I. *Ueber die Pfeifen mit häutigen Wänden. Eine
akustische Untersuchung
von Dr. Karl Friedr. Sal. Liskovius in Leipzig.*

Lange schon wufste man, dafs Waldbörner, Trompeten, Posaunen und metallene Labialpfeifen, sobald ein Theil ihrer Wandung so dünn ist, dafs er nach Art einer gespannten Haut schwingen kann, andere Töne geben, als ihnen ihren Dimensionen nach zukommen.

Hr. Felix Savart nun entdeckte, dafs Labialpfeifen mit häutiger Wandung ebenfalls andere, und zwar — seiner Erfahrung nach — tiefere Töne geben, als ihnen ihren Dimensionen nach zukommen. Eine sehr dankenswerthe Bereicherung für die Akustik. Ja auch für die Physiologie der Stimme ist diese Entdeckung vielversprechend. Die Ergebnisse seiner Forschungen hierüber theilte er mit in einer Abhandlung über die menschliche Stimme, in den *Annales de chimie et de physique*, par MM. Gay-Lussac et Arago, T. XXX, 1825, p. 64 bis 87.

Da finden sich aber folgende Widersprüche:

Nach Seite 74 oben ist bei Pfeifen mit elastischen Wänden, wenn die elastischen Wände straff gespannt sind, der Ton fast so hoch (also doch tiefer), als er bei starren Wänden seyn würde; und, vermindert man nach und nach die Spannung der Wände, so sinkt, wie die Spannung nachläfst, der Ton immer mehr und wohl über zwei Octaven herab; ja, der Einfluß der Wände auf die Anzahl der Schwingungen ist, nach Seite 73 unten und 74 oben, so groß, dafs es scheint, als lasse sich dadurch der Ton in's Unendliche vertiefen.

Dagegen nach S. 85 (bei der Menschenstimme, die

er eben nach der Analogie membranöswandiger Labialpfeifen zu erklären sucht) vermehrt die Röhre mit den membranösen Wänden nicht die Anzahl der Töne, sondern sie verstärkt nur die tieferen, und, so oft die ausdehnbaren Theile die zu dem beabsichtigten Tone erforderliche Spannung nicht annehmen können, so entstehen die Töne unabhängig von der in der Röhre befindlichen Luft.

Das widerspricht sich dermaßen, daß von den darin enthaltenen Gedanken immer einer den anderen verneint. Denn, wenn, nach Seite 74 oben, der Ton der Pfeife, bei straff gespannten Wänden, fast so hoch, also doch tiefer, als bei steifen Wänden, ist, und mit abnehmender Spannung der Wände immer mehr, wohl über zwei Octaven, herabsinkt, so ist das nicht bloß eine Verstärkung, sondern allerdings eine Vermehrung, eine beträchtliche Vermehrung der tieferen Töne. Geht nun, nach Seite 73 unten und 74 oben, diese Vertiefung durch Erschlaffen der Wände gar in's Unendliche, so kann niemals der Fall eintreten, daß die Pfeife irgend einen Ton, wegen unzureichender Spannung der Wände, von diesen unabhängig erzeugt, sondern, bei jeder auch noch so geringen Spannung der Wände, müssen diese den Ton der Pfeife vertiefen, und zwar gerade desto mehr, je geringer die Spannung ist. Und wiederum, wenn, nach Seite 85, der Fall eintreten kann, daß gewisse Töne, wegen unzureichender Spannung der Wände, von diesen unabhängig entstehen, so geht diese Vertiefung durch Erschlaffen der Wände nicht in's Unendliche, wie es doch, nach Seite 73 unten und auch wiederum nach Seite 74 oben, der Fall seyn sollte. Wenn endlich gar, nach Seite 85, die Röhre mit den ausdehnbaren Wänden die Anzahl der Töne nicht vermehrt, sondern nur die tieferen verstärkt, so fällt die angebliche Entdeckung von der tonvertiefenden Eigenschaft membranöser Pfeifenwände ganz und gar weg.

Zu diesen Widersprüchen kommen aber auch noch beträchtliche Lücken, indem Hr. S. mehrere wichtige Punkte theils zu wenig, theils gar nicht berücksichtigt hat. Will man nun hier zur Wahrheit gelangen, und also die Widersprüche berichtigt und die Lücken ausgefüllt sehen, so muß man das Ganze von Neuem untersuchen, und sich dabei folgende Fragen vorlegen.

A. Zur Berichtigung der Widersprüche.

1) Tönt eine Labialpfeife mit membranöser Wandung tiefer, als bei durchaus starrer Wandung und übrigens gleichen Umständen?

2) Tönt eine Labialpfeife mit membranöser Wandung desto tiefer, je schlaffer die Membran?

3) Geht diese Vertiefung durch Erschlaffen der Membran bis über zwei Octaven?

4) Geht diese Vertiefung durch Erschlaffen der Membran in's Unendliche?

5) Oder kann der Fall eintreten, daß eine Labialpfeife mit membranöser Wandung, wegen unzureichender Spannung der Membran, von dieser unabhängige Töne erzeugt?

6) Oder bewirkt die Membran gar keine Tonvertiefung?

B. Zur Ausfüllung der Lücken.

7) Wenn die Vertiefung durch Erschlaffen der Membran zwar stattfindet, aber nicht in's Unendliche geht: welcher Grad der Erschlaffung ist dann die Gränze der Vertiefung?

8) Wenn die Erschlaffung diese Gränze überschreitet: wie ist dann überhaupt das Verhalten der Pfeife?

9) Tönt eine Labialpfeife mit membranöser Wandung allemal tiefer, niemals eben so hoch oder höher, als bei durchaus starrer Wandung und übrigens gleichen Umständen?

10) Wie verhält sich dabei die Stimmung der Membran oder der mehreren Membranen in der Pfeifenwandung?

11) Ist die Stimmung der Membranen in und aufer der Verbindung mit der Pfeife, bei unveränderter Spannung, auch verschieden?

12) Wenn das ist, wie verhält sich die Stimmung membranöswandiger Pfeifen und ihrer membranösen Wandung zu der Stimmung der Membran oder der mehreren Membranen an und für sich, und zu der Stimmung der Pfeifen bei durchaus starrer Wandung und übrigens gleichen Umständen?

13) Macht, bei einer gegebenen Stimmung der Membranen an und für sich, auch die gröfsere oder kleinere Masse der Membran einen Unterschied in der Umstimmung der Pfeife, und welchen?

14) Machen die kurzen und die langen Pfeifen einen Unterschied dabei, und welchen?

15) Machen die Labial- und die Zungenpfeifen einen Unterschied dabei, und welchen?

Zur Beantwortung dieser Fragen stellte ich folgende Versuche an.

Ich liefs mir von einem Orgelbauer eine Anzahl Labialpfeifen verfertigen, und zwar für's Erste sechs vierseitig prismatische, alle 9 Par. Zoll lang (vom Labium bis zum Ausgange gerechnet) und 18 Linien breit, nach Hrn. Savart's eigener Angabe.

No. 1 ganz von Holz.

No. 2 die untere Hälfte der Labialseite und das Labium selbst von dünnem Pergament, das Uebrige von Holz. Der untere Rand der Membran frei (als Labium), die übrigen drei Ränder angeleimt.

No. 3 die obere Hälfte der Labialseite von dünnem Pergament, das Uebrige von Holz. Der obere Rand der Membran frei, die übrigen drei Ränder angeleimt.

No. 4 die ganze obere Hälfte des Rohres auf allen vier Seiten von dünnem Pergament, nur mit dünnen höl-

zernen Ecken unterstützt, das Uebrige ganz von Holz. Jede der vier Membranen an ihrem oberen Rande frei, mit den übrigen drei Rändern angeleimt.

No. 5 die ganze untere Hälfte des Rohres auf allen vier Seiten, und das Labium selbst, von dünnem Pergament, nur mit dünnen hölzernen Ecken unterstützt, das Uebrige ganz von Holz. Der untere Rand der vorderen Membran frei (als Labium), alle übrigen Ränder der vier Membranen angeleimt.

No. 6 das ganze Rohr auf allen vier Seiten, und das Labium selbst, von dünnem Pergament, nur mit dünnen hölzernen Ecken unterstützt, das Uebrige ganz von Holz. Der obere und untere Rand der vorderen Membran frei (letzterer als Labium), alle übrigen Ränder der vier Membranen angeleimt.

Die erste gebrauchte ich, um zu sehen, welche Tonhöhe der schwingenden Luftmasse an und für sich, zufolge ihrer Dimensionen, zukomme, und zu vergleichen, wie diese Tonhöhe zu der der Pergamentpfeifen sich verhalte. Bei den Pergamentpfeifen untersuchte ich allemal den Ton, welchen das Pergament beim Anschlagen, und den Ton, den die Pfeife beim Anblasen gab, um das gegenseitige Verhältniß beider zu beobachten. Der Kürze wegen nenne ich den Grundton der Pfeife, beim Anblasen, Blaston, und den Grundton der Membran, beim Anschlagen, Schlagton. Beide, den Schlagton und den Blaston, untersuchte ich allemal erst bei trockenem, dann bei mehr oder minder benetztem Pergamente, und in beiderlei Fällen erst bei ungedackter, dann bei gedackter Pfeife. Sämmtliche Untersuchungen wiederholte ich öfters. Die Ergebnisse folgen nach den Nummern der Pfeifen. Die Angaben der Tonhöhe sind nach Kamerton zu verstehen. Das Pluszeichen (+) bedeutet *überschwebend*, das Minuszeichen (—) *unterschwebend*.

No. 1 *eingestrichen h*. (Nach Hrn. S. zweigestrichen *d*, *re*₄.)

No. 2. Ist die Pfeife offen, und die Membran trok-

ken und unberührt, so ist der Blaston und der Schlagton eingestrichen *d*.

Trockner Sand oder geraspelttes Elfenbein auf die (horizontal und aufwärts gehaltene) Membran gestreut, flüchtet, bei dem Anblasen der Pfeife, wie auch bei dem Anschlagen an die Membran, nach dem oberen Rande und nach den oberen Theilen der beiden Seitenränder, und häuft sich dort an.

Drückt man das Pergament in seiner Mitte (mit einer Fingerspitze), so ist der Blaston eingestrichen *g*. Rückt man den Druck von der Mitte nach irgend einem Punkte eines der vier Ränder, gleichviel, ob auf-, ab- oder seitwärts, so sinkt die Stimmung allmählig von eingestrichen *g* bis eingestrichen *d*. Rückt man den Druck von irgend einer Stelle der vier Ränder bis zur Mitte, so steigt die Stimmung allmählig von eingestrichen *d* bis eingestrichen *g*. Aufgestreuter Sand häuft sich theils an dem oberen Rande und den oberen Theilen der beiden Seitenränder, theils um den drückenden Körper. Der Schlagton ist dabei immer dem Blastone gleich, das Anschlagen an die Membran geschehe um die Druckstelle herum, wo man wolle; ist der Druck zwischen der Mitte und dem Rande, so geschah das Anschlagen auf der schmalen oder auf der breiten Seite der Membran, der Schlagton ist auf beiden Seiten einerlei, und einerlei mit dem Blastone.

Drückt man die Membran auf *zwei* Punkten, sie mögen noch so verschiedentlich gelegen seyn, nur nicht ganz nahe am Rande oder ganz nahe an einander, so ist die Stimmung eingestrichen *a*. Rückt man beiderlei Druck dem Rande zu, so sinkt die Stimmung allmählig von eingestrichen *a* bis eingestrichen *d*. Rückt man beiderlei Druck dem Mittelpunkt der Membran zu, und vereint ihn da, so sinkt die Stimmung allmählig von eingestrichen *a* bis eingestrichen *g*.

Drückt man eine Hälfte der Membran, es sey die

obere oder die untere Hälfte, eine seitliche oder eine schiefe (mittelst Diagonaltheilung), so ist die Stimmung eingestrichen *g*. Drückt man drei Vierteltheile der Membran, so ist die Stimmung eingestrichen *a*. Drückt man die ganze Membran, so ist die Stimmung eingestrichen *h*. Verbreitet man den Druck von irgend einer Randstelle an auf die ganze Membran, so steigt die Stimmung allmählig von eingestrichen *d* bis eingestrichen *h*.

Gedackt giebt die Pfeife bei unberührter Membran ungestrichen *gis*, bei dem Drucke im Mittelpunkte der Membran ungestrichen *b*, bei dem Drucke an zwei Punkten ungestrichen *h*, bei dem Drucke einer Hälfte ungestrichen *b*, bei dem Drucke dreier Vierteltheile ungestrichen *b*, etwas überschwebend, bei dem Drucke auf die ganze Membran ungestrichen *h*. Bei dem Rücken des Druckes geschieht der Uebergang der Stimmung ebenfalls allmählig.

Durch längeres oder öfteres Drücken, desgleichen auch durch öfteres Schlagen des Pergaments wird die Stimmung in allen obigen Fällen, nur nicht das *h* beim Bedecken des Pergaments, um einen halben bis ganzen Ton erhöht, doch nur auf einige Minuten.

Benetzt man das Pergament mit Wasser, so wird die Stimmung von Augenblick zu Augenblick immer tiefer und tiefer, und sinkt in wenig Augenblicken gegen eine Quinte. Dann aber spricht die Pfeife gar nicht mehr an.

Durch längeres oder öfteres Einblasen des Athems wird die Stimmung gegen eine Quarte tiefer, aber nur auf einige Minuten. Bei nasser Witterung wird die Stimmung gegen eine große Terz tiefer, wenn auch die Pfeife in einem unbewohnten, vorzüglich trockenen Zimmer, und bei verschlossenen Thüren und Fenstern aufbewahrt wird.

No. 3. Ist die Pfeife offen, und die Membran trocken und unberührt, so ist der Blaston und der Schlagton eingestrichen *d*. Wird der Rand des Pergaments,

am Ausgange der Pfeife, ein wenig einwärts gebogen, so ist der Blaston und der Schlagton eingestrichen *d*. Ist die Pfeife sieben Achtel (des Calibers) gedackt, so ist der Blaston und der Schlagton eingestrichen *c*. Ist sie ganz gedackt, so ist der Blaston und der Schlagton klein *f*.

Drückt man das Pergament in seiner Mitte mit einer Fingerspitze, so ist der Blaston eine kleine Terz höher, nämlich eingestrichen *as*. Rückt man den Druck auf- oder abwärts, so wird der Blaston in beiden Fällen immer tiefer. Ist der Druck nahe am oberen oder unteren Rande des Pergaments, so ist der Blaston eingestrichen *f*, wie ohne Druck. Der Schlagton ist dabei immer derselbe, wie der Blaston, und zwar ober- und unterhalb des Druckes. Die Sandversuche verhalten sich wie bei No. 2.

Bedeckt man das ganze Pergament mit den Fingern, so giebt die Pfeife, angeblasen, eingestrichen *h*, wie No. 1.

Durch längeres oder öfteres Drücken des Pergaments und durch öfteres Schlagen desselben wird der Ton in allen diesen Fällen, nur nicht das *h* beim Bedecken des Pergaments, um einen halben oder ganzen Ton erhöht, aber nur auf einige Zeit.

Benetzt man das Pergament mit Wasser, so wird der Ton von Augenblick zu Augenblick immer tiefer und tiefer, aber auch zugleich immer schwächer und dumpfer, und sinkt in wenigen Augenblicken gegen eine Quinte. Dann aber auf einmal giebt die Pfeife nichts weiter an, als zweigestrichenes *c*, aber sehr heiser.

Bedeckt man nun das ganze Pergament mit den Fingern, so giebt die Pfeife, angeblasen, wieder das helle eingestrichene *h*, wie No. 1.

No. 4. Trocken und ungedackt: Schlagton auf allen vier Seiten und auch der Blaston *a*. Gedackt: Schlagton auf allen vier Seiten und auch der Blaston *A*. Beide Töne aber sehr schwach und dumpf. Benetzt man ein Pergament, so wird der Ton einen halben bis ganzen

Ton tiefer, aber immer leiser. Benetzt man alle vier Pergamenttafeln, so wird der Ton von Augenblick zu Augenblick immer tiefer bis gegen eine Quinte. Dann aber auf einmal giebt die Pfeife nichts weiter an, als zweigestrichenes *d*, sehr heiser.

No. 5. Trocken und ungedackt: Schlagton auf allen vier Seiten und auch der Blaston *e*. Gedackt: Schlagton auf allen vier Seiten und auch der Blaston *H*. Beides, *e* und *H*, sehr schwach und dumpf.

Durch öfteres Anschlagen der Membran wird jenes *e* und *H* um einen halben oder ganzen Ton erhöht, durch öfteres Blasen aber nicht nur auf die vorige Tonhöhe zurück, sondern auch noch einen halben bis ganzen Ton darunter gebracht.

Benetzt man die Membranen, so sinkt der Ton schnell gegen eine große Terz, verschwindet dann ganz, und die Pfeife spricht nicht mehr an.

No. 6 spricht auf das Blasen gar nicht an. Der Schlagton ist hier an der vorderen Membran *A*, an der hinteren *gis*, an der rechten *c*, an der linken *d*, alle vier sehr dumpf und schwer zu unterscheiden.

Auffallend ist bei diesen Versuchen die Uebereinstimmung des Schlagtons mit dem Blastone bei so verschiedener Behandlung des Pergaments und der übrigen Pfeifenröhre. Auffallend ist diese Uebereinstimmung schon bei den beiden einbäutigen Pfeifen *N.* 2 und 3, noch auffallender aber bei den beiden vierbäutigen *N.* 4 und 5. Denn hier sind die vier Membranen, bei gleicher Größe und Dicke, in sehr verschiedener Spannung aufgeleimt, eine sehr straff, eine andere wieder sehr schlaff, und doch geben sie alle vier einerlei Schlagton, und diesen wieder übereinstimmend mit dem Grundton, den die Pfeife beim Anblasen giebt.

Wir sehen ferner, daß der Ton, den die Pfeife ohne Membran hat (siehe No. 1), durch die Membran abgeändert wird. Wir sehen aber auch, daß anderer-

seits der Ton der Membran, und, bei den vierhäutigen Pfeifen, der Ton aller vier Membranen durch die Pfeife abgeändert wird. Denn anders ist der Membranton bei offener, anders bei theilweiser, anders bei ganz gedackter Pfeife.

Aus dem Allen ergibt sich, dafs, bei solchen theilweise mit Membran besetzten Labialpfeifen, die Luftsäule und die Membranen die verschiedenen Geschwindigkeiten in der Nacheinanderfolge der Schwingungen, welche jedes für sich allein anzunehmen strebt, unter einander ausgleichen, und eine gemeinschaftliche Geschwindigkeit zusammen annehmen.

Wir haben also 1) *die eigenthümliche Stimmung der Pfeife*, bei durchaus starren Wänden; 2) *die eigenthümliche Stimmung der Membranen*, bei ihrer Absonderung von der Pfeife; 3) *die gemeinschaftliche Stimmung der Pfeife und der Membranen*, bei ihrer gegenseitigen Verbindung.

Soll nun ein bestimmteres Resultat aus diesen Untersuchungen hervorgehen, so ist es nicht genug, die gemeinschaftliche Stimmung mit der eigenthümlichen der Pfeife zu vergleichen, sondern auch die eigenthümliche der Membranen mufs in den Vergleich gezogen werden; man mufs erforschen, wie die gemeinschaftliche sich verhält, je nachdem die eigenthümliche der Membranen entweder mit der eigenthümlichen der Pfeife gleich, oder wenn dieses oder jenes Intervall über oder unter ihr ist.

Es ist zwar vorauszusetzen:

1) wenn die eigenthümlichen Stimmungen gleich sind, wird auch die gemeinschaftliche dieselbe seyn;

2) wenn die gemeinschaftlichen Stimmungen ungleich sind, wird die gemeinschaftliche dazwischen liegen;

3) je weiter die eigenthümlichen Stimmungen von einander entfernt sind, desto weiter wird die dazwischensliegende gemeinschaftliche von ihnen entfernt seyn;

4) je gröfser bei einer gegebenen ungleichen Stim-

mung die Masse der Membranen ist, desto näher der eigenthümlichen Stimmung der Membranen und desto entfernter von der eigenthümlichen der Pfeife wird die gemeinschaftliche seyn;

5) je kleiner, bei einer gegebenen ungleichen Stimmung, die Masse der Membranen ist, desto näher der eigenthümlichen Stimmung der Pfeife, und desto entfernter von der eigenthümlichen der Membranen wird die gemeinschaftliche seyn.

Das alles ist zwar vorauszusetzen. Sicherer aber ist, es zu versuchen.

Zu diesem Behufe bedarf es membranöswandiger Labialpfeifen von verschiedener Länge, so eingerichtet, dafs die membranösen Wände, ihrer Spannung unbeschadet, aus der Pfeife herausgenommen, hier durch starre Wände ersetzt, und dann die Membranen, jede für sich, so wie auch die Pfeifen, jede für sich, rück-sichtlich ihrer Stimmung, untersucht werden können.

Und damit die Membranen in irgend einer Stimmung so lange erhalten werden können, als zu solchen ausführlicheren und genaueren Versuchen nöthig ist, so darf das Anblasen der Pfeifen nicht mittelst des Mundes geschehen, weil durch die Feuchtigkeit des Athems die Spannung und Stimmung der Membranen gar zu veränderlich wird.

Ich liefs mir daher folgenden Apparat machen.

1) Eine hölzerne vierseitige Labialpfeife in zweigestrichenem *c* Kammerton. Ihr Kanal ist 6 Zoll $4\frac{1}{4}$ Lin. Par. Maafs lang, und auf zwei Seiten 2 Zoll 10 Linien, auf den andern beiden Seiten 3 Zoll breit. Diese Breite war nöthig, wegen des Folgenden. Zwei Wände sind so eingerichtet, dafs sie, jede allein, herausgenommen und winddicht wieder eingesetzt werden können.

2) Zwei andere in die Stellen jener beiden winddicht passende Wände aus länglich viereckigem, in Rahmen geleimtem Pergamente, so, dafs sie, jede von der

anderen und von der Pfeife abgesondert, hinsichtlich ihrer Stimmung, geprüft werden können.

3) Vierzehn hölzerne Röhrenaufsätze, so, daß die Holzpfeife abwechselnd die diatonische Tonleiter von $\bar{c}$ bis c herab gestimmt werden kann, und also für fünfzehn Pfeifen hierbei dient.

4) Ein Orgelgebläse, bestehend aus einem Blasebalge, einem Gestelle und einem Windkanale, in dessen Seitenöffnungen Pfeifen eingesetzt werden können.

Von den fünfzehn Tönen der Holzpfeife gebrauchte ich hier nur den obersten, mittelsten und untersten, $\bar{c}$, $\bar{c}$, c , weil diese zur Lösung der Aufgabe vollkommen hinreichen.

Jeden Versuch machte ich erst mit einer, dann mit zwei Membranen, und in beiden Fällen erst ungedackt (mit offenem Ausgangsende), dann gedackt (mit bedecktem Ausgangsende).

Die Benennung *Grundton* ist hier nicht im musikalischen, sondern im akustischen Sinne zu nehmen, und bedeutet den tiefsten Ton eines tönenden Körpers, bei seiner einfachsten Schwingung, im Gegensatze der Aliquotöne, bei seiner Schwingung in aliquoten Theilen, oder auch im Gegensatze derjenigen Töne, welche entstehen, wenn man denselben Körper nur in Einem Theile schwingen läßt.

Ergebnisse dieser Versuche.

Eigenthümlicher Grundton der Pfeife:	$\bar{c}$	$\bar{c}$	c
Eigenthümlicher Grundton der ersten Membran:	e	e	e
Gemeinschaftlicher Grundton der Pfeife	} ungedackt: d gedackt: as	a	c sehr matt spricht gar nicht an
und der ersten Membran . . .		e	
Eigenthümlicher Grundton der zweiten Membran:	$e+$	$e+$	$e+$
Gemeinschaftlich. Grundton der Pfeife	} ungedackt: e gedackt: g	e	c sehr matt spricht gar nicht an
und beider Membranen . . .		$d+$ $g+$ matt	

Obige fünf Voraussetzungen finden also in diesen letzteren Versuchen ihre Bestätigung.

Versuche mit den beiden Membranen dieser Pfeife für sich allein, obno die Pfeife:

Aufgestreuter Sand macht keine Figuren, ich mag die Membranen halten wo ich will, sie schlagen wo ich will, und ausserdem berühren und drücken wo ich will, oder auch sie gar nicht weiter berühren.

In der Mitte gedrückt, giebt ringsherum $\bar{e}$. Mittelwegs zwischen dem Mittelpunkte und dem Rande gedrückt, giebt auf der schmalen Seite $\bar{e}$, auf der breiten h . Die Durchmesser mögen nach der Länge, der Quere oder schief (diagonal) genommen werden, die Resultate sind dieselben. Rückt man den Druck von irgend einem Randtheile allmählig bis zum Mittelpunkte, so steigt der Ton allmählig (d. h. durch die kleinsten Tonunterschiede hindurch) bis zur nächst höheren Octave. Rückt man den Druck vom Mittelpunkte allmählig bis zu irgend einem Randtheile, so sinkt der Ton allmählig von der nächst höheren Octave auf den Grundton.

Rückt man den Druck allmählig von einem Randtheile bis zum entgegengesetzten, durch einen ganzen Durchmesser hindurch, über die Membran hin, so gehen, beim Anschlagen, alle Tonveränderungen allmählig.

Die Hälfte der Membran gedrückt, giebt e eingestrichen, die Halbierung mag nach der Länge, der Quere oder schief, nach der Diagonale gehen.

Werden drei Viertel der Membran ganz gedrückt, so giebt das übrige Viertel e zweigestrichen.

Alles dieses habe ich oft wiederholt¹⁾.

1) Wegen der ungleichen Aufspannung dieser Membranen (mit Leim) und der daher entstehenden Schwebung hält es schwer, ihren Ton zu unterscheiden. Etwas Aehnliches ist es mit den Trommeln. Selbst Musiker von sehr feinem musikalischen Gehöre behaupten, an Trommeln könne man keinen bestimmten Ton unterscheiden. Man kann sich aber helfen, indem man in irgend einem Durchmesser den Punkt

Endlich noch liefs ich mir von einem Kupferschmied, welcher in Verfertigung von Pauken als sehr geschickt bekannt ist, an die Stelle dieser beiden in Holzrahmen gefalsten Pergamenthäute ein Paar andere Einsetzer machen, die Rahmen von Metall, die Pergamenthäute nach Paukenart aufgespannt, und ringsherum metallene Schrauben zum Behufe des Stimmens, ebenfalls nach Art der Pauken. Auf diese Art gedachte ich auch höhere Membrantöne in den Vergleich zu ziehen, und überhaupt mannichfaltigere und nach Willkühr bestimmte Verhältnisse von Pfeifenton und Membranton zusammenzustellen und in ihren gemeinschaftlichen Wirkungen zu prüfen. Es schlug jedoch fehl. Der gehörige winddichte Verschluss war dabei nicht zu Stande zu bringen. Die Pfeife sprach daher nicht an. Zudem waren diese beiden Einsetzer, ihrer Kleinheit wegen, allzu zart ausgefallen. Die Schrauben hielten die Spannung der Membranen nicht aus und gaben nach. Indessen thut das der Hauptsache keinen Abbruch. Der Zweck ist erreicht. Die Gesetze dieser Combination von Tonbildung sind, wie ich glaube, ausgemittelt, und durch Versuche, laut obiger Tabelle, bestätigt.

So die Labialpfeifen. Wie nun aber die Zungenpfeifen? Denn Hr. S. verwechselt sie, und schreibt die Vertiefung durch Convergenz und häutige Beschaffenheit der Röhrenwände, wie sie bei Labialpfeifen stattfindet, auch den kurzen Zungenpfeifen zu. Es fragt sich also:

1) Macht die Richtung der Röhrenwände bei den kurzen Zungenpfeifen einen Unterschied in der Tonhöhe, und welchen?

2) Macht die häutige Beschaffenheit der Röhren-

auf drei Viertel (des Durchmessers) niederdrückt, dadurch die Quinte zum Vorschein bringt, und nun den Grundton und die Quinte ein Paar Mal abwechselnd angiebt. Dadurch wird der Grundton verständlicher. Doch muß man das Ohr nahe an die Membran halten; sonst hört man freilich nur Geräusch, aber keinen Ton.

wände bei den kurzen Zungenpfeifen einen Unterschied in der Tonhöhe, und welchen?

Ich liefs mir ein Zungenpfeifen-Mundstück mit mes-singener Zunge und fünf darauf passende Röhren machen, das Mundstück so, dafs es verschiedentlich, und von den Röhren abgesondert, gestimmt werden kann, jede der Röhren $4\frac{1}{2}$ Par. Zoll lang und im Querdurch-schnitte regelmäfsig viereckig, übrigens mit folgenden Verschiedenheiten:

No. 1 mit parallelen Wänden von Holz, 1 Par. Zoll und 10 Linien weit;

No. 2 mit divergirenden Wänden von Holz, zu un-terst 8 Linien, zu oberst 2 Zoll 3 Linien weit;

No. 3 mit convergirenden Wänden von Holz, zu un-terst 2 Zoll 5 Linien, zu oberst 8 Linien weit;

No. 4 mit parallelen Wänden aus Pergament und hölzernen Rahmen 2 Zoll 3 Linien weit;

No. 5 mit convergirenden Wänden aus Pergament und hölzernen Rahmen, zu unterst 2 Zoll 5 Linien, zu oberst 8 Linien weit.

Diese fünf Röhren nun, abwechselnd mit dem Mund-stücke verbunden, geben, beim Anblasen des Mundstücks, durchaus denselben Ton, den das Mundstück für sich allein giebt.

Auch mögen die Membranen in No. 4 und 5 trok-ken, feucht oder durchnäßt seyn, die Pfeife giebt durch-aus denselben Ton, den das Mundstück für sich allein giebt.

Ich liefs mir ein anderes Zungenpfeifen-Mundstück zu jenen fünf Röhren machen, eben so wie das vorige, aber die Zunge nicht von Metall, sondern von dünnem Pergament.

Dieses Mundstück, mit jenen fünf Röhren abwech-selnd verbunden, giebt, angeblasen, durchaus denselben Ton, wie für sich allein.

Auch mögen die häutigen Wände in No. 4 und 5

trocken, feucht oder durchnäßt seyn, die Pfeife giebt durchaus denselben Ton, den das Mundstück für sich allein giebt.

Gesamtübersicht der Ergebnisse dieser Versuche zur
Beantwortung jener Fragen.

A. In Betreff der Labialpfeifen.

Labialpfeifen mit membranöser Wandung vermögen tiefer zu tönen, als bei durchaus starrer Wandung und übrigens gleichen Umständen.

Labialpfeifen mit membranöser Wandung tönen desto tiefer, je schlaffer die Membran.

Diese Vertiefung durch Erschlaffen der Membranen geht bis über zwei Octaven, aber nicht in's Unendliche. Denn bei fortgesetztem Erschlaffen der Membranen tönt die Pfeife nicht nur tiefer, sondern auch zugleich immer schwächer, bis zum allmäligen Verschwinden des Tones. Dieser Grad der Erschlaffung ist die Gränze der Vertiefung. Ist diese Gränze überschritten, dann verhalten sich die Membranen, beim Anblasen der Pfeife, wie offene Stellen, und die Pfeife ist von da an, wo die Membranen anfangen, stumm. Fangen sie zu unterst der Röhre, am Labialende, an, so ist die ganze Pfeife stumm. Fangen sie höher an, so tönt der bis dahin reichende Theil der Pfeife allein, und es entsteht, nach dem Verschwinden jenes tieferen Tones der ganzen Röhre, ein viel höherer, nach Maafsgabe der Länge dieses unteren Theiles der Röhre. Es kann also niemals der Fall eintreten, daß eine membranöswandige Labialpfeifenröhre, innerhalb der membranösen Wände, wegen unzureichender Spannung derselben, unabhängig von ihnen ertönte, sondern, so weit sie membranös ist, tönt sie entweder von den Membranen abhängig, oder gar nicht, sie verstummt.

Labialpfeifen mit membranöser Wandung tönen nicht allemal tiefer, sondern, unter gewissen Umständen, eben

so hoch oder höher, als bei durchaus starrer Wandung und übrigens gleichen Umständen.

Die Membran oder die mehreren Membranen in der Pfeifenwandung geben, beim Anschlagen, denselben Ton, den die Pfeife, beim Anblasen, als ihren Grundton giebt.

Die Stimmung der Membranen in und aufser der Verbindung mit der Pfeife kann, bei unveränderter Spannung, doch verschieden seyn.

Die eigenthümliche Stimmung der Pfeife (d. h. die Stimmung, welche der Pfeife, bei durchaus starrer Wandung und übrigens gleichen Umständen, zukommt, und *die eigenthümliche Stimmung der Membranen* (d. h. die Stimmung, welche den Membranen, bei ihrer Absonderung von der Pfeife und übrigens gleichen Umständen, zukommt) gleichen sich, bei der Verbindung der Pfeife und der Membranen, unter einander aus, so, daß die Pfeife und die Membranen, bei ihrer gegenseitigen Verbindung, eine und dieselbe *gemeinschaftliche Stimmung* annehmen. Dabei sind folgende Umstände zu unterscheiden: 1) sind die eigenthümlichen Stimmungen (der Pfeife und der Membranen) gleich, so ist auch ihre gemeinschaftliche den eigenthümlichen gleich; 2) sind die eigenthümlichen Stimmungen ungleich, so liegt die gemeinschaftliche dazwischen; 3) je weiter die eigenthümlichen Stimmungen von einander entfernt sind, desto weiter ist die dazwischenliegende gemeinschaftliche von ihnen entfernt.

Je größer die Masse der Membranen, bei gegebenen ungleichen Stimmungen der Pfeife und der Membranen, desto näher der eigenthümlichen Stimmung der Membranen und desto entfernter von der eigenthümlichen der Pfeife ist die gemeinschaftliche; je kleiner die Masse der Membranen, desto näher der eigenthümlichen der Pfeife, und desto entfernter von der eigenthümlichen der Membranen ist die gemeinschaftliche.

Je länger die Pfeife, bei einer gegebenen Masse und

Stimmung der Membranen, desto näher der eigenthümlichen Stimmung der Pfeife, und desto entfernter von der eigenthümlichen der Membranen ist die gemeinschaftliche; je kürzer die Pfeife, desto näher der eigenthümlichen Stimmung der Membranen, und desto entfernter von der eigenthümlichen der Pfeife ist die gemeinschaftliche.

Folglich: Bei Labialpfeifen mit membranöser Wandung, wenn sie nach Orgelart angeblasen werden, und die Membranen straff genug sind, um durch das Anprallen der Luft in Schwingung zu gerathen, und das Zurückprallen der Luft zu bewirken, schwingen die Membranen mit der Luftsäule gemeinschaftlich. Die eigenthümlichen Geschwindigkeiten in der Nacheinanderfolge der Schwingungen, welche die Pfeife und die Membranen, jede für sich, anzunehmen streben, sind entweder gleich oder ungleich. Sind sie gleich, und also einander nicht widerstrebend, so ist die gemeinschaftliche Geschwindigkeit dieselbe; sind sie ungleich, und also einander widerstrebend, so gleichen sie sich aus zu einer gemeinschaftlichen mittleren Geschwindigkeit. Die Ausgleichung richtet sich nach der Größe der schwingenden Massen. Je größer die Masse der Membranen, bei übrigens gleichen Umständen, desto mehr nähert sich die gemeinschaftliche Geschwindigkeit der eigenthümlichen der Membranen; je größer die Luftsäule, bei einer gegebenen Masse und Spannung der Membranen, desto mehr nähert sich die gemeinschaftliche Geschwindigkeit der eigenthümlichen der Luftsäule. Je schlaffer die Membranen, desto geringer die Elasticität und ihre Rückwirkung auf die Luft, und desto schwächer daher auch die Schwingungen der Membranen sowohl als auch der Luftsäule. Sind endlich die Membranen zu schlaff, um durch das Anprallen der Luft in Schwingung zu gerathen und das Zurückprallen der Luft zu bewirken, so kann kein Schwingen der Membranen und der angränzenden Luft zu Stande kommen. Ist nun, bei dermaßen schlaffen Membranen,

zunächst dem Mundstücke ein Theil *starre* Wandung, so, daß dort die anprallende Luft den zum Zurückprallen nöthigen Widerstand findet, so schwingt der dazu gehörige Theil der Luftsäule für sich; fangen aber die Membranen gleich von dem Mundstücke an, so entsteht durch das Anblasen gar keine Tonschwingung, weder der Luft, noch der Membranen. Doch entsteht die Tonschwingung der Membranen, auch bei solcher Erschlaffung noch, durch Anschlagen. Dann aber sind die Membranen in ihren Geschwindigkeiten unabhängig von der Luftsäule und von einander selbst.

Wird eine (durch Wechselwirkung mit der Luftsäule gemeinschaftlich tönende) Membran an irgend einem Punkte gedrückt, so wird die gemeinschaftliche Stimmung höher, und zwar, bei rechtwinklich viereckigen Membranen, am höchsten, wenn der Druck in der Mitte der Membranen stattfindet. Rückt man den Druck von irgend einer Stelle der vier Ränder allmählig bis zur Mitte, so, daß alle auf diesem Wege befindlichen Punkte der Membranen nach einander möglichst gleichmäfsig gedrückt werden, so steigt die Stimmung bis dahin *allmählig*. Rückt man den Druck von der Mitte allmählig und möglichst gleichmäfsig nach irgend einer Stelle des Randes hin, so sinkt die Stimmung bis dahin *allmählig*. Der Schlagton ist dabei immer mit dem Blaston gleich, der Druck mag in der Mitte oder zwischen der Mitte und dem Rande, und das Anschlagen mag, im letzteren Falle, auf der breiten oder der schmalen Seite geschehen. Die Membran schwingt also, bei diesem Verfahren, immer in zwei Abtheilungen, bei dem centrischen Drucke in zwei gleichen, bei jedem excentrischen Drucke in zwei ungleichen Abtheilungen. Bei ungleichen Abtheilungen geschieht wieder eine Ausgleichung der Geschwindigkeiten. Die gröfsere Abtheilung aber hat, wegen ihrer gröfseren Masse, das Uebergewicht bei der Ausgleichung. Daher ist die Stimmung tiefer bei excentrischem, als bei centrischem

Drucke, und desto tiefer, je weiter der Druck vom Centrum entfernt ist. Abtheilungen der Membran in drei, vier u. s. w. gleiche Theile mit zwischenliegenden Knotenlinien finden also hier nicht statt; sonst müßten, bei diesem Verfahren, die Knotenlinien irgendwo getroffen werden, und die Theilungen mit ihren Aliquottönen zu Stande kommen; die Tonveränderung würde daher, bei diesem Verfahren, nicht allmählig, sondern sprungweise geschehen, und die Stimmung würde, bei excentrischem Drucke, z. B. bei dem Drucke auf eine Knotenlinie der Drittelabtheilung, höher seyn, als bei dem centrischen Drucke.

Drückt man eine (durch Wechselwirkung mit der Luftsäule gemeinschaftlich tönende) Membran auf *zwei* Punkten, sie mögen noch so verschiedentlich gelegen seyn, nur nicht ganz nahe am Rande oder ganz nahe an einander, so ist die Stimmung (ungefähr) einen Ton höher, als bei dem Drucke an Einem Punkte. Diese Erhöhung rührt offenbar davon her, daß die Abtheilungen der Membran in diesem Falle kleiner sind, als bei dem Drucke an Einem Punkt. Rückt man beiderlei Druck dem Rande zu, so sinkt die Stimmung *allmählig* bis zu dem Tone, der ohne Druck stattfindet. Rückt man beiderlei Druck dem Mittelpunkte der Membran zu, so sinkt die Stimmung *allmählig* um einen Ton, nämlich bis zu dem Tone, der bei einfachem centrischen Drucke stattfindet. Aliquottöne sind also auch hier wieder nicht; das beweist die Allmählichkeit der Uebergänge.

Rührt die Tonveränderung bei diesen Drucke etwa von dadurch veränderter Spannung her? Keineswegs. Denn der Ton ist bei schwachem oder noch so starkem Drucke einerlei.

Drückt man eine Hälfte der Membran, so ist die Stimmung, wie bei dem Drucke im Mittelpunkte der Membran, weil diese in beiden Fällen halbtirt wird.

Drückt man die ganze Membran, so ist die Stim-

mung, wie bei durchaus starrer Wandung und übrigens gleichen Umständen.

Verbreitet man den Druck von irgend einer Randstelle an auf die ganze Membran, so steigt die Stimmung *allmählig* von dem Tone, der bei ganz unbertührter Membran stattfindet, bis zu dem, welcher der Pfeife, bei durchaus starrer Wandung und übrigens gleichen Umständen, zukommt.

Bei den *gedachten* Pfeifen dieser Art geschieht wieder dieselbe Ausgleichung, nur dafs hier der eine Factor, die eigenthümliche Stimmung der Pfeife, eine Octave tiefer ist. Die gemeinschaftliche aber wird dadurch keine ganze Octave tiefer, weil bei der Ausgleichung ein Theil dieser Differenz des einen Factors an den anderen abgegeben wird, und also die gemeinschaftliche Differenz um so viel geringer ausfällt.

Solche Töne nun, welche dadurch entstehen, dafs zwei mit verschiedener Geschwindigkeit schwingende Körper zu einer gemeinschaftlichen mittleren Geschwindigkeit sich ausgleichen, können daher in der Akustik wohl füglich *Ausgleichungstöne* genannt werden.

Der Einflufs dünner Röhrenwände auf die Stimmung schwingender Luftsäulen war zwar vorher nicht ganz unbekannt. Denn schon lange wufste man, dafs Labialpfeifen und Messinginstrumente ihre Stimmung verändern, sobald ein Theil ihrer Wandung zu dünn wird. Vorzüglich die Orgelbauer und die Messinginstrumentmacher wufsten das recht gut. Solche *membranöse* Pfeifen aber hat Hr. Savart zuerst aufgestellt. Und hat er gleich ihr Verhalten theils unrichtig angegeben, so gebührt ihm doch das Verdienst, sie erfunden und dadurch die Wissenschaft zu einer Bereicherung gebracht zu haben.

Wie nun aber mit dem *praktischen* Nutzen dieser Erfindung? Wäre sie nicht anwendbar auf Orgeln und Blasinstrumente? Welche Tiefe würde da durch so wenig Masse erreicht! Vier Fufs verträten acht bis sechszehn

Fufs. Acht Fufs verträten sechszechn bis zwei und dreissig Fufs. Wie compendiös und wie wohlfeil zugleich würden da die Orgeln seyn? Viel compendiöser und viel wohlfeiler als bei dem Vogler'schen Simplications-systeme!

Aber zwei Hindernisse stehen im Wege.

Erstens die Veränderlichkeit der Stimmung, nach Maafsgabe der Feuchtigkeit der Luft und zumal des Athmens. Durch nasse Witterung sinkt die Stimmung solcher Pfeifen gegen eine grofse Terz, durch Einblasen des Athems gar bis zu einer Quinte.

Dieses Hindernifs wäre nun zwar zu überwinden durch Oelen oder Firnissen der Membranen.

Ein zweites aber und unüberwindliches Hindernifs ist das mit dem Tieferwerden zugleich fortschreitende Schwächerwerden des Tones; denn diese Vertiefung durch Erschlaffen der Membranen geht zwar bis über zwei Octaven, aber bei fortgesetztem Erschlaffen der Membranen tönt die Pfeife nicht nur tiefer, sondern auch zugleich immer schwächer, bis zum allmäligen Verschwinden des Tones.

Beide Hindernisse könnte man umgehen, wenn man anstatt der Membranen dünne Metallplatten in die Pfeifenwände einsetzte. Diese klirren aber; das sieht man an Waldhörnern, wenn eine Stelle so dünn ist, dafs sie selbsttönend schwingt.

B. In Betreff der Zungenpfeifen.

Bei den kurzen Zungenpfeifen macht die Richtung der Wände, sie mag parallel, divergent oder convergent seyn, keinen Unterschied in der Tonhöhe.

Bei den kurzen Zungenpfeifen macht die Substanz der Wände, sie mag starr oder membranös, und, im letzteren Falle, trocken, feucht oder durchnäfst seyn, keinen Unterschied in der Tonhöhe.