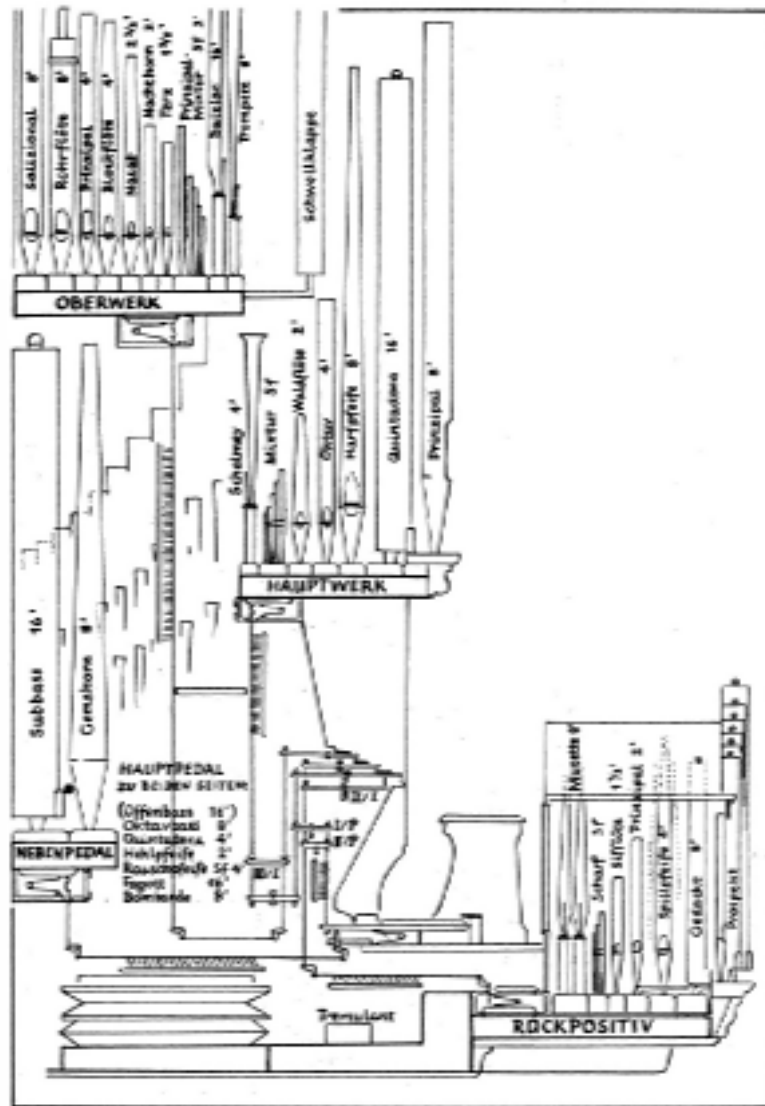


# Die Physik der Orgel



Jahresarbeit Klasse 12 an der  
Freiherr-vom-Stein-Schule in Hessisch Lichtenau

Fächer: Physik bei Hr. Meyfarth  
Musik bei Hr. Schmidt

Simon Schumacher, Großalmerode, 30.04.2003

<b>Einleitung .....</b>	<b>3</b>
<b>1 Was man über die Orgel wissen sollte .....</b>	<b>4</b>
<b>1.1 Gehäuse .....</b>	<b>4</b>
<b>1.2 Spieltisch .....</b>	<b>5</b>
1.2.1 Manual .....	5
1.2.2 Pedal .....	5
1.2.3 Register .....	6
1.2.4 Koppeln .....	6
<b>1.3 Kirchenschiff .....</b>	<b>6</b>
<b>2 Von der Taste zum Ton – mechanische Grundsätze .....</b>	<b>6</b>
<b>2.1 Trakturen .....</b>	<b>7</b>
2.1.1 Mechanische Traktur .....	7
2.1.2 Pneumatische Traktur .....	7
2.1.3 Elektrische Traktur .....	7
<b>2.2 Windladen .....</b>	<b>8</b>
2.2.1 Tonkzellenlade .....	8
2.2.2 Registerkzellenlade .....	9
<b>2.3 Windanlagen .....</b>	<b>10</b>
2.3.1 Tremulant .....	11
<b>3 Pfeifen – Grundsätze im Orgelbau .....</b>	<b>11</b>
<b>3.1 Mensuren .....</b>	<b>12</b>
3.1.1 Längenmessur .....	12
3.1.2 Weitere Messuren .....	12
<b>3.2 Materialien .....</b>	<b>13</b>
<b>3.3 Bauformen .....</b>	<b>13</b>
3.3.1 Labialpfeifen (Lippenpfeifen) .....	13
3.3.2 Lingualpfeifen (Zungenpfeifen) .....	14
<b>4 Akustik – Töne und ihre Erzeugung .....</b>	<b>15</b>
<b>4.1 Die Lehre vom Schall .....</b>	<b>15</b>
<b>4.2 Wellen und Schwingungen .....</b>	<b>16</b>
<b>4.3 Die Grundschwingung der Pfeife .....</b>	<b>17</b>
4.3.1 Gedackte Pfeife .....	17
4.3.2 Offene Pfeife .....	18
4.3.3 Linguale Pfeife .....	18
<b>4.4 Der Trick der gedackten Pfeife .....</b>	<b>18</b>
4.4.1 Mündungskorrektur und Formeln .....	19
<b>4.5 Obertöne .....</b>	<b>19</b>
4.5.1 Gedackte Pfeife .....	20
4.5.2 Offene Pfeife .....	20

4.5.3	Lingualpfeife .....	21
<b>4.6</b>	<b>Aliquoten.....</b>	<b>21</b>
<b>4.7</b>	<b>Gemischte Stimmen .....</b>	<b>21</b>
4.7.1	Farbregister .....	22
4.7.2	Klangkronen .....	22
<b>4.8</b>	<b>Stimmung.....</b>	<b>23</b>
<b>4.9</b>	<b>Interferenz .....</b>	<b>23</b>
4.9.1	Schwebung .....	23
4.9.2	Differenztöne .....	24
<b>5</b>	<b>Anwendung im Orgelbau .....</b>	<b>24</b>
<b>6</b>	<b>Problematiken und ihre Lösungen.....</b>	<b>25</b>
<b>7</b>	<b>Eigene Versuche .....</b>	<b>26</b>
<b>Fazit und Ausblick .....</b>		<b>28</b>
<b>Anhang .....</b>		<b>29</b>
<b>Labialpfeifen.....</b>		<b>29</b>
<b>Lingualpfeifen.....</b>		<b>33</b>
<b>Windanlage .....</b>		<b>35</b>
<b>Das Werkprinzip einer Orgel.....</b>		<b>36</b>
<b>Quellenangaben .....</b>		<b>38</b>
<b>1. Literatur .....</b>		<b>38</b>
<b>2. Verzeichnis der Abbildungen: .....</b>		<b>39</b>
<b>Versicherung über die selbstständige Anfertigung der Arbeit.....</b>		<b>39</b>

(Anstelle eines Glossars sind sämtliche Begriffe im Text erklärt und *kursiv* gedruckt.)

## Einleitung

Über die Orgel, die „Königin der Instrumente“, wissen die meisten Menschen nicht viel.

Man kennt sie klein und überschaubar proportioniert oder groß, gewaltig und prunkvoll, vom Aussehen her zuweilen altertümlich, manchmal auch modern.

Jedoch stellt sich eine Reihe von Fragen:

- Hat eine Orgel mehr Pfeifen als man sehen kann?
- Warum haben manche Orgeln mehrere Reihen von Tasten?
- Was bedeuten die Knöpfe links und rechts neben der Orgelbank?
- Wozu dienen die Metallstreifen neben dem Loch der Pfeife?
- Wie kann man die Orgel laut, wie leise einstellen?
- Weshalb gibt es Wind in einer Orgel?

Mit einigen dieser Fragen wurde ich bereits während meiner Organistentätigkeit (seit August 2001) konfrontiert. Ich erkannte, dass die Orgel mehr darstellt als sichtbar ist. Vor allem war es die Technik, die mich von Anfang an fasziniert hat.

Deshalb möchte ich in dieser Jahresarbeit zu erklären versuchen, wie eine Pfeifenorgel funktioniert. Dazu werde ich zunächst das Labyrinth aus Windladen, Registern, Koppeln, Aliquoten und Zungen zugänglich machen und anschließend den Weg aufzeigen, der nach dem Tastendruck bis zum Ton zurückgelegt wird.

Unberücksichtigt bleiben elektronische Orgeln, wie sie seit den 50-er Jahren des letzten Jahrhunderts hergestellt wurden (durch Hammond, Wurlitzer, Ahlborn, Dr. Böhm, Wersi u.a.).

Wenn sie in Kirchen eingebaut sind, unterscheiden sie sich für den Laien oft nicht von einer „richtigen“ Orgel, da von außen ein konventionelles Gehäuse mit Pfeifen zu sehen ist.

Dahinter „verstecken“ sich z. T. großvolumige Lautsprecher. Ebenfalls wird auf die neuere Generation von Orgeln mit digitaler Klangerzeugung nicht eingegangen, auch wenn deren Klang nur noch für geschulte Ohren (zumeist an der Tonansprache) von einer Pfeifenorgel unterschieden werden kann. Die besondere Problematik von Mischformen (Pfeifenregister und digitale Register in einer Orgel), wie z.B. seit diesem Jahr in der Kath. Kirche in Großalmerode zu finden, wird im Folgenden ebenfalls nicht erörtert. Ich konzentriere mich vielmehr auf die klassische (d.h. traditionelle) Pfeifenorgel, wie sie beispielsweise in den Evang. Kirchen in Großalmerode und Hessisch Lichtenau anzutreffen sind.

# 1 Was man über die Orgel wissen sollte

Zunächst sollte man wissen, dass die Orgel nicht aus physikalischen Berechnungen entstanden ist. Der Orgelbau hat sich in Europa in über 1000 Jahren entwickelt, vieles hat sich durch simples Ausprobieren ergeben, durch damals geniale Erfindungen, die sich zuerst in Provinzen und Ländern, später auf dem ganzen Kontinent verbreiteten. Vieles wurde im Laufe der Jahrhunderte verbessert, verändert, erweitert. Erst in der Mitte des 19. Jahrhunderts begann man mit der Technisierung der Orgel und der Standard der Elektrizität machte auch vor ihr nicht Halt.

## 1.1 Gehäuse

Das, was die Orgel umgibt, nennt man *Gehäuse*. Es dient als Schutzvorrichtung vor Schmutz und unbefugten Personen, gibt der Orgel Stabilität, bildet den Klang- und Resonanzkörper und ist daher aus Holz gefertigt.

Das äußere Erscheinungsbild heißt *Prospekt*, dessen Konstruktion sich je nach Land, Baujahr und Kulturkreis in Größe, Ausschmückung und Technik unterscheidet.

Die Pfeifen, die man von außen sehen kann, nennt man *Prospektpfeifen*. Viele Leute meinen, eine Orgel bestände nur aus den Pfeifen, die man vom Kirchenschiff aus sehen kann. Doch selbst bei traditionellen Pfeifenorgeln sind bisweilen nicht alle der zu sehenden Prospektpfeifen „klingend“, weil bauliche oder architektonische Erfordernisse manchmal den Anschluss von kleinen Pfeifengruppen an einem entfernten Ort an den Spieltisch unmöglich machen.

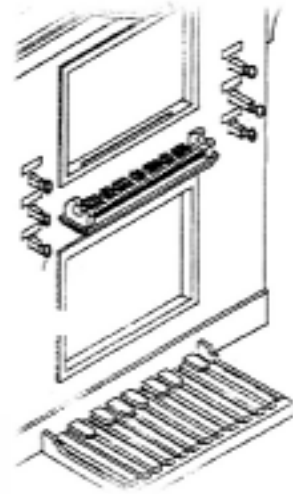
In sich ist das Gehäuse in *Werke*<sup>1</sup> bzw. *Positive* aufgeteilt. Sie stellen jeweils eine bestimmte Gruppierung von *Registern* dar, die über ein *Manual* gespielt werden. Die spezifischen Bezeichnungen stehen für den Ort des Werkes/Positives. So befinden sich das *Hauptwerk* in der Mitte, das *Kronpositiv* oben und das *Rückpositiv* hinter dem Organisten.

---

<sup>1</sup> Näheres siehe Anhang, Seite 35

## 1.2 Spieltisch

Als *Spieltisch* bezeichnet man den Platz, an dem der Organist sitzt und die *Manuale*, das *Pedal* und die *Register* und *Koppeln* betätigt – kurz: „die Orgel spielt“. Um unbefugten Personen keinen Zugang zu verschaffen, ist der Spieltisch meist in einem kleinen Schrank gebaut und kann mittels Türen verschlossen werden. In den häufigsten Fällen ist der Spieltisch an der Gehäusefront, selten seitlich angebracht oder steht separat von der Orgel entfernt<sup>2</sup>.



### 1.2.1 Manual

Ein *Manual* ist eine Reihe von Tasten, die in ihrem Aufbau mit einem Klavier identisch ist und deswegen auch *Klaviatur* genannt wird. Der Umfang, also die Anzahl der Tasten, ist unterschiedlich und in der Geschichte angewachsen: heutzutage umfasst ein Manual meist 56 Tasten. Die Manuale sind terrassenförmig übereinander angeordnet und von unten nach oben mit römischen Ziffern versehen (z.B. unterstes Manual = I. Manual). Die Farbgebung der Tasten kann Unterschiede aufweisen (Untertasten schwarz und Obertasten weiß oder umgekehrt), ist jedoch technisch ohne Bedeutung.

Abbildung 1: Spieltisch einer kleinen einmanualigen Orgel

### 1.2.2 Pedal

Das *Pedal* ähnelt einem Manual, befindet sich jedoch auf dem Boden, wird mit den Füßen gespielt und der Umfang an Tasten ist geringer: heutzutage meist 30 Tasten. Um sie präzise treffen zu können, sind sie größer als Manualtasten und treten in folgenden Bauformen auf:

- a) Das Parallelpedal: Von oben betrachtet sind die Tasten parallel angeordnet. Von vorne betrachtet liegen sie entweder flach auf dem Boden oder sie sind leicht geschweift, d.h. konkav gebaut und steigen zu den Seiten hin leicht an.
- b) Das Radialpedal: Von oben betrachtet sind die Tasten wie ein Fächer angeordnet und laufen somit strahlenförmig auf den Organisten zu.

<sup>2</sup> siehe Abbildung; ein Verzeichnis aller Abbildungen findet sich im Anhang

### 1.2.3 Register

Ein *Register* bezeichnet eine komplette Pfeifenreihe gleicher Bauart und Form und somit gleichen Klanges. Die Registerzüge, auch *Manubrien* genannt, sind meist links und rechts neben den Manualen als Züge angeordnet, bei elektrisch-gesteuerten Orgeln auch als Kippschalter. Jedes von ihnen hat seinen eigenen Namen, der Klangfarbe und Tonlage angibt, z.B. „Holzflöte 4'“ oder „Cello 8'“ (näheres siehe 3.1.1).

Jedem Manual ist eine Gruppe von Registern zugeordnet, deren Umfang letztlich über die Größe der Orgel entscheidet. Auch das Pedal hat seine eigene Registergruppe, sofern es nicht, z.B. bei vielen Kleinorgeln, einfach „angehängt“ ist.

### 1.2.4 Koppeln

Als Fußtritte in Hebelform nahe den Pedaltasten und/oder Registerzügen finden sich die *Koppeln*. Sie ermöglichen entweder das Spielen mehrerer Manuale gleichzeitig von einem einzigen Manual aus (so wird beispielsweise bei der Koppel „II/I“ auf dem I. Manual das II. mitgespielt), oder das Spielen eines Manuals mit dem Pedal (so wird beispielsweise bei der Koppel „III/P“ das dritte Manual vom Pedal aus mitgespielt).

Der Organist sitzt auf einer nach vorn und hinten verschiebbaren und meist auch höhenverstellbaren Orgelbank und hat für seine Noten ein Pult über dem obersten Manual.

## 1.3 Kirchenschiff

Entscheidend für eine gut klingende und klanglich raumfüllende Orgel ist der Platz in der Kirche, an dem die Orgel steht. Der Orgelklang strahlt nach vorne und seitlich von der Orgel weg, weiterhin aufwärts. Daher ist es wichtig, dass eine Orgel frei steht.

In kleineren Kirchen fällt die Wahl des Aufstellungsortes leicht, weil nur die Empore – oder bei deren Fehlen – der Altarraum infrage kommt. In gewaltigen Bauten mit mehreren Emporen und Schiffen steht die Orgel am besten im größten Schiff, da ihr Klang hier seine optimale Entfaltungsmöglichkeit hat.

## 2 Von der Taste zum Ton – mechanische Grundsätze

Wie bei einem Eisberg im Wasser ist das wahre Ausmaß einer Orgel von außen nicht erkennbar. In sich birgt sie komplexe technische Konstruktionen, die zwei Ziele haben: zum einen, den

Klang der Orgel perfekt zu gestalten, und zum anderen, dem Organisten das Spielen so bequem und einfach wie möglich zu machen.

## 2.1 Trakturen

Nun fragt man sich: Wie kommt der Ton zustande, wenn ich eine Taste drücke? Weshalb ist der Tastendruck manchmal größer, manchmal kleiner, um einen Ton zu erzeugen? Warum lassen sich die Registerzüge einmal leichter, ein andermal schwerer ziehen?

Eine Antwort darauf geben die verschiedenen *Spiel-* und *Registertrakturen*. Die drei am häufigsten verwendeten Systeme möchte ich kurz erläutern.

### 2.1.1 Mechanische Traktur

Die *mechanische Spiel- und Registertraktur* ist die am meisten verbreitete und älteste. Hier gelangt die Kraft, die der Organist aufwendet, ausschließlich durch reine Mechanik zu ihrem Einsatzort. Der Spieltisch befindet sich bei der mechanischen Traktur fast immer direkt am Gehäuse. Durch die Mechanik ist sehr präzises Spielen gewährleistet und die Ansprache der Pfeifen kann der Organist durch sein Spiel selbst bestimmen.

### 2.1.2 Pneumatische Traktur

Bei der *pneumatischen Traktur* wird durch das Drücken der Taste ein kleines Ventil geöffnet, durch das nun *Wind* (siehe 3.4) in ein Bleiröhrchen strömt und am anderen Ende des ca. 8-10 mm<sup>3</sup> dicken Röhrchens, dessen Länge vom Standort der Pfeife abhängig ist, ein Spielventil öffnet.

### 2.1.3 Elektrische Traktur

Die *elektrische Traktur* bietet wie die pneumatische die Möglichkeit, den Standort des Spieltisches und den Ort von Werken (z.B. von Fernwerken auf dem Dachboden einer Kirche, deren Klang durch eine Öffnung in der Decke in den Raum dringen kann) beliebig zu variieren. Mit dem Niederdrücken der Taste wird ein Kontakt geschlossen und durch ein Kabel ein Elektromagnet angesteuert, der das Spielventil öffnet. Es sind also zur Übertragung keine mechanischen Bauteile wie die langen Holzleisten („Abstrakten“) notwendig, sondern nur noch Kabel.

---

<sup>3</sup> Maßangabe aus „Probieren und Studieren“, Seite 62



## 2.2 Windladen

Die *Windlade* bildet das „Herz“ der Orgel. Sie ist eine lange, kastenförmige Holzkonstruktion, auf der die einzelnen Pfeifen der Register in Reihen angeordnet stehen. Damit der Wind in die Pfeife gelangen kann, hat die Windlade viele kleine Löcher, also pro Pfeife eines, auf dem die Pfeife steht. Man nennt dieses oberste Brett *Pfeifenstock*. Die Pfeifen stehen senkrecht, je nach den Platzverhältnissen und der Epoche, angefangen von der kleinsten bis zur größten Pfeife, andererseits aufgrund der tonalen Mischverhältnisse nach links und rechts abfallend, wobei die größte Pfeife in der Mitte steht, oder v-förmig mit der kleinsten im Zentrum. Man spricht bei den letztgenannten Aufbauten von der C- und der Cis-Seite, da diese beiden Töne die jeweils tiefsten des Registers und die Pfeifen von da an in Ganztonschritten aufgestellt sind.

Jedem Manual sowie dem Pedal ist mindestens eine Windlade zugeordnet, die man als *Werk* bezeichnet (siehe 1.1). Die einzige Ausnahme bilden die Prospektpfeifen: sie stehen in der Gehäusefront und sind durch *Kondukte* - dies sind Windleitungen aus Metall oder Holz - an die Windlade angeschlossen.

Man hat sich die Windlade allerdings nicht als leeren flachen Holzkasten vorzustellen. Flach ist er zwar, er birgt jedoch verschiedene Techniken, die im Folgenden erläutert werden.

### 2.2.1 Tonkanzellenlade

Bei der *Tonkanzellenlade* gibt es zwei zu unterscheidende Systeme.

- a) Die *Schleiflade* (Abbildung 2) ist das älteste und daher am meisten verbreitete System. Die lange Windlade wird zunächst in ihrer Breite in kleine schmale Kammern, die *Tonkanzellen*, unterteilt. Unter ihnen befindet sich der *Windkasten*. Dieser wird vom Gebläse aus ständig mit Wind versorgt. Die einzigen Öffnungen der Tonkanzellen liegen auf der Ober- und Unterseite. Unten ist das *Tonventil* oder Spielventil

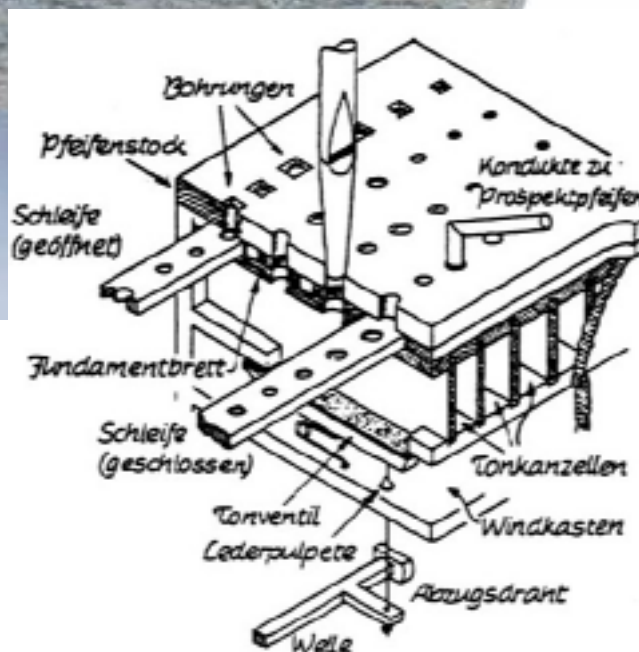


Abbildung 2: eine Schleiflade mit Tonkanzellen

angebracht und durch einen Draht an die Traktur angeschlossen. Wird eine Taste vom Organisten gedrückt, öffnet sich das Tonventil und der Wind kann in die Kanzelle einströmen.

Doch noch kann kein Ton entstehen, da sich zwischen der Pfeife und der Kanzelle noch die *Schleife* befindet. Sie ist eine lange Holzleiste, welche exakt identische Bohrungen besitzt, die auch die Oberseite der Windlade, also der Pfeifenstock, hat, auf der die Pfeifen stehen (im Sonderfall befinden sich hier Kondukte zu den Prospektpfeifen, siehe 2.2). Die Schleife ist so verschiebbar, dass entweder alle Löcher abgedeckt oder geöffnet sind. Dies bewirkt der Organist durch Ziehen der Registerzüge. Ist ein Register gezogen, sind somit alle Bohrungen übereinander und drückt der Organist eine Taste, kann der Wind durch das geöffnete Spielventil und die Bohrungen von Registerschleife und Pfeifenstock in die Pfeife gelangen und einen Ton erzeugen.

- b) Die *Springlade* gleicht zwar in ihrem Aufbau dem der Schleiflade, es wird jedoch das Prinzip der Registerschleife durch eine lange Federleiste ersetzt, die beim Einschalten eines Registers die Springventile niederdrückt, welche sich unter jeder Pfeifenbohrung im Pfeifenstock befinden. Weil jene Federleiste aber beständig niedergedrückt sein muss, damit die Springventile geöffnet bleiben, sind die Registerzüge dieses Systems dabei stets einzuhaken.

### 2.2.2 Registerkanzellenlade

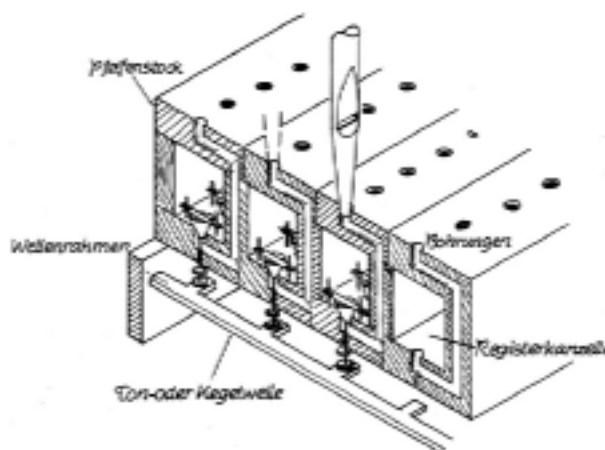
Waren die Tonkanzellenladen im Barock am meisten verbreitet, so entwickelte sich im 19. Jahrhundert das System der *Registerkanzellenlade* mit vielen verschiedenen Bauformen, wie z.B. der pneumatischen Kegellade, der pneumatischen Taschenlade, der pneumatischen Membranenlade oder gar der elektropneumatischen Kegellade. Durchsetzen konnten sich aber nur die im Folgenden erläuterten:

- a) Bei der *mechanischen Kegellade* ist zunächst der Windkasten anders aufgeteilt, nicht mehr in einzelne Tonkammern, sondern in *Registerkammern*, also in lange schmale Kammern, je Register eine. Wenn ein Register gezogen wird, öffnet sich ein Registerventil, durch das Wind in die jeweilige Kammer strömt. Die einzige Öffnung, durch die der Wind zur Pfeife gelangen kann, ist durch einen kleinen belederten Holzkegel verschlossen.

Wird dann eine Taste gedrückt, so hebt sich dieser Kegel aus der Bohrung heraus, und der Wind kann zur Pfeife strömen.

Allerdings hebt man mit einer Taste nicht nur diesen einen Kegel, sondern jeden anderen des gleichen Tones aller Register über eine Kegelwelle.

Es ertönen aber nur die Pfeifen, deren Registerzüge gezogen sind.



**Abbildung 3: eine mechanische Kegellade mit Registerkammern**

- b) Die direkte Weiterentwicklung ist die *pneumatische Kegellade* mit dem wesentlichen Unterschied, dass die Kegel nun nicht mehr mit einer Kegelwelle mechanisch, sondern mit Kegelmembranen oder Kegelbälgen durch die elektrische oder pneumatische Traktur gesteuert werden. Dieser Fortschritt hat erleichtert das Spielen dieses Systems erleichtert, daher setzte sich diese technische Neuerung gegenüber der Mechanik durch, jedoch nur in Bezug auf die Kegellade.

### 2.3 Windanlagen

Alle erläuterten Konstruktionen und Systeme befänden sich im Ruhezustand, wenn sie nicht permanent mit Luft versorgt würden. Diese erzeugten gleichförmigen Luftströme nennt man im Orgelbau *Wind*.

Natürlich gibt es auch hier unterschiedliche Konstruktionen wie den Schmiedebalg, den Spanbalg, den Keilbalg, den Mehrfaltenbalg und den Froschmaulbalg. Heutzutage finden wir meist Windmotoren, die wie ein Gebläse funktionieren, und deren Winddruck durch Regulierbälge mit Rollventilen ausgeglichen (reguliert) wird (siehe Anhang Seite 35). Dabei

wird nur so viel Wind in das Windsystem eingelassen wie nötig. Die Herausforderung für den Orgelbauer besteht darin, dass eine Pfeife den gleichen Winddruck braucht, unabhängig davon, ob sie als Einzelton, im Akkord, zusammen mit weiteren Registern oder gar im „Tutti“, also in allen Registern, gespielt wird.

### 2.3.1 Tremulant

Konstruktionsbedingt herrscht in der Orgel ein konstanter Winddruck, d.h. der Wind ist uniform. Um den Klang einer Orgel zu beleben, wird in den Windkanal bei Betätigung durch einen eigenen Registerzug ein Rahmen gesenkt, den der Wind in Schwingung versetzt. Daraufhin erzeugt der in die Pfeife strömende Wind ein gewolltes Schwingen des Tones, wie man es als „Tremolo“ von der menschlichen Stimme kennt, was klanglich einen ganz anderen Toncharakter ermöglicht gegenüber einem „sterilen“ Dauerton auf streng gleicher Höhe.

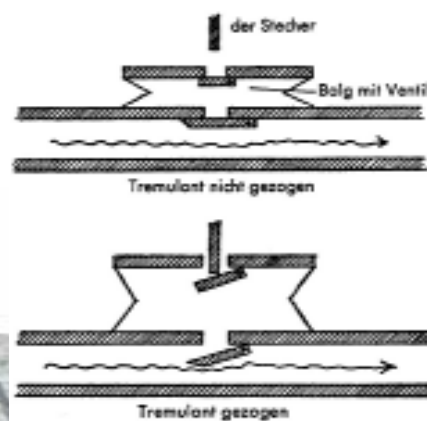


Abbildung 4: Tremulant im Ruhezustand (oben) und gezogen (unten)

## 3 Pfeifen – Grundsätze im Orgelbau

Nun sind alle Voraussetzungen geschaffen, um die eigentlichen Klangerzeuger der Orgel ins Spiel zu bringen: die *Pfeifen*. Sie stehen senkrecht auf dem Pfeifenstock der Windlade und, wie bereits erwähnt, in einer langen Reihe. Jeder Taste ist ein Tonventil an der Windlade zugeordnet, welches wiederum für die Windzufuhr verschiedener Pfeifen zuständig sein, die aber alle den gleichen Ton, wenn auch in unterschiedlichen Tonlagen, erzeugen. Jede einzelne Pfeife ist ein Instrument für sich.

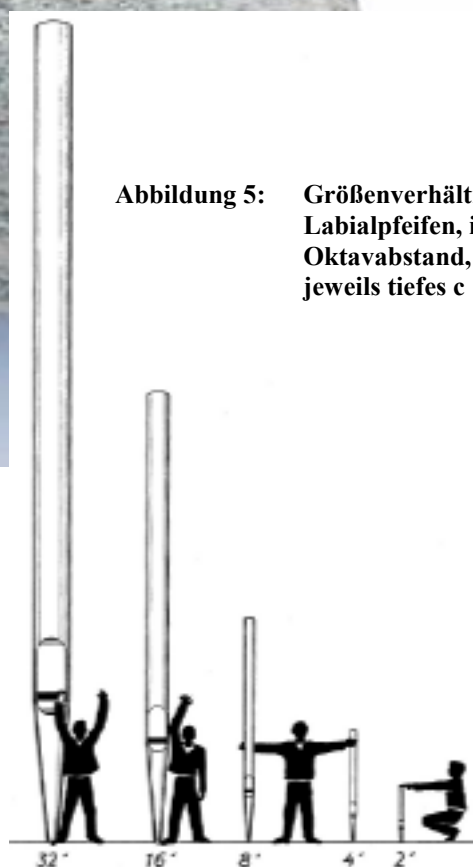


Abbildung 5: Größenverhältnisse von Labialpfeifen, im Oktavabstand, hier jeweils tiefes c

### 3.1 Messuren

Entscheidend für den Klang der Pfeife sind ihre Maße. Der Orgelbauer spricht hier von den *Messuren* und bezeichnet damit die Maße einer Pfeife in ihrer Relation.

**Abbildung 6: Schnitt durch eine offene Metallpfeife**

#### 3.1.1 Längenmessur

Die *Längenmessur* bestimmt die Tonhöhe: je länger die Pfeife, desto tiefer der Ton, je kürzer die Pfeife, desto höher der Ton. Da der Pfeifenfuß (siehe Abbildung 6) fast immer dieselbe Länge hat, wird die Länge einer Pfeife von ihrem *Unterlabium* bis zum oberen Ende in der Einheit „Fuß“ (') gemessen (ein Fuß entspricht ca. 30 cm). Dadurch kann man verschiedene Register unterscheiden, so z.B. ein 8' Register, dessen längste Pfeife, also die der untersten Taste, 8 Fuß (ca. 2,40 m) lang ist, von einem 4' Register der gleichen Bauart, dessen Pfeife auf der untersten Taste nur 4 Fuß (ca. 1,20 m) lang ist. Daher tragen alle Register zuerst den Namen der Bauform und anschließend die Angabe der Fußlänge (z.B. Prinzipal 8' oder Subbass 16').



#### 3.1.2 Weitere Messuren

Weniger wichtige, aber für den Klang relevante Messuren, sind die *Weitenmessur*, die das Verhältnis von Länge und Durchmesser/Umfang der Pfeife angibt, die *Labienmessur*, welche die Breite der vorderen Pfeifenöffnung im Verhältnis zum Umfang der Pfeife bestimmt, und schließlich die *Aufschnittmessur*, die das Verhältnis der Öffnungsweite zur -höhe angibt.

Über die Messuren entscheidet der Orgelbauer, der sie berechnet und die Klangfärbung der Orgel bestimmt. Die „Grobvorgaben“ werden in der Pfeifengießerei berücksichtigt, die Feineinstellungen nimmt der Orgelbauer selbst vor, sobald die Orgel vollständig an ihrem endgültigen Standort steht; man nennt dieses Feineinstellen *intonieren*. Dabei wird ihm sein gesamtes Können abverlangt, denn die Messuren einer Pfeife müssen in einem Dom mit großem Nachhall anders berechnet und intoniert werden als in einer kleinen und akustisch „trockenen“ Holzkirche mit wenig Hall.

### 3.2 Materialien

Neben den Mensuren spielt auch das Material der Pfeifen eine entscheidende Rolle. Ein Großteil der Pfeifen wird aus Metall hergestellt. Die meisten Pfeifen werden aus dem sog. *Orgelmetall*, d.h. eine Legierung aus Zinn und Blei, hergestellt, wobei der Zinnanteil zwischen 30% und 75% variiert. Besteht ein Verhältnis von 50% zu 50%, spricht man vom Naturguss, leicht erkennbar an der marmorierten Oberfläche.

Grundsätzlich gilt: je höher der Zinnanteil, desto hochwertiger die Pfeife, wobei dies nicht das einzige Kriterium für die Klangqualität ist: die Legierung wird nach der Klangabsicht ausgesucht.

Für nicht metallene Pfeifen wird Holz verwendet; es findet seinen Nutzen vor allem bei großen Pfeifen und bei grundtönigen Registern, deren Klang weich sein soll. Überwiegend werden Obst- und Nadelhölzer, Eiche und selten auch Mahagoni verarbeitet.

### 3.3 Bauformen

Die Pfeifen einer Orgel unterscheiden sich voneinander nicht nur im Material, sondern vor allem in ihrer Bauform, die den klanglichen Unterschied ausmacht. Grundsätzlich trennt man *Labialpfeifen* von *Lingualpfeifen*, sie haben jedoch eines gemeinsam: den Klang eines Instrumentes zu imitieren. Die meisten Registernamen geben dieses Instrument wieder, wie die Beispiele unter 1.2.3 belegen.

#### 3.3.1 Labialpfeifen (Lippenpfeifen)

Das Funktionsprinzip einer Labialpfeife gleicht dem einer Flöte: Der Wind dringt zunächst durch den *Pfeifenfuß* und dessen Loch in die Pfeife ein. Sein Weg wird durch den *Kern* der Pfeife und den *Vorschlag* (bei einer Holzpfeife) bzw. das Unterlabium (bei einer Metallpfeife) versperrt. Nur eine dünne Öffnung, die *Kernspalte*, ermöglicht ein Weiterströmen des Windes. Dieses Luftband schneidet sich dann am *Oberlabium*, versetzt es in Schwingung und ein Schneideton entsteht. Entscheidend ist, dass die gesamte Luftsäule der Pfeife zu schwingen beginnt. Wenn nun der Orgelspieler eine Taste gedrückt hält, lässt der Wind nicht nach, die Schwingungen bleiben bestehen und die Pfeife klingt.

Die äußere Form einer Pfeife hat Einfluss auf den Charakter des Tones. Sie kann *zylindrisch* oder *konisch* sein, manchmal gibt

es auch *trichterförmige* Pfeifen. Weiterhin sind sie entweder oben offen (*offene Pfeife*)

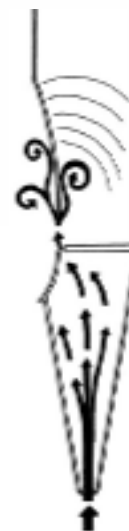


Abbildung 7: Wirbel- und Schwingungsbildung des Windbandes am Oberlabium

oder durch einen Hut oder Spund geschlossen (*gedackte Pfeife*). In diesem Hut kann noch ein Röhrcchen stecken, das unterschiedlich lang sein kann (*halbgedackte Pfeife*).

Für die Ansprache einer Pfeife, d.h. wie gut ein Ton zustande kommt, ist der *Bart* entscheidend, vor allem bei größeren Pfeifen. Er bezeichnet die Metallstreifen, die meist links und rechts neben dem *Labium*, der Öffnung der Pfeife, senkrecht abgehend angebracht sind.

### 3.3.2 Lingualpfeifen (Zungenpfeifen)

Das Funktionsprinzip der Lingualpfeifen (dazu Abbildung 8)

findet sich bei Musikinstrumenten wieder, wie z.B. dem

Saxophon oder der Klarinette. Hier dringt der Wind ebenfalls

durch den Pfeifenfuß, den sog. *Stiefel*, in die Pfeife ein. In

diesem Stiefel befindet sich jedoch zunächst die *Kehle*, eine

kleine Rinne aus Messing. Auf ihr liegt eine leicht aufgebogene *Zunge*, *Aufwurf* genannt, die wiederum von einem gebogenen Stück Messingdraht, der *Krücke*, auf die Kehle gedrückt wird; diese Teile stecken in der *Nuss*.

Strömt nun Wind in die Pfeife, so dringt er zwischen der Zunge und der Kehle in diese ein und saugt die Zunge an, so dass sie auf der Kehle aufschlägt. Daher wird diese

Bauform auch *aufschlagende Zunge* genannt. Da nun kein

Wind mehr nachströmen kann, begibt sich die Zunge in

ihre Ausgangsstellung und der Vorgang beginnt von

neuem. Auf diese Weise wird die Luftsäule im

*Schallbecher*, der auf der Nuss steht, in Schwingung

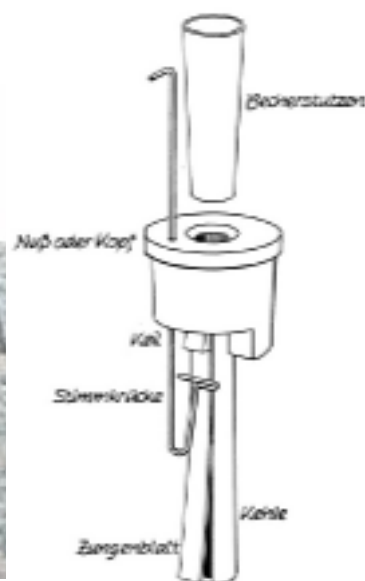
versetzt und die Pfeife klingt.

Mit Hilfe der Krücke kann man das schwingende Ende der Zunge variieren und die Tonhöhe verändern. Dadurch wird die Pfeife gestimmt, man nennt die Krücke deshalb auch Stimmkrücke.

Im Gegensatz zur Labialpfeife ist der Luftstrom durch die Vibration der Zunge pulsierend. Die Vibration selbst hat eine bestimmte Frequenz, eine bestimmte Anzahl von Kehlenaufschlägen in der Sekunde, die dem Ton gleicht, den die Pfeife erzeugt.

Diesen Aufbau gibt es seit dem 15. Jahrhundert, jedoch ohne entscheidende Weiterentwicklung.

Lediglich eine Bauart ist noch populär: die *durchschlagende Zunge*. Dabei ist die Zunge etwas kleiner als die Kehlenöffnung und kann in die Kehle hineinschwingen. Der Sog des Windes, der

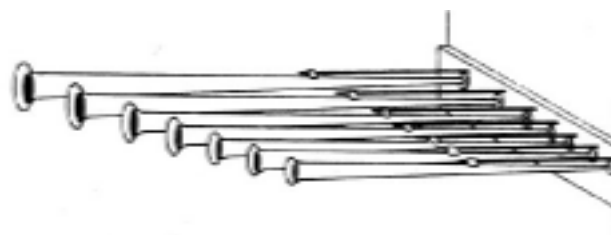


**Abbildung 8:** die einzelnen Bestandteile der Lingualpfeife, die im Stiefel stecken; auf dem Becherstutzen steht der Schallbecher

die Zunge in die Kehle zieht, reißt nicht so abrupt ab wie bei der aufschlagenden Zunge. So wird der Klang weicher und kommt dem der Oboe und Klarinette verblüffend nahe.

Die Länge der Lingualpfeifen wird nicht wie bei den Labialpfeifen, deren Länge in Fuß immer die Länge des Pfeifenkörpers angibt, gemessen, sondern die Lage des Tones im Vergleich zur Labialpfeife entscheidet über die Fußzahl. Der Schallbecher wirkt sich eher auf die Lautstärke des Tones aus. Man unterscheidet daher zwischen Lingualpfeifen mit *natürlichen Becherlängen* und solchen mit *kurzen Bechern*.

Während nahezu alle labialen und lingualen Register senkrecht stehend gebaut werden, gibt es in spanischen Orgeln ab dem 18. Jahrhundert in den Prospekt integrierte Zungenpfeifen in Form von *Horizontaltrompeten*: sie stehen waagrecht von der Orgel ab. Diese Bauform verbreitete sich über ganz Europa; und auch heute noch spricht man von den „Spanischen Trompeten“.



**Abbildung 9: Horizontaltrompeten, „Spanische Trompeten“, Chamade**

## 4 Akustik – Töne und ihre Erzeugung

Für die Darstellung des akustischen Aspekts in Verbindung mit der Wirkung der Pfeife sind einige Grundlagen erforderlich, bei denen ich mich auf die Labialpfeifen beschränke.

### 4.1 Die Lehre vom Schall

Wenn das menschliche Ohr etwas wahrnimmt, bedeutet dies, dass es von Schallwellen „getroffen“ wurde – Luftschwingungen, die durch einen Schallerreger erzeugt wurden. Normalerweise sind diese Schwingungen unregelmäßig, z.B. bei Geräuschen. Sind sie jedoch regelmäßig, nimmt man sie als Ton wahr. Ähnlich wie bei einem Uhrpendel schwingen die Luftteilchen hin und her und regen ihre unmittelbare Umgebung entsprechend an. Daraus resultiert eine Welle, die man bildlich als störend bezeichnen kann, denn sie reißt die Träger eines Mediums, bei der Orgel sind es Luft, Metall und Holz, aus ihrem Ruhezustand.

Man unterscheidet zwischen *Transversal-* und *Longitudinalwellen*. Bei ersteren schwingen die Träger des Mediums senkrecht zur Ausbreitungsrichtung, wie z.B. eine Wasserwelle mit ihren Wellenbergen und -tälern. In der Akustik handelt es sich jedoch um Longitudinalwellen, deren



Schwingungs- und Ausbreitungsrichtung der Teilchen gleich sind. Dadurch entstehen Verdichtungen und Verdünnungen der Luft. Man bezeichnet sie als *Schwingungsknoten* (minimale Bewegung der Luftteilchen) und *Schwingungsbäuche* (maximale Bewegung). Bei einer gedackten Pfeife befinden sich der Schwingungsknoten immer oben am Deckel und der Schwingungsbauch unten an der Öffnung. Bei einer offenen Pfeife liegen die Schwingungsbäuche oben und unten an den Öffnungen und der Schwingungsknoten entsteht immer in der Mitte.

Da, wo sich ein Schwingungsknoten abzeichnet, ergibt sich gleichzeitig ein Minimum an Druck, ein Druckbauch, also entspricht einem Schwingungsbauch ein Druckknoten.

## 4.2 Wellen und Schwingungen

Der Anschaulichkeit wegen werde ich die Phänomene anhand der Transversalwelle erklären.

Eine Welle verläuft wie eine vollständige Sinuskurve. Dieser Abschnitt wird auch als Periode bezeichnet, da er sich identisch wiederholt.

Eine solche Wellenlänge wird als *Lambda* [ $\lambda$ ] definiert.

Die maximale Auslenkung aus der Ruhelage ist die *Amplitude* [ $a$ ]; sie beschreibt die Intensität der Welle. Auslenkung und Lautstärke sind proportional, eine größere Amplitude bedeutet also einen lautereren Ton. Weitere Auslenkungen aus der Ruhelage werden als *Elongation* bezeichnet.

Spiegelt man die Welle an ihrer Achse, so erhält man eine vollständige Schwingung, eine *Grundschiwingung*. Sie hat drei Schwingungsknoten (drei Druckbäuche), an denen die Schwingung, also die Bewegung der Teilchen, am geringsten ist, und zwei Schwingungsbäuche (zwei Druckknoten), an denen die Schwingung ihr Maximum erreicht.

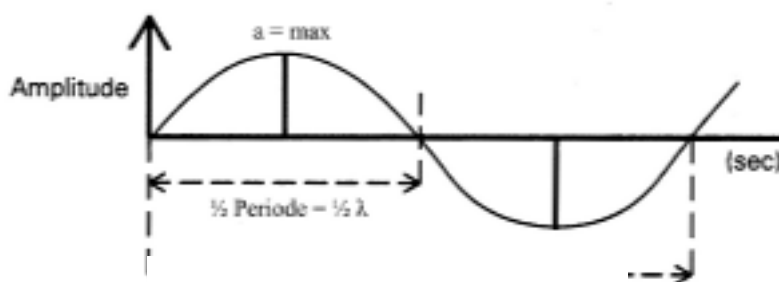


Abbildung 10: eine Transversalwelle mit der Länge  $l = 1 \lambda$



Abbildung 11: eine stehende Welle mit der Länge  $l = 1 \lambda$

In einer Orgelpfeife bildet sich nun eine *stehende Welle* (Abbildung 11), die senkrecht steht, während die Welle in Abbildung 10 waagrecht verläuft.

Misst man die Anzahl der Schwingungen pro Sekunde, so erhält man die Frequenz, die in Hertz [Hz] angegeben wird. Die Anzahl der Schwingungen und die Höhe des Tones sind zueinander proportional, höhere Frequenz hat also einen höheren Ton zur Folge.

Für eine Wellenlänge ergibt sich  $\lambda = c/f$ , wobei  $c$  die Schallgeschwindigkeit angibt und  $f$  die Frequenz. Somit gilt für die Rohreigenschwingung  $f_r = c/\lambda$

### 4.3 Die Grundschwingung der Pfeife

Eine Pfeife ist im Verständnis der Physik einer Röhre ähnlich. Diese hat mindestens ein offenes Ende, durch das der Wind in den Pfeifenkörper gelangt; er wird als das untere bezeichnet. Das obere Ende ist entweder durch einen Spund oder Hut verschlossen (was in der Physik Deckel genannt wird, daher gedackte/gedeckte/gedeckelte Pfeife), oder einfach offen (offene Pfeife). Um mit der Pfeife einen Ton zu erzeugen, muss sich in ihr eine „stehende Welle“ bilden, eine Longitudinalwelle, weil eine fortlaufende Welle den Ton nur weiterleiten würde.

Offene und gedackte Pfeifen haben zunächst ihren Schneidenon gemeinsam, der am Labium erzeugt wird (siehe 3.3.1 und Abbildung 6). Er lässt sich mit  $f_s \approx 0,4 \cdot (v/a)$  beschreiben, wobei  $v$  die Luftgeschwindigkeit bezeichnet und  $a$  die Entfernung, also die Aufschnittshöhe.

Außerdem entstehen bei Labialpfeifen sog. Vorläufertöne während der Einschwingphase, da sich nicht unmittelbar eine Schwingung bilden kann. Dies lässt sich auf die Trägheit der Luftteilchen im Pfeifenkörper zurückführen.

Die Wellen und Schwingungen selbst verlaufen in gedackten und offenen Pfeifen unterschiedlich, vor allem aber in den lingualeen.

#### 4.3.1 Gedackte Pfeife

An ihrer unteren Seite entsteht ein Schwingungsbauch, der zum oberen Ende hin in die Mitte strebt und genau in der Mitte des Deckels einen Schwingungsknoten bildet, da sich hier die Teilchen nicht bewegen können. Die Welle läuft genau an diesem Punkt zusammen, wird in derselben Amplitude und Wellenlänge reflektiert und bewegt sich, wie an einer Senkrechten gespiegelt, wieder nach unten zum Schwingungsbauch. Diese Schwingung nennt man die „1. harmonische Schwingung“, die Grundschwingung.



Abbildung 12: Grundschwingung einer gedackten Pfeife

### 4.3.2 Offene Pfeife

Eine offene Pfeife verfügt, wie ihr Name sagt, über keinen Deckel, an dem sich, wie bei der gedackten Pfeife, ein Schwingungsknoten bilden kann. Da sich jedoch an einem offenen Ende ein Schwingungsbauch entwickeln muss, befindet sich der Schwingungsknoten einer offenen Pfeife genau in der Mitte ihres Körpers.

Die Welle verläuft hier bis zum Schwingungsknoten genau wie bei der gedackten Pfeife, bewegt sich danach jedoch punktgespiegelt weiter.



Abbildung 13: Grundschwingung einer offenen Pfeife

### 4.3.3 Linguale Pfeife

In der linguale Pfeife findet sich ein entscheidender Unterschied zu der labialen: Hier gerät der Schallbecher, sozusagen der Pfeifenkörper, nicht in Eigenschwingung, sondern in eine erzwungene, da nicht der Becher selbst in Eigenfrequenz, sondern in der Frequenz der Zunge schwingt. Durch die erzwungene Resonanz verstärkt er den entstehenden Ton und dient gleichzeitig als Obertonregler.

Weil die schwingende Zunge mit der Luftsäule gekoppelt ist, ergibt sich eine *Koppelfrequenz*, die den für den Menschen hörbaren Ton beschreibt.

## 4.4 Der Trick der gedackten Pfeife

Der Weg, den die Welle in einer offenen Pfeife bis zur oberen Öffnung zurücklegt, beträgt  $\frac{1}{2} \lambda$ . Die Länge (Höhe) der Pfeife könnte man also mit  $l = \frac{1}{2} \lambda$  bezeichnen.

Eine gedackte Pfeife reflektiert an ihrem Deckel die Welle, diese läuft dann wieder nach unten zur offenen Seite. Die Welle hat also  $\frac{1}{2} \lambda$  zurückgelegt, obwohl die Pfeife nur  $\frac{1}{4} \lambda$  lang ist. Die effektive Länge der Welle beträgt also  $2 \cdot \frac{1}{4} \lambda = \frac{1}{2} \lambda$  bei einer

Pfeifenlänge von  $l = \frac{1}{4} \lambda$ .

Die stehende Welle einer offenen Pfeife benötigt also einen doppelt so langen Pfeifenkörper wie eine gedackte (folglich Abbildung 14).

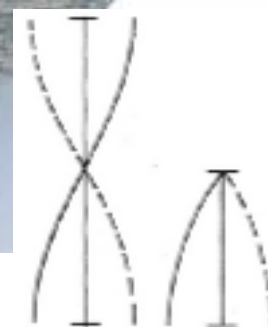


Abbildung 14: links die Grundschwingung einer offenen, rechts die einer gedackten Pfeife

#### 4.4.1 Mündungskorrektur und Formeln

Am oberen Ende einer offenen Pfeife kann die Welle jedoch nicht direkt zu Ende sein, da sich hier ein Schwingungsbauch befindet und deswegen die Teilchen nicht sofort abgebremst werden können. Somit wölbt sich die stehende Welle ein wenig über den Rand der Pfeife hinaus; diesen Bereich nennt man Kopplungszone. Ihre Größe und Auswirkung auf die Wellenlänge hängen von der Weitenmessur ab, die den Umfang der Pfeife bestimmt.

Die Wellenlänge ist also größer und die Pfeife wird etwas verkürzt, d.h. es findet eine Mündungskorrektur statt. Insofern ist die Annahme von  $l = \frac{1}{2} \lambda$  in 4.4 nicht exakt. „Die Länge  $l$  einer Pfeife beträgt nach Cavallè-Coll näherungsweise  $l = \frac{1}{2} \lambda - \frac{5}{3} d$ “, wobei  $d$  den Pfeifendurchmesser angibt. Allerdings gilt diese Formel „nur für Prinzipalpfeifen mit normalen Weiten, Labien, und Aufschnitten“<sup>5</sup>. Nach „Ingerslev und Frobenius lässt sich eine (für die Praxis empirisch vereinfachte) Formel gewinnen:  $l' = (0,33 + K \cdot d/\delta) \cdot d$ “, wobei  $K$  die Labienbreite im Verhältnis zum Aufschnitt und  $\delta$  den „Durchmesser eines mit der Pfeifenmaulöffnung flächengleichen Kreises“<sup>5</sup> angibt.

Auch bei der lingualen Pfeife ergibt sich eine Kopplungszone. Hingegen ist die Berechnung bei gedackten Pfeifen sehr einfach. Bei einer vorgegebenen zu erreichenden Frequenz benutzt man für die Länge der Pfeife die Formel  $l = c / (4 \cdot f)$ , bei vorgegebener Länge kann man die Frequenz mit  $f = [c \cdot (2n - 1)] / (4 \cdot l)$  errechnen.

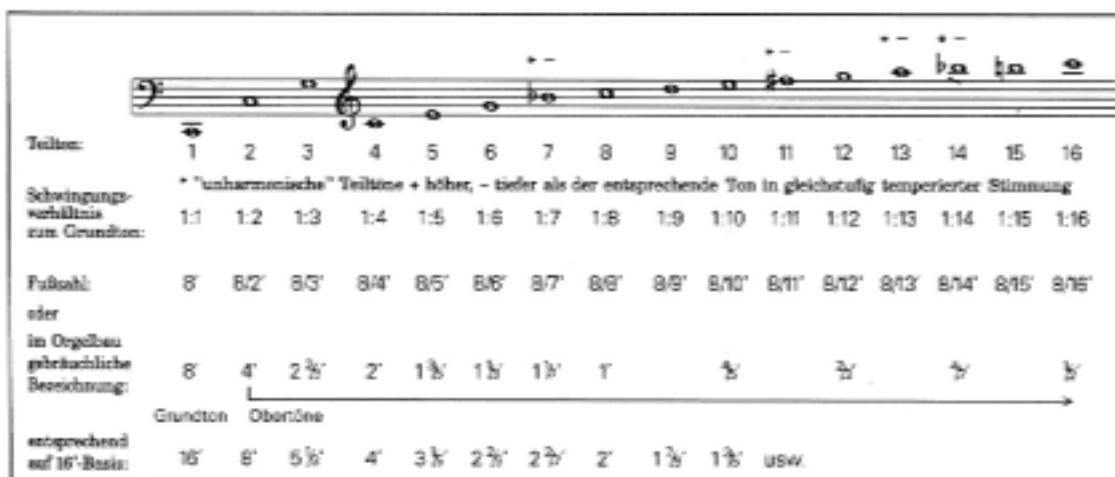
#### 4.5 Obertöne

Eine einzelne Grundschwingung allein bildet aber noch keinen Ton, wie man ihn unter Notenwerten wie C oder A versteht. Ein Ton ist immer ein Klang aus mehreren Einzeltönen, den Teiltönen. Diese Einzeltöne sind neben dem Grundton die *Obertöne*, die sich aus den *Oberschwingungen* ergeben. Anzahl und Stärke der Obertöne verleihen dem Ton seine Klangfarbe, ihre Frequenzen sind stets ganzzahlige Vielfache der Grundtonfrequenz. Daraus ergibt sich für alle Töne die gleiche Obertonreihe, die in Intervallen geschichtet ist.

---

<sup>4</sup> Cavallè-Coll: französischer Orgelbauer (1811-1899), in „Die Kirchenorgel physikalisch betrachtet“, Kapitel 2.2.3

<sup>5</sup> aus MGG, Spalte 240



**Abbildung 15:** die Teiltonreihe von C aus. In der zweiten Zeile von unten sind die als Registerbezeichnung zu findenden Fußzahlen angegeben, angefangen von 8' an; darunter das Verhältnis für die doppelte Länge, angefangen von 16' an

Allerdings werden die Obertöne nur schwach ausgebildet, wodurch der Ton, der eigentlich aus vielen Teiltönen besteht, nur als ein Ton hörbar ist. Ihre Ausbildung ist in labialen gedackten, labialen offenen und lingualen Pfeifen unterschiedlich.

#### 4.5.1 Gedackte Pfeife

Wie bereits ausgeführt, kann man die Länge einer gedackten Pfeife in  $l = \frac{1}{4} \lambda$  angeben. Fest steht auch, dass am offenen Ende einer Pfeife immer ein Schwingungsbauch sein muss, am geschlossenen Ende immer ein Schwingungsknoten.

Wenn man die Grundschiwingung in der Pfeife erweitern will, sind also einen weiteren Schwingungsknoten und ein –bauch hinzuzufügen. Man erhält somit zwei Knoten und zwei Bäuche. Diese Schwingung ist die „2. harmonische Schwingung“, die erste Oberschwingung. Man kann dies natürlich genauso weiterführen zur „3. harmonischen Schwingung“, indem man wieder einen Schwingungsknoten und einen –bauch hinzufügt.

Jede Oberschwingung ist daher ein ungeradzahliges Vielfaches von  $\frac{1}{4} \lambda$ . Somit können sich nur ungerade Teiltöne bilden, für die Länge der gedackten Pfeife gilt:  $l = (2n - 1) \cdot (\lambda/4)$  mit  $n \in \mathbb{N}$  (d.h. für n dürfen nur positive, ganze Zahlen eingesetzt werden).

#### 4.5.2 Offene Pfeife

Die offene Pfeife muss an jedem Ende ein Schwingungsbauch haben; ihre kann man mit  $l = \frac{1}{2} \lambda$  angeben. Um nun die Grundschiwingung zu erweitern, muss man, wie bei der gedackten Pfeife, einen weiteren Schwingungsknoten und einen –bauch hinzufügen. Man erhält auch hier die „2. harmonische Schwingung“, die erste Oberschwingung, aber jede Oberschwingung kann

hier ein geradzahliges oder ungeradzahliges Vielfaches von  $\frac{1}{2} \lambda$  sein. Somit können sich ungerade und gerade Teiltöne bilden; für die Länge der offenen Pfeife gilt:  $l = n \cdot (\lambda/2)$  mit  $n \in \mathbb{N}$

### 4.5.3 Lingualpfeife

Obwohl die Bildung der Schallwellen in einer Lingualpfeife anders ist als in einer labialen, gibt es auch bei ihr bestimmte Obertoneigenschaften. Verantwortlich dafür ist der Schallbecher, dessen Länge und Form unterschiedlich sein können. Zylindrische Becher bilden nur ungerade Teiltöne aus, weil sie akustisch einer umgedrehten gedackten Pfeife gleichen, deren geschlossenes Ende bei der Lingualpfeife die Nuss bildet. Konische Becher, also sich nach oben weitende Becher, bilden gerade und ungerade Teiltöne aus. Je länger der Becher ist, desto weniger Obertöne entstehen.

### 4.6 Aliquoten

Das Phänomen der Obertöne führt im Orgelbau dazu, Obertonregister zu konstruieren, die die Obertöne von Grundregistern verstärken sollen. So finden sich neben den Grundregistern, auch *Aequalregister* genannt, die Obertonregister aus den Reihen der Labialregister, deren Namen ihren Ton im Verhältnis zum Grundton angibt, so z.B. die Quinte. Hat man ein 8'-Register als Grundlage, so wäre die dreifache Frequenz des Grundtones eine Quinte, die dann als „Quinte 2 2/3'“ benannt und deren Pfeifenlängen  $1/3$  von der des Grundregisters betragen würde. Auf der Grundlage eines 16'-Registers hätte die Quinte, die den dritten Teilton bildet, eine Pfeifenlänge von  $5 \frac{1}{3}'$ ; dies entspricht einem Drittel der Länge eines 16'.

Grundsätzlich können alle Obertöne des Grundtones mit einem *Aliquotregister* dargestellt werden. Eine Ausnahme bilden lediglich die Oktaven, da sie auch alleine spielbar sind.

### 4.7 Gemischte Stimmen

Bisher wird jeder Taste jeweils ein bestimmter Ton bzw. eine Pfeife zugeordnet. Es gibt allerdings auch Register, bei denen man mit einer Taste mehrere Pfeifen auf einmal spielen kann. Bei diesen gemischten Stimmen unterscheidet man zwischen *Farbregistern*, die mehrere Aliquotreihen enthalten, und *Klangkronen*.

In der Registerbezeichnung findet sich gleichermaßen die Fußtonzahl des tiefsten Tones, z.B. „Rauschpfeife 3f 2'“

### 4.7.1 Farbreger

Um einen Grundton klanglich aufzuwerten, baut man Register, bei denen zwei (manchmal auch mehr) Pfeifen von einer Taste aus gespielt werden. Diese beiden Pfeifen haben immer unterschiedliche Längen bzw. Fußtonlagen und gehören zu den Flöten. Beide Töne stehen größtenteils in einem harmonischen Verhältnis zueinander, seltener werden unharmonische Teiltöne kombiniert.

Als Beispiel dafür gilt der Sesquialter(a) oder Sexquialter(a), dessen Pfeifen eine Länge von  $2/3'$  und  $1\ 3/5'$  haben. Benannt wird das Register nach dem Intervall zwischen diesen Tönen: einer Sexte. Ebenfalls häufig findet man den Terzian, bei dem das Intervall zwischen  $2'$  und  $1\ 3/5'$  eine Terz ist.

### 4.7.2 Klangkronen

Als Klangkronen bezeichnet man die Register einer Orgel, die auf einer Taste mehrere Pfeifen haben – Prinzipalpfeifen, die dem Gesamtklang der Orgel strahlenden Glanz verleihen. Meist finden sich hier die Mixturen, die nur aus den Teiltönen bestehen, die eine Quinte oder Oktave bilden.

Anders als bei den Farbregeren hat eine Mixtur nicht von der untersten bis zur obersten Taste Pfeifen eines Fußtonregisters, sondern sie repetiert (siehe Abbildung 16). Weil sich bei tiefen Tasten bereits sehr hohe

Töne befinden, klänge eine durchgehende Pfeifenreihe bei den oberen Tasten schrill.

Um dies zu vermeiden, setzt bei jedem c jeweils der höchste Chor, also die höchste Fußtonlage, aus und eine neue tiefere setzt ein.

C:				$1\ 1/3'$	$1'$	$2/3'$	$1/2'$
c <sup>1</sup> :			$2'$	$1\ 1/3'$	$1'$	$2/3'$	
c <sup>2</sup> :		$2\ 2/3'$	$2'$	$1\ 1/3'$	$1'$		
c <sup>3</sup> :	$4'$	$2\ 2/3'$	$2'$	$1\ 1/3'$	$1'$		
c <sup>4</sup> : 8' (oder 4')	$4'$	$2\ 2/3'$	$2'$				

**Abbildung 16:** eine vierfache Hauptwerksmixtur „Mixtur 4f 1 1/3“, deren Töne jeweils auf einem c repetieren, also um eine Quinte zurückspringen

Benannt werden Mixturen nach der Anzahl gleichzeitig klingender Pfeifen und der Fußlänge der längsten Pfeife auf C, hier ist es eine „Mixtur 4f 1 1/3“, d.h. es klingen ständig vier Pfeifen, die längste auf C ist  $1\ 1/3'$  lang.

Abgesehen von kleinen Orgeln finden sich meist mehrere Klangkronen in einem Instrument. Sie werden dann in Zusammensetzung und Repetitionen unterschiedlich gestaltet und erhalten entsprechende Namen, die sich steigern, so z.B. „Mixtur“, „Scharff“ und „Zimbel“.

## 4.8 Stimmung

Mit Hilfe der Tabelle der Obertonreihe und ihren jeweiligen Frequenzverhältnissen untereinander lassen sich auch die Intervalle einer Tonleiter bestimmen. In der Orgelgeschichte hat die Frage nach einer sinnvollen Einteilung viele Tasteninstrumentenbauer beschäftigt. Von den Entwicklungsstufen von „Reiner Stimmung“ über die „Mitteltönige Stimmung“ und „Gleichschwebende Stimmung“ zur „Temperierten Stimmung“ sei letztere als heute meist gebräuchliche erläutert. Bei der „*Temperierten Stimmung*“ wird die Oktave in zwölf gleiche Halbtöne eingeteilt, die ein konstantes Frequenzverhältnis kennzeichnet; die Oktaven selbst bleiben rein. Dadurch bedingt sind zwar alle Intervalle bis auf die Oktave nicht mehr ganz rein, doch sind nun alle Tonarten identisch – dies ist insbesondere bei der „Reinen Stimmung“ mit ausschließlich reinen Intervallen nicht gegeben.

Um einen Richtwert zur Stimmung eines Instrumentes zu haben, wurde 1953 die Frequenz eines Tones festgelegt: dem Kammerton a' wurde eine Frequenz von 440 Hz bei 18° C Lufttemperatur zugeschrieben.

## 4.9 Interferenz

Die *Interferenz* ist ein physikalisches Phänomen, das man sich im Orgelbau zu Nutze macht: Zwei Schallwellen überlagern sich mit verschiedenen Auswirkungen. Zum einen können die Wellen dadurch verstärkt werden, wenn die Luftteilchen in gleicher Richtung schwingen, andererseits geschwächt oder nahezu aufgehoben, wenn die Teilchen gegeneinander schwingen. Eine Interferenz verursacht eine stehende Welle, da die Frequenz der beiden Wellen gleich ist. Unterscheiden sich die beiden Frequenzen leicht voneinander, führt dies zu Differenztönen und zur sog. Schwebung.

### 4.9.1 Schwebung

Bei der *Schwebung* überlagern sich zwei Schallwellen nahezu gleicher Frequenz, woraus eine Interferenzwelle resultiert. Die Amplitudenminima und –maxima verschieben sich gegeneinander. Dies wird als Schwebung bezeichnet, deren Frequenz, also die Anzahl der Schwebungen pro Sekunde, sich aus der Frequenzdifferenz der beiden Schallwellen ergibt.

Beispielsweise haben zwei Wellen eine Frequenz von  $f_1 = 300$  Hz und  $f_2 = 296$  Hz. Die Differenz von 4 Hz bedeutet, dass der schwebende Klang 4 Schwebungen pro Sekunde hat.



### 4.9.2 Differenztöne

Für das menschliche Ohr sind *Differenztöne* erst ab einem Frequenzunterschied von 16 Hz zu hören, denn es nimmt schnelle Amplitudenschwankungen als Schwingung auf, obwohl diese Welle physikalisch gesehen gar nicht existiert.

Mit Blick auf die Obertontafel fällt auf, dass zwei benachbarte Teiltöne immer als Differenzton den Grundton haben, der damit der lauteste Ton bleibt, auch wenn ein Teilton eigentlich stärker ist.

Mit diesem Vorgehen kann man sehr tiefe Töne erzeugen.

## 5 Anwendung im Orgelbau

Alle in 4. vorgestellten physikalischen Gegebenheiten werden im Orgelbau angewandt.

Vielleicht die wichtigste Erfindung sind die gedackten Pfeifen; denn eine offene Pfeife muss doppelt so lang sein wie eine gedackte, um einen Ton von gleicher Höhe und gleicher Frequenz zu erzeugen. Diese Tatsache nutzen Orgelbauer vor allem für kleine Kirchen (z.B. Höhe der größten Pfeife 2,40 m statt 4,80 m bei gleicher Tonhöhe). Andererseits ist es auch eine Kostenfrage, denn man benötigt für die offene Pfeife natürlich fast das Doppelte an Material. Noch vor 200 Jahren war beispielsweise ein Prinzipal 32', also ein Register, dessen größte Pfeife fast 10 Meter hoch ist, ein Statussymbol und ein Zeichen für den Reichtum der entsprechenden Kirchengemeinde.

Ebenfalls aus Kostengründen nimmt man sich heutzutage mehr und mehr der Differenztöne (siehe 4.9.2) an. Da eine große Basspfeife wie gesagt sehr teuer ist und viel Platz benötigt, baut man sog. Akustische Bassregister: mit zwei Pfeifen, deren Grundtöne eine Oktave und ihre Oberquinte sind, und aus dem daraus resultierenden Differenzton kann man die Oktave unter der Oktave erzeugen. Wenn man dies nun mit gedackten Pfeifen kombiniert, spart man gleich doppelt, kann also auf die teuren großen Register verzichten.

In der Praxis verwendet man für ein Pedalregister wie den „Untersatz 32'“ für die untere Oktave im Pedal eine gedackten Pfeife, die 8' lang ist, aber wie ein 16' klingt, und ihre gedackte Oberquinte, deren Pfeife  $5 \frac{1}{3}'$  lang ist, aber wie ein  $10 \frac{2}{3}'$  klingt (siehe 4.4). Sie erzeugen zusammen einen Differenzton, der viermal so tief klingt, wie die Pfeife der Oktave lang ist. Für die übrigen Pedaltasten verwendet man eine *Transmission*, d.h. die Pedaltaste für das mittlere C steuert das untere C eines 16' an, das Kontra-H unter dieser Taste ist dann die erste mit akustischem Basston.

Von der Abfolge der Obertöne profitiert man auch bei den überblasenden Registern. Eine überblasende Pfeife ist offen, eng mensuriert und hat einen so hohen Winddruck, dass sich der 1. Teilton nicht bilden kann. Das menschliche Ohr nimmt also erst den 2. Teilton wahr, die Oktave über dem nicht vorhandenen Grundton. Folglich benötigt eine überblasende Pfeife, wie z.B. die „Flûte harmonique“ (Abbildung 17) oder die „Querflöte“, einen Pfeifenkörper, der doppelt so lang ist wie der zu erzeugende Ton. Damit die Ansprache der Pfeife und damit das Überblasen erleichtert werden, hat die Pfeife in der Mitte ihres Körpers auf der Rückseite ein kleines Loch, das *Überblasloch*.

**Abbildung 17: eine überblasende Pfeife**

Auch die Schwebung (siehe 4.9.1) findet ihre Anwendung. Sie wird für leisere Register gebaut, diese meist in 8'-Lage. Die beiden Pfeifen einer Schwebung wie z.B. der italienischen „Voce umana“ (Menschenstimme, Prinzipalschwebung), der deutschen „Unda maris“ (Meereswelle, Flötenschwebung) oder der französischen „Voix céleste“ (himmlische Stimme, Streicherschwebung) unterscheiden sich geringfügig. Die Abweichung ist so gering, dass der Klang nicht als Ton, sondern einfach nur leicht tremulierend als Wellenklang wahrgenommen wird.



**Abbildung 18: zwei Pfeifen, die unterschiedlich gestimmt sind, so dass eine Interferenzwelle und somit eine Schwebung entsteht**

## 6 Problematiken und ihre Lösungen

Um eine Differenzierung der Lautstärke zu erlangen, kann der Organist im klassischen Sinn nur seine Registrierung, also die Auswahl der Register, beim Spielen so wechselnd wählen, dass dynamische Unterschiede entstehen. Beim sog. *Schweller* der Romantik wird mindestens eine Windlade einer Orgel, also ein Werk (siehe 1.1 und 2.2), in einen Holzkasten gestellt, der meistens an der vorderen Seite, selten seitlich oder oben, mit einer beweglichen Jalousie versehen ist, die der Organist vom Spieltisch aus mit einem Fußtritt über dem Pedal stufenlos öffnen und schließen kann. Wenn der Schweller geöffnet ist, kann der Klang der Pfeifen des Schwellwerkes in den Raum dringen, je mehr er geschlossen wird, desto weniger Klang hat „freie Bahn“.



Eine weitere Möglichkeit bietet die „Walze“ bei Orgeln mit pneumatischer oder elektrischer Registratur. Ihren Namen hat man von der kleinen Walze abgeleitet, die wie der zuvor genannte Schwelltritt über der Pedalklaviatur angebracht ist. Sie wird mit dem Fuß bedient, wodurch sich nach und nach immer mehr Register ein- oder ausschalten, je nach Drehrichtung. Es entsteht ein ähnliches Crescendo oder Decrescendo wie beim Schweller mit einer festgelegten Reihenfolge der ein- oder auszuschaltenden Register, doch hat sich diese Technik bei Organisten spieltechnisch nicht bewährt.

Die in 4.2 angewandte Formel für die Frequenz einer Pfeife ist abhängig von der Schallgeschwindigkeit, also  $c = \lambda/f$ . In einer Kirche gibt es allerdings Temperaturschwankungen, die zum einen durch den Wechsel der Jahreszeit, zum anderen durch die Beheizung des Kirchenraumes hervorgerufen werden. Auf die Stimmung einer Orgel haben diese Bedingungen gravierenden Einfluss, da sich die Frequenz der Labialpfeifen verändert (siehe auch 4.8 Abs. 2). „Die Schallgeschwindigkeit  $c$  ist von der Temperatur  $t$  (°C) abhängig:  $c = c_0 \cdot \sqrt{1 + t/273}$  mit  $c_0 = 331,8$  m/s als Schallgeschwindigkeit bei 0° C“.<sup>6</sup> Schon bei 10° C beträgt  $c$  337,8 m/s und bei 20° 343,8 m/s.

Je kleiner eine Orgel ist, d.h. je weniger Register sie hat, desto größer ist der Anteil an Labialpfeifen: er liegt ca. bei 85 %. Dies mag zum einen finanzielle Gründe haben, da linguale Register teurer sind als labiale, zum anderen liegt das an den durch die Temperatur bedingten Stimmungsschwankungen. Wenn alle Pfeifen oder zumindest ein Großteil labialer Bauart sind, so bleiben diese Schwankungen kontrollierbar und das Spiel wird erleichtert.

Ein weiteres Problem bei wechselnden Klimaverhältnissen bildet das Holz der mechanischen Traktur. Es arbeitet und das Manual kann wellig werden, so dass die Tasten unterschiedlich hoch sind. Auch können sich sog. Heuler einschleichen, bei denen eine Pfeife durch das undichte Tonventil kontinuierlich klingt. Das Spielen des Organisten wird so erschwert und der Fehler muss korrigiert werden.

## 7 Eigene Versuche

Viele der erläuterten Phänomene konnte ich bereits selbst an der Orgel erfahren und mir in meinem Spiel zu Nutze machen. Doch da ich im Rahmen dieser Arbeit kein Tonbeispiel geben kann, werde ich wenigstens einen kleinen Versuch mit einer Pfeife darstellen.

---

<sup>6</sup> Aus MGG, Spalte 238

Versuch 1: Es handelt sich hierbei um eine kleine zylindrische, offene Metallpfeife. Mit ihr werde ich versuchen, den unter 4.4 erläuterten „Trick der gedackten Pfeife“ praktisch zu beweisen, indem ich erst den Ton der offenen Pfeife, dann den der durch meine Hand gedackten Pfeife bestimme.

**Abbildung 19: zylindrisch offene Metallpfeife**



Durchführung: Ich blase mit mäßigem, kontinuierlichem Druck in die Pfeife: als Ton erklingt ein d, dessen Höhe ich mit dem des Klaviers vergleiche. Somit erhalte ich ein d'' in 8'-Lage.

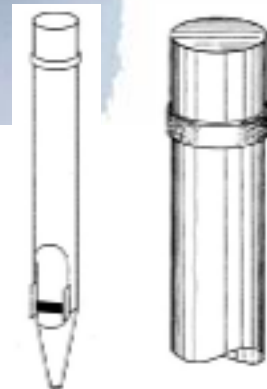
Nun halte ich der Einfachheit halber meine Hand auf die obere Öffnung und blase wieder: es erklingt ein tieferer Ton, jedoch nicht exakt die Oktave unter dem Ausgangston, also kein d', sondern etwa ein e'-es', je nachdem, wie fest ich blase.

Auswertung: Damit der Ton eine Oktave tiefer klingt, muss ich also eine Mündungskorrektur vornehmen und den Pfeifenkörper im oben geschlossenen Zustand etwas verlängern, da die offene Pfeife etwas kürzer ist als ihr Ton.

Mit einem Hut aus Papier erlange ich keinen Erfolg, da es den Schwingungen nicht standhält. Daher benötige ich Metall.

Versuch 2: Mit einer größeren, zylindrischen, gedackten Metallpfeife aus einem „Gedackt 8“-Register und einem Hut aus Orgelmetall kann ich nun den Beweis dafür antreten.

**Abbildung 20: gedackte Pfeife (links) und ihr Hut**



Durchführung: Zuerst nehme ich den Hut von der Pfeife ab und blase mit mäßigem Druck hinein. Wie in Versuch 1 vergleiche ich den Ton mit dem Klavier: ein h' erklingt.

Nun setze ich den Hut auf die Pfeife, aber so, dass der Deckel etwas höher liegt als das Pfeifenende (Mündungskorrektur). Beim Hineinblasen mit reduziertem Druck erklingt nun exakt die Oktave unter  $h'$ , also  $h$ .

Auswertung: Die beiden Versuche haben gezeigt, dass bei der Berechnung der Länge der Pfeife die Mündungskorrektur beachtet werden muss. Außerdem ist bei Versuch 2 weniger stark in die gedackte Pfeife zu blasen, damit die Oktave erklingt. Das hat mit der Ansprache und den Messuren zu tun, die man natürlich nicht einfach von einer offenen auf eine gedackte Pfeife übertragen kann.

## Fazit und Ausblick

Im Laufe der Jahrhunderte wurde vielfach mit der Orgel experimentiert. Selbstverständlich gibt es noch weitere Erfindungen, die sich mit der Physik belegen ließen, aber ihre Bedeutung spielt heutzutage keine große Rolle mehr, weil in der Geschichte deutlich geworden ist, dass man keine Orgel ausschließlich nach den Grundsätzen der Physik bauen kann. Dies wurde vor allem in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts und auch noch nach dem 2. Weltkrieg deutlich. Die Elektrizität hielt Einzug in die Orgel, jahrhundertlang bewährte Praktiken und Mechaniken gerieten dadurch in Vergessenheit.

Ich konnte schon auf verschiedenen Orgeln spielen, mit mehr oder weniger elektronischen Spielhilfen, von unterschiedlicher Größe, deren Trakturen, Windladen und Dispositionen sowohl einfach als auch komplex waren. Aus meiner Erfahrung kann ich sagen, dass trotz allen Fortschritts der modernen Technik (elektronische Traktur und Registratur, elektronische Orgeln mit Klangerzeugung durch Lautsprecher oder sogar Orgeln mit Organistenersatz auf Diskettenbasis) ein Rückbezug auf die „gute alte“ Mechanik unverzichtbar ist. Ohne Zweifel stellen viele Neuerungen heute eine sinnvolle Bereicherung dar. Doch eine Orgel sollte mehr sein als ein „Gerät“ zur Musikerzeugung.

Natürlich könnte man die Definition geben, dass bei einer rein elektronischen Orgel der Strom und bei einer rein mechanischen Orgel mit traditionellem Blasebalg der Wind die Entstehung der Töne bewirkt. Aber es ist nicht allein der Wind, der auf der einen Seite hinein- und auf der anderen wieder herausdringt. Die Orgel ist sowohl Tasten- als auch Blasinstrument in einem. Sie hält den Rekord in Größe, Klangvielfalt, Komplexität und Kompliziertheit. Auf keine andere Weise kann ein Musiker so viele Instrumente gleichzeitig spielen und dabei seine persönliche Kreativität einbringen wie an einer Orgel – selbst nicht als Dirigent.

Die Orgel ist eben in jeder Hinsicht die „Königin der Instrumente“.

## Anhang

In diesem Teil möchte ich zu einigen Teilen der Orgel, speziell zu den Pfeifen einige Erläuterungen geben, außerdem einige Beispielbilder. Zwar ist in den Kapiteln 1-5 bereits das Wesentliche dargelegt, doch möchte ich noch ein wenig Anschauungsmaterial zum besseren Verständnis in der Praxis geben, weil jede Orgel ihre eigenen Spezifikationen hat.

### Labialpfeifen

Die unter 3.3.1 erläuterte Form der Labialpfeifen ist zwar allgemein gültig, doch von außen unterscheiden sich die Pfeifen grundlegend. Dies beginnt mit der Form der Labien bei Metallpfeifen, die meistens der Optik dient, da solche Pfeifen im Prospekt stehen - akustische Auswirkungen haben eher die Labialmensuren (siehe 3.1.2).

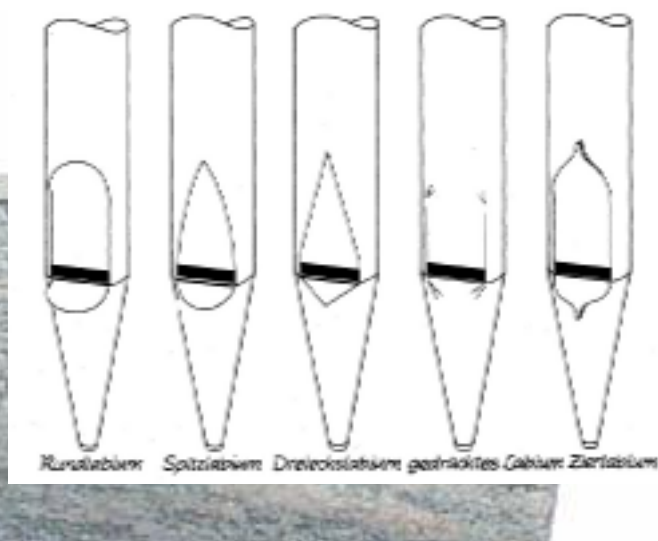
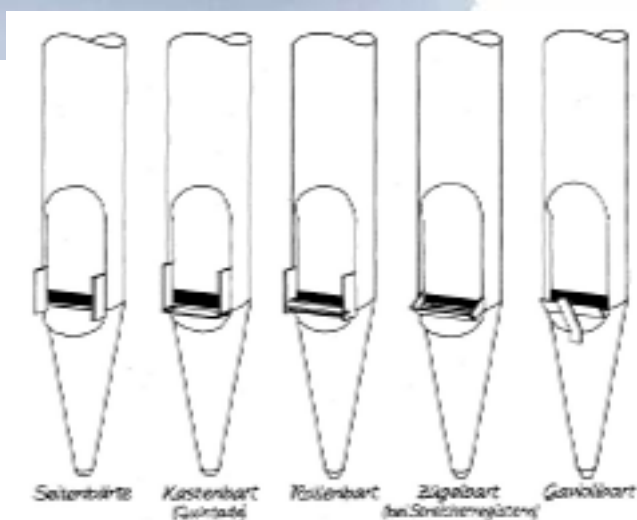


Abbildung 21: die unterschiedlichen Labienformen bei Metallpfeifen

Während die Labienform keine entscheidende Rolle für den Ton einer Pfeife spielt, so sind die Bärte umso entscheidender: sie verbessern bei großen Pfeifen die Ansprache und erzeugen einen bestimmten Klang, indem sie die Bildung des Schneidtones (siehe 3.3.1 und 4.3) beeinflussen. So haben die hart klingenden Prinzipalpfeifen Seitenbärte, die sehr viel weicher klingenden Streichregister wie „Viola di Gamba“ hingegen einen Zügelbart.

Abbildung 22: verschiedene Bärte



Der wichtigste Klangunterschied ergibt sich jedoch aus der Bauform der Pfeife, die in ihren Grundzügen bereits unter 3.3.1 dargelegt wurde. In der Realität ist es schwierig, die Registernamen rein an der Form zu erkennen. Zuerst kann man natürlich zwischen Pfeifen aus Holz und solchen aus Metall unterscheiden, weiterhin zwischen offenen und gedackten Pfeifen. Gebräuchlich ist die Einteilung in „zylindrisch offene“ (Abbildung 23), „zylindrisch gedeckte und halbgedeckte“ (Abbildung 24) und „konisch offene“ Pfeifen (Abbildung 25).

Den wichtigsten Anhaltspunkt bilden die Mensuren, speziell die Weitenmessur (siehe 3.1.2). Vom Klang her kann man grundsätzlich sagen, dass offene Pfeifen einen volleren Klang als gedackte haben. Offene Flöten klingen grundtöniger und sind meistens weit mensuriert, haben also einen größeren Umfang, dünnere Pfeifen klingen weicher, ihr Klang ist leicht streichend. Gedackte Pfeifen klingen härter als offene, das Röhrchen bei halbgedackten im Hut mildert dies ein wenig.

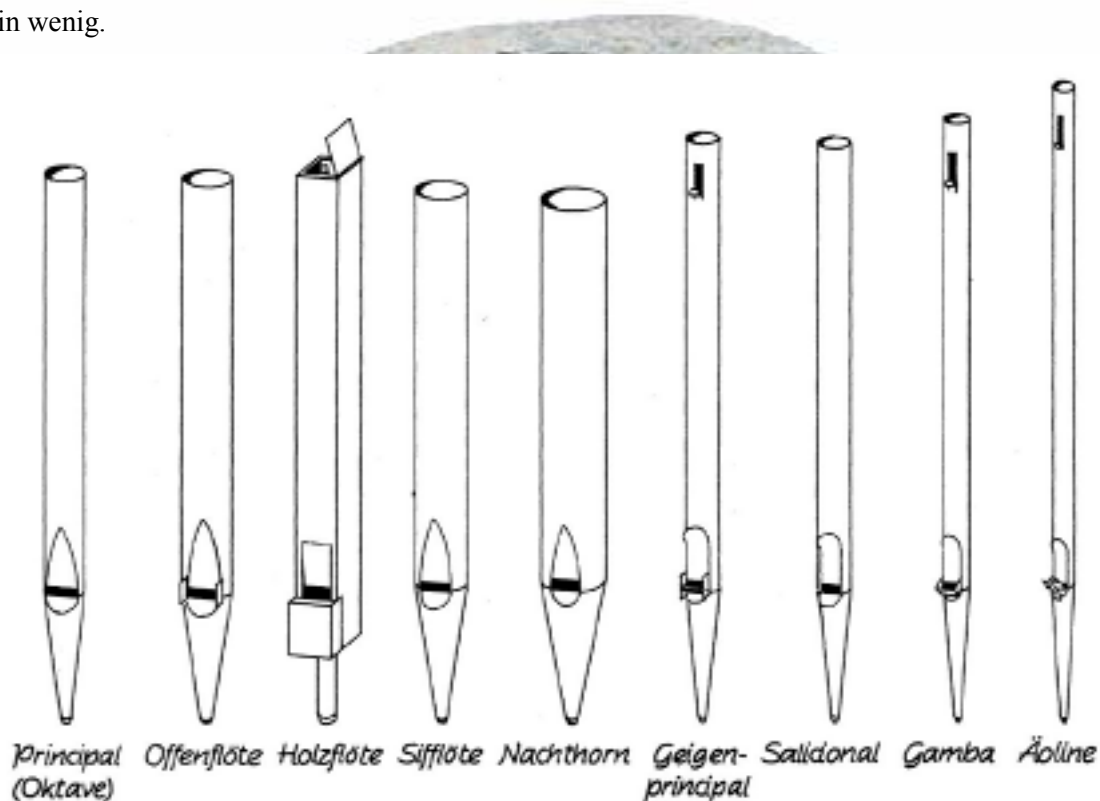


Abbildung 23: verschiedene Bauformen zylindrisch offener Labialpfeifen

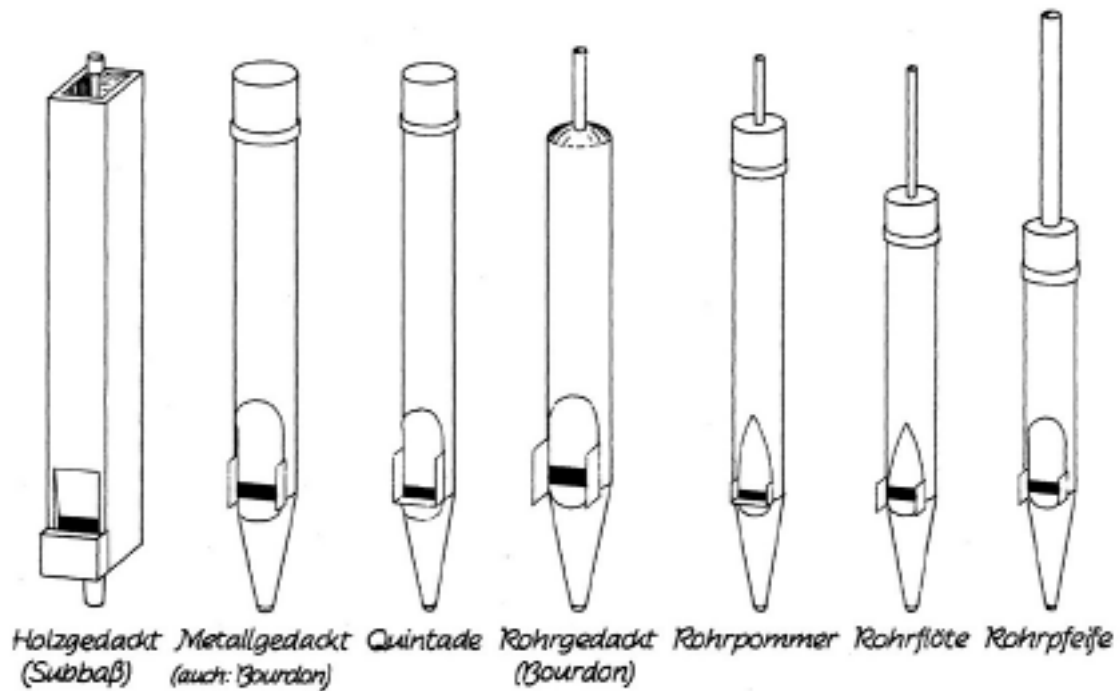
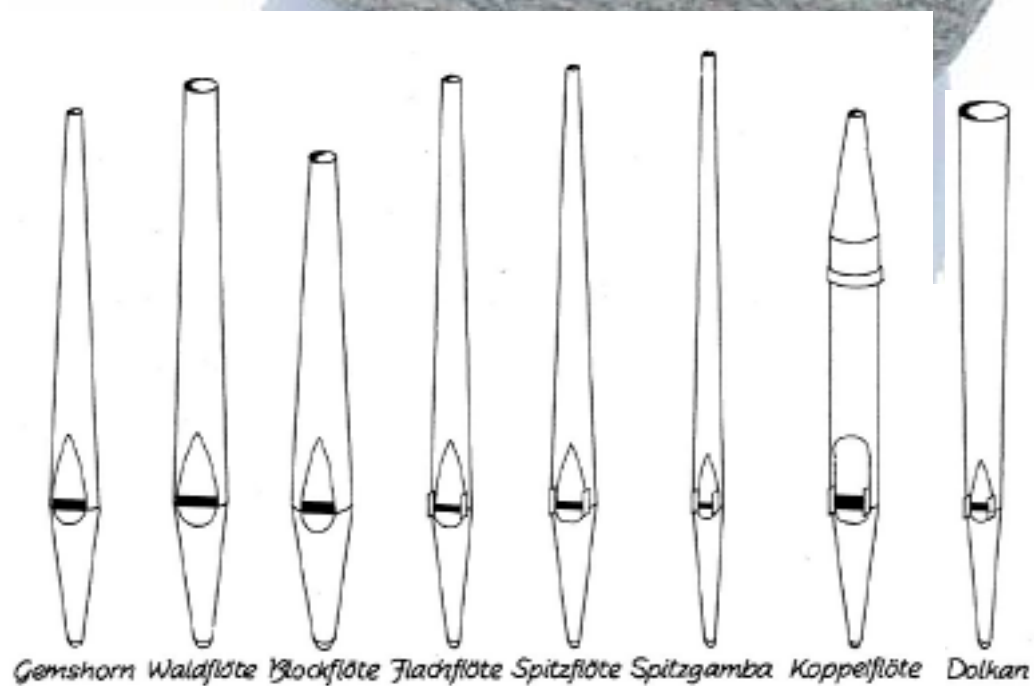


Abbildung 24: verschiedene Bauformen von zylindrisch gedeckten und halbgedeckten Pfeifen

Die drittichtigste Bauform ist die offene konische Pfeife. Ihr Klang ist flötig, da sie mehr Obertöne erzeugt und dadurch heller klingt. Auch hier gilt in Bezug auf die Weitenmensur dasselbe wie für die zylindrischen Pfeifen.

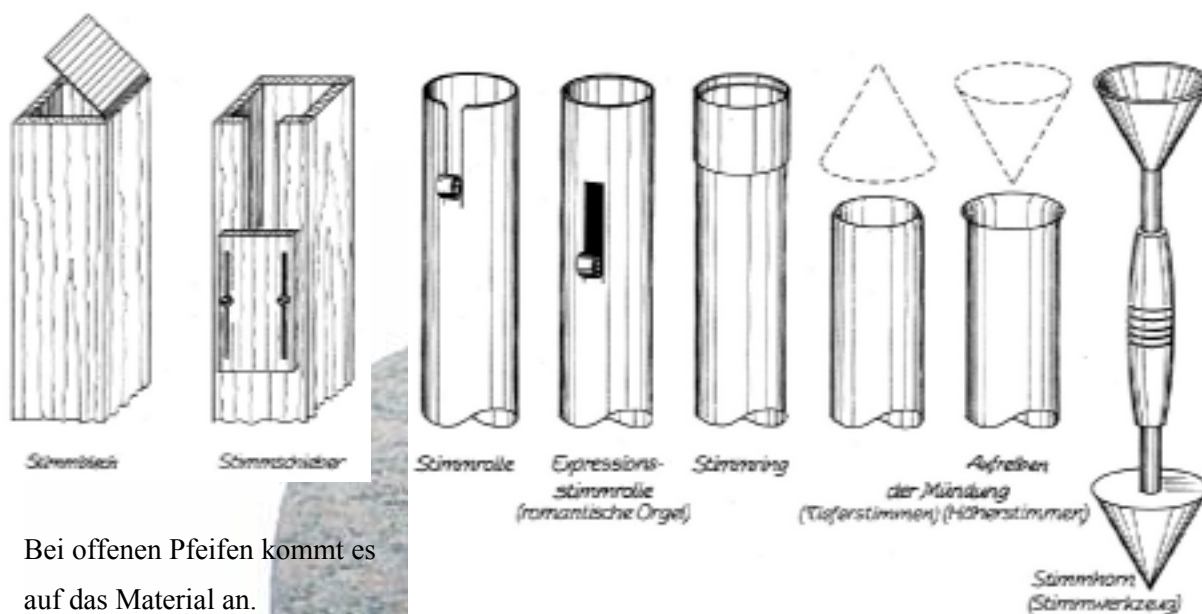
Abbildung 25: unterschiedliche Bauformen offener konischer Pfeifen





Wie bereits in Kapitel 5 auf Seite 25 angesprochen, verstimmen sich die Orgelpfeifen bei Temperaturschwankungen. Zwar werden in solchen Fällen die Lingualpfeifen nachgestimmt, doch muss auch eine Labialpfeife stimmbar sein. Dazu gibt es verschiedene Techniken, mit der die Pfeife ausgerüstet sein kann.

Abbildung 26: Möglichkeiten zum Stimmen bei offenen Pfeifen



Bei offenen Pfeifen kommt es auf das Material an.

Holzpfeifen haben ein Stimmblech oder einen Stimmschieber, welche einfach zu bauen und benutzen sind, da Holzpfeifen quadratisch sind.

Metallpfeifen hingegen können eine Stimmrolle bzw. Expressionsstimmrolle besitzen, auf die ein Stück Orgelmetall aufgerollt wird, wodurch sich zwar nicht der gesamte Pfeifenkörper verkürzt/verlängert, aber die Schwingung etwas kürzer/länger ist und damit der Ton etwas tiefer/höher. Weil diese Stimmmethode allerdings einer großen Erfahrung bedarf, um die Pfeife nicht zu beschädigen, kann ein Stimmring angebracht sein, der einfach nur nach oben bzw. unten geschoben werden muss. Er kann aber leicht verrutschen. Daher ist die beständige Methode das Ein- oder Aufreiben der Pfeifenmündung mit einem *Stimmhorn*: dabei wird das obere Ende der Pfeife entweder ein wenig nach innen eingedrückt oder nach außen gebogen.

Gedackte Pfeifen aus Metall besitzen einen Hut, der mit einem Filzstreifen auf der Pfeife sitzt. Durch

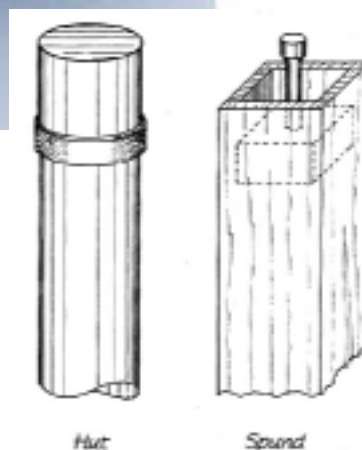


Abbildung 27: Stimmmöglichkeiten einer gedackten Pfeife

Hoch- oder Herunterschieben verlängert oder verkürzt sich die Schallwelle der Pfeife (siehe Kapitel 7, Eigene Versuche), ebenso in einer Holzpfeife: in ihr steckt ein Spund.

### Lingualpfeifen

Die in Kapitel 3.3.2 erläuterten Teile einer Lingualpfeife stecken grundsätzlich in der Nuss. Doch wird zwischen zwei Aufbauten unterschieden: dem deutschen und dem französischen.

Im Stiefel der deutschen Pfeife finden sich nur die Kehle, die darauf liegende Zunge und die Stimmkrücke. Die Nuss sitzt im oberen Teil des Stiefels, während in der französischen Pfeife die Nuss mitten im Stiefel sitzt. Zwischen der Nuss und der oberen Seite des Stiefels befindet sich ein Hohlraum, der oben mit einem Ring abgeschlossen wird. Dies hat akustische Gründe, die ich aber an dieser Stelle nicht erläutern kann.

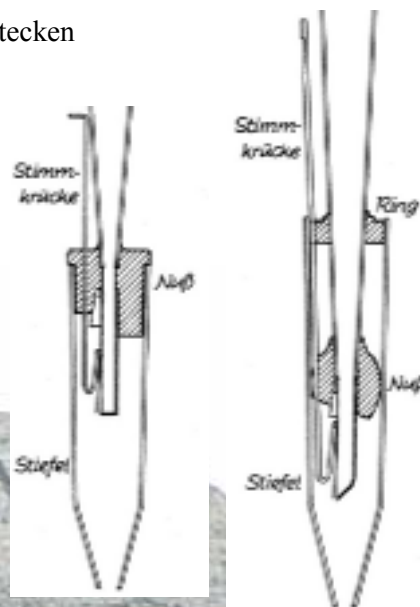


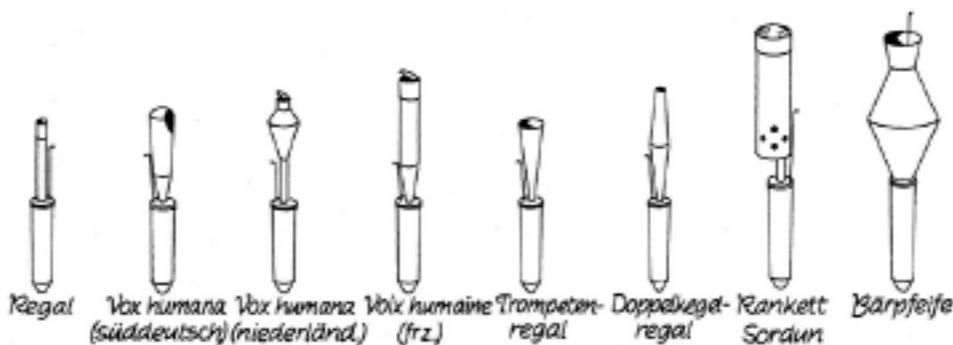
Abbildung 28: Lingualpfeife deutscher (links) und französischer Bauweise

Französische Zungen klingen aber im Allgemeinen etwas weicher.

Lingualpfeifen sind von ihrem äußeren Erscheinungsbild her leichter zu unterscheiden als Labialpfeifen. Nahezu jedes Register hat einen speziell geformten Schallbecher, dessen Länge entscheidet über die Gattung: es wird zwischen „kurzbechrigen Zungen“ und „langbechrigen Zungen“ unterschieden, solchen mit kurzer oder natürlicher Becherlänge. Wie bereits unter 4.5.3 erläutert, ist die Länge für die Obertonbildung entscheidend.

Weil in Lingualpfeifen mit natürlicher Becherlänge weniger Obertöne entstehen, sie also grundtöniger sind, treten sie häufiger in verschiedenen Varianten in Orgeln auf, solche mit kurzen Bechern nur selten oder in Orgeln ab ca. 50 Registern.

Abbildung 29: verschiedene kurzbechrige Lingualpfeifen



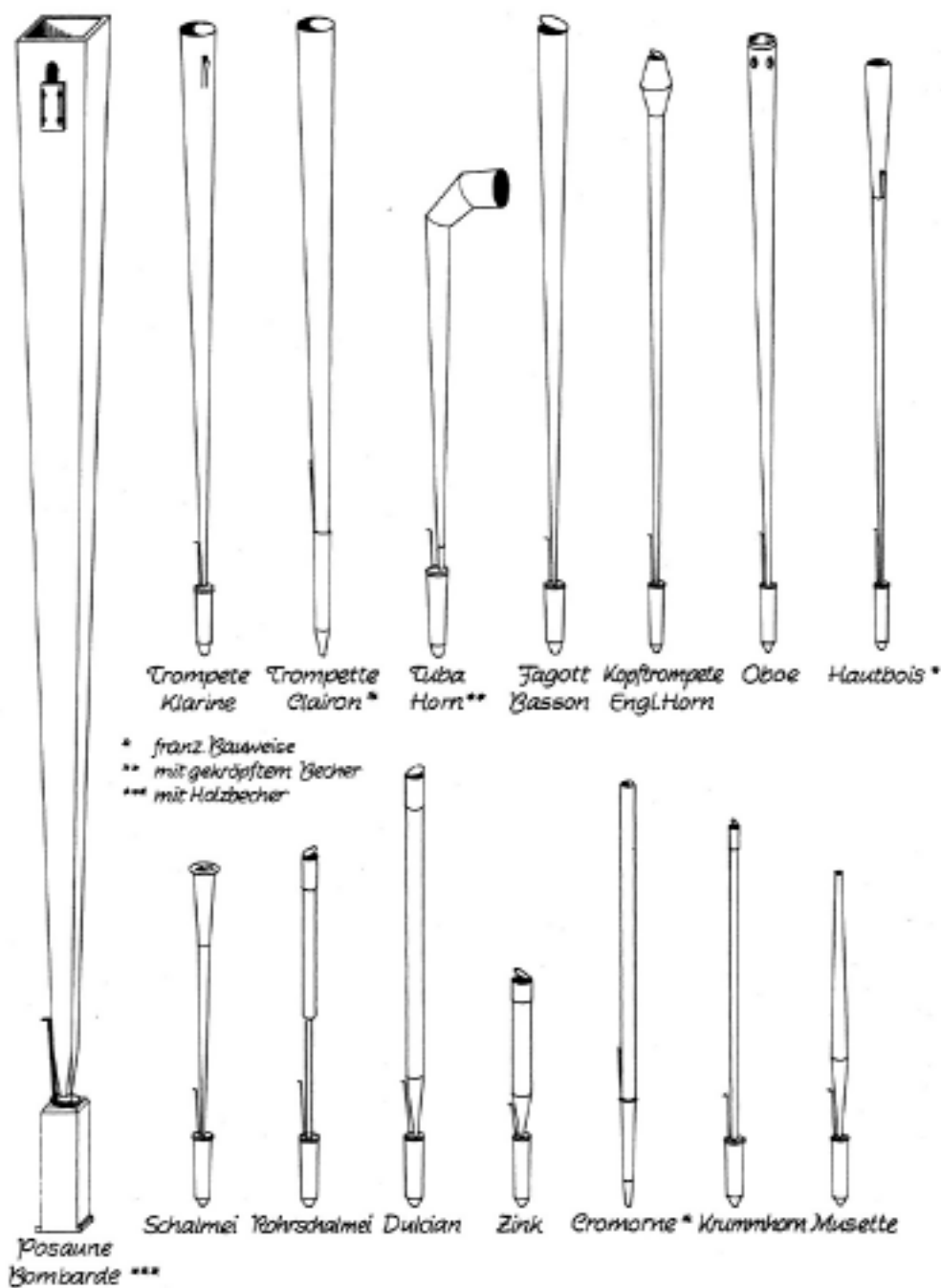


Abbildung 30: Lingualpfeifen natürlicher Becherlänge

## Windanlage

Die heutzutage gebräuchlichste Bauweise eines Windmotors ist der Schwimmerbalg (Abbildung 31), von dem aus die Windladen mit Wind versorgt werden. Hier spricht man noch von Luft, bis sie in Form von Wind mit uniformem Druck den Balgkasten verlässt.

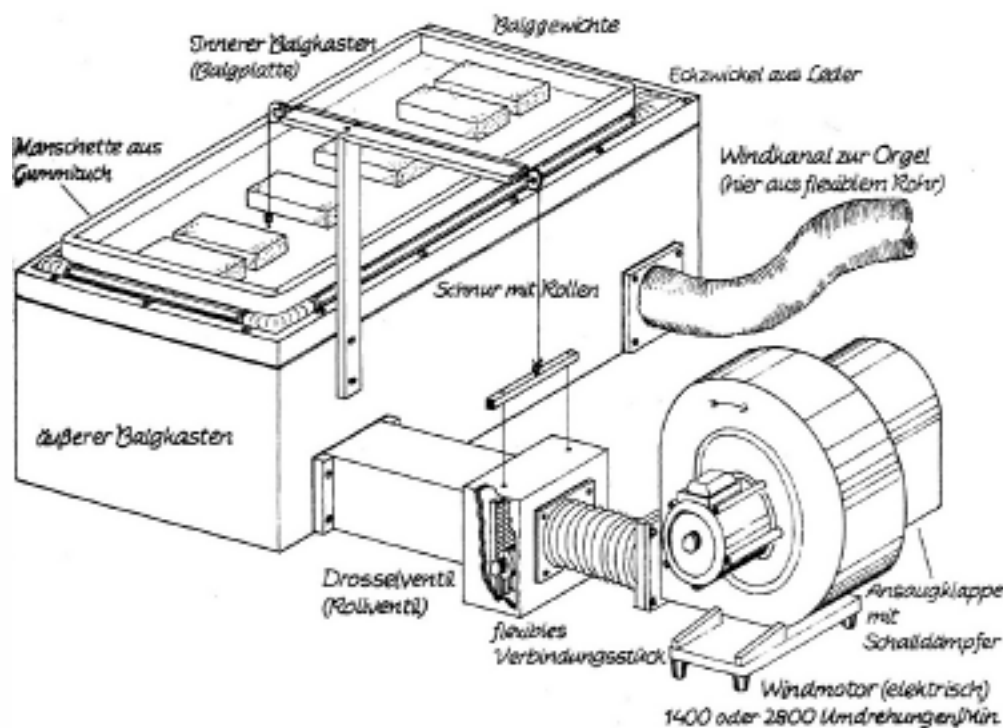


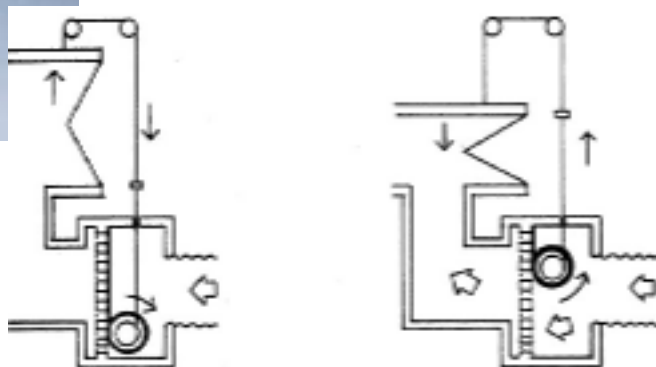
Abbildung 31: Windmotor mit Schwimmerbalg

Ein leiser, elektrischer Windmotor füllt den Balgkasten mit Luft, dessen Druck zum einen durch die Balggewichte auf der Balgplatte bestimmt wird, zum anderen durch das Drosselventil.

Wenn sich zuviel Luft im Balgkasten befindet (Abbildung 32 links), wird vor den weiterführenden Windkanal ein kleines Stück Stoff gerollt, das die Luftzufuhr mehr oder weniger behindert. Somit kann die Luft wieder

auf Normalniveau kommen, anschließend rollt sich der Stoff wieder auf die Rolle auf und die Luftzufuhr ist wieder ungebremst. Mit der Zeit pendelt sich das Rollventil auf ein Mittelmaß ein, so dass keine ständige Bewegung herrscht, sondern nur bei höherem oder niedrigerem Windbedarf durch mehr oder weniger gespielte Pfeifen eine Umstellung des Rollventils erfolgt.

Abbildung 32: Funktionsweise des Rollventils



## **Das Werkprinzip einer Orgel**

Als Ergänzung zu Kapitel 1.1 möchte ich hier das Werkprinzip einer Orgel ein klein wenig ausführlicher formulieren.

Jedes Manual ist einer Windlade zugeordnet. Sie hat einen bestimmten Platz in der Orgel, nachdem sie benannt wird – entweder als Werk, oder als Positiv.

Befindet sich eine Windlade in der Mitte der Orgel, spricht man vom Hauptwerk.

Befindet sie sich oben in der Orgel, so nennt man dieses Werk Oberwerk oder Kronenpositiv, quasi die Krone der Orgel (bildlich zu verstehen).

Befindet sich die Windlade vorne direkt hinter dem Prospekt, heißt dieses Werk Brustwerk oder –positiv.

Oft hat eines der Werke (ausgenommen Hauptwerk) einen Schweller (siehe Kapitel Problematiken, S. 25), wird es Schwellwerk genannt.

Besonderheiten bilden die Windladen der Pedalpfeifen und das Rückpositiv. Letzteres beschreibt eine Windlade, die in einem einzelnen kleinen Gehäuse im Rücken des Organisten, also zwischen Organist und Emporenbrüstung steht; meist ist es in dieselbige integriert.

Die Pedalpfeifen stehen meist links und rechts von den Werken, sie können in den Prospekt integriert sein oder einzeln neben der Orgel stehen.

Bei großen Orgeln wird die Windlade des Pedals in „Großpedal“ und „Kleinpokal“ oder „Hauptpedal“ und „Nebenpedal“ aufgeteilt. Grund hierfür ist zum einen der Platz im Orgelgehäuse, da die Größe der Pedalpfeifen sehr unterschiedlich ist, insofern wäre es sinnlos, die kleineren Register in die hohen Pedaltürme zu bauen. Man baut daher nur das Haupt- oder Großpedal in die Pedaltürme, das Neben- oder Kleinpokal hingegen hinter das Hauptwerk. Hier findet sich nicht selten ein Register namens „Hintersatz“ oder „Untersatz“: es gibt die Position des Nebenpedals an. Ein anderer Grund für die Aufteilung ist die bessere klangliche Verschmelzung mit dem Hauptwerk.

Auf Abbildung 33 ist die Aufteilung, also das Werkprinzip, von außen deutlich sichtbar. Die Windladen des Pedals befinden sich in den Pedaltürmen links und rechts, die aufgrund der tonalen Mischverhältnisse (siehe 2.2) in C- und Cis-Seite aufgeteilt sind. In der Mitte steht das Hauptwerk, darunter das Brustwerk, welches in einen Schwellkasten gebaut ist. Unter dem Schwellwerk befindet sich – im Bilde nicht sichtbar – der Spieltisch und im Rücken des Spielers das Rückpositiv, das in die Brüstung eingebaut ist.

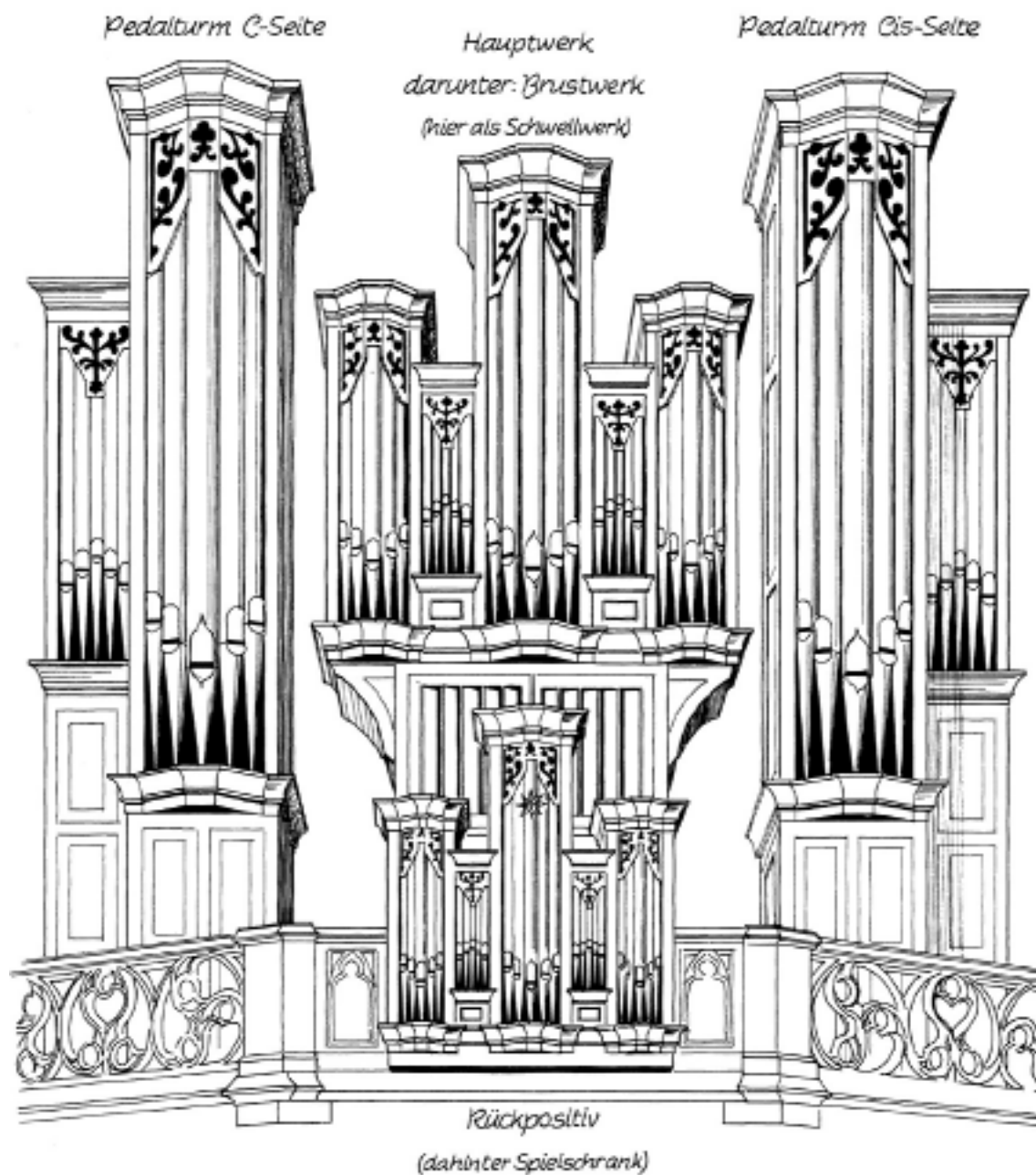


Abbildung 33: das klassische Werkprinzip einer Orgel, hier anhand der Orgel der Evang. Stiftskirche in Mosbach mit 3 Manualen und 43 Registern

## Quellenangaben

### 1. Literatur

1. Bauer, Siegfried: Probieren und Studieren, Strube, München 1996, 2. Auflage 1998
2. Blume, Friedrich: Die Musik in Geschichte und Gegenwart, Band 10, Bärenreiter, Kassel 1962
3. Fletcher, Neville & Rossing, Thomas: Physics of Musical Instruments, Springer, New York 1991
4. Kadner, Immo: Akustik in der Schulphysik, Aulis, Köln 1994
5. Klotz, Hans: Das Buch von der Orgel, Bärenreiter, Kassel 1937, 7. Auflage 1965
6. Sachs, Curt: Handbuch der Musikinstrumente, Breitkopf & Härtel, Berlin 1919, 2. Auflage Leipzig 1930, deren 3. reprographischer Nachdruck Wiesbaden 1976
7. Taylor, Charles: Der Ton macht die Physik, Vieweg, Wiesbaden 1992
8. Eine Facharbeit „Die Kirchenorgel physikalisch betrachtet“ im Leistungskurs Physik am Gymnasium Vilshofen, Kolleg 1997/99  
<http://tinpan.fortunecity.com/country/247/facharbeit/index.htm> (Stand 30.04.2003)
9. Ein Artikel von Jürgen Meyer über „Orgelklang und Kirchenakustik“ von der Hochschule für Musik in Detmold
10. Eine Studienarbeit von Clemens Stromeyer über den „Bau einer Orgel“ an der Technischen Universität Berlin

## **2. Verzeichnis der Abbildungen:**

Titelbild: aus MGG, Spalte 233/234

Abbildung 4 von Hans Klotz aus „Das Buch von der Orgel“, Seite 75

Alle anderen Abbildungen von Burkhart Goethe aus „Probieren und Studieren“, Seiten 75, 82-100 und 310

(Sämtliche Abbildungen und Beschriftungen wurden von mir hinsichtlich Größe und Ausschnitt bearbeitet.)

### **Versicherung über die selbstständige Anfertigung der Arbeit**

Ich versichere hiermit, dass ich diese Facharbeit selbstständig verfasst, keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel verwendet habe und dass sämtliche Stellen, die benutzten Werken im Wortlaut oder dem Sinne nach entnommen worden sind, mit Quellenangaben kenntlich gemacht wurden. Diese Versicherung gilt auch für die Abbildungen.

Großalmerode, den 30.04.2003 .....