

Diese 4 Gegenstände stammen also alle aus dem Hochmittelalter und von Schuttabladeplätzen, was ihren gewöhnlichen Charakter von geringem Wert bestätigt. Die Flöte 23.221.6 weist jedoch Abnutzungsspuren und eine sehr schöne Politur auf. Sie beweist, daß solche Flöten auch

lange, ehe sie zum Ausschluß kamen, verwendet werden konnten. Wenn das der Fall ist, so entsprach ihr Klang dem Hören der Zeit. Diese letzteren Bemerkungen zwingen uns, oft zu erstarrte Vorstellungen von mittelalterlichen Musikinstrumenten zu revidieren.

Thomas Heptner

## Zur Akustik der Oboe

### Theoretische Erörterungen und experimentelle Ergebnisse

#### Theorie und Praxis

An den Anfang meiner Betrachtungen möchte ich einige Bemerkungen über den sprichwörtlich gewordenen „Unterschied zwischen Theorie und Praxis“ stellen.

Der Praktiker sammelt nach dem Prinzip „Versuch und Irrtum“ im Laufe großer Zeiträume mit erheblichem Aufwand Erfahrungen und lernt so, mit den Realitäten umzugehen. Wenn man den Biologen Glauben schenken darf, dann ist alles Lebendige nach diesem Prinzip entstanden; Historiker nehmen Gleiches für die Entwicklung menschlicher Gebote und Tabus an.

Der vielgeschmähte Theoretiker weiß genau so gut wie der Praktiker, daß die Wirklichkeit viel zu kompliziert ist, als daß man sie berechnen könnte, aber er geht einen anderen Weg: Er löst sich von der Realität; er schafft sich eine neue „Wirklichkeit“, eine Welt aus Bildern. In dieser seiner Welt z.B. strömen reibungsfreie Gase durch, gegen oder um geometrisch einfache Körper und finden isotherme, isobare und adiabatische, aber keine realen Prozesse statt.

Je gravierender die Idealisierung, desto weiter entfernt von der Realität sind die Ergebnisse theoretischer Überlegungen. Durch schrittweisen Abbau der zunächst sehr zahlreichen Vereinfachungen nähert sich der Theoretiker der Wirklichkeit. Wegen der Komplexität der realen Vorgänge kann er aber nicht auf alle Idealisierungen

verzichten, und so bleibt letztlich ein Abstand zwischen theoretischer Vorhersage und praktischer Erfahrung, der um so größer ist, je komplizierter das zu behandelnde Problem ist.

Bei einfachen Systemen können Theorie und Praxis so gut übereinstimmen, daß im Rahmen der Meßgenauigkeit Unterschiede nicht feststellbar sind. Hier wäre die Anwendung des Prinzips „Versuch und Irrtum“ nicht angebracht, der Verzicht auf die Theorie unvernünftig. Ist das System komplexer, so werden – wegen der beibehaltenen Idealisierungen – die Abweichungen von den theoretisch ermittelten Werten entsprechend groß sein. Oft ist man dann schon zufrieden, wenn die Größenordnung stimmt, das System ist wenigstens qualitativ durchschaubar geworden. Bei den kompliziertesten Systemen – dazu gehören Menschen und ihre Beziehungen zueinander – richten Theorien oft mehr Schaden an, als sie Nutzen stiften können.

Das von mir abzuhandelnde Thema: „Zur Akustik der Oboe“ gehört schon zu den komplizierteren Problemen. Hier liegt das Schwergewicht auf der Praxis, die Theorie kann nur dazu dienen, das System transparenter zu machen. Verbesserungen wird man wohl im wesentlichen nach einem modifizierten Verfahren „Versuch und Irrtum“ bewerkstelligen, bei dem die Theorie vielleicht die Richtung angeben könnte, in der man positive Ergebnisse erwarten darf.

## Die Oboe: Schallrohr und Mundstück

Die Oboe besteht aus zwei, nach Aufbau und Funktion, wesentlich verschiedenen Teilen, dem Mundstück und dem Resonanzrohr.

Das Resonanzrohr kann man – für das Verständnis der Akustik der Oboe genügt das – kurz so beschreiben: Es ist ein konisch gebohrtes Rohr aus sehr hartem Holz, mit Schallöchern an geeigneten Stellen und einer Mechanik, die es gestattet, diese Löcher hinreichend schnell und einfach zu öffnen oder zu schließen.

Sehr viel schwieriger ist die Erklärung des Mundstückes, aber auch hier gibt es einen relativ einfachen Zugang, wenn man nämlich nicht das Produkt, sondern seine Herstellung beschreibt:

Aus der schilfähnlichen Pflanze „Arundo donax“, dem Riesengras, gewinnt man das Rohmaterial für den Rohrbau. Dieses Gras, dessen Holz wir verwenden, wächst an der Mittelmeerküste Frankreichs. Aus einer Stange, sie ist mehrere Meter lang, kann man Holz für Saxophon-, Klarinetten-, Fagott-, Englischhorn- und (am obersten Ende) für die Oboenrohre herausschneiden. Der Stangendurchmesser für Oboenrohre beträgt 9,5 – 10,5 mm.

Hat man ein Stück aus der Stange herausgeschnitten (*Abb. 1a*) und mit einem Dreiteiler in drei gleiche Sektoren geteilt, wird das so gewonnene, noch sehr dicke Holz (ab jetzt wird das Holz bei jedem Arbeitsgang gewässert) mit der Innenhobelmaschine auf die für den Oboisten günstigste Holzstärke gebracht. Diese gehobelte Schiene (*b*) wird anschließend in der Mitte gefalzt, geknickt und mit Hilfe eines Fassonschneiders seitlich geformt (*c, d*).

Erst wenn diese Fassung mit Hilfe einer Zwinde aus Messingdraht auf einem heißen Dorn gezwungen wurde, dessen Form anzunehmen, nennt man das Werkstück Puppe (*e*). Die Puppe wird nun auf die Hülse, die an ihrem oberen Ende mit Kleber bestrichen ist, gesteckt und justiert. Die Hülse (*f*) ist ein Messingröhrchen, das an seinem oberen Ende dünner und oval, an seinem unteren dicker und kreisrund ist. Der untere Teil ist von Kork umgeben. Die Zwinde wird zugezogen und eine zweite angelegt, um das Holz zusätzlich zu formen (*g*). Nachdem der Kleber

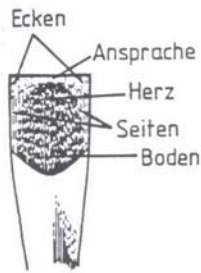


Abb. 1 Werdegang eines Oboenrohres

getrocknet ist, umwickelt der Oboist Holz und Hülse in der in *Abb. 1 b' - b'''* ersichtlichen Weise mit einem Baumwoll- oder Nylonfaden. Anschließend wird das Mundstück vorn geöffnet (*i*) und die „Bahn“ angelegt, d.h. der vordere Teil des Rohrblattes wird dünner geschabt bzw. gehobelt, wie *Abb. 2* es andeutet. *Abb. 1j* zeigt die Maße am Oboenrohr.

Damit ist für unsere Zwecke der Aufbau der Oboe hinreichend erklärt.

Abb. 2 benennt die einzelnen Teile der Bahn, der gehobelten oder geschabten Rohrblatts Spitze. In der Reihenfolge abnehmender Dicke: Boden, Herz, Seiten, Ansprache, Ecken.



Den Einfluß, den der Stangendurchmesser und die Dicke der Bahn auf den Oboenton haben, beschreibe ich später. Wenden wir uns nun der Frage zu: Wie entsteht der Ton der Oboe?

### Qualitative Beschreibung

Was geschieht, wenn der Spieler seine Zunge zurückzieht und die Öffnung des Doppelrohrblattes freiläßt?

Betrachten wir den Teil des Doppelrohrblattes, den der Spieler im Mund hat. Die Luft strömt aus einem „Rohr“ mit großer lichter Weite (Mundraum) in ein sehr enges Mundstück, dessen Öffnungsquerschnitt kleiner als  $3 \text{ mm}^2$  ist. Die Geschwindigkeit im Mundstück ist daher sehr viel größer als im Mundraum und damit ist der statische Druck im Mundstück – nach Bernoulli – wesentlich kleiner als im Mundraum. Das Doppelrohrblatt wird zusammengedrückt, und die Rohrblätter bewegen sich aufeinander zu. Mit kleiner werdender Öffnung wird aber – wegen der großen Reibungskraft im engen Rohreingang – die Geschwindigkeit der aus dem Mundraum in das Mundstück einströmenden Luft geringer, die Bernoullikraft kleiner, die elastische Rückstellkraft des Holzes aber nimmt mit der Auslenkung der Rohrblätter zu. Irgendwann – es handelt sich immer noch um die Bewegung zur Verengung des Rohrblatteinganges – wird die Rückstellkraft größer sein als die Druckkraft und aus der Beschleunigung der Rohrblätter wird eine Verzögerung, die zur Verminderung der Geschwindigkeit der Rohrblätter führt. Der eine Teil ihrer kinetischen Energie wird durch Reibung „vernichtet“, der andere als Spannungsenergie in dem elastisch deformierten Holz gespeichert. Schließlich wird

ein Umkehrpunkt erreicht. Das ist aber nur die „halbe Wahrheit“.

Betrachten wir nun in Zeitlupe die Vorgänge im Rohrblatt – nicht nur an dessen Eingang – und im angeschlossenen Rohr, also in der ganzen Oboe.

Die Rohrblätter bewegen sich aufeinander zu. Zunächst strömt die Luft wegen der relativ weiten Öffnung und der geringen Reibung mit großer Geschwindigkeit und in erheblicher Menge in das Rohrblatt. Die Bewegungsenergie dieser Luft ist groß. Die Rohrblattöffnung wird enger, die Reibung größer, die Geschwindigkeit nimmt ab und die in der Zeiteinheit einströmende Menge der Luft wird erheblich kleiner. Um es im Bild auszudrücken: Wenig Luft „läuft“ mit kleiner Geschwindigkeit hinter viel Luft her, die wesentlich schneller ist. Hier muß ein Unterdruck entstehen, denn das Mundstück ist seitlich abgeschlossen. Dieser Raum geringeren Luftdrucks hat nun zwei Wirkungen. Zum einen erhöht er die Druckdifferenz zwischen dem Mundraum und dem Inneren des Mundstücks und sorgt für eine weitere Verengung des Eingangs, zum anderen „bremst“ er die davonstürmende Luftmenge nicht nur, sondern sorgt für ihre Umkehr. Die Luft fällt zurück in das Tiefdruckgebiet und wird dabei noch beschleunigt. Mit dem Schwung, den sie nun hat, stößt sie von innen gegen die Rohrblätter und unterstützt jetzt die elastische Rückstellkraft des Holzes. Die Eingangsöffnung des Doppelrohrblattes wird wieder größer.

Aber auch dies ist bei weitem noch nicht die ganze Wahrheit!

Die oben erwähnte relativ große Luftmenge mit der größeren Geschwindigkeit baut vor sich ein Gebiet höheren Luftdrucks auf, aus dem nach allen Seiten Luft wegströmt, wenn dies möglich ist. Ist das Rohr lang genug, entsteht das Hoch noch im Rohr und ist dort natürlich wesentlich stabiler als im freien Raum, da ein Abbau nur nach zwei Seiten hin möglich ist. Läßt der Zustrom der Luft durch das Doppelrohrblatt nach, wirkt auf die „davonstürmende Luftmasse“ neben der Sogwirkung des Unterdruck- noch die Schubwirkung des Überdruckgebietes. Die in diesem Hoch gespeicherte potentielle Energie entlädt sich nach beiden Seiten. Den einen Teil nimmt das zurückströmende Gas als Bewegungsenergie mit, der



andere Teil wird als Schallenergie abgestrahlt. Werfen wir noch einen Blick auf die zurückströmende Luft. Ihr Schwung unterstützt die Rückstellkraft und stößt das Rohrblatt – weiter (?) – auf. Es ist denkbar, daß ein Teil der Luft noch in den Mundraum eindringt, bevor sie durch den dort herrschenden Überdruck wieder zurückgedrängt wird und der Vorgang von neuem beginnen kann.

Die Strömungslehre kennt den Begriff der Frequenz nicht. Daß es sich bei dem oben geschilderten Vorgang um ein periodisches Geschehen handelt, ist zwar erkennbar, aber über seine Dauer ist in diesem Rahmen keine Aussage möglich.

Man kann es auch so sehen: Unsere Berichterstattung erfolgt aus der Sicht des Angreifers, des durch das Rohrblatt stürmenden Luftquantums. Der Betroffene, die vom Oboenrohr eingeschlossene Luftsäule, spielt nur am Rande eine Rolle.

Betrachten wir nun die Vorgänge aus der Sicht des Betroffenen, oder – was hier gleichbedeutend ist – zunächst qualitativ mit den Mitteln der Schwingungslehre.

## Die Erzeugung selbsterregter Schwingungen

Jeder zu einer Schwingung durch einmalige Energiezufuhr angeregte Körper verliert seine Energie durch Umwandlung in Wärme, also Reibungsverluste und Abstrahlung; hier denkt man etwa an Zupf- oder Schlaginstrumente, aber auch an das Klavier. Soll eine Schwingung ungedämpft verlaufen, müssen diese Verluste durch Energiezufuhr ausgeglichen werden. Wollte man die Verluste immer dann ersetzen, wenn sie entstehen, müßte ein mit gleicher Frequenz schwingender Energieerzeuger zur Verfügung stehen, der nicht nur seine eigenen Verluste ersetzt, sondern auch noch im gewünschten Rhythmus Energie abgeben kann. Das Problem wäre damit nicht nur verschoben, sondern auch verschärft. Einen Ausweg aus diesem Dilemma zeigt uns unsere alte Pendeluhr:

Wenn man schon die Reibungs- und Abstrahlungsverluste nicht in dem Augenblick ersetzen kann, in dem sie entstehen, so gelingt es doch durch geeignete Manipulationen, die Summe der Verluste, die während eines halben oder ganzen

Schwingungsvorganges entstehen, durch einen kurzen „Energiestoß“ auszugleichen. Damit ändert man zwar in geringem Maße die Form der Schwingung, beseitigt aber ihre Dämpfung. Die Frequenz der Schwingung wird von diesen Energiestößen im allgemeinen nur unwesentlich beeinflusst. Das Problem bei einer selbsterregten Schwingung liegt also darin, im geeigneten Augenblick aus einem Vorrat eine passende Menge Energie zu entnehmen.

Im Bild gesprochen: Das Tor zum Energiespeicher muß im Rhythmus der Schwingung jeweils für eine Zeitspanne, die im allgemeinen klein ist gegen die Schwingungsdauer, geöffnet werden. Den geeigneten Zeitpunkt kann nur das schwingende System angeben, das heißt, der schwingende Körper muß das Tor selbst öffnen und wieder schließen. Auch die dafür benötigte Energie entnimmt er dem Vorrat. Die Verluste dieses Vorrats kann man durch einen stetigen Zufluß in den „Behälter“ ausgleichen. Unser Problem reduziert sich damit auf die Zerlegung eines kontinuierlich fließenden Energiestromes in zeitlich begrenzte „Energiepakete“, die im Rhythmus der Eigenschwingung in das System eingespeist werden.

## Die konische Luftsäule der Oboe

Die Luftsäule der Oboe ist ein solches schwingfähiges System, aber wir haben bis jetzt nur die Möglichkeit eine Aussage über ihr Verhalten im Mundstück zu machen. Der Luftdruck innerhalb der Rohrblätter schwankt zwischen einem Minimum, wenn die Rohrblattöffnung ihren kleinsten Wert hat und einem Maximum in dem Augenblick, in welchem die zurückströmende Luft das Rohrblatt aufstößt. In der Sprache der Schulphysik heißt das: Die schwingende Luftsäule in der Oboe hat am Rohrblatteingang einen Druckbauch, die Oboe muß deshalb als einseitig geschlossenes Rohr betrachtet werden.

Abb. 3 erinnert an die Zusammenhänge am Beispiel zylindrischer Röhren. Während diese Bilder jedem Schüler, der einmal Akustikunterricht gehabt hat, vertraut sind, bedarf es einer sehr intensiven Suche in der entsprechenden Fachliteratur, um über stehende Wellen in konischen Röh-



ren etwas zu finden. In seinem über 1000 Seiten umfassenden Buch: *Die Grundlagen der Akustik*<sup>1</sup> widmet Skudrzyk diesem Thema weniger als eine Seite. Cornelius J. Nederveen beschäftigt sich

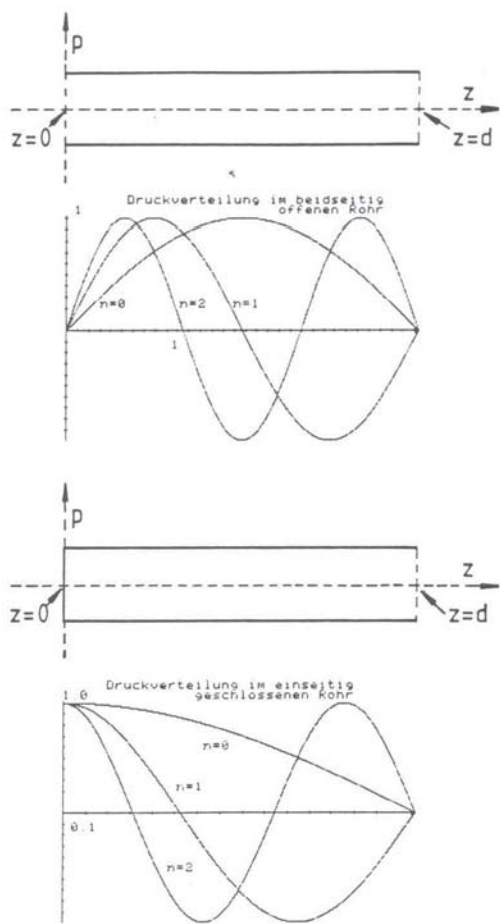


Abb. 3 Für die Druckverteilung wurden dimensionslose Koordinaten benutzt:

$$y = \frac{p}{p_m} \quad (-1 \leq y \leq 1)$$

$p$  : momentane Abweichung vom Normaldruck  
 $p_m$  : maximale Druckerhöhung

seinem sehr anspruchsvollen Buch *Acoustical Aspects of Woodwind Instruments*<sup>2</sup> mit diesem Problem gründlicher. Die Ergebnisse, deren mathematische Herleitung den Rahmen dieses Aufsatzes sprengen würde, stelle ich im folgenden zusammen:

Die Druckverteilung im konischen Rohr für die Grund- und die ersten beiden Oberschwingungen zeigt Abb. 4. Die normierten Koordinaten der Druckknoten und -bäuche sind in der Übersicht auf Seite 330 zusammengestellt.

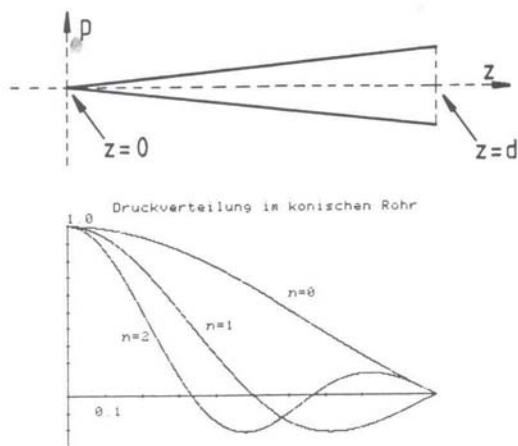


Abb. 4 Für die Druckverteilung im konischen Rohr gilt:

$$y = \frac{\sin(n+1)\pi x}{(n+1)\pi x}; \quad (n = 0; 1; 2; \dots)$$

$$y = \frac{p}{p_m}, \quad x = \frac{z}{d}$$

$p$  : momentane Abweichung vom Normaldruck  
 $p_m$  : maximale Druckerhöhung

Für die Eigenfrequenz der konischen Luftsäule gelten folgende Gleichungen:

$$f_0 = \frac{c}{2d} \quad c: \text{Schallgeschwindigkeit}$$

und

$$f_n = (n+1) f_0.$$

Eine konisch verlaufende Röhre hat also die gleichen Eigenfrequenzen wie ein beidseitig offenes zylindrisches Rohr.

Diese Ergebnisse beschreiben die Situation beim vollständigen Kegel, die Oboe aber umschließt nur eine kegelstumpfförmige Luft-

<sup>1</sup> Vgl. E. Skudrzyk: *Die Grundlagen der Akustik*, Wien 1954, S. 153.

<sup>2</sup> Vgl. Cornelius J. Nederveen: *Acoustical Aspects of Woodwind Instruments*, Amsterdam 1969, S. 20 f.

<sup>3</sup> Nederveen, a.a.O., S. 9.

säule. Mit einigem Aufwand an Mathematik kann man zeigen, daß die Idealisierung „vollständiger Kegel“ nicht gravierend ist, wenn die Höhe des abgeschnittenen Teils weniger als 10 % der Höhe des Gesamtkegels ausmacht. Diese Bedingung ist bei der Oboe gut erfüllt.

„Um dies darzustellen, werden hier (Abb. 5) zwei Röhren gezeigt, die in der gleichen Frequenz schwingen. Es sind eine beidseitig offene zylindrische und eine einseitig geschlossene konische Röhre. Diese beiden Röhren schwingen in der gleichen Grundfrequenz und haben die gleiche Obertonreihe. Diese Eigenschaft einer durch ein Rohrblatt angeblasenen konischen Röhre scheint nicht allgemein bekannt zu sein.“<sup>3</sup> (Übers. aus dem Engl. d. d. Verf.)

Eine Luftsäule, die durch eine einmalige Energiegabe zum Schwingen gebracht worden ist, verliert diese Energie in Bruchteilen einer Sekunde.

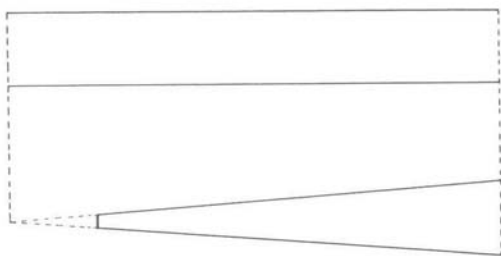


Abb. 5 Beide haben die gleichen Frequenzen.

### Die normierten Koordinaten der Druckknoten und -bäuche im konischen Rohr:

Grundschiwingung

$x_1 = 0$	$y_1 = 1$	(Druckbauch)
$x_2 = 1$	$y_2 = 0$	(Druckknoten)

1. Oberschiwingung

$x_1 = 0$	$y_1 = 1$	(Druckbauch)
$x_2 = 0,5$	$y_2 = 0$	(Druckknoten)
$x_3 = 0,71$	$y_3 = -0,21$	(Druckbauch)
$x_4 = 1$	$y_4 = 0$	(Druckknoten)

2. Oberschiwingung

$x_1 = 0$	$y_1 = 1$	(Druckbauch)
$x_2 = 0,33$	$y_2 = 0$	(Druckknoten)
$x_3 = 0,47$	$y_3 = -0,21$	(Druckbauch)
$x_4 = 0,67$	$y_4 = 0$	(Druckknoten)
$x_5 = 0,81$	$y_5 = 0,12$	(Druckbauch)
$x_6 = 1$	$y_6 = 0$	(Druckknoten)

Der eine Teil wird durch innere Reibung in Wärme umgewandelt, der andere abgestrahlt. Abstrahlung aber ist nur möglich, wenn der Druckknoten am offenen Ende nicht in der Öffnungsebene des Rohres liegt, sondern wenn die Druckverteilung im Rohr so beschaffen ist, als läge er etwas außerhalb. Tatsächlich nimmt der Schalldruck von der Rohröffnung an nach außen mit wachsender Entfernung stetig ab (Abb. 6).

Und nun noch einige Bemerkungen zur Wirkung der Grifflöcher auf die Druckverteilung im Rohr:

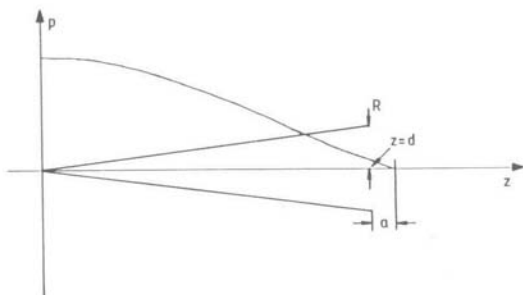


Abb. 6 Unter der Mündungskorrektur versteht man das „Verhältnis der Strecke a, um die der Druckknoten bei Röhren (z.B. Pfeifen) außerhalb der Mündungsebene liegt, zum Rohrradius  $R$ “<sup>4</sup>, also  $M = \frac{a}{R}$ .

Betrachten wir zunächst den sehr einfachen Fall eines engen Griffloches in der Mitte der Röhre. Das geschlossene Loch hat – von „Randstörungen“ abgesehen – keinen Einfluß auf das Spektrum. Ist das Griffloch offen, werden alle Teilschwingungen gedämpft, die an dieser Stelle keinen Druckknoten haben. Gedämpft werden nach unserer Zählung also die geradzahligen Teiltöne ( $n = 0; 2; 4; \dots$ ). Abb. 7 macht dies am Beispiel der ersten beiden Teilschwingungen deutlich.

Von hier ist es nur ein kleiner Schritt zum Oktavloch. Bei einer hinreichend großen Bohrung – und einer entsprechend starken Anregung – werden die ungeradzahligen Teilschwingungen unterdrückt und der erste Oberton wird zum neuen Grundton mit dem dazugehörigen Ober-

<sup>4</sup> Michael M. Rieländer: *Reallexikon der Akustik*, Frankfurt a.M. 1982, S. 228 f., Stichwort: Mündungskorrektur.



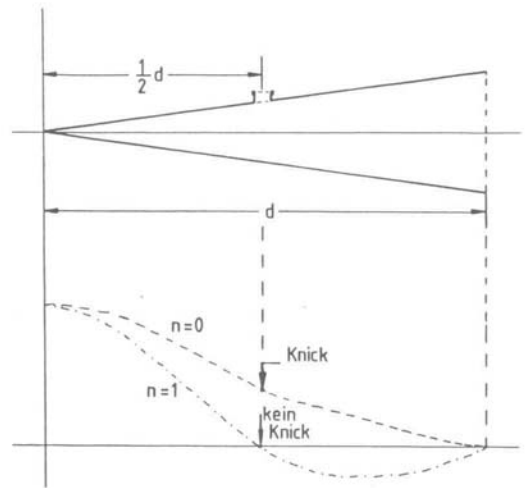
tonspektrum. Beim folgenden Beispiel ist die Mündungskorrektur berücksichtigt:

Befindet sich ein Tonloch hinreichenden Durchmessers bei z.B.  $z = 0,75 d$ , wie *Abb. 8* zeigt, dann stellt sich eine Druckverteilung ein, die einer wirklichen Länge (reale Länge + Mündungskorrektur) von  $0,8 d$  entspricht. Der Druckknoten der ersten Oberschwingung liegt entsprechend bei  $0,4 d$ .

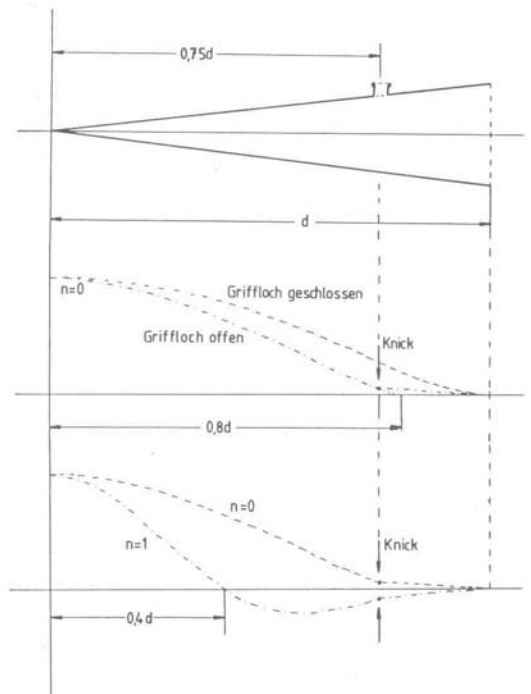
### Grund- und Obertöne (theoretische Möglichkeiten)

In den nun folgenden Überlegungen zur Tonerzeugung bei der Oboe beschränken wir uns zunächst auf den eingeschwingenen Zustand. Gelänge es mit Hilfe eines geeigneten Mundstückes und des entsprechenden Luftdrucks im Mundraum, nur die Grundschwingung anzuregen, dann könnte man den Vorgang – ein wenig idealisiert – so beschreiben:

Das Rohr ist weit offen, die Luft in Ruhe und die Druckverteilung hat die in *Abb. 4*,  $n = 0$ , gezeigte Form. Bedingt durch die Druckunterschiede, setzt sich die Luft in Bewegung, und die Druckkurve wird flacher. Ist der Druck zwischen den Rohrblättern größer als im Mundraum, eine denkbare Möglichkeit, dann wird zunächst so lange Luft aus dem Rohr in den Mundraum strömen, bis der im Rohr sinkende Luftdruck die Umkehr erzwingt. Im ganzen Rohr strömt dann die Luft in der gleichen Richtung zum Schallbecher hin. Schließlich sind die Druckunterschiede abgebaut, im Rohr herrscht normaler Außen- druck, die Bewegungsenergie der Luft aber hat ihr Maximum erreicht. Wegen ihrer Trägheit fließt sie weiter aus dem Rohr heraus und zwischen den Rohrblättern entsteht ein Tief. Die Geschwindigkeit der Luft ist an der engsten Stelle, also am Rohrblatteingang am größten. Der durch die Schwingung bedingte sinkende Luftdruck und die Bernoullikraft verengen oder schließen das Rohrblatt. Beide Fälle sind vorstellbar: Ist das Rohr hinreichend steif – der Oboist sagt, es habe eine große Spannung oder es sei ein schweres Rohr – und ist der Druck im Mundraum nicht groß genug, werden die Kräfte zum Verschluss nicht ausreichen. Bei einem Rohr mit nur geringer



*Abb. 7* Das Griffloch in der Mitte des Rohres dämpft die geradzahigen Teiltöne. Die ungeradzahigen werden nicht behindert, da sie an dieser Stelle einen Druckknoten haben.



*Abb. 8* Der Einfluss der Mündungskorrektur

Spannung und hinreichendem Druck im Mundraum schließt das Rohrblatt ganz, d. h. die Differenz aus dem praktisch konstanten Überdruck im Mundraum und dem variablen Schwingungsdruck im Mundstück preßt die Rohrblätter für einen Teil der Schwingungszeit luftdicht aufeinander. Es ist mir gelungen, die Frage nach dem Rohrblattverschluß experimentell zu klären. Darauf gehe ich später ein.

Steigt der Druck, bedingt durch die zurückströmende Luft, zwischen den Rohrblättern, wird diese „Klammer“ gelöst und das Doppelrohrblatt öffnet sich – oder die Öffnung erweitert sich –, unterstützt durch die elastische Rückstellkraft des Holzes.

Der Weg für einen neuen „Schwall“ schneller, also energiereicher Luft ist frei. Mit geringer Geschwindigkeit, also energiearm, verläßt je Schwingung eine gleiche Luftmenge das Rohr durch den weiten Schallbecher. Die Energiedifferenz ersetzt die Reibungs- und Abstrahlungsverluste.

Entsprechendes gilt für die Oberschwingungen. Hier muß noch darauf hingewiesen werden, daß bei allen Oberschwingungen Druckbäuche im Inneren des Rohres entstehen, wie die Übersicht über Druckverteilung im konischen Rohr zeigt. Denken wir jetzt zurück an unsere Pendeluhr:

Das schwingfähige System (die Luftsäule im Rohr) muß das Tor (das Doppelrohrblatt) zum Energiespeicher (die komprimierte Luft im Mundraum) im Rhythmus der Eigenschwingung selbst öffnen und schließen. Genau das geschieht bei der Erzeugung des Oboentones. Aber auch wenn kein absoluter Verschluß erfolgt, wird schon durch den pulsierenden Luftstrom die Schwingung aufrecht erhalten und der Ton abgestrahlt.

## Gestaltende Faktoren

### a) Das Resonanzrohr

Die entscheidende Frage nach der Anregung und Gestaltung des realen Oboentones ist damit noch nicht beantwortet, denn es gelingt weder den Grundton, noch einen Oberton allein anzuregen. Einen ersten Einblick in die Entstehung des Spektrums eines Oboentones ermöglicht die

Resonanzkurve der einseitig geschlossenen konischen Luftsäule (Abb. 9)<sup>5</sup>. Der Graph 9 b ist, wie man aus den unharmonischen Abweichungen erkennen kann, die Resonanzkurve einer erheblich gekürzten konischen Röhre. Trotzdem ist gerade diese „überzeichnete“ Kurve für unsere Zwecke gut geeignet.

Die jetzt zu beschreibende Wechselwirkung zwischen Resonanzrohr und Rohrblatt erinnert stark – man gestatte mir diesen Vergleich – an das Prinzip der freien Marktwirtschaft. Der Markt ist das Schallrohr, charakterisiert durch seine Resonanzkurve, das Rohmaterial ist die Druckluft im Mundraum, der Erzeuger ist das Rohrblatt. Die Aktivität des Erzeugers wird gesteuert durch das Angebot an Rohstoff (Höhe des Luft-

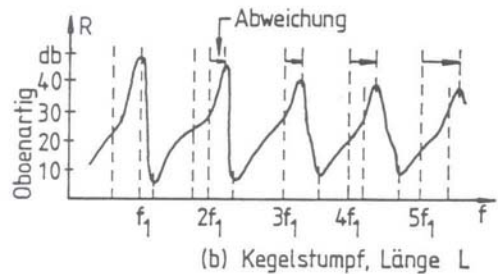
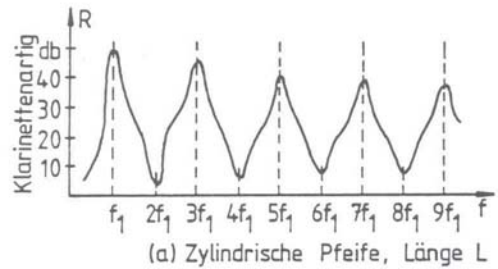


Abb. 9 a) Resonanzkurve eines einseitig geschlossenen, zylindrischen Rohres. Man erkennt, daß ein Überblasen in die Oktave (von  $f_1$  nach  $f_2$ ) nicht möglich ist. Klarinetten überblasen in die Duodezime.

b) Resonanzkurve einer kegelförmigen Luftsäule. Der abgeschnittene Teil hat mehr als 10 % der Gesamtlänge des Kegels. Entsprechend groß sind die unharmonischen Abweichungen. Aber auch die Oboe mit ihren etwa 6,2 % überbläst nicht genau in die Oktave, sondern ein wenig darüber.

<sup>5</sup> Vgl. Juan G. Roederer: *Physikalische und psychoakustische Grundlagen der Musik*, Berlin/Heidelberg/New York 1977, S. 137.



drucks im Mund), durch die Möglichkeiten seiner Produktionsmittel (Eigenschaften des Rohrblatts) und durch die Anforderungen des Marktes (Rückstoß der Luft gegen das verengte oder geschlossene Rohrblatt).

Das Spektrum der Volumenschnelle der in das Rohrblatt einströmenden Luft wird der Resonanzkurve angeboten. Liegt die Grundfrequenz der einströmenden Luft in der Nähe eines Resonanzmaximums, dann korrigiert die schwingende Luftsäule, als das stärkere und weniger gedämpfte System, durch Rückkopplung mit Hilfe der zurückströmenden Luft, die Frequenz des Rohrblattes und beide schwingen schließlich, nach Beendigung des Einschwingvorganges, mit einer gemeinsamen Frequenz, die sehr nahe bei der Resonanzfrequenz liegt.

Eine Verstärkung des Luftdrucks im Mundraum erhöht die Geschwindigkeit, mit der die Luft in das Rohrblatt eindringt. Dadurch wird die Bernoullikraft vergrößert, die Schließbewegung beschleunigt, die Schwingungsdauer verkürzt und die Frequenz erhöht. Schon eine leichte Erhöhung der Grundfrequenz der Volumengeschwindigkeit, die durch eine relativ große Druckverstärkung erzwungen werden muß, mindert die „Marktchancen“ der Grundfrequenz.

Im Bild gesprochen: Die Grundfrequenz rutscht auf der steilen rechten Flanke des ersten Resonanzmaximums (*Abb. 9b*) nach unten, die benachbarten Obertöne, deren Frequenzen sich entsprechend um ein Vielfaches erhöhen, steigen dadurch „in der Gunst“ der Resonanzkurve. Ihre Amplituden klettern auf den linken Flanken ihrer Resonanzhügel nach oben. Wird die Talfahrt der Grundschiwingung durch weitere Erhöhung des Anblasdrucks fortgesetzt, verliert die Grundschiwingung an Bedeutung und bei hinreichend großem Druck bestimmt die 1. Oberschiwingung die Frequenz der Rohrblattbewegung. Dem Resonanzrohr wird nur noch das Obertonspektrum dieser doppelten Frequenz angeboten. Die Oboe überbläst. Dieser Vorgang wird durch das Oktavloch unterstützt.

Eigene Druckmessungen im Mundraum ergaben für die Töne  $e^1$ ,  $e^2$  und  $e^3$  im *mf* (überblasen

mit Oktavklappen) folgende Werte (WS = Wassersäule):

$$e^1 = 470 \text{ mm WS} = 4700 \text{ Pa}$$

$$e^2 = 600 \text{ mm WS} = 6000 \text{ Pa}$$

$$e^3 = 800 \text{ mm WS} = 8000 \text{ Pa}$$

## b) Die Abstrahlung

Spricht man von der Gestaltung des Oboentones durch die Abstrahlung, so ist das zumindest mißverständlich, denn den Obenton gibt es nicht.

Sicher ist, daß die einzelnen Teiltöne nicht in dem Maße abgestrahlt werden, in dem sie entstehen. Tiefe Töne z.B. bedürfen zur Abstrahlung einer relativ großen Öffnung. Der Schallbecher und die Schalllöcher der Oboe aber sind verhältnismäßig klein. Tiefe Töne werden daher schwächer abgestrahlt, als es dem Spektrum der Druckamplituden im Rohr entspricht (*Abb. 10*). Hinzu kommt, daß die Oboe ein Gruppenstrahler ist. Jedes geöffnete Loch und der Schallbecher strahlen die Wellen mit einer durch ihre Lage am Rohr bedingten Phasenverschiebung ab. Der Klang, den der Hörer wahrnimmt, ist also das Produkt der Interferenz im allgemeinen mehrerer Schallstrahlen unterschiedlicher Stärke (*Abb. 11*)<sup>6</sup>.

Aus dem Klangspektrum eines Oboentones kann man aus diesen Gründen keine letztlich gültigen Schlüsse auf die Druckverteilung im Rohr ziehen. Sicher ist jedoch, daß Obertöne, die in der Druckverteilung nicht vorkommen, auch nicht abgestrahlt werden können. Dies ist für später wichtig.

## Analyse der Klangspektren, Schumannsche Klangfarbengesetze

Die Analyse der Klangspektren, die ich in großer Zahl im Musikwissenschaftlichen Institut der Westfälischen Wilhelms-Universität, Münster, mit modernstem elektronischen Gerät aufzeichnen konnte, diente zunächst der Überprüfung bzw. Bestätigung der Schumannschen Klangfarbengesetze. Herrn Prof. Dr. Voigt danke ich an dieser Stelle ganz herzlich für seine Hilfe.

Das Formantstreckengesetz, das schlicht die Existenz von Formanten behauptet, konnte nur für leichte Rohre im unteren Frequenzbereich bei hinreichender Lautstärke bestätigt werden.

<sup>6</sup> Vgl. Jürgen Meyer: *Akustik und musikalische Aufführungspraxis*, Frankfurt a.M. 1980, S. 169.

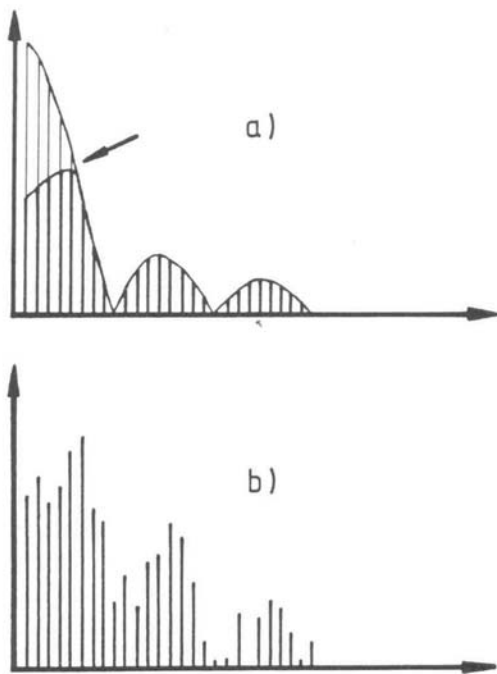


Abb. 10 a) Die tiefen Frequenzen werden abgeschnitten (Pfeil). Sie entstehen zwar im Rohr, können aber nicht in voller Stärke abgestrahlt werden. Das Spektrum für den Ton *b* wurde unter stark vereinfachenden Annahmen errechnet, nicht gemessen!

b) Das reale Spektrum des Tones *b*, mit modernster Elektronik im Abstand von 60 cm aufgezeichnet, zeigt deutlich die Schwäche der ersten Teiltöne.

Das Formant-Intervallgesetz fordert für das Frequenzverhältnis aus den stärksten Teiltönen des ersten und zweiten Formanten bei der Oboe das Verhältnis von 1 : 2. Dies ist kein Gesetz im physikalischen Sinne, es könnte vielmehr als Definition für den typischen Oboenklang dienen. Die von mir ermittelten Ergebnisse lagen zwar in der Nähe von 1 : 2, aber der genaue Wert war eher die Ausnahme.

Das akustische Sprunggesetz besagt, daß bei starker Tongebung das absolute Maximum aller Teiltöne vom 1. in den 2. Formanten überwechseln kann. Einen solchen Formantsprung habe ich nicht gefunden. Wahrscheinlich ist, daß Schumann dieses Phänomen mit Hilfe eines extrem leichten Rohres erreichte.

Das akustische Verschiebungsgesetz, nach dem sich das Maximum der Teiltöne zu den höhe-

ren Harmonischen innerhalb eines Formanten verschiebt, konnte ausnahmslos bestätigt werden.

### Die Ursache der Formanten bei der Oboe, experimentelle Befunde

Die Formanten bei der Oboe entstehen nicht dadurch, daß Teile des Instruments besonders stark mitschwingen, wie etwa bei der Geige. Auch die Resonanzkurve der konischen Luftsäule ist nicht die Ursache für die Ausbildung der Formantgebiete. Natürlich hat diese Kurve Einfluß auf die Ausprägung der einzelnen Frequenzen, aber jede effektive Rohrlänge hat ihre eigene Resonanzkurve.

Die Formanten bei der Oboe kommen überhaupt nicht dadurch zustande, daß bestimmte Frequenzbereiche besonders verstärkt werden, vielmehr sind einzelne Frequenzen überraschend

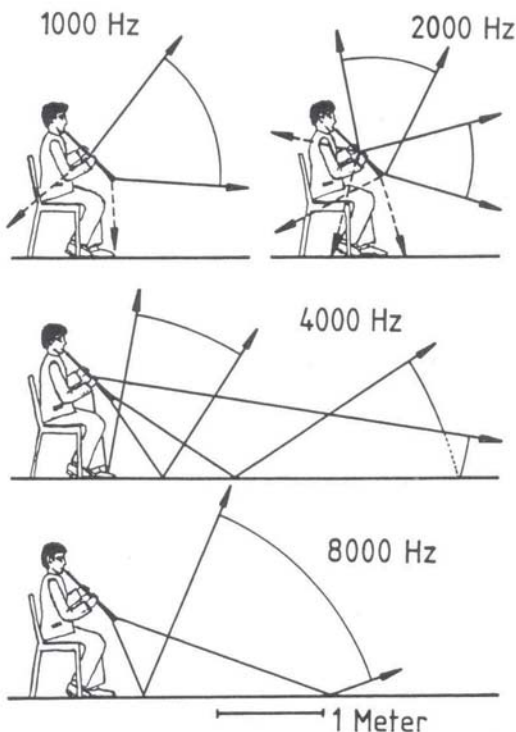


Abb. 11 zeigt die Hauptabstrahlungsbereiche für einzelne Frequenzen, das sind Winkelbereiche, in denen die Lautstärke bis höchstens 3 dB unter der maximalen Lautstärke liegt.



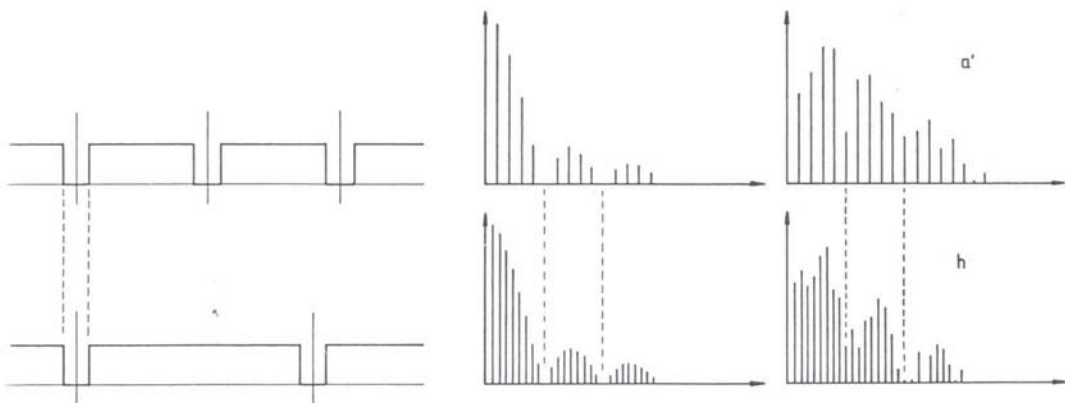


Abb. 12 Rechts: Reale Klangspektren der Töne  $a'$  und  $b$  mit deutlichen Schwächen bei den gleichen Frequenzen. Beim Ton  $a'$  sind dies der 5. und 10., bei dem Ton  $b$  der 9. und 18. Teilton. Links: Zwei Rechteckskurven, deren Schließphasen gleich lang sind. Das Verhältnis von Schließ- zur Öffnungsphase beträgt oben 1 : 4, unten 1 : 8. Mitte: Die Fourierzerlegung der Rechteckskurven hat die gleichen „Schwachstellen“ wie das reale Spektrum.

schwach ausgeprägt oder sie fehlen ganz. Diese Formantminima treten in regelmäßiger Folge – unabhängig von der Tonhöhe – auf<sup>7</sup>.

Wenn aber diese Frequenzen praktisch fehlen, dann kann das nicht an den Resonanzkurven liegen, denn mindestens eine hätte diese Frequenz deutlich verstärkt. Es kann nur daran liegen, daß diese Frequenzen dem „Verbraucher“, der Resonanzkurve, vom „Erzeuger“, dem Rohrblatt, gar nicht angeboten worden sind.

Wie aber muß die periodische Bewegung des Rohrblattes aussehen, wenn eine feste Frequenz und ihre ganzzahligen Vielfachen darin fehlen? Einfache mathematische Überlegungen im Umfeld der Fourieranalyse führen zu folgender Theorie:

Wenn das Weg-Zeit-Gesetz der Rohrblattschwingung die Form aufeinanderfolgender Rechtecke hätte, wie Abb. 12 zeigt, das Rohrblatt also für den einen Teil der Schwingung ganz geöffnet, für den anderen ganz geschlossen wäre, dann würde bei einem Verhältnis von Verschluss- zur Öffnungsphase von 1 : 4 (Abb. 12 a) jeder 5., bei einem Verhältnis von 1 : 8 (Abb. 12 b) jeder 9.

Teilton fehlen. Sind die Verschlusszeiten für mehrere Töne gleich, dann liegen die fehlenden Töne an der gleichen Stelle der Frequenzachse (Abb. 12 a, b). Die Bereiche zwischen diesen fehlenden oder schwach ausgeprägten Teiltönen nennt man – hier eigentlich fälschlicherweise – Formanten.

Die Annahme, daß die Bewegung der Rohrblätter rechteckförmig sei, ist natürlich aus physikalischen Gründen nicht ganz richtig, aber eine Aufeinanderfolge von Verschluss- und etwa torbogenförmigen Öffnungsphasen ist durchaus denkbar. Eigene stroboskopische Untersuchungen der Rohrblattbewegung, die ich – angeregt durch W. Voigt<sup>8</sup> – durchgeführt habe, zeigten folgende Ergebnisse:

Im unteren Tonbereich schließt das Rohrblatt bei hinreichender Tongebung mit einem leichten Rohr ganz. Die Schließbewegung ist deutlich schneller als die Öffnungsbewegung – also keine symmetrischen „Torbögen“! Der Vorgang erinnert – stroboskopisch verlangsamt – zuweilen in frappierender Weise an die Bewegung eines Fischmauls beim Atmen. Auffallend ist noch, daß das Rohrblatt nicht nur einfach geschlossen wird, vielmehr werden nach erfolgtem Verschluss die Lamellen am vorderen Herz, an den Ecken und Seiten weiter zusammengepreßt, ein deutlicher Hinweis auf einen erheblichen Unterdruck im Rohrblatt.

<sup>7</sup> Vgl. Wolfgang Voigt: *Untersuchungen zur Formantbildung in Klängen von Fagott und Dulzianen*, Regensburg 1975.

<sup>8</sup> W. Voigt, a.a.O., S. 219.

Im mittleren und höheren Tonbereich und bei einem Rohr mit großer Spannung schließen die Lamellen nicht mehr ganz. Die Bewegung der Rohrblätter hat dann einen etwa sinusförmigen Charakter. Es ist sicher nicht falsch, wenn man die Obertonarmut dieser Töne auf das Fehlen der Verschlussphase zurückführt.

### Der Einfluß des Rohrblattes auf die Qualität des Oboentones, leichtes und schweres Rohr

Zunächst zum Gebrauch der unterschiedlichen Rohre. Schwere Rohrblätter wird man besonders für Solokonzerte oder hohe Orchesterstellen benutzen, während die leichten besser für tiefe Passagen – meist von den zweiten Oboisten – verwendet werden. Aus der Sicht des Akustikers stellt sich der Unterschied so dar:

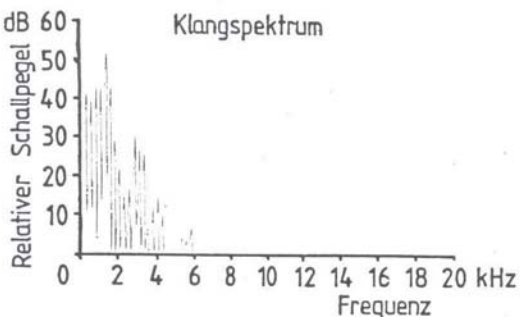
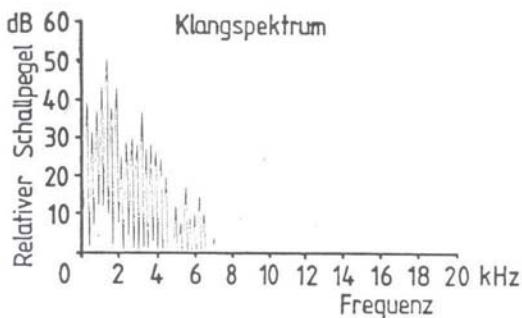
Das leichte Rohr hat Lamellen mit kleiner schwingfähiger Masse und geringer Rückstellkraft. Die Bernoullikraft und der statische Druck der schwingenden Luftsäule reißen das Rohrblatt schnell zu und der in der Schallröhre eindringende Luftstoß ist wegen der steilen Bewegungsflanke entsprechend reich an Oberschwingungen. Will der Oboist ein leichtes Rohr herstellen, wird er beim Außenhobeln – oder Schaben der Bahn – mehr Holz abtragen müssen. Damit vermindert er gleichzeitig die Rückstellkraft. Letztere ist aber außerdem noch abhängig vom Stangendurchmesser (großer Durchmesser = kleine Spannung), und der Dichte des Holzes. Beim schweren Rohr sind Masse und/oder Rückstellkraft entsprechend groß. Die Druckkräfte reichen hier nicht aus, das Rohrblatt ganz zu schließen; die Lamellenbewegung verläuft fast sinusförmig. Das ergibt einen obertonärmeren Klang als beim leichten Rohr. Will der Musiker ein schweres Rohr herstellen, wird er weniger Holz abschaben und/oder einen kleineren Stangendurchmesser wählen.

Die beiden für die Versuche eigens hergestellten Rohre unterschieden sich beim Blasen deutlich in der Spannung zwischen den beiden Lamellen, waren aber dennoch nicht so extrem geartet, daß sie musikalisch nicht verwendbar gewesen wären. Alle Bemühungen, bei diesen Rohren (die Längenmaße der beiden Versuchsrohre waren gleich: *Abb. 1j*) signifikante Unterschiede zwi-

schen dem leichten und schweren Rohr mit den mir zur Verfügung stehenden physikalischen Meßgeräten festzustellen, sind jedoch gescheitert. Sowohl die Messung der Holzstärken als auch die der Rückstellkraft brachten keine befriedigenden Ergebnisse.

Die beiden recht unterschiedlichen Rohrblätter bestätigen also die Erfahrung der Oboisten, daß schon sehr geringe, nicht meßbare Abschabungen die Qualität des Rohrblattes gravierend verändern können. Rohrblätter wird man auch in Zukunft nach Gehör bauen müssen. Die für manche nahe-liegende Behauptung, daß die Unterscheidung in leichte und schwere Rohre sachlich nicht zu rechtfertigen sei, ist ebenso falsch wie die Annahme, daß alle Weine mit den gleichen Analysewerten auch den gleichen Geschmack haben müssen.

Gut hörbar unterscheiden sich leichte und schwere Rohre in den Klängen, die sie hervorbringen: Der Klang eines leichten Rohres ist hell und strahlend, der eines schweren eher dunkel und weich. Meine Klanganalysen bestätigen eindeutig, daß der Obertonreichtum eines leichten Rohres in



*Abb. 13* zeigt die Klangspektren für  $c^1$  im *ff* mit einem leichten Rohr (oben) und einem schweren (unten).



allen Tonlagen und Lautstärken erheblich größer ist als der eines schweren (Abb. 13). Sehr eindrucksvolle Formantgebiete zeigen die Spektren der Töne  $b - b^1$  beim leichten Rohr. In den höheren Lagen löst sich diese Ordnung zunehmend auf. Beim schweren Rohr ist der erste Formant bis zum  $b^1$  noch deutlich zu erkennen. Weitere Formantgebiete sind hier nicht sicher nachweisbar. Die Untersuchungen im  $pp$  bringen wegen der relativen „Armut“ an Teiltönen keine eindeutigen Ergebnisse.

### Der Einfluß des Rohrblattes auf die Stimmung der Oboe, leichtes und schweres Rohr

Im Gegensatz zum Crescendo- und Decrescendospiele, bei dem eine Tonhöhenänderung vermieden werden muß, geht es beim Ziehbereich um eine gewollte Erhöhung oder Erniedrigung des Tones. Bei der Erhöhung des Tones muß der Druck im Mundraum vergrößert und die Rohrblattöffnung durch verstärkten Lippendruck verkleinert werden. Entsprechend umgekehrt verfährt man, wenn der Ton abgesenkt werden soll. Der Ziehbereich gibt Auskunft über den Tonhöhenpielraum, den der Bläser hat. Er ist im wesentlichen abhängig von der Bauart des Instruments, wird aber auch, wie Abb. 14 zeigt, stark von der Art des Rohrblattes beeinflusst. In dieser Abbildung sind die Ziehbereiche meiner Rigoutat-Oboe mit leichtem und schwerem Rohr im Cent-Maßsystem (100 cent = 1 Halbtonschritt) dargestellt.

Im Schnitt liegt der Ziehbereich beim leichten Rohr etwas höher als beim schweren. Einige Töne in den extremen Lagen erreichen ihre Sollfrequenz nicht. In der tiefen Lage stimmen nur die hochgetriebenen Töne des leichten Rohres mit der Sollfrequenz überein. In der hohen Lage erreichen nur die stark gedrückten Töne des schweren Rohres die Sollfrequenz. Dies ist auch ein Grund dafür, weshalb man bei überwiegend hohen Passagen ein schweres, bei tiefen hingegen ein leichtes Rohr benutzen sollte. Die Abweichungen von der Sollfrequenz in den extremen Lagen sind weder durch Konstruktions- noch Produktionsfehler bedingt, sondern eine direkte Folge des

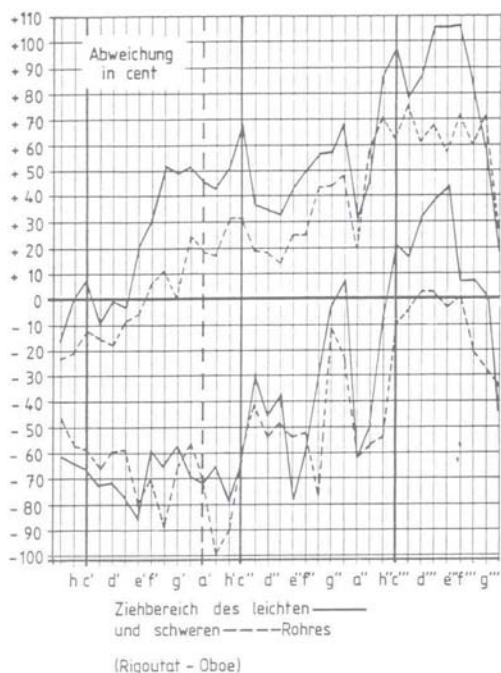


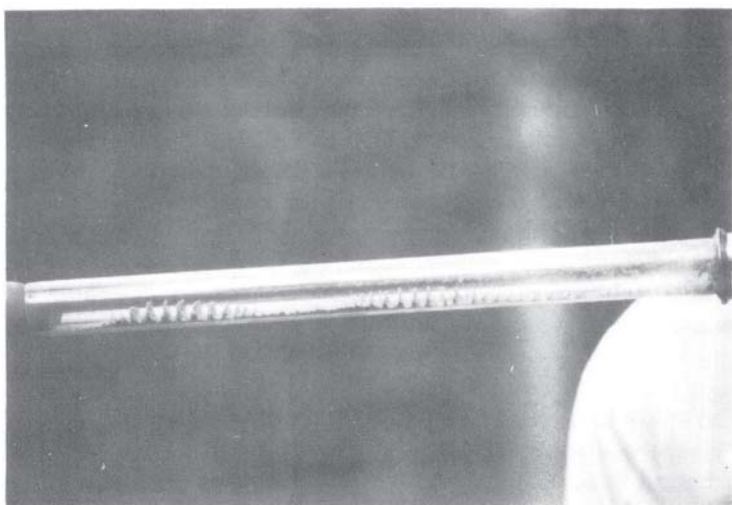
Abb. 14 Die Sollfrequenz ist in der mittleren Lage mit beiden Rohren zu erreichen. Die Sollfrequenzen sind für  $a' = 442$  Hz ausgerechnet.

unharmonischen Verlaufs der Resonanzkurve. Stimmt die Oboe in der unteren Lage, dann müßte der Spieler den Ton in der am meisten gespielten mittleren Lage absenken und die Sollfrequenzen der oberen Lage wären unerreichbar. Entsprechendes gilt für eine in der oberen Lage gestimmte Oboe. Bei einer auf die mittlere Lage eingestellten Oboe kann der Spieler – gegebenenfalls mit verschiedenen Rohren – die Sollfrequenzen auch in den extremen Lagen erreichen. Aus diesem Grunde ist jede Oboe auf die mittlere Lage eingestimmt (Abb. 14).

### Der Einschwingvorgang, experimentelle Ergebnisse

Charakteristisch für den Ton eines Instrumentes ist, neben der Klangfarbe des stationären Teiles, sein Einschwingvorgang. Dieser erste Teil des Tones ist für alle wichtigen Instrumente eingehend untersucht und von Jürgen Meyer in seinem

Abb. 15 zeigt den Staublamellen-  
effekt im zylindrischen Rohr  
(Foto: Stephan Heptner).



Buch *Akustik und musikalische Aufführungspraxis*<sup>9</sup> hervorragend beschrieben worden. Hier läßt sich kaum Wesentliches hinzufügen. Meine Untersuchungen galten den Einschwingvorgängen bei leichten und schweren Rohren. Die Analyse der Ergebnisse zeigte deutliche Unterschiede:

Leichte Rohre schwingen schneller ein als schwere, ein Ergebnis, das man erwartet, denn leichte Rohrblätter können wegen ihrer kleineren Rückstellkraft und Masse stärker beschleunigt werden und sich so dem Rhythmus der Schwingung der Luftsäule schneller anpassen. Sie reagieren auf einen kleineren Schwingungsdruck als die schweren, so daß der periodische Vorgang im Rohr früher am Rohrblatt wirksam und von dort mit Luftstößen gleicher Phase unterstützt werden kann. Leichte Rohre schwingen unregelmäßiger ein als schwere, denn wegen ihrer größeren Anpassungsfähigkeit reagieren sie deutlicher auf die zunächst noch ungeordneten Druckverhältnisse.

Die Einschwingzeiten liegen bei beiden Rohren mit Stakkato auch in der tiefen Lage z. T. erheblich unter 20 ms. Beim Portato lassen sich Werte von 40 ms in der hohen Lage bis zu etwa 80 ms in der tiefen Lage erreichen. Hier ist der Unterschied zwischen dem leichten Rohr (40 ms) und dem schweren (80 ms) am größten. Damit ist die Einschwingzeit eines sanft angeblasenen Oboentones in der tiefen Lage etwa so groß wie die eines „angerissenen“ Geigentones (100 ms).

### Abschließende Bemerkungen

Am Ende dieser Betrachtungen möchte ich noch einmal zurückkehren zum Thema „Theorie und Praxis“. Wenn ich im ersten Abschnitt geschrieben habe, daß der Theoretiker durch schrittweisen Abbau seiner Idealisierungen seine Theorie der Realität anpaßt, dann kann damit nur der Teil der Wirklichkeit gemeint sein, der uns durch die Forschung erschlossen worden ist. Jedes neue Experiment kann unser Wissen erweitern und den Theoretiker zum Umbau seiner Bilderwelt zwingen. Diese Situation ergab sich, als mein Bruder Christoph die Druckverteilung im zylindrischen Rohr mit Hilfe der Kundtschen Staubfiguren sichtbar machen wollte. Seine Versuchsanordnung bestand aus einem Flötenmundstück, das mit einem Glasrohr der gleichen lichten Weite luftdicht verbunden war. Das Rohr wurde durch einen Gummistopfen verschlossen. Als Staub benutzte er Korkpulver, das er mit Hilfe einer Feile aus einem Flaschenkorken hergestellt hatte.

Das Ergebnis war überraschend. Dort, wo die Schulphysik von Staub freigefegte Stellen fordert, erhoben sich in regelmäßigen Abständen (etwa 3 - 4 mm) Korkstaublamellen, die eine Dicke von etwa 1 mm hatten. Diese Lamellen waren genau an den Stellen am höchsten, wo die Bewegung der

<sup>9</sup> Vgl. Jürgen Meyer, a.a.O., S. 57 f.

Luft parallel zur Zylinderachse maximal ist (Abb. 15). Eine Erklärung für dieses Phänomen gibt es noch nicht. Meines Wissens sind entsprechende Versuche mit konischen Röhren noch nicht durchgeführt worden. Sicher aber ist die Vermutung erlaubt, daß die tatsächlichen Verhältnisse

auch bei der konischen Röhre sehr viel komplizierter sind als unsere derzeitigen Vorstellungen. Wenn man also vom Unterschied zwischen Theorie und Praxis spricht, sollte man bedenken, daß beide „Fronten“ in Bewegung sind und wohl auch bleiben werden.

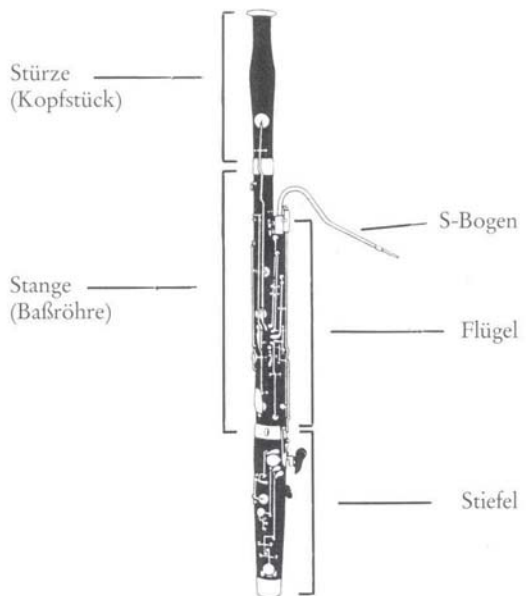
Heinz Riedelbauch

## Vom Umgang mit dem Fagott

Im Vergleich mit Oboe, Klarinette oder Flöte erscheint auf den ersten Blick ein Fagott als sehr stabiles, handfestes Instrument. Doch der Eindruck täuscht. Als Folge unsachgemäßer Behandlung oder mangelhafter Pflege sind Beschädigungen, welche die Funktion des Instruments erheblich beeinträchtigen können, beim Fagott ebenso wenig auszuschließen, wie bei den anderen Holzblasinstrumenten. Da sprechen Töne plötzlich schlecht an, klingen verschleiert, zu tief oder zu hoch, man beginnt mit dem Rohr (Mundstück) zu experimentieren, meist ohne Erfolg, wechselt den S-Bogen u.s.w., ergreift alle möglichen Maßnahmen, geeignet, den Schaden zwar nicht zu beheben, die Nerven aber nachhaltig zu strapazieren.

Die folgenden Ratschläge sollen dem jungen oder nichtprofessionellen Fagottisten helfen, Funktionsstörungen zu vermeiden, bereits entstandene aufzuspüren und nach Möglichkeit zu beseitigen, aber auch Instrument und Rohr richtig zu pflegen; sie können jedoch keinesfalls die Hilfe des erfahrenen Lehrers oder gar des Instrumentenbauers ersetzen!

Die Zapfen an Flügel, Stange und S-Bogen sind bei modernen Fagotten meist mit Korkplatten versehen. Kork, ein witterungsempfindliches Material, kann bei hoher Luftfeuchtigkeit aufquellen, vor allem beim Musizieren im Freien und bei großen Temperaturwechseln. Dann besteht, besonders beim Auseinandernehmen der Einzelteile, die Gefahr, daß Gewalt angewendet werden muß und einer der Zapfen abbricht (der Zapfen



am Flügel ist besonders gefährdet). Reparaturen sind in diesem Fall kaum möglich. Ein neues Teil muß angefertigt werden, hohe Kosten entstehen, außerdem wird das neue Teil immer als Fremdkörper am Instrument empfunden. Der Pflege dieser Zapfen kommt also große Bedeutung zu. Sie sind regelmäßig mit Zapfenfett (Hirschtalg) einzufetten, gleichsam gegen Witterungseinflüsse zu isolieren, damit sie beim Zusammenstecken und Auseinandernehmen gut schlüpfen. Von Zeit