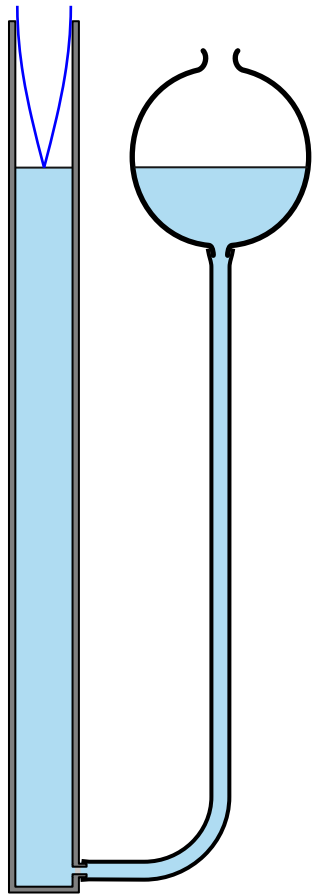


Orgelpiper og fløjters fysik

- Stående lydbølger
- Grundtonen og overtoner
- Åbne og lukkede orgelpiper
- Fløjte og klarinet
- Klang
- Bestemmelse af rør længde for orgelpibe

Forsøg med resonansrør

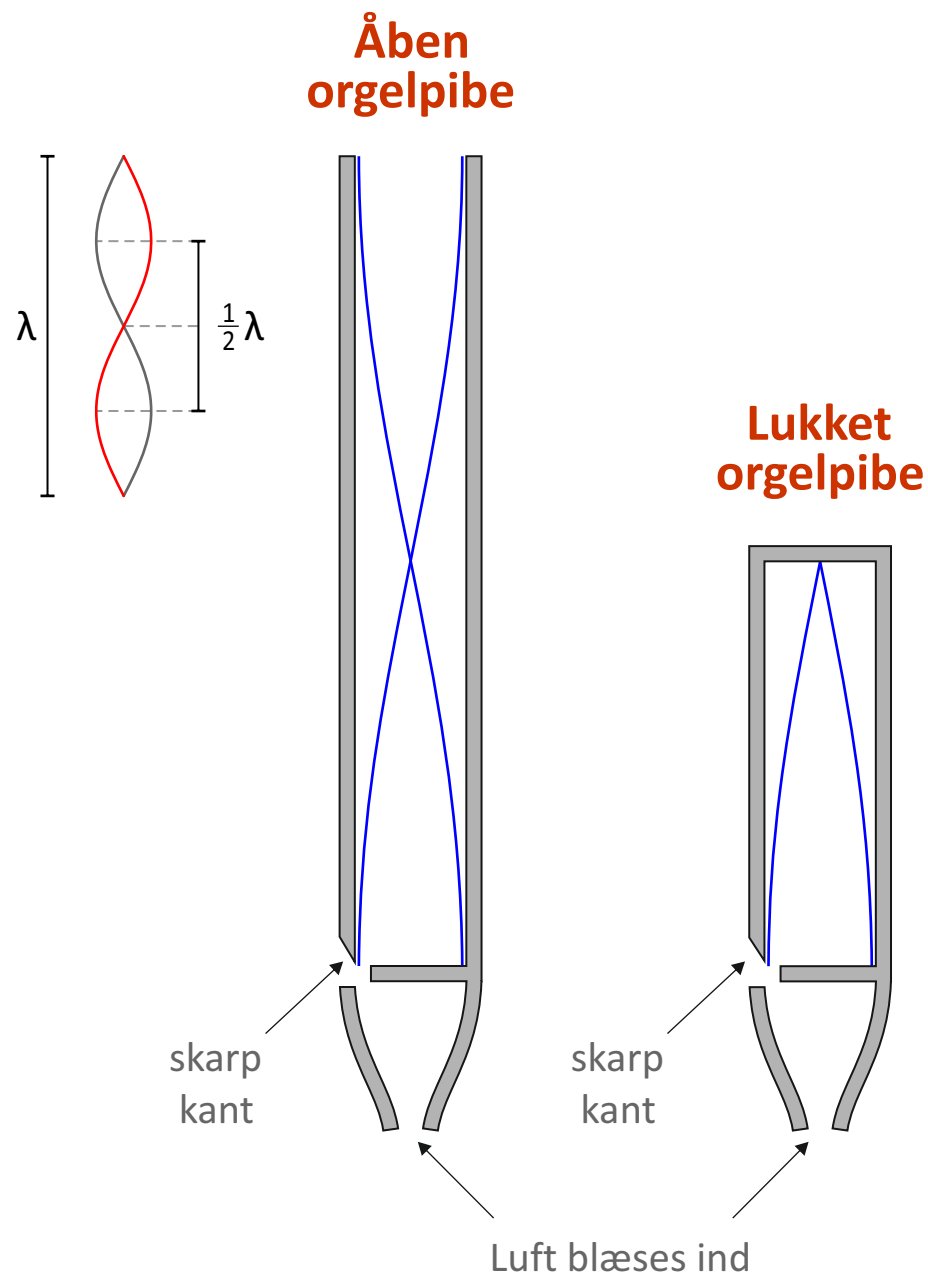
Stemmegaffel



Niveauekugle

En stemmegaffel anslås over et rør, hvor rørets længde kan reguleres ved at hæve/sænke en niveauekugle. Ved ganske bestemte rørlængder opstår der **stående lydbølger** i røret. På billedet er der tale om en rørlængde, som giver anledning til *grundtonen*. Det er den korteste rørlængde, som opfylder kravene om, at der ved bunden (vandoverfladen) skal være *knude*, mens der i nærheden af munden skal være *bug*. Knude ved bunden, da luftmolekylerne ikke kan vibrere lodret her og bug lidt uden for munden, da luftmolekylerne vibrerer kraftigt her. Det bugen er uden for munden betegnes *mundingskorrektionen*.

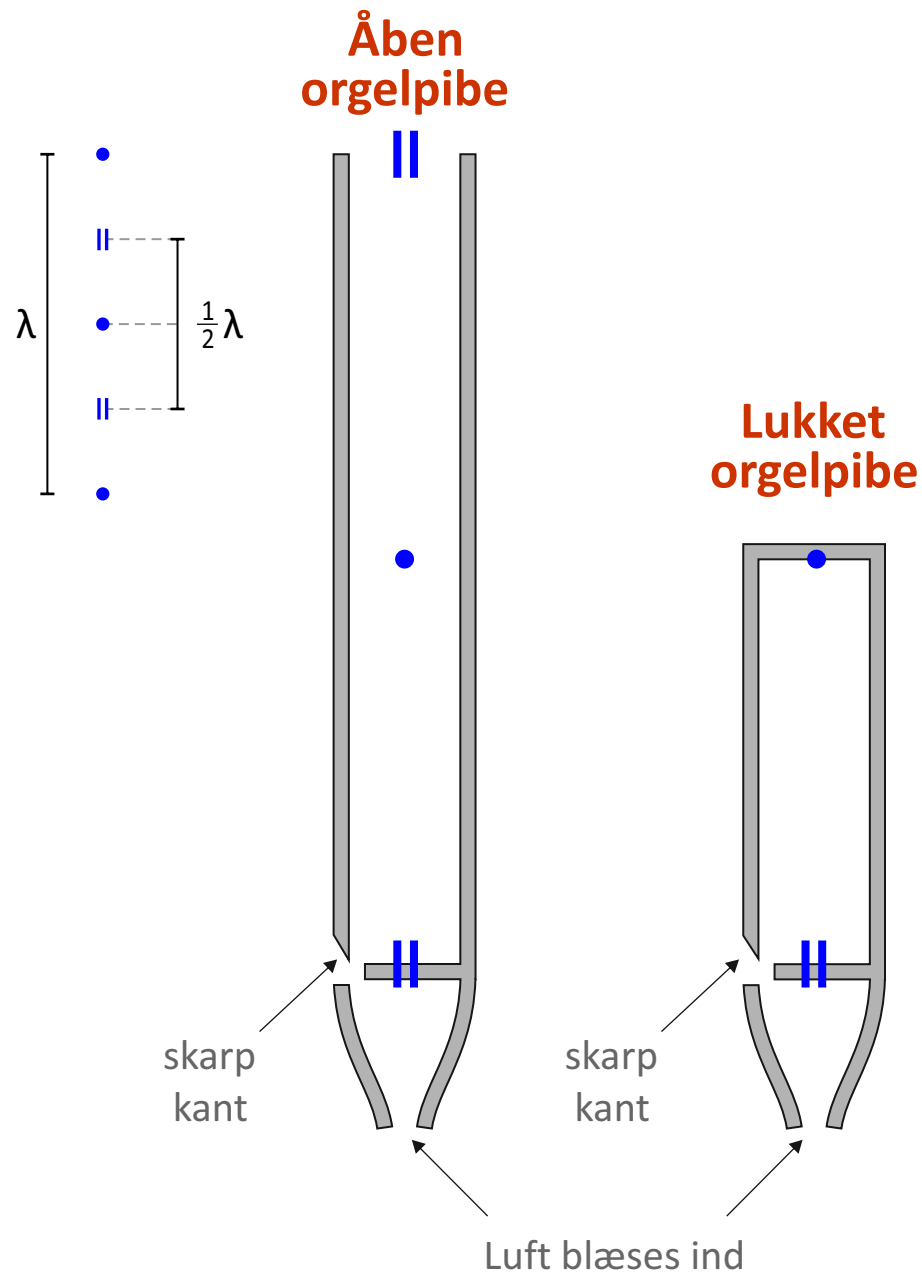
Stående lydbølger



Når luft blæses hen over en skarp kant, sættes luften i kraftige svingninger i hulrummet bagved. Lydsvingninger med bestemte bølgelængder forstærkes, nemlig dem, der giver anledning til *stående bølger* i røret.

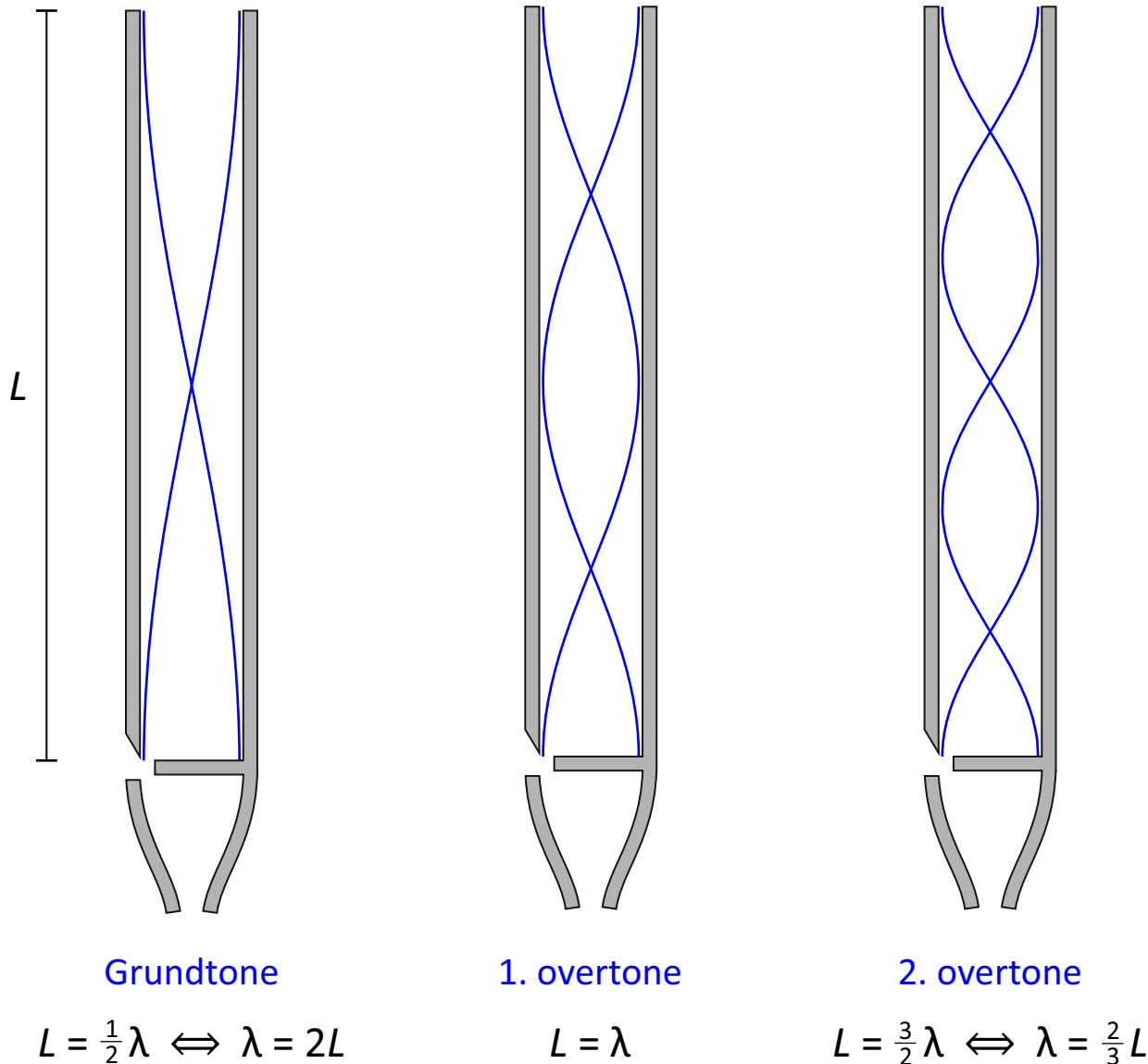
Der findes to typer orgelpiber: Den **åbne orgelpibe** og den **lukkede orgelpibe**. Den første type er åben i den øverste ende, mens den anden er lukket her. For begge typer orgelpiber er betingelsen, at der skal være bug i enden med den skarpe kant, da luften er i stor bevægelse her. For den åbne orgelpibe skal der være bug i nærheden af den åbne ende, mens den lukkede orgelpibe skal have knude i den lukkede ende, da luften ikke kan bevæge sig her.

Alternativ repræsentation



I denne alternative repræsentation af stående bølger er knude indikeret ved et punkt og en bug ved to streger. Det skal symbolisere, at luften står stille i en knude, mens luftmolekylerne vibrerer kraftigt i en bug. Fremover vil vi dog bruge repræsentationen vist på forrige side.

Hvilke stående lydbølger i **åben** orgelpibe?



Rørlængden starter med at indeholde $\frac{1}{2}\lambda$. Derefter bliver der lagt $\frac{1}{2}\lambda$ til, når man går én over-tone fremad. Det giver formlen $L = n \cdot \frac{1}{2}\lambda$ for $n = 1, 2, 3, \dots$

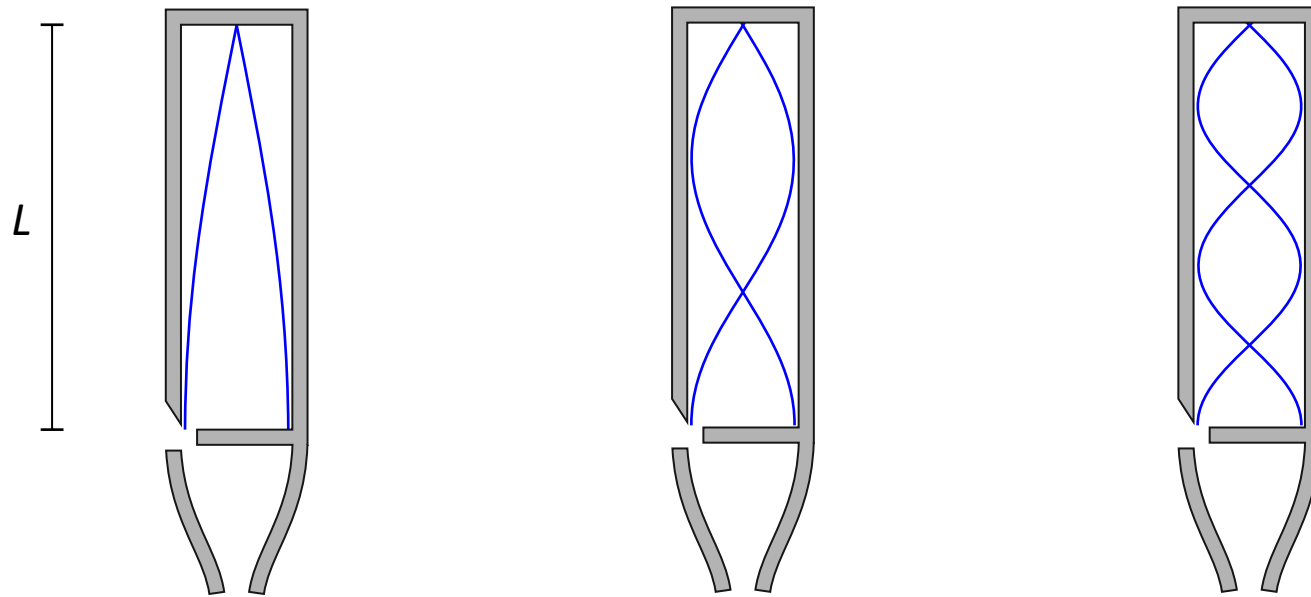
Isoleres λ fås $\lambda = 2L/n$. Kaldes bølgelængden for grundtonen for λ_1 fås $\lambda = \lambda_1/n$ for $n = 1, 2, 3, \dots$. Altså fås følgende række af bølgelængder:

$$\lambda_1, \frac{1}{2}\lambda_1, \frac{1}{3}\lambda_1, \frac{1}{4}\lambda_1, \frac{1}{5}\lambda_1, \dots$$

De tilhørende frekvenser fås ved at bruge bølgeligningen. Kaldes grundtonefrekvensen for f_1 , fås følgende række af frekvenser, da f og λ er omvendt proportionale:

$$f_1, 2f_1, 3f_1, 4f_1, 5f_1, \dots$$

Hvilke stående lydbølger i **lukket** orgelpibe?



Grundtone

$$L = \frac{1}{4}\lambda \Leftrightarrow \lambda = 4L$$

1. overtone

$$L = \frac{3}{4}\lambda \Leftrightarrow \lambda = \frac{4}{3}L$$

2. overtone

$$L = \frac{5}{4}\lambda \Leftrightarrow \lambda = \frac{4}{5}L$$

Rørlængden starter med at indeholde $\frac{1}{4}\lambda$. Derefter bliver der lagt $\frac{1}{2}\lambda$ til, når man går én overtone fremad. Det giver formlen $L = \frac{1}{4}\lambda + n \cdot \frac{1}{2}\lambda$ for $n = 0, 1, 2, 3, \dots$. Isoleres λ heri fås $\lambda = 4L/(2n+1)$. Kaldes bølgelængden for grundtonen for λ_1 fås $\lambda = \lambda_1/(2n+1)$ for $n = 0, 1, 2, 3, \dots$.
Altså fås følgende række af bølgelængder: $\lambda_1, \frac{1}{3}\lambda_1, \frac{1}{5}\lambda_1, \frac{1}{7}\lambda_1, \dots$. De tilhørende frekvenser fås ved at bruge bølgeligningen. Kaldes grundtonefrekvensen for f_1 , fås følgende række af frekvenser, da f og λ er omvendt proportionale: $f_1, 3f_1, 5f_1, 7f_1, \dots$

De harmoniske

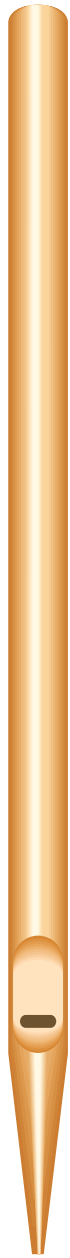


(På engelsk *Harmonics*). Lad f_1 betegne frekvensen for grundtonen. 1. harmoniske er grundtonen. De efterfølgende harmoniske har pr. definition den dobbelte frekvens, den tredobbelte frekvens, den firdobbelte frekvens, etc. - uanset om de eksisterer i det konkrete instrument eller ej.

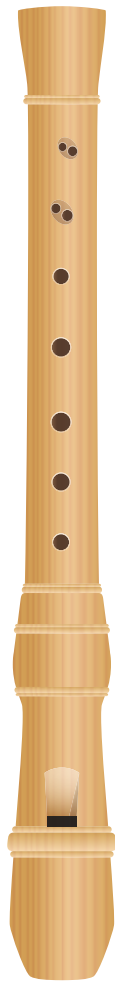
Harmoniske	1	2	3	4	5	6	...
Frekvensnavn	f_1	f_2	f_3	f_4	f_5	f_6	...
Frekvens	f_1	$2f_1$	$3f_1$	$4f_1$	$5f_1$	$6f_1$...
Åben orgelpibe	grundtone	1. overtone	2. overtone	3. overtone	4. overtone	5. overtone	...
Lukket orgelpibe	grundtone		1. overtone		2. overtone		...

Vi observerer, at en åben orgelpibe har *alle* harmoniske, mens en lukket orgelpibe kun har de *ulige* harmoniske. Det har selvfølgelig betydning for tonens *klang*.

INSTRUMENTER



Orgelpipe



Fløjte



Klarinet

Til venstre en orgelpipe. Dernæst en fløjte, som fungerer som en åben orgelpibe med bug i begge ender. Klarinetten fungerer derimod som en lukket orgelpibe (stort set lukket i mundstykket).

Vil man have overtonerne bedre frem fra en fløjte, skal man blæse lidt kraftigere.

De mange knappers muligheder på en fløjte og klarinet lader vi være ufortalt.



Det smukke orgel i Haderslev Domkirke

Beregning af rør længde

$$\text{Bølgeligning: } v = \lambda \cdot f$$

Opgave

En *åben* orgelpibe skal have grundtonefrekvensen 440 Hz. Hvor lang skal orgelpiben være? Vi ser bort fra mundingskorrektion.

Løsning:

Vi kender frekvensen f , men skal bruge bølgelængden λ . Den kan vi få via bølgeligningen, hvor vi dividerer med f på begge sider af lighedstegnet:

$$v = \lambda \cdot f \iff \frac{v}{f} = \lambda$$

$$\lambda = \frac{v}{f} = \frac{343 \text{ m/s}}{440 \text{ Hz}} = 0,78 \text{ m}$$

Vi ser, at for grundtonen er længden L lig med en halv bølgelængde.

$$L = \frac{1}{2} \lambda_1 = \frac{1}{2} \cdot 0,78 \text{ m} = 0,39 \text{ m}$$

Den åbne orgelpibe skal altså være 39 cm lang.

