theoretisch ab dem 1. Überblasregister (ab h<sup>1</sup>) möglich. Unterton hat meist in etwa die Frequenz des ohne Überblasklappe gespielten Tones.

**Wellenlänge (  $\lambda$ ):**

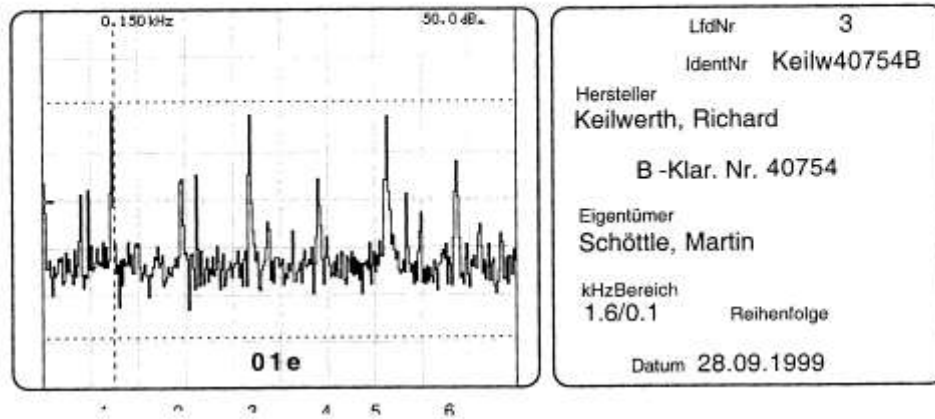
Die Länge einer kompletten Periode.



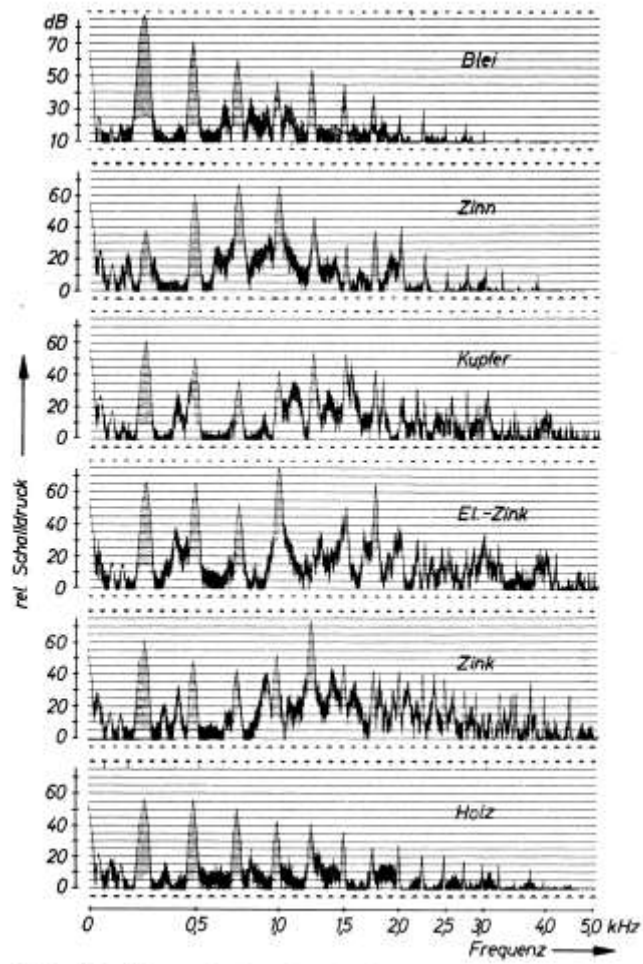
## Klangspektren FFT Clarissono



## Klangspektren FFT Clarissono



(Abb.3 aus Schöttle 2004)



VIII – 1/4 Körperschallanalysen bei tönenden Pfeifen, abgetastet in 8 cm Entfernung vom oberen Rohrende

(Abb.6 aus Lottermoser 1983,140)