

## **Resonanztechnologien im Holzblasinstrumentenbau**

Welcher Bläser will nicht gerne ein Instrument in Händen, das so richtig “losgeht”, d.h. frei und schnell in der Ansprache ist. Doch was man im einzelnen tun kann, ein Blasinstrument eben dahin zu bringen, daß es in allen Registern gleichermaßen gut “schwingt”, bleibt für viele ein Rätsel. Hier möchte ich etwas Licht ins Dunkel bringen und in den nachfolgenden Aufsätzen meine Erfahrungen mitteilen.

Bis zum heutigen Tag ist mir nicht bekannt, ob es zum Thema der Festkörper-Resonanzen im Holzblasinstrumentenbau vergleichbare Betrachtungen gibt. In manchen Artikeln oder gelegentlich auch in Fachbüchern finden sich allenfalls kurze Anmerkungen dazu. Ich denke, daß gerade diesem Bereich einer praxisbezogenen Instrumental-Akustik wesentlich mehr Bedeutung zukommt, als dies viele Kollegen wahrhaben wollen.

Die meisten empirischen Untersuchungen der Festkörper-Resonanzen stammen aus dem Orgelbau, dessen jahrhundertelange Tradition sich bis heute bewährt, obwohl die meisten Orgelbauer nicht physikalisch exakt erklären können, warum sie genau dieses Material zum Guß ihrer Pfeifen verwenden und andere Materialien meiden. Dennoch, wenn man die (zum Teil alte) Literatur zum Thema sichtet und zusammenträgt, findet sich die eine oder andere praktisch nachvollziehbare Beschreibung des Phänomens.

Ich möchte ausdrücklich erklären, daß ich meine hier wiedergegebenen Aussagen nicht für die einzige Wahrheit ansehe. Jeder macht seine eigenen Erfahrungen.

Meiner Ansicht nach ist es das beste, daß ein jeder am eigenen Instrument ausprobiert, ob das zutrifft, was ich hier erzähle. Natürlich freue ich mich auch über Anregungen, Erfahrungen und Kritik von Kollegen. Zu diesem Zweck gebe ich hier auch meine Anschrift wieder.

Claríssono, Martin Schöttle, Gartenstraße 10, 75387 Liebelsberg

### **Resonanztechnologien**

sind Verfahrensweisen im Instrumentenbau, die das Schwingungsverhalten des Instrumentes an sich, die Fähigkeit zum Mitschwingen (“resonieren”) seines festen Körpers und aller seiner Teile in die akustischen Betrachtungen miteinbeziehen.

Hierzu gehören im weitesten Sinne

- der (meist) hölzerne Korpus eines Instrumentes,
- die mit ihm fest verbundenen mechanischen Teile (Säulchen, Einsätze, Hülsen, Ringe etc.)
- sowie die lose daran gekoppelten Teile (Mechanik, Röhrchen, Hebel, Führungen, Polster usw.).

Die Bandbreite der gewollten oder ungewollten Beeinflussung bzw.

Beeinträchtigung des Klangbildes eines Holzblasinstrumentes ist immens. Doch soll hier ein Anfang gemacht werden.

Zu Beginn berichte ich über Testmöglichkeiten für das Resonanzverhalten der

Polster an Ihrem Instrument. Diese Tips sind in erster Linie für die “Anwender” gedacht, d.h. für die Musiker, die Oboisten, die Klarinettenisten usw.

Später folgen dann u.U. Abhandlungen, die möglicherweise für den Instrumentbauer von größerem Interesse sind wie

-Einfluss fester Bauteile (wie z.B.von Säulchen) und des verwendeten Materials auf den Klang eines Instrumentes,

-Bedeutung der mechanischen beweglichen Teile für das Ansprechverhalten einzelner Register und Bereiche, Bedeutung der Lagertechnik,

- Tonwölfe,

- Strömungsverhalten in der Hauptbohrung und in den Kaminen.

## 1. Teil

### Der Kniff mit dem Zigarettenpapier

Das umfangreiche Thema der Resonanztechnologie beginnt - wie vieles in der Welt - profan: Mit einem Heftchen Zigarettenpapier. Um das näher zu erklären, möchte ich erzählen, wie es zu meiner ersten Klarinettenstunde kam...

Der Musiklehrer hatte an der Schule ein kleines Orchester aufgebaut. Es fehlten offensichtlich noch Klarinetten. Er fragte mich, “Willst Du Klarinette lernen?”. Damals war ich erst vierzehn Jahre alt und wußte noch nicht, wie man “nein” sagt. Also sagte ich “ja”. Weder wußte ich, was eine Klarinette ist, wie sie aussieht oder klingt, noch glaubte ich so recht daran, daß das dafür notwendige Instrument so leicht aufzutreiben sei. Drei Wochen später war das Instrument da, und ein Klarinettenlehrer war auch schon ausfindig gemacht: Hartmut Stute, damals Soloklarinettenist am Württembergischen Staatstheater.

Ich ging zu einem ersten Treffen. Im Künstlereingang des Theaters saß ich auf einer Bank und harrete der Dinge, die da kommen sollten. Herr Stute begrüßte mich: ” So, Du willst also Klarinette lernen? Ich sage Dir gleich, es ist nicht leicht; und es sind nicht viele, die es bei mir lange ausgehalten haben....” (Anmerkung: Ich war sechs Jahre sein Schüler.)

Zum allerersten Unterricht kam ich dann prompt zwei Minuten zu spät und bekam eine erste Rüge, dabei hatte ich mich nur in der Unterwelt des Staatstheaters verlaufen. Hartmut Stute zerlegte in dieser Stunde (die den halben Nachmittag dauerte) meine Klarinette, und ich durfte sie wieder zusammensetzen. (Ich glaube, daß mich das nachhaltig geprägt hat, was meine heutige Arbeit betrifft). In ein Aufgabenheft sollte ich hineinschreiben, was ein Klarinettenist an Utensilien unbedingt und immer bei sich haben muß (außer der Klarinette natürlich):

- Zwei Schraubenzieher mit unterschiedlichen Klingen

- eine Dose Hirschtalg

- ein Döschen Talkum (um klebende Polster zu lösen)

und ein **Heftchen Zigarettenpapier**.

Letzteres war dazu gedacht, das ständig unter den Klappen hervorsprudelnde Kondenswasser aufzusaugen. Zu diesem Zwecke benutzen es wohl unzählige Holzbläser. Oboisten verbrauchen es en Gros.

Jahrelang kannte ich nur diesen einzigen Nutzen des hauchdünnen Papierchens. Bis ich eines Tages meinen Freund und Kollegen Günther Weigel beobachtete, wie er ein halbes Dutzend Zigarettenpapierchen unter diverse Klappen seiner Klarinette zu klemmen versuchte, um dann darauf zu spielen. Es sah aberwitzig aus, überall lugten unter den Polstern Papierfetzen hervor. Und immer wieder fielen diese Stückchen zu Boden, wenn er versehentlich an eine der geschlossenen Klappen stieß. Natürlich fragte ich ihn, was er da treibt. Wer den Günther kennt, der weiß, daß er so manches macht, was andere nicht machen. In diesem Fall hatte er herausgefunden, daß ein Stückchen Zigarettenpapier der Marke Efka, zwischen Polster und Korpus geklemmt, die Ansprache der Töne rund um das betreffende Tonloch in manchen Fällen merklich verbesserte. Wie dies sein kann, will ich erklären. Doch vorerst möchte ich (am Beispiel der Klarinette) auf eines der umstrittenen Themen unter Akustikern / Instrumentenbauern eingehen, nämlich auf den *Einfluß der Festkörperschwingung auf das akustische Gesamtergebnis*.

## **Zwei Extreme**

Es gibt durchaus Instrumentenbauer, die behaupten, *“Material und Wandungsstärke des Instrumentenkörpus sind akustisch (d.h. für die Klangfarbe und Ansprache eines Holzblasinstrumentes) von zu vernachlässigender Bedeutung”*,

Einige wenige halten dem entgegen:

*“Nicht nur die Holzart und - Qualität eines Holzblasinstrumentenkörpus ist für den Klang und die Ansprache von entscheidender Bedeutung, sondern auch die Wandungsstärke (Masse) und die Materialzusammensetzung der Mechanik.”*

Nun, ich will mich in diese Kontroverse einmischen. Ich behaupte einfach, daß es kaum ein konstruktives Detail am Instrument und rund drum herum gibt, welches nicht einen Einfluß auf den Klang hätte:

- Das Blatt (Rohr),
- das Mundstück und das Material aus dem es gemacht ist,
- die Blattspange (bzw. Hülse, selbst der Rohrwinkel ist von Bedeutung),
- der Korpus mit Birne, Ober- und Unterstück, sowie Becher,
- die Ringe (auch alle Rißringe oder Zapfenringe),
- die Säulchen (auch die Beschaffenheit ihres galvanischen Überzugs), darunter auch die Verbindungsriegel zwischen Flügel und Bassstange des Fagotts,
- die Mechanik (Stangen, Röhrchen, Drücker etc.),
- der Daumenhalter,
- ja zuletzt die Finger des Spielers selbst !

Nicht berücksichtigt in dieser Aufstellung ist der Raum und seine akustischen

Eigenschaften, die ebenfalls auf das Instrument (und das Blatt/Rohr) zurückwirken.

Daß diese Wirkungen graduell und im Charakter sehr komplex zusammenspielen, macht das Instrumentenbauhandwerk erst so richtig spannend. Hier erweist sich intuitive Begabung als unschätzbare Handwerkszeug. Genau darüber verfügt mein Freund Günther bis zu jenem Punkt, wo man nicht mehr sagen kann, ob er immer noch recht hat mit dem, was er da hört, oder ob er schon träumt.

Die Komplexität des Beobachteten läßt sich aber strukturieren und ordnen, sodaß am Ende doch viele konkrete Aussagen gemacht werden können, die dem Musiker oder Instrumentenbauer hilfreich sind auf seiner Suche nach einem immer besseren Instrument. "Komplex" ist nicht synonym mit "kompliziert". Manche verwechseln das. Im Gegenteil sind die Prinzipien des akustischen Zusammenwirkens recht einfach. Ganz am Anfang steht der Grundsatz der

## **Resonanz**

über dieses grundlegende Phänomen des Informationsaustausches, der Akustik und damit auch der Musik, wird in Fachbüchern einiges gesagt. Auch in manchen Schulen wird dieser Begriff im Physikunterricht immerhin kurz erklärt. Hier möchte ich nur auf die Unterschiede zwischen freier und erzwungener Resonanz eingehen.

Freie Resonanz spielt bei gleichgestimmten oder in reinen Obertonverhältnissen gestimmten elastischen Körpern die entscheidende Rolle.

Schwingungsübertragungen sind bei freier Resonanz auch vermittels weniger dichter Medien (Luft, Wasser) möglich, da geringste Energiemengen genügen, um die periodisch immer gleich wiederkehrende Schwingung des Schwingungserzeugers ("Generator") allmählich auf einen zweiten, Körper ("Resonator") zu übertragen.

Differieren die Eigenfrequenzen von Generator und Resonator auch nur um wenige Prozente, so bleibt die Resonanz aus. Der Generator kann den Resonator nicht zum Mitschwingen bringen.

Sind jedoch Generator und Resonator starr miteinander verbunden, so wird sich die Eigenschwingung des Generators auch auf den Resonator mit übertragen. In diesem Fall fließt ein gewisser Teil der Schwingungsenergie vom Generator auf den Resonator über. Wie sich dies im Falle der Mechanik von Holzblasinstrumenten auswirkt, wird zu einem späteren Zeitpunkt auseinandergesetzt. Hier nur so viel: Auch die Polster eines Holzblasinstrumentes nehmen Schwingungsenergie (vor allem in den energiereichen hohen Frequenzen) aus dem Instrumentenkörper auf, sobald sie mit diesem in Berührung kommen.

Dieser Einfluss der Polster auf die Ansprache und den Klang ist bekannt. Ein Lederpolster, das gerade Wasser gezogen hat, kann - nicht nur durch einen veränderten Aufbau - sondern schon alleine durch seine "Matschigkeit"

verheerende Folgen für den Bläser haben. (Genau vor dieser Gefahr soll ja das Zigarettenpapier - rechtzeitig angewendet - die Polster schützen.)

Andererseits gibt es auch Polster, die von Anfang an nicht so richtig zulassen, daß das Instrument "durchschwingt". Es gibt Lederpolster, Fischhautpolster, Silikonpolster, Kunststoffpolster, Schaumstoffpolster, Moosgummipolster etc.

Welche Möglichkeit hat nun der Bläser, die Qualität und ggf. auch den temporären Zustand seiner Polster zu ermitteln? Hier schafft unser vielzitiertes Zigarettenpapier Abhilfe.

### **Der Test**

Daß ich weiter oben bereits eine bestimmte Zigaretten-Papier-Marke genannt habe, hat einen trivialen Grund: Ich kenne inzwischen deren akustische Eigenschaften, wie sie sich an meiner Klarinette auswirken, bestens. Der Test funktioniert folgendermaßen:

- Man nimmt ein Blättchen und schaut darauf, daß es möglichst glatt bleibt. Verknittertes Zigarettenpapier tut's auch noch einigermaßen, aber eben nur einigermaßen. Man legt das Papierchen so zwischen Polster und Tonloch, daß der Mittelknick zum Instrument hinzeigt. Wenn Sie das Papierchen andersrum verwenden, werden Sie zu anderen Testergebnissen kommen. Die beschriebene (Außen-) Seite des Papierchens hat ein eindeutig besseres Klangergebnis zur Folge.

Natürlich können Sie nur die Töne anblasen, bei welchen die betreffende Klappe mit dem zu testenden Polster geschlossen bleibt. Manchmal erfordert dies eine gewisse Geschicklichkeit. Man achte auch darauf, daß nach Möglichkeit der Knick nicht unter das Polster zu liegen kommt. Ferner müssen Sie darauf achten, daß das Zigarettenpapier für diesen Test vollkommen trocken bleibt. Also lieber vorher mal gründlich durchwischen, die Tonlöcher ausblasen und (mit Zigarettenpapier) zuerst trocken legen!

Für viele Bläser hat sich herausgestellt, daß sie zunächst kaum einen Unterschied bemerken. Das ist normal, handelt es sich doch um feine Klang- und Anspracheunterschiede, für die man erst ein Ohr finden muss. Außerdem soll es durchaus vorkommen, daß das eine oder andere Polster ein gleich gutes oder gar besseres klangliches Ergebnis liefert als das Papierchen. In diesem Fall: "Herzlichen Glückwunsch zu diesem Polster!" (Denn das kommt nicht gar so oft vor!)

Auffällig spürbar jedoch wird der Unterschied mit Papier und ohne Papier, sobald Sie das Blättchen wieder entfernen. Wenn Sie nur wenige Augenblicke mit Papier geblasen haben und die davon betroffenen Töne tatsächlich besser "schwingen", dann gewöhnt sich Ihr Körper derart schnell an den damit verbundenen *geringeren bläserischen Aufwand*, daß er nach dem Entfernen des Papiers sofort und oft mit Missfallen auf die verschlechterte Ansprache reagiert.

## Detaillierte Hinweise

- Das Polster muß unbedingt in beiden zu vergleichenden Situationen, mit und ohne Papier, dicht schließen, ansonsten erhalten Sie keine reproduzierbaren Ergebnisse.
- Der Test fällt deutlicher aus, wenn Sie schweres, rauschiges oder zähes Rohr-Material zum Anblasen verwenden.
- Echte Gabeltöne reagieren auf schlechte Polster wesentlich drastischer als “chromatische” Töne. Ein Beispiel bei der Klarinette: Das d’ ist ein Gabelton, da die direkt unterhalb angebrachte cis’-Klappe beim Blasen des d’s geschlossen bleibt. Das nächstfolgende offene Tonloch ist erst jenes, aus welchem normalerweise das c’ erklingt. Immer, wenn die Tonlochfolge am Instrument “offen-geschlossen-offen” ist, sprechen wir von einem Gabelton. Gabeltöne haben von Natur aus eine größere Dämpfung und verstärken daher die Effekte beim Test.
- Bei besonders knalligen bzw. “schepprigen” Tönen kann es sein, daß die Unterscheidung schwer fällt.
- Wenn Sie mit möglichst großem Atem fff blasen, werden Sie unter Umständen Unterschiede darin erkennen, daß das eine Mal mehr Luft in das Instrument gelangt als im anderen Fall.
- Wenn Sie Töne “ins Nichts” verklingen lassen, werden solche mit schlechter Resonanz früher abbrechen.
- Gut resonierende Töne lassen sich auch an einem leichteren und schnelleren staccato erkennen.
- Selbstverständlich können Sie (wie mein Freund Günther) auch mehrere Klappen gleichzeitig mit Papier unterlegen. Wenn Sie dann alle auf einmal weg nehmen, wird der eventuell vorhandene Unterschied deutlicher zu spüren sein.
- Klappen (Polster) lassen die resonanzbeeinflussenden Effekte um so deutlicher erkennen, je höher sie am Instrument liegen. Die exakten Zusammenhänge, welcher Ton auf welche Veränderung bei welchem Polster wie reagiert, erscheinen zunächst vollkommen unüberschaubar zu sein. So kann z.B. die Verbesserung der Resonanz der sogenannten Hoch-e’’-Mechanik bei der Oehler-Klarinette dazu führen, daß die Untertöne bei a’’ und c’’ zurückgehen. Das ist erstaunlich, aber es verhält sich oft genau so!
- In der Regel wird sich immer zunächst jener Ton spürbar verändern, der dem getesteten Polster am nächsten liegt.
- Die wichtigsten Polster, welche Ansprache und Klang am meisten beeinflussen, sind jene in den überblasklappen, die Schluß- und Becherklappen, sowie jene um das untere Drittel der Klarinette und um die Mitte der Oboe herum.
- Nicht nur die Nässe kann ein Polster zerstören, sondern auch großer mechanischer Druck! Denken Sie daran, wenn Sie Ihr Instrument zusammenbauen.

## Versuch einer in-etwa-Klassifizierung

Ganz willkürlich habe ich jenem Resonanzeffekt, den das Efka-Zigarttenpapier mit seiner klangstarken Seite erlaubt, den Wert **Güte 10** gegeben. Sie können sich jedoch gerne ein eigenes Wertesystem zurechtlegen.

Sie finden nachstehend eine grobe Zusammenfassung meiner (recht subjektiven) Bewertung unterschiedlicher Polsterungen.

| <b>Polstertypus</b>  | <b>Resonanzbewertung</b>              |
|--|---------------------------------------|
| 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                |
| Efka-Zigarettenpapier, gute Seite                                      | 10                                    |
| dito, weniger gute Seite   | 7                                     |

### **Wie ist der “Zigarettenpapier-Effekt” zu erklären?**

Weiter oben war bereits die Rede von der “erzwungenen” Resonanz. Sind Generator und Resonator mechanisch miteinander verbunden, so kommt es zu einer Übertragung der Schwingung zwischen Generator und Resonator. Die Auswirkungen dieser erzwungenen Schwingungsübertragung hängen stark von der Art und Weise ab, wie die beiden Teile miteinander verbunden sind. Man spricht auch von der Art der “Koppelung”. Drei Grenzzustände können bei der Koppelung unterschieden werden (mit allen denkbaren Zwischenzuständen):

- 1) Vollkommene Koppelung, d.h. die beiden Körper sind so starr miteinander verbunden, daß dem Resonator nichts anderes übrigbleibt, als genau in der selben Frequenz zu schwingen wie der Generator, ungeachtet seiner Eigenfrequenz.
- 2) Partielle Koppelung, d.h. es fließt mechanische Schwingungsenergie vom Generator zum Resonator, die Verbindung zwischen den Teilen ist aber weniger fest, sodaß der Resonator die ihm eigene Frequenz beibehält, unabhängig von der Generatorfrequenz.

3) Entkoppelung, d.h. zwischen Generator und Resonator befindet sich ein schwingungsdämpfendes System (z.B. ein Polster). Nur im Falle freier Resonanz fließt ausreichend Schwingungsenergie vom Generator zum Resonator, um diesen zum Mitschwingen anzuregen. In jedem anderen Fall wird der Resonator passiv und ohne Schwingung (also stumm) bleiben.

Das folgende Foto zeigt diese drei Grenzzustände anhand eines konkreten Beispiels, der es'-Trillerklappe einer Klarinette für den zweiten Finger der rechten Hand:

(Foto) ist im Moment nicht verfügbar :-)

1) Das Säulchen, welches fest in den hölzernen Korpus der Klarinette eingeschraubt ist, zählt zu jenen Bauteilen, welches in vollkommener Koppelung mit der Klarinette verbunden ist, weshalb sich seine Materialzusammensetzung auch klanglich auswirkt.

2) Der Klappendrucker (unten), mit dessen Hilfe die Klappe geöffnet werden kann, verhält sich ähnlich wie eine Stimmgabel. Er hat einen Eigenton (mit sehr hoher Frequenz) und wird durch den Schwingungsfluss, welcher über die Säulchen, die Schraube und das Röhrchen einwirkt, zur Eigenschwingung angeregt. Diese kann die Hauptschwingung im Instrumentenkörper beeinflussen.

3) Der Klappendeckel und die angelötete Klappenspitze werden durch die isolierende Wirkung des Polsters von der Korpuschwingung größtenteils abgekoppelt. Allerdings kann durch die schwingungsdämpfenden Eigenschaften des Polsters ein Teil der Schwingungsenergie absorbiert (vernichtet) werden, was zu klanglichen Einbußen und Anspracheverzögerungen führen kann. Genau diese Auswirkungen des Polsters können wir mit dem Zigarttenpapier testen.

Aufgrund seines physikalischen Strukturaufbaus (das Zigarettenpapier hat eine vollkommen andere Dichte und Elastizität als das Korpusholz) wirkt es als Phasengrenze. Die aus dem Holz dringenden Schwingungen werden zum Großteil reflektiert, anstatt absorbiert zu werden. Kleine Ursache - große Wirkung !

### **Was können Sie mit dem Ergebnis anfangen?**

Diese Frage ist nicht ganz so leicht zu beantworten. Zunächst können Sie einfach mal probieren, und Sie werden bald mehr über Ihr Instrument wissen. Die Frage nach den "optimalen Polstern" ist damit noch lange nicht beantwortet. Aber jedenfalls können Sie feststellen,

- daß Sie Ihre Lederpolster z.B. vor Feuchtigkeit und Druck schützen müssen,
- daß Sie Ihre Fischhautpolster vor Druck und Riß bewahren müssen,
- daß Korkpolster ggf. nicht zu weit eingeschliffen werden dürfen (um die



Oberfläche, die mit dem Korpus in Kontakt kommt, so gering wie möglich zu halten),

-daß härtere Polster meist eine bessere Resonanz haben als weiche,

-daß manche bellenden Töne durch eine weiches Polster gezähmt werden können (wenngleich sich die Ansprache ringsherum verschlechtert!)

-daß Polster selten ewig halten usw.

Wie viele Instrumentenmacher diese Umstände bereits beim Neubau berücksichtigen, ist mir nur ansatzweise bekannt. Die genannten Effekte sind ja in manchen Fällen auch nur vom erfahrenen Bläser auszumachen. Und dann sollten Sie auch immer daran denken, daß selbst die besten Polster das üben nicht vollständig überflüssig machen können. Und noch was: Auch Ihre Finger müssen oft genug als "Polster" herhalten. Und an der Resonanz Ihrer Fingerkuppen können Sie nur geringfügig etwas ändern. Also muß der Rest der Polster auch zu Ihren Fingern passen. So bleibt Ihnen am Ende nichts anderes übrig, als auszuprobieren und zu testen, bis Sie zu einer für Sie gültigen Lösung gekommen sein werden. Immerhin dürften Sie mit den oben genannten Tips jetzt in der Lage sein, Vergleiche zu ziehen, und das ist doch immerhin schon etwas. Oder nicht?

Martin Schöttle, Artikel für die Zeitschrift "rohrblatt", März 1999