

Funktion einer Orgel, exemplarisch dargestellt am Beispiel der Fuldaer Domorgel

Die Orgel ist eines der ältesten Instrumente. In vorchristlicher Zeit wurde das Instrument als Wasserorgel erfunden. In Gottesdiensten des Christentums spielt dieses Instrument eine wichtige Rolle: "... ihr Klang vermag den Glanz der kirchlichen Zeremonien wunderbar zu steigern und die Herzen mächtig zu Gott und zum Himmel emporzuheben" heißt es in der Liturgiekonstitution des 2. Vaticanums. Weitere Verwendung findet die Orgel in Konzertsälen und als Heim- und Übeorgel. In den zwanziger Jahren des 20. Jahrhunderts diente sie als Kinoorgel zur Untermalung von Stummfilmen. Ihre Technik reicht von der einfachsten Mechanik bis hin zu Lichtleiter- und Computertechnik.



Domorgel
in Fulda

Im Folgenden wird der Orgelbau exemplarisch an der Hauptorgel des Fuldaer Doms erläutert. Die Fuldaer Domorgel als Untersuchungsobjekt zu nehmen, ergab sich aus persönlichem Kontakt zu Domorganist Prof. Hans-Jürgen Kaiser und der Diskussion um den technischen Neubau der Orgel durch die Firma Rieger aus Schwarzach in den Jahren 1995/96. Im Zuge der Dominnenrenovierung stand die Renovierung der Orgel und des Orgelprospektes an. Unter Zuhilfenahme vieler Gutachten entschied man sich für einen technischen Neubau der Orgel unter Verwendung des Pfeifenmaterials der alten Sauer-Orgel von 1877. Die Orgel war technisch in einem sehr schlechten Zustand und wurde im Laufe ihrer Geschichte mehrmals und nicht unbedingt zu ihrem Vorteil umgebaut.

Die Integration der Sauer-Pfeifen in der jetzigen Orgel ist dank der Intonation durch Herrn Oswald Wagner sehr gut gelungen. Der klangliche Unterschied zwischen Sauer-Bestand und neuen Rieger-Pfeifen ist nur mit Mühe erkennbar.

Bei der Fuldaer Domorgel handelt es sich um eine viermanualige Orgel mit 72 Registern, Schleiflade, mechanischer Spiel- (bis auf wenige Töne im Pedal und Hauptwerk und einige Zusatzkoppeln, die elektrisch sind) und elektrischer Registertraktur.

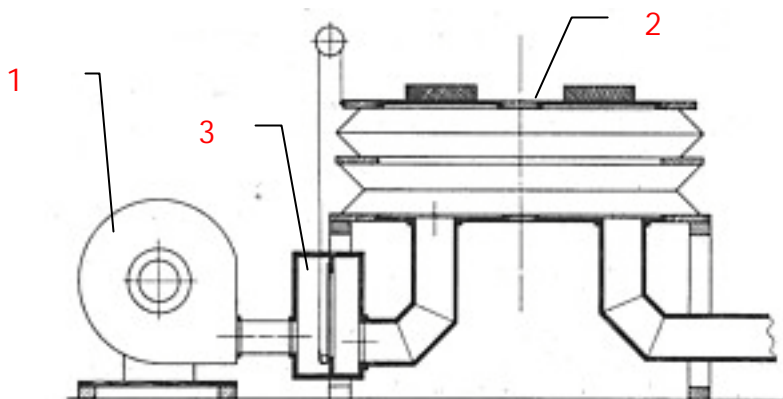
In der Orgel gibt es zwei Trakturen, zum einen die Spieltraktur und zum anderen die Registertraktur. Unter Spieltraktur versteht man die Verbindung von Taste zu Tonventil, sie kann entweder mechanisch (über Züge, Wellen und Winkel), elektrisch (das Tonventil wird mit einem Elektromagneten geöffnet) oder pneumatisch (mittels Luftdruck, der durch Röhren geleitet wird, wird das Tonventil geöffnet) sein. Die Registertraktur schaltet die Register ein oder aus. Auch dies kann auf verschiedenem Wege geschehen. Die elektrische Variante bietet den Vorteil, Registerkombinationen im Voraus bereits einprogrammieren zu können. Selten gibt auch mechanische Setzer, die aber aufwendiger zu bauen und deren Möglichkeiten begrenzt sind.

Werkaufbau

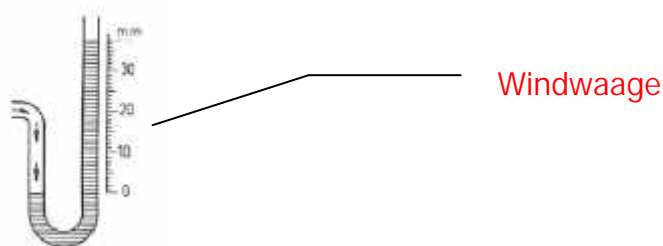
In jeder Orgel sind die Register verschiedenen Werken zugeordnet. Die Zuordnung richtet sich nach Registerzahl und Größe der Orgel. Im wichtigsten Werk, dem Hauptwerk, ist der Prinzipalchor meist auf 8'-Basis (= Tiefster Ton des tiefsten Principalregisters ist acht Fuß lang) oder bei größeren Orgeln wie der Fuldaer Domorgel auf 16'-Basis (doppelt so lang) aufgebaut. Dieses Werk bildet die klangliche Grundlage des Instruments. Danach richtet sich auch die Größe des Pedalwerks zum Spielen der Bassstimmen. Weitere Werke sind nach ihrer Position oder ihrer Funktion benannt. Das Rückpositiv ist an der Emporenbrüstung hinter dem Organisten angebracht. Das Oberwerk ist das in der Orgel am höchsten gelegene Werk. Das romantische Schwellwerk ist nach seiner Funktion benannt, durch Öffnen oder Schließen der Jalousieschweller wird der Klang stärker oder schwächer. In diesem Werk sind vor allem "romantische" Register untergebracht.

Jedes dieser Teilwerke hat im Spieltisch eine eigene Klaviatur. Jedem Teilwerk wird bei der Disposition, Mensurierung und Intonation ein bestimmter Klangcharakter verliehen. Das Rückpositiv hat einen leichten, verspielten Charakter, das Hauptwerk ist voll und kräftig, das Schwellwerk romantisch. Das Oberwerk liegt sehr expositioniert, es klingt „frech“ und weit tragend.

Die Windversorgung



Das Gebläse (1), welches den nötigen Luftdruck (Orgelwind) zum Anblasen der Pfeifen aufbaut, füllt den Magazinbalg mit Luft. Dadurch wird die Balgplatte (2) angehoben, es entsteht ein gewisser Winddruck. Damit der Winddruck nicht zu hoch wird, hat man ein Drosselventil eingebaut. Hebt sich die Balgplatte immer mehr, so verschließt eine Lederrolle (3) das Ventil für die Luftzufuhr. Wird Wind durch Spielen der Orgel verbraucht, senkt sich die Platte und neuer Wind kann in den Magazinbalg einströmen. Vom Magazinbalg aus gelangt der Wind über Windkanäle zu den einzelnen Windladen und kann als Spielwind zur Tonerzeugung genutzt werden. Der Winddruck, der aus dem Magazinbalg kommt, ist für die einzelnen Teilwerke zu hoch; er wird deshalb in den Windladen der einzelnen Werke nochmals gedrosselt und für jedes Werk getrennt reguliert. So entstehen die in der Disposition angegebenen unterschiedlichen Drücke.

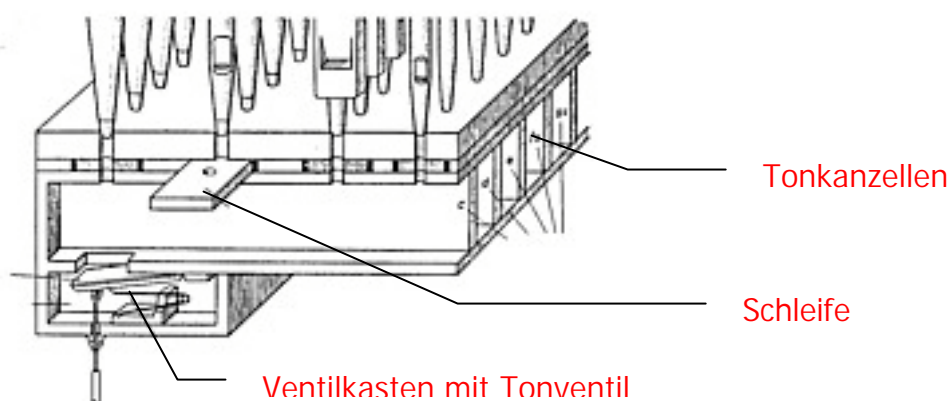


Der Luftdruck in der Orgel wird mit einem Manometer besonderer Art, mit der Windwaage gemessen. Sie ist ein u-förmig gebogenes mit Wasser gefülltes Glasrohr. Seitlich ist eine Skala angebracht. Sie wird an die Windlade angeschlossen, der Wind kann hineinströmen. Durch den Druck werden die Wasserspiegel verändert. Die Differenz der beiden Wasserspiegel wird in Millimetern gemessen und als Winddruck angegeben, man spricht beispielsweise von einem Winddruck von 90mm Wassersäule. Gemessen wird er an den einzelnen Windladen. Dafür gibt es dort überall verschließbare Öffnungen, an die die Windwaage gehalten wird. Sind diese nicht vorhanden, hält man die Windwaage an die Stelle einer herausgenommenen Pfeife. So wird der statische Winddruck gemessen.

Ein zweiter Druck wird bei spielendem Pfeifenwerk gemessen. Dieser Druck ist meist geringer (ca. 90%) als der statische. Spielt man mit nur einem Register, ist der Abfall nicht so groß wie bei „vollem Werk“. Bei Barockorgeln stellt man beim Anblasen der Pfeifen ein leichtes Beben fest. Viele Orgeln haben, um diesen Druckabfall auszugleichen, unter den Windladen Regulatoren, sogenannte Schwimmerbälge.

Windladen

Die Fuldaer Domorgel ist eine Orgel mit mechanischer Schleiflade. Dies bedeutet, dass die Verbindung von Taste zu Tonventil mechanisch ist. Drückt der Organist die Taste, wird der Druck durch die Tastenaufhängung (zweiarmiger Hebel) in Zug umgewandelt



und über Abstrakten, Winkel und Wellen zur Windlade weitergeleitet.

des Pfeifenstocks übereinander stehen, ist das Register zugeschaltet, der Wind kann bei Betätigung des Tonventils in die Pfeife strömen und einen Ton erzeugen. Die Schleiflade ist im Gegensatz zur Kegellade (Registerkanzellenlade) ein Tonkanzellenlade, d.h. für jeden Ton gibt es eine Tonkanzelle, auf der von allen Registern der gleiche Ton steht.

Meistens teilt sich der Pfeifenbestand in C- und Cis-Seite auf. Man hat demzufolge zwei Windladen pro Werk. Die Pfeifen stehen dann nicht in Halbtonschritten, sondern in Ganztonschritten nebeneinander. Dies hat einerseits einen architektonischen Vorteil durch die entstehende Symmetrie (Barockorgeln), außerdem werden die Windladen nicht so groß.

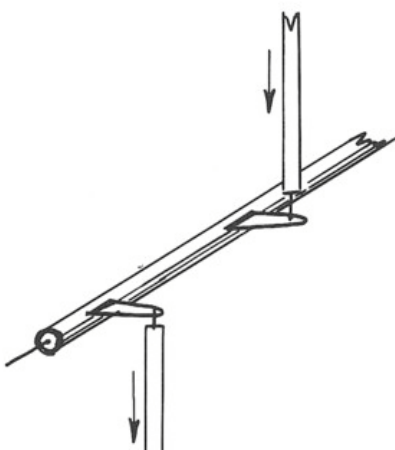
Bis auf wenige Pfeifen stehen alle Pfeifen der Fuldaer Domorgel auf Schleifladen mit mechanischer Traktur. Davon bilden 12 die große Oktave des Registers Untersatz 32', sechs sind die tiefsten Töne von dem Praestant 16' des Pedals und acht sind die ausgelagerten tiefsten Töne des Praestant 16' des Hauptwerks. Diese Pfeifen stehen nicht auf der Pedallade, sondern haben eine eigene Lade, eine elektrische Kegellade. Die Register Posaune 16' und Kontraposaune 32' werden auch auf gleiche Weise mit Wind versorgt. Auf die Funktionsweise der Kegellade wird im Rahmen der Examensarbeit nicht eingegangen, in angegebener Literatur kann man sich darüber aber informieren. Dass die Pfeifen auf Kegellade stehen, hat folgende Gründe: Die Pfeifen stehen wegen ihrer Größe aus Platzgründen nicht auf der Pedallade bzw. Hauptwerkklade und benötigen eine große Menge Luft, was zum Windabfall in der Lade führen würde. Bei diesen Pfeifen konnte man auf eine mechanische Traktur verzichten, da die Einschwingvorgänge in solch großen Pfeifen recht lange dauern. Ihre Spielventile werden elektrisch geöffnet.

Mechanische Spieltraktur (Von Taste zu Tonventil)

Die Verbindung von Taste zu Tonventil nennt man Spieltraktur (lat. trahere = ziehen). Es gibt drei Arten: mechanische, elektrische und pneumatische Traktur. Letztere wird aufgrund möglicher Zeitverzögerung heute nicht mehr gebaut. Bei ihr wird durch Tastendruck ein Ventil geöffnet, Luft beginnt durch ein Röhrensystem zu strömen, baut einen Druck auf und öffnet das Spielventil.

Bei der elektrischen Traktur schließt der Organist per Tastendruck einen Kontakt, es wird ein Stromkreis geschlossen, in dem ein Elektromagnet in der Windlade sitzt und das Tonventil aufzieht. Dabei hat der Organist keinerlei Möglichkeiten, die Tonerzeugung zu beeinflussen. Ob die Taste schnell oder langsam gedrückt wird, hat keinen Einfluss; das Tonventil öffnet immer gleich schnell.

Die Traktur der Fuldaer Domorgel ist bis auf wenige Zusatzkoppeln mechanisch. Dies hat den Vorteil, dass der Organist durch unterschiedliches Herunterdrücken der Tasten

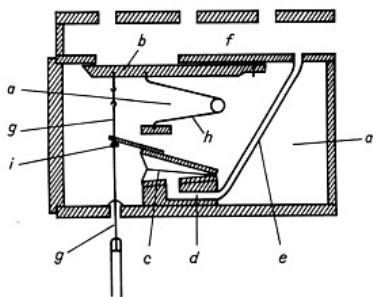


Drehbare Welle mit
Wellenärmchen und
daran befestigten
Abstrakten

den Öffnungsvorgang des Tonventils und damit den Einschwingvorgang des Tones beeinflussen kann. Hierbei ist die Taste über Holzleistchen (Abstrakten) über Winkel und Wellen mit dem Tonventil verbunden. Diese Abstrakten können häufig mehrere Meter lang sein. Da die Tastenbreite aber nicht mit dem Abstand der Pfeifen zueinander übereinstimmt, wird der Abstand der Abstrakten zueinander durch Wellen auf Wellenbrettern verbreitert. Die Domorgel ist nicht wie in den vergangenen Jahren üblich mit Holzwellen ausgestattet, sondern mit Aluminiumwellen der Leichtgängigkeit wegen. Zusätzlich ist die Orgel noch mit einer elektrischen Traktur ausgestattet, um von einem zweiten Spieltisch (vorgesehen unter der Empore) zu Chorbegleitungen gespielt zu werden.

Balancier

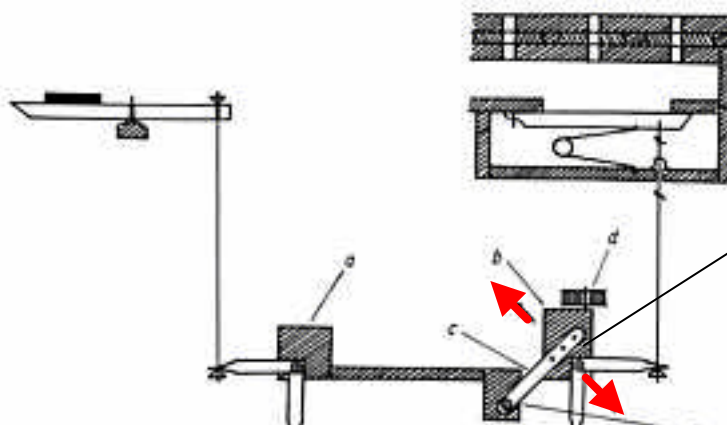
Bei großen Orgeln wie hier der Fuldaer Domorgel, bei der die Tonventile aufgrund der großen Registerzahl und des großen Windbedarfs größer sind und damit einen höheren Öffnungswiderstand haben, verringert man den Druckpunkt durch Einbau von Balanciers oder anderen Konstruktionen.



Balancier

Im Ventilkasten befindet sich am Boden unter dem Tonventil b ein kleiner Balg c, der unten über den Windkanal d und über ein Bleirohr e mit der Tonkammer f verbunden ist. Die Oberplatte des kleinen Balges ist über ein Verbindungsstück mit der Stellmutter i an der Abstrakte g verbunden. Im Ruhezustand drückt der im Ventilkasten a befindliche Wind auf den Balg c. Ein Zusammenpressen gegen den Druck der Ventillfeder h ist jedoch nicht möglich, da diese etwas stärker ist und somit der Balg c über die Stellmutter i und die Abstrakte g geöffnet bleibt. Die Federkraft und die Größe des Balges c müssen so "ausbalanciert" sein, dass der in a befindliche Wind den Balg c gerade nicht zusammendrücken kann. Der Druckpunkt ist dadurch erheblich verringert worden. Drückt man nun die Taste bzw. zieht an der Abstrakte, so muss man nur noch den Druck gegen die Ventillfeder aufbringen, der Winddruck auf das Tonventil b wird vom Balg c ausgeglichen. Bei geöffnetem Tonventil herrscht in dem Balg c über d und e der gleiche Winddruck wie im Ventilkasten a und in der Tonkammer f. Beim Loslassen der Taste schließt sich das Tonventil b durch die Feder h und hebt mittels der Stellmutter i die Balgoberplatte wieder an. Der Ruhezustand ist wieder erreicht.

Automatischer Trakturspanner

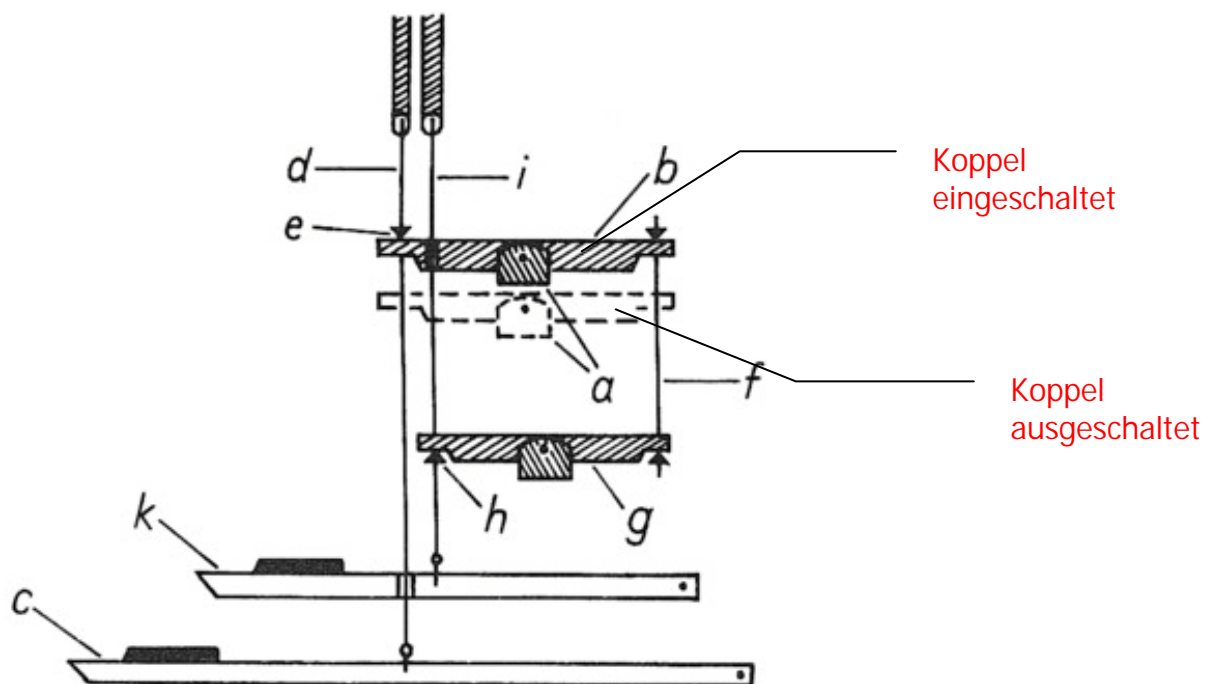


Beweglicher Winkelbalken

Aufgrund von Temperatureinflüssen im Jahreslauf verlängern bzw. verkürzen sich die Abstrakten. Um dies auszugleichen, baut man einen automatischen Trakturspanner ein, der durch einen beweglichen Mechanismus mittels Gewichten eine immer gleichmäßig gespannte Traktur erreicht. Dehnt sich beispielsweise die Traktur im Sommer aus, so drückt das Gewicht den beweglichen Winkelbalken nach unten und gleicht so die Differenz aus.

Koppeln

Mit Hilfe der Koppeln kann man verschiedene Manuale zusammen spielen, d.h. man spielt die Töne des einen Manuals auf dem anderen mit. Diese Spielhilfen erhöhen dadurch die Kombinationsmöglichkeiten der einzelnen Register miteinander. Die Koppeln der Fuldaer Domorgel sind bis auf wenige Ausnahmen mechanisch (auf die Funktionsweise der elektrischen Koppel wird hier nicht eingegangen), was wieder den Vorteil der sensibleren Spielbarkeit hat. Der Nachteil besteht allerdings in der Erhöhung des Tastendrucks, man muss dann den Widerstand der gekoppelten Manuale auch noch überwinden. Die Mechanik in dieser Orgel ist aber von so guter Qualität, dass selbst bei mechanischer Kopplung aller Manuale auf das Hauptwerk das Instrument noch gut spielbar ist.



Es handelt sich hier um mechanische Wippenkoppeln. Wird die Koppel eingeschaltet, hebt sich der Koppelbalken an, beim Drücken einer Taste des ersten Manuals wird durch die Stellschraube die Abstrakte des gekoppelten Manuals mitgezogen.

Elektrische Registertraktur

Mit Hilfe der Registertraktur schaltet der Organist oder Registrant Register zu oder ab. Im Fuldaer Dom handelt es sich bei der Hauptorgel um eine elektrische Registertraktur. Ein Registerzug wird gezogen und damit ein Kontakt geschlossen, der einen Strom durch den Schleifenzugmagneten fließen lässt und so die Schleife in der Windlade

bewegt wird. Dann liegen die Schleifenbohrungen direkt über den Fundamentalbrettern und unter den Bohrungen im Pfeifenstock. Wird nun das Tonventil geöffnet, kann Wind von der Windlade in die Pfeife strömen. Ein Ton des zugeschalteten Registers erklingt. Schaltet man das Register durch Hineinschieben des Zuges ab (Abstoßen des Registers), so verschiebt sich die Schleife wieder und das Register kann nicht mehr erklingen, der Wind kann beim Betätigen des Spielventils nicht mehr in die Pfeife des abgestoßenen Registers gelangen. Eine Besonderheit im Orgelbau ist die Reguliermöglichkeit der Magnete beim An- und Abstoßen der Magnete. Dadurch kann man ein präziseres Registrieren ermöglichen, die Register werden gleichzeitig geschaltet.

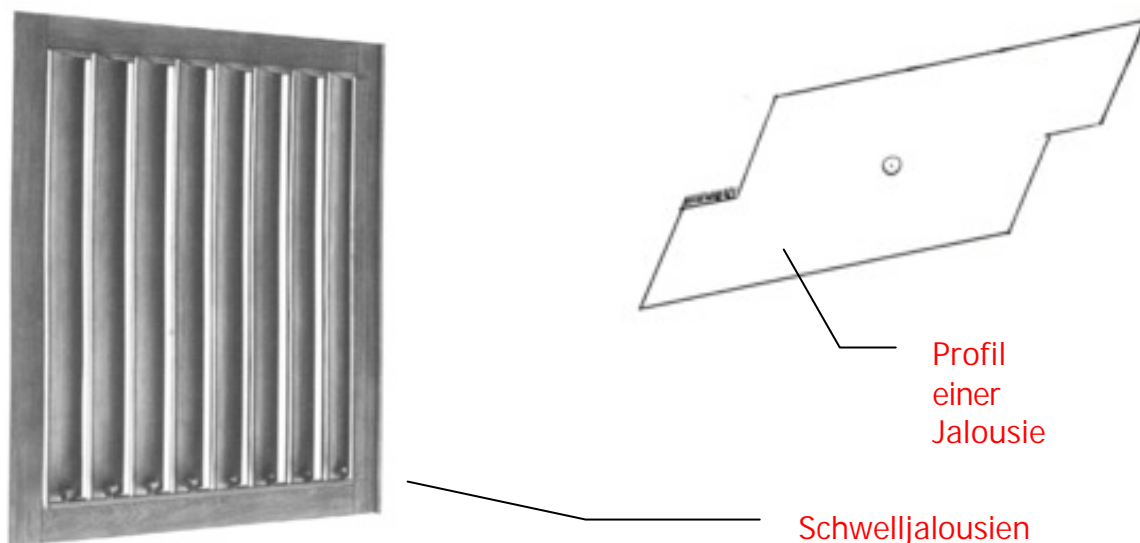
In kleinen Orgeln baut man meist eine mechanische Traktur zum Zu- und Abschalten der Register. Dies hat den Vorteil, dass sie präziser und nicht so wartungsanfällig ist. Bei größeren Orgeln entscheidet man sich meist für die elektrische Variante. Ihre Vorteile sind, dass die Spiel- und Registertraktur nicht nebeneinander liegen und so zu einem räumlichen Problem würden, und der Einbau von Spielhilfen. Unter Spielhilfen versteht man die Setzeranlage mit zusätzlicher „Remocard“ (Speicherkarte) oder Diskette und die Walze.

Mit Hilfe der elektronischen Setzeranlage können verschiedene Registerkombinationen im Voraus in der Orgel oder auf der Speicherkarte/Diskette abgespeichert werden. Sowohl im liturgischen Orgelspiel als auch beim Literaturspiel werden unterschiedliche Registrierungen in kurzer Zeitfolge hintereinander gebraucht.

Die Walze, die in der Fuldaer Domorgel dreifach vorprogrammierbar ist, bezeichnet man auch als Registerschweller. Sie wird mit dem rechten Fuß betätigt und schaltet die einprogrammierten Register nacheinander zu oder ab. Die Programmierung erfolgt in bis zu 32 Schritten, die man am Spieltisch beim Betätigen der Walze mittels einer Anzeige kontrollieren kann.

Das Schwellwerk

Unter den einzelnen Werken der Orgel spielt das Schwellwerk eine besondere Rolle. Deshalb wird es hier auch extra erwähnt. Geschichtlich kommt das Schwellwerk aus der Romantik, in der sehr viel Wert auf die Dynamik und den Ausdruck gelegt wurde. Um ein starkes Crescendo oder Diminuendo zu erreichen, ohne verschiedene Register einzeln abschalten zu müssen, baut man ein gesamtes Werk in eine Art Holzkasten mit starken Wänden.



Der Kasten kann auf einer oder mehreren Seiten, meistens vorne, mit Hilfe von Jalousien aus Holz vom Spieltisch aus mit einem Fußtritt geöffnet werden. Am Spieltisch ist zusätzlich eine Anzeige angebracht, wie weit der Schweller geöffnet ist. Das Schwellwerk der Fuldaer Domorgel kann bei geschlossenen Türen den Schall sehr gut absorbieren. Dies liegt zum einen an den mit Sand gefüllten Seitenwänden aber auch an der aufwendigen Konstruktion der Türen. Die Schwellertüren drehen sich um die Achse und öffnen oder schließen so das Schwellwerk. Um ein Aufschlagen der Türflügel beim Schließen zu vermeiden, ist an jeder Tür ein Filzstreifen angebracht. Dieser hat aber zusätzlich noch dämmende Wirkung.

Der Spieltisch

Den Spieltisch einer Orgel könnte man als das "Nervenzentrum" einer Orgel bezeichnen. Von hieraus wird das Instrument gespielt. Er besteht aus den vier Manualen, dem Pedal, den Register- und Koppelzügen, dem Schwellerfußtritt mit dazugehörigen Anzeige, der Walze mit Anzeige, den Setzerknöpfen, Pistons (Fußtritte) für Setzer und Koppeln, dem Notenpult und der Orgelbank. Alle diese Bestandteile sind zur Bedienung einer solch großen Orgel notwendig.

Zusätzlich gibt es noch ein Schalttableau für den Registranten, damit er beim Registrieren den Organisten nicht behindert. Darauf sind von dort aus die Setzer und die Koppeln direkt anwählbar.

Der Spieltisch ist übersichtlich und für den Organisten und Registranten möglichst gut erreichbar angeordnet. Die Registerzüge sind nach den einzelnen Werken angeordnet, links vom Organisten Pedal, Rückpositiv und Hauptwerk, rechts Schwell- und Oberwerk. Der Manualumfang beträgt 56 Tasten (C-a^{'''}), der Pedalumfang 32 Tasten (C-g').

Tremulant

Um Solostimmen hervorzuheben, hat man in jedes Manual einen Tremulanten eingebaut. Dieser befindet sich an der Windlade des jeweiligen Werks und lässt, mechanisch gesteuert, in kleinen Abständen Wind aus der Lade heraus. Das bewirkt eine Schwankung des Winddrucks und damit beim Spielen eine Schwankung in der Tonhöhe. Die gespielte Stimme fällt auf diese Weise akustisch sehr auf, man kann sie von den anderen gut unterscheiden.

Die Akustik der Orgelpfeifen

Pfeifenarten

Allgemeines

Es gibt eine Vielzahl verschiedener Pfeifen. Sie sind verschieden in ihrem Bau, im Material, in der Größe und damit nicht zuletzt im Klang. Setzt man für jeden Ton Pfeifen gleicher Bauart zusammen, so erhält man ein Register. Durch Kombination mehrerer Register können neue Klangfarben erzeugt werden. Es gibt aber auch Register mit mehreren Pfeifenreihen, die Mixturen und Cornette etc. Mit Hilfe dieser Register, die meist wesentlich kleinere Pfeifen aufweisen, hellt man den Klang anderer Register auf. Die Mixturen und Cornette sind aus Pfeifen der Obertonreihe zusammengestellt. Bei den Mixturen müssten die Pfeifen nach oben hin so klein werden, dass man sie repetieren lässt, d.h. sie werden um eine Oktave nach unten versetzt. Da diese Register aber nur in Kombination mit anderen Registern gespielt werden, fallen die Repetitionen nicht auf. Cornette sind nicht repetierend und werden häufig als Soloregister verwandt. Im allgemeinen unterscheidet man aber zwei Arten von Pfeifen:

1. **Lippen- oder Labialpfeifen** (lat. labium = Lippe): Der Ton wird durch Schwingungen der Luftsäule im Inneren der Pfeife erzeugt.

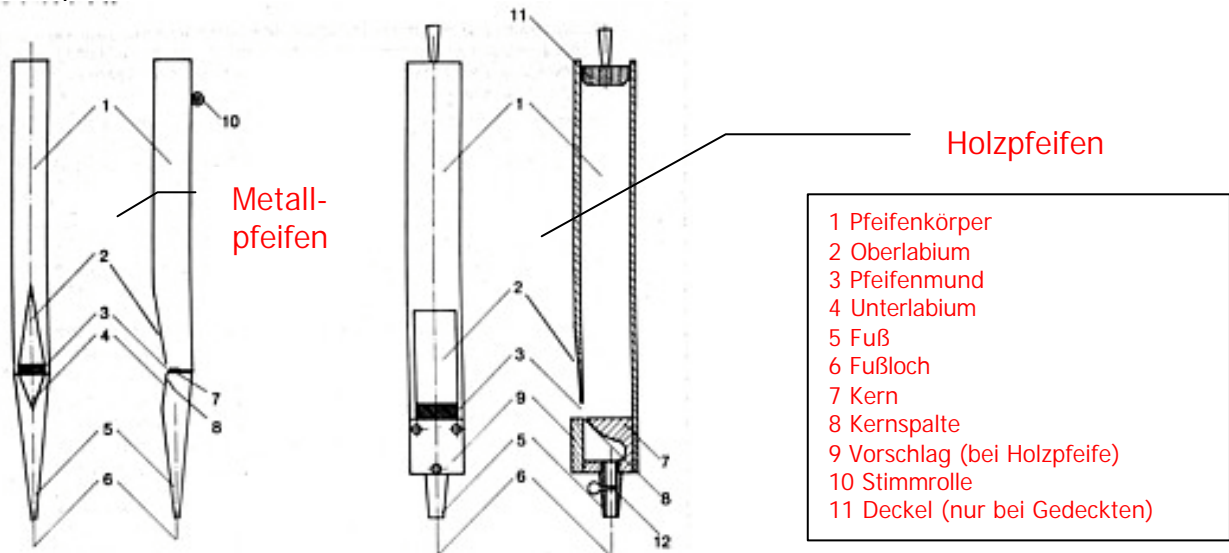
2. **Zungen- oder Lingualpfeifen** (lat. lingua = Zunge): Eine schwingende Metallzunge erzeugt, ähnlich wie bei der Mundharmonika, den Ton.

Das Material bestimmt auch den Klang. Holz bewirkt einen weicheren, Metall einen schärferen Klang. Große Pfeifen werden aus Kosten- und Statikgründen häufig aus Holz gebaut. Bei Metallpfeifen verwendet man meistens Legierungen aus Zinn und Blei, das sogenannte Orgelmetall. Selten werden Pfeifen aus reinem Zinn, Zink oder Kupfer hergestellt.

Die Länge der Pfeife richtet sich nach der Tonhöhe und reicht von etwa 10m bis 0,005m. In einer kleineren Orgel stehen zwischen 300 und 1000, in großen Orgeln mehrere Tausend Pfeifen. Entsprechend ist das Klangspektrum von 16 - 16000 Hz. Das Instrument nutzt demnach den für das menschliche Ohr wahrnehmbaren Bereich aus.

Labialpfeifen

Ähnlich wie bei einer Flöte wird in der Labialpfeife der Ton durch eine schwingende Luftsäule erzeugt. Die meisten, manchmal sogar alle Pfeifen einer Orgel sind Labialpfeifen. Im wesentlichen kann man die Pfeife in drei Teile unterteilen:



1. der Pfeifenfuß mit Bohrung dient der Windführung,
2. das Mundstück mit den klangerregenden Teilen (Labium, Kern, Aufschnitt)
3. der Pfeifenkörper umschließt die schwingende Luftsäule.

Unterschiedliche Konstruktionen der Pfeifen ergeben verschiedene Klänge, schmale Pfeifen klingen heller, breite dumpfer. Manche haben einen Deckel oder Spund mit oder ohne Röhrchen. Die Tonhöhe hängt von der Länge des Pfeifenkörpers und damit von der Länge der schwingenden Luftsäule ab. Durch Verändern der Körperlänge mittels einer Stimmrolle, eines Stimmringes oder des Deckels wird die Pfeife gestimmt.

Als eine Auffälligkeit bei den Sauer- und Rieger-Pfeifen in der Fuldaer Domorgel ist die Expression zu nennen. Bei den Pfeifen ohne Expression wird ein schmaler Teil der Pfeifenwand bandartig von oben aufgerollt und somit die Pfeife gestimmt. Der Stimmschlitz bei Pfeifen mit Expression sitzt nicht am oberen Ende des Pfeifenkörpers, sondern ist etwas tiefer von der Pfeifenmündung entfernt eingeschnitten. Der Klang der Pfeife wird dadurch schärfer. Bei den Sauer-Pfeifen sitzt die Expression auf der gleichen Seite der Pfeife wie der Aufschnitt, auf der dem Kirchenraum zugewandten Seite.



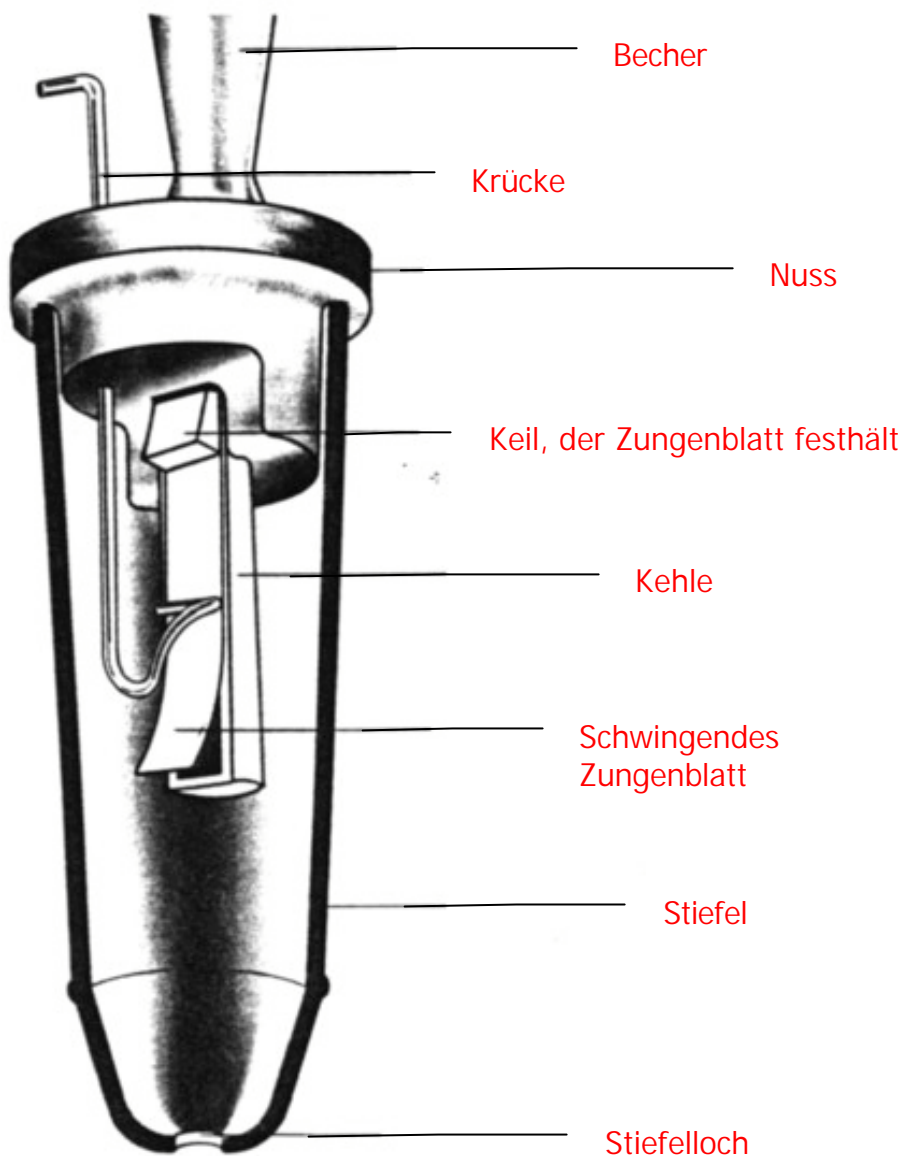
Expression

Lingualpfeifen

Die Zungenpfeifen sind die zweite Art der in der Orgel vorkommenden Pfeifenarten (früher auch Rohr- oder Schnarrwerk genannt). Sie haben einen schärferen und kräftigeren Klang als die Labialen.

Ellerhorst: "Die Rohrwerke bringen mit ihren vielen und hohen Teiltönen ganz neue Klangfarben in den Orgelklang. Sie übergießen ihn nicht selten mit einem wundersamen, verklärenden Golde, das einem guten Orgelwerke ebensowenig fehlen darf wie das Silber guter Mixturen. Nicht zu vergessen ist der dauernd modulierende Klang verschiedener Rohrwerke! Nur sehr gewichtige und durchschlagende Gründe dürfen Rohrwerke von einer Orgeldisposition ausschließen. Ohne sie fehlt einer Orgel etwas ganz Wesentliches."

Die Tonerzeugung bei Lingual- bzw. Zungenpfeifen ist grundsätzlich anders. Die Zunge ist hierbei das klangerzeugende Element - ähnlich wie bei der Mundharmonika oder dem Harmonium. Auch bei dieser Pfeifenart wird der Klang durch unterschiedliche Konstruktion der Zunge, der Kehle, des Materials und der Becherform beeinflusst. Der Wind strömt durch das Stiefelloch in die Pfeife und regt die Zunge zum Schwingen an.



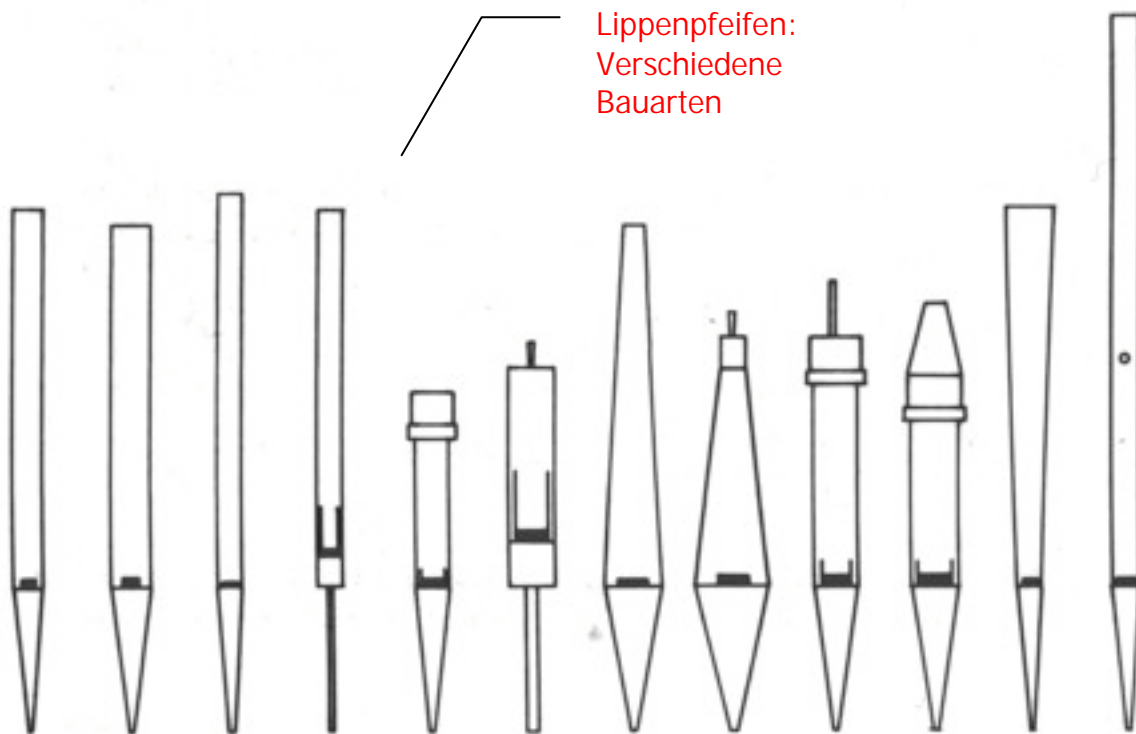
Sie schlägt auf die Kehle. Die Länge der freischwingenden Zunge ist verantwortlich für die Tonhöhe. Der Becher dient als Resonanzverstärker und Obertonregler. Durch verschiedenartige Gestaltung seiner Form werden die Obertöne hinsichtlich eines bestimmten Klanges geformt. Beim Stimmen variiert man mit Hilfe der Stimmkrücke die Länge der freischwingenden Zunge.

Neben der deutschen Art gibt es noch die französische. Dabei steckt der Becher im Stiefel. Die am unteren Ende des Schallbechers festgelötete Nuss steckt etwa in der Mitte des leicht konischen Stiefels fest.

Tonerzeugung in der Labialpfeife

Klingt eine Labialpfeife, so schwingt die Luftsäule im Pfeifenkörper. Diese Schwingung wird durch ein schmales Luftband, das aus dem Fuß kommend durch den Kernspalt auf das Oberlabium trifft, angeregt.

Das Luftband mit einer bestimmten Dichte verliert seine Dichtigkeit, je weiter es sich vom Kernspalt entfernt. So trifft es auf das Oberlabium. Ein Teil des Luftbandes dringt in den Pfeifenkörper ein, der andere Teil streicht an der Außenseite entlang. Der eintretende Teil reißt von unten und von den Seiten Luft mit in das Pfeifeninnere, was seinen Zerfall verzögert. Dies kann man durch Anhalten einer Kerzenflamme an den



Pfeifenmund verdeutlichen.

Durch die eingetretene Luft wird die im Pfeifenkörper befindliche Luftsäule leicht zusammengedrückt. Es entsteht eine Verdichtungswelle. Aufgrund der Elastizität wird sowohl nach oben als auch nach unten ein Druckausgleich gesucht. Dadurch wird nach unten hin das erregende Luftband nach außen gedrückt und nach oben hin setzt sich die Druckwelle fort. Deswegen folgt hinter einer Verdichtung immer eine Verdünnung. Diese Luftverdünnung hat zur Folge, dass der erregende Wirbel wieder in Aktion treten kann, die Luft im Pfeifeninneren wird wieder zusammengedrückt und der Zyklus beginnt von neuem. Ebenso versucht die Druckwelle den Druck nach unten wieder auszugleichen. Die Zahl der pro Sekunde auftretenden Verdichtungen und Verdünnungen und damit die Tonhöhe der Pfeife hängt im Wesentlichen von der

Pfeifenlänge ab. Durch die aus der Kernspalte austretende Luft bzw. die Luftverwirbelung am Oberlabium wird dieser Vorgang aufrechterhalten.

Dass die Luft nicht durch die Pfeife durchgeblasen wird, zeigt folgender Versuch: Man lässt eine Feder in eine offene Pfeife, die angeblasen wird, hineinfallen. Zu beobachten ist, dass die Feder nicht nach oben geblasen wird sondern nach unten fällt und sogar zum Aufschnitt herausgeblasen wird.

An der Außenseite des Oberlabiums bildet sich auch ein Wirbel. Dieser steht in einer notwendigen Beziehung zum inneren Wirbel. Hält man den Aufschnitt zu und verhindert so die äußere Wirbelbildung, so entsteht kein Ton, obwohl man mit dem Ohr Strömungen im Inneren der Pfeife hören kann. Der Außenwirbel setzt sich entlang der Pfeifenwand als starke Erregung fort, die im unteren Bereich sogar eine Kerzenflamme auslöschen kann. Diese beiden Wirbel stehen also in direktem Zusammenhang zur Tonerzeugung, das Luftband pendelt am Oberlabium periodisch hin und her. In einem Fall strömt der größte Teil nach außen, im anderen nach innen. Die Schnelligkeit der Pendelung und somit die Tonhöhe hängt von der Pfeifenkörperlänge ab. Es handelt sich dabei um eine Resonanzkopplung.

Die Vorgänge in der Pfeife ähneln einer Schaukel, die man immer wieder im richtigen Takt anstoßen bzw. der man immer wieder neuen Schwung zufügen muss. Die "Anstöße" im Falle der Orgelpfeife kommen von dem Luftstrom, der immer hin und her pendelt. Strömt die Luft im richtigen "Takt" in den Aufschnitt hinein bzw. heraus, so wird die Energie in der richtigen Phase zugeführt, die durch Schallabstrahlung und Reibung an den Pfeifenwänden verloren geht. Geschieht die Energiezufuhr nicht im entsprechenden Takt, werden die Schwingungen gedämpft und der Ton bricht ab. Die Luftbewegungen im Aufschnitt, hervorgerufen durch das Schallfeld im Pfeifenkörper, und die zeitlichen Abstände der "Anstöße", die der Luftstrom auf seinem Weg von der Kernspalte bis zum Oberlabium erzeugt, sind miteinander gekoppelt. Daher spielt das Verhältnis von Aufschnitthöhe und Strömungsgeschwindigkeit eine entscheidende Rolle: breiter Aufschnitt und niedriger Anblasdruck sorgen für längere Laufzeiten der Wellen. Die Impulse, die die Welle im Inneren der Pfeife bekommt, werden auf zweierlei Arten gegeben.

Hermann von Helmholtz betrachtete die Menge der pro Zeiteinheit zugeführten Luft. Um ein größtmögliches Maß an Energie auf die schwingende Luftsäule zu übertragen, müssen die Impulse vom Luftstrom in dem Moment gegeben werden, wenn der Schalldruck auf der Innenseite des Oberlabiums sein Maximum hat.

Lord Rayleigh erklärt die Vorgänge anders. Der Aufschnitt ähnelt einem offenen Pfeifenende, wo kein hoher Schalldruck vorkommen kann. Deshalb leistet die zurückströmende Luft keine Arbeit gegen diesen Druck und so wird keine Energie an die schwingende Luftsäule übertragen. Rayleighs Annahme war, der Luftstrom komme hinter dem Oberlabium zum Erliegen, gleichzeitig baue sich aber ein Druck auf, der die Schallschnellen (momentane Geschwindigkeit der in einem Schallfeld schwingenden Teilchen) beeinflusst. Darum sollte die Energie zu einem Zeitpunkt übertragen werden, wenn der Luftstrom in die Pfeife eintritt, die Schallschnelle maximal ist.

Über längere Zeit blieb dieses Problem ungelöst. Erst durch Forschungen von L. Cremer und H. Ising am Heinrich-Hertz-Institut für Schwingungsforschung in Berlin, S.A. Elder von der United States Naval Academy und N.H. Fletcher und S. Thwaites ergaben, dass sowohl Rayleigh als auch Helmholtz in gewisser Weise recht haben. Es hängt von Anblasdruck und Tonfrequenz ab, wie stark die beiden Anregungsmechanismen zum Zuge kommen. Bei den Orgelpfeifen herrscht aber vor allem die Theorie von Helmholtz vor, da geringe Drücke und hohe Frequenzen vorliegen.

Da das schwingende Medium, hier die Luftsäule im Pfeifenkörper begrenzt ist, wird die Druckwelle am offenen Ende reflektiert. Es entsteht eine stehende Welle durch Überlagerung der hinlaufenden und der reflektierten Welle.

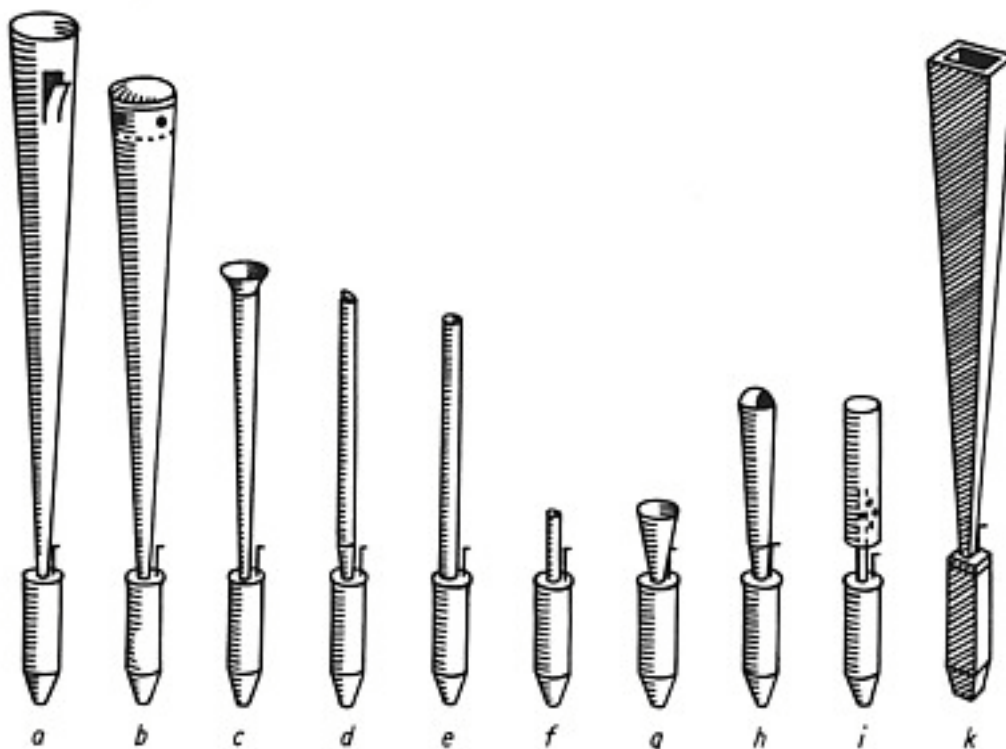
Tonerzeugung in der Lingualpfeife

Im Gegensatz zur Labialpfeife wird der Ton in der Zungenpfeife auf eine andere Art erzeugt. Dies ist am besten mit Blasinstrumenten mit Rohrblatt, wie etwa die Klarinette oder das Saxophon, zu vergleichen. Ein Metallplättchen erzeugt in der Lingualpfeife den Ton.

Durch das Stiefelloch strömt der Orgelwind in den Stiefel (Zeichnung s.o.) und von da aus in die Kehle. Dabei zieht er die leicht aufgeworfene Zunge an die Kehle heran und verschließt so die Kehlenöffnung. Da der Wind nun nicht mehr in die Kehle strömen kann, schwingt die Zunge aufgrund ihrer Elastizität wieder zurück. Der Vorgang beginnt von Neuem. So kommt die Schwingung der Zunge, die somit zum Tonerzeuger wird, zustande. Durch das Aufschlagen der Zunge entsteht eine asymmetrische Schwingungsform mit einem breiten Spektrum harmonischer Obertöne. Welche Frequenzen einer Zunge dabei angeregt werden hängt von der Zungenform, der Dicke, der Breite und der Biegsamkeit des Materials ab. Meistens verwendet man Phosphorbronze. Mit wachsender Länge erhöht sich die Stärke der Grundfrequenz, bei dünneren Zungen können mehr Obertöne mitschwingen.

Im Rhythmus der Zungenschwingung strömt der Wind jetzt weiter durch den Kopf oder die Nuß, in der mittels eines Keiles die Zunge festgeklemmt ist, in den Becher und kann sich dort über die Öffnung mit der Außenluft ausgleichen.

Durch unterschiedliche Form der Becher erreicht man, dass nur bestimmte Obertöne



bevorzugt und andere unterdrückt werden. So erhält man auch bei unterschiedlicher Konstruktion der Becher, ähnlich wie bei den Labialen, unterschiedliche Klänge. Darauf zu achten ist aber, dass Zunge und Resonator in ihren Eigenfrequenzen zusammenpassen, denn sonst wird die Pfeife entweder überblasen oder sie spricht überhaupt nicht an.

Im allgemeinen erzeugen Pfeifen mit breiten Resonatoren einen laueren Ton, konische Becher einen volleren als zylindrische. Je weiter sich die Becher nach oben hin öffnen, desto lauter und fülliger wird der Klang. Die Pfeifenlänge hängt auch bei den Zungenpfeifen von der Tonhöhe ab, die Becherform jedoch bestimmt die Pfeifenlänge mit. Zylindrische Lingualpfeifen müssen etwa so lang sein wie gedackte Labiale, konische etwas kürzer als offene Labialpfeifen gleicher Tonhöhe. Bei halbgedeckten (Oboe, Hautbois) benötigt man einen höheren Anblasdruck als bei offenen. Ende des achtzehnten Jahrhunderts kam noch eine andere Form auf, die sogenannten durchschlagenden Zungen. Die Zunge schlägt nicht mehr auf die Kehle auf sondern schwingt in den Schlitz der Kehle hinein. Dies bewirkt einen weicheren und lieblicheren Klang. In der Fuldaer Domorgel gibt es ein durchschlagendes Zungenregister, die Clarinett.

Zungenpfeifen werden mit Hilfe der Stimmkrücke, die die Zunge an die Kehle preßt, gestimmt. Durch Verschieben der Krücke in vertikaler Richtung wird die Länge des freischwingenden Zungenstücks verändert. Wird es verkürzt, so wird der Ton höher und umgekehrt.

Teiltöne, Klang

Jedes Musikinstrument und somit auch jede Orgelpfeife erzeugt nicht nur einen Ton sondern einen Klang. Der Klang setzt sich aus mehreren Teiltönen, dem Grundton und den Obertönen zusammen. Der Grundton gibt die Tonhöhe an, in einem Orchester beispielsweise wird jedes Instrument zu Beginn eines Konzertes auf denselben Grundton gestimmt, obwohl sie alle unterschiedlich klingen. Die Klangfarbe wird durch die mehr oder weniger stark hervortretenden Obertöne bestimmt. Meistens sind die Obertöne im einzelnen nicht hörbar.

Die Obertöne sind bei der harmonischen Teiltonreihe Oktaven, Quinten, Terzen, usw. des Grundtones. Unter einem Oberton versteht man einen Ton mit einer Frequenz, die ein Vielfaches der Grundtonfrequenz ist. Dies kommt daher, dass der klangerzeugende Körper (Saite einer Gitarre, Luftsäule im Orgelpfeifenkörper etc.) nicht nur mit der Grundfrequenz sondern auch mit Vielfachen derer schwingt.

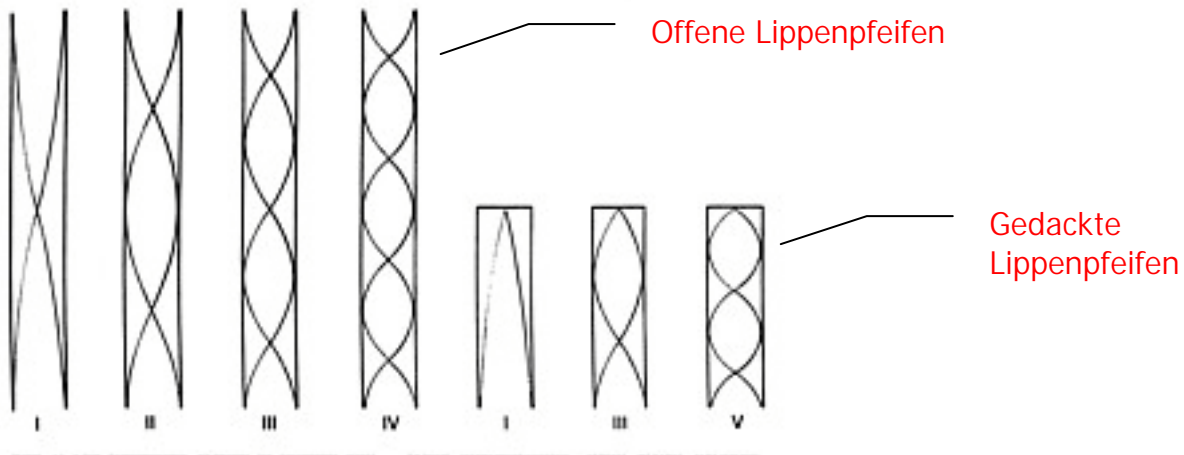
1. Teilton (meist Grundton) = gibt die Tonhöhe an / 1 x Grundfrequenz
2. Teilton = 2 x Grundfrequenz / 1. Oberoktave zum Grundton
3. Teilton = 3 x Grundfrequenz / Quinte über der Oktave
4. Teilton = 4 x Grundfrequenz / 2. Oberoktave zum Grundton
5. Teilton = 5 x Grundfrequenz / große Terz über der 2. Oktave
usw.

Die Intensität der Obertöne nimmt nach oben immer mehr ab. Lediglich bei Zungenstimmen hat man schon bis zu 23 Teiltöne nachweisen können. Dass man bei einem Ton eines Instrumentes nur einen Ton mit einem bestimmten Klang und nicht einen Klang bestehend aus mehreren Tönen wahrnimmt, liegt daran, dass zum einen die Töne sehr gut miteinander verschmelzen und zum anderen an der abnehmenden Intensität der Obertöne.

Obertöne, die den Klang eines Registers sehr stark prägen, nennt man Formanten. Sie geben dem Klang einen bestimmten Vokalcharakter. Beispiel: Formanten zwischen 400 und 600Hz ergeben einen dunklen o-Charakter, 800-1200Hz einen a-Charakter, 2000Hz einen e- und 3000Hz einen i-Charakter. Bei einer Obertonanhäufung im Bereich 1500Hz spricht man vom Näselschlag.

Nach Ellerhorst [4] besteht ein Unterschied bei der Obertonreihe einer offenen und einer gedackten Pfeife.

Bei den offenen Pfeifen können an den beiden offenen Stellen (Aufschnitt und Öffnung) nur zwei Schwingungsbäuche (Verdünnung) sein, es können also nur halbe stehende Wellen auftreten und ein Vielfaches davon auftreten.



Bei den gedackten Pfeifen kann aber aufgrund des festen Deckels oder Spunds am oberen Ende der Pfeife nur ein Schwingungsknoten sein. Am Aufschnitt ist jedoch wie bei der offenen Pfeife ein Schwingungsbauch. In dieser Pfeife kommen nur viertel stehende Wellen und deren ungerad-ganzzahlige Vielfache vor, weil am Deckel immer ein Schwingungsknoten sein muss. Deshalb klingt eine solche Pfeife dumpfer als eine offene.

Aus: **Physikalische Akustik im Physikunterricht am Beispiel der Orgelpfeifen**

Wissenschaftliche Hausarbeit im Rahmen der Ersten Staatsprüfung für das Lehramt an Hauptschulen und Realschulen im Fach Physik, eingereicht dem Wissenschaftlichen Prüfungsamt für das Lehramt an Grundschulen und an Hauptschulen und Realschulen in Gießen. Verfasser: Ulrich Dölle, Brüder-Grimm-Str. 65, 36100 Petersberg

Gutachter: Prof. Dr. Gerd Schwarz

www.trierer-orgelpunkt.de bedankt sich für die Abdruckerlaubnis.

Literaturverzeichnis

- ? Adelong, Wolfgang: Einführung in den Orgelbau, 2.Auflage. Wiesbaden, 1991
- ? Musch, Hans (Hrsg.): Musik im Gottesdienst, Band 2, 3. Auflage. Regensburg, 1986
- ? Fletcher, Neville H. u.a.: Orgelpfeifen. In: Die Physik der Musikinstrumente. Heidelberg, 1992
- ? Ellerhorst, Winfred: Handbuch der Orgelkunde. Einsiedeln 1936
- ? Gerthsen, Christian (Hrsg. H. Vogel): Physik, 18. Auflage. Berlin, 1995
- ? Weltner, Klaus (Hrsg.): Mathematik für Physiker, Band 2, 10. Auflage. Braunschweig, 1994
- ? Laukhuff, Aug., GmbH & Co.: Orgelteilekatalog. Weikersheim, 1987
- ? Grehn, Joachim (Hrsg.): Metzler Physik, verbesserter Nachdruck der 1. Auflage. Stuttgart, 1982
- ? Lottermoser, Werner: Orgeln, Kirchen und Akustik 1. Frankfurt/Main, 1983
- ? Lottermoser, Werner: Orgeln, Kirchen und Akustik 2. Frankfurt/Main, 1983
- ? Kaiser, Hans-J.: Disposition der großen Orgel im Dom zu Fulda, 1996
- ? Hund, Michael: Hilfenmenü des Transientenrecorders. In: Software zum Cassy, Leybold Didactic. Hürth, 1996
- ? Guillou, Jean: Die Orgel. Christoph Glatter-Götz, Schwarzach, 1984
- ? Bormann, Karl: Heimorgelbau. Berlin 1986
- ? Cremer, Lothar: Die wissenschaftlichen Grundlagen der Raumakustik. Stuttgart, 1978
- ? Jakob, Friedrich: Die Orgel. Mainz, 1996
- ? Fischer, Hermann: 100 Jahre Bund Deutscher Orgelbaumeister. Lauffen, 1991
- ? Klotz, Hans: Das Buch von der Orgel, 10. erweiterte und überarbeitete Auflage. Kassel, 1988
- ? Pierce, John R.: Klang, Musik mit den Ohren der Physik. Heidelberg, 1989
- ? Holz, Hans-Gerd: Brenneke Schuster Physik. Düsseldorf, 1972

- ? Dorn, Franz und Bader, Friedrich (Hrsg.): Physik, Oberstufe. Hannover, 1983
- ? Dorn, Franz und Bader, Friedrich (Hrsg.): Physik, Mittelstufe. Hannover, 1983
- ? Kuhn, Wilfried (Hrsg.): Physik, Mittelstufe. Braunschweig, 1984
- ? Cornelsen: Physik für die Sekundarstufe 1 Klasse 7 Hessen. Berlin, 1996
- ? Rahner, Karl u.a.: Kleines Konzilskompodium, Liturgiekonstitution Art. 120, 23. Auflage. Freiburg, 1991
- ? Rehm, G.: Die Orgeln der Stadt Fulda. Wolfenbüttel, 1970
- ? Sturm, E.: Die Bau- und Kunstdenkmale der Stadt Fulda. Fulda, 1984