

---

# En fysisk model skabes Toner i en flaske

---



Øvelsesvejledning til brug i Nanoteket  
Udarbejdet i nanoteket, Institut for Fysik, DTU  
Rettelser sendes til [Ole.Trinhammer@fysik.dtu.dk](mailto:Ole.Trinhammer@fysik.dtu.dk)

1. september 2010

## Introduktion

Lad os starte med at rejse lidt tilbage i tiden. I starten af 1500-tallet herskede der stor tvivl om hvordan planeterne i vores solsystem bevæger sig i forhold til hinanden. Kristendommen bød på at Jorden var hele universets omdrejningspunkt, og der blev således dannet en masse modeller for hvordan dette kunne lade sig gøre. Efter nogen tid kom Nicolaus Copernicus med et bud på, at Solen var centrum for vores planeters bevægelse, og ikke Jorden. Det var dog først ved hans død i 1543 at denne model blev frigivet. Verden stod da tilbage med tvivlsspørgsmålet om, hvilke af disse forestillinger der egentlig var den rigtige? Og når dette var besvaret, var det så muligt at sige noget om, hvordan planeterne bevæger sig? I hvilken bane og med hvilken hastighed? Hvordan kunne man beskrive disse bevægelser rent matematisk?

I slutningen af 1500-tallet fik Tycho Brahe en idé. Hvad nu hvis vi observerer ganske nøje hvor planeterne befinder sig på himlen til forskellige tidspunkter. Den tankegang giver måske god mening for os i dag, men det var ikke en naturlig tanke dengang. Den tankegang har faktisk vist sig sidenhen at være selve nøglen i moderne videnskab og åbnede således op for den forståelse vi har af naturen og verden i dag. Tycho Brahe brugte herfra et helt liv på at nærstudere planeterne og nedskrive alle sine data. Nogle år senere, i 1605, blev alle disse data videregivet til Tycho Brahes elev, Johannes Kepler, og han indså at der var en vis tendens i planeterne bevægelser. Blandt andet så han, at de måtte følge elliptiske baner, og han formulerede således en række empiriske love<sup>1</sup> for planeterne bevægelsesmønster. En del år efter blev disse love videreudviklet af Isaac Newton som i 1687 lavede en fysisk lov om universel tiltrækning mellem himmellegemer. Således, efter lange omstændelige omveje, blev en fysisk model til beskrivelse af planeterne bevægelse dannet.

I dag er det så vores tur. Alt det med planeterne fik Newton sat ganske godt styr på, så lad os i stedet kigge på noget andet. I dag vil vi se på et fysisk fænomen, der omhandler det at puste i flasker. Vi vil se på hvordan der kan fremkomme 'fløjtelyde' i en flaske når man puster hen over flaskehalsens åbning. Det er nemt at få en flaske til at lave denne lyd, men hvordan fremkommer lyden egentlig? Hvordan opfører luften sig nede i flasken, og er det muligt at opstille en fysisk model til at beskrive fænomenet? Først skal vi gøre ligesom Tycho Brahe, nemlig gøre os nogle brugbare observationer omkring fænomenet. Herefter skal vi forsøge at gøre Kepler og

---

<sup>1</sup>En lov som er udsprunget af gentagne observationer

Newton kunsten efter, og skabe en fyldestgørende fysisk model baseret på disse observationer, og derved skabe en model til beskrivelse af fænomenet.

## Udstyr

Det udstyr som skal bruges til forsøget er:

- Mikrofon (sondemikrofon)
- Computer med LabVIEW installeret
- Hurtigt datakort (1,25 Megasamples/sek) og databehandlings-boks (model SC-2345)
- Computer med databehandlings-program (OpenOffice Calc, Microsoft Excel, OriginPro, etc.)
- Tomme flasker (vinflaske med høj hals, Bordeaux-type)
- Vand, måleglas, skydelære, målestok

## Indledende observationer

Inden vi går igang skal vi gøre os nogle indledende observationer. Vi skal gøre os bekendte med forsøgsopstillingen og med selve fænomenet.

1. Start programmet LabVIEW 8.5 under startmenuen: Browse: My Documents → LabVIEW Data → ovelser → OscilloskopFFT.vi  
Tænd for mikrofonforstærkeren og start programmet ved at trykke på 'play'-pilen øverst til venstre på skærmen. Fløjt i mikrofonen og gør jer fortrolige med programmet. Øverste graf, 'Oscilloskop', viser signalet som funktion af tiden, og nederste graf, 'Fourier-spektrum', viser frekvenserne i den klang, som jeres tone indeholder. Prøv en anden tone. Prøv også med en sanglyd. Programmet stoppes på den firkantede "Stop-knap.

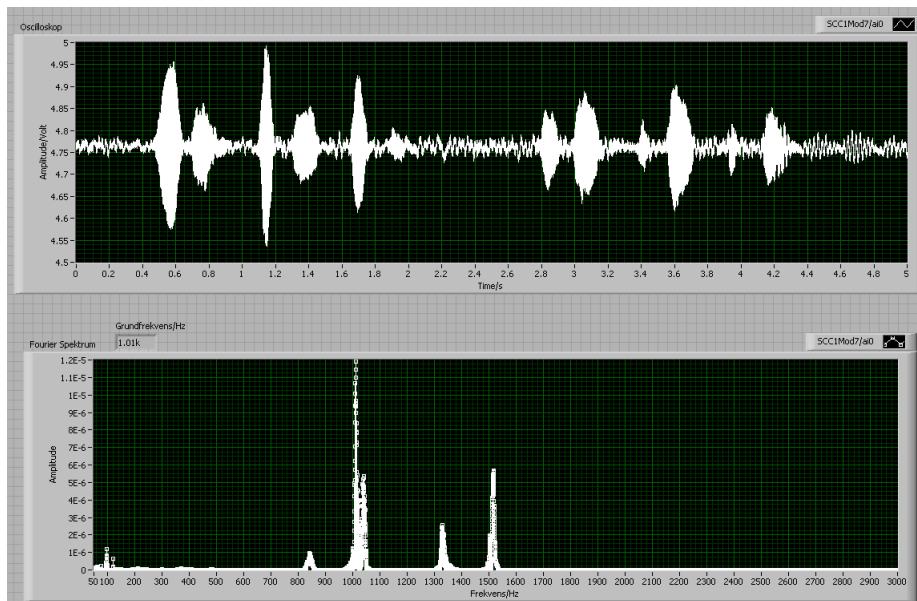
2. Start nu en anden udgave af programmet: OscilloskopFFTkoncert.vi  
Fløjt en melodi og betragt analysen af denne. Øverste graf, 'Oscilloskop', viser tidsforløbet, og nederste graf, 'Fourier-spektrum', viser intensiteten af de enkelte frekvenser melodien indeholder.
3. Nu er I klar til at måle på enkelttoner med en tredje udgave: OscilloskopFFTenkeltskud.vi  
Gør jer fortrolige med programmet. Dette program fungerer på samme måde som 'koncert', men er blot designet til at optage korte sekvenser. Fløjt en fast tone og optag en måling mens tonen holdes. Prøv at ramme kammertonen som ligger på 440 Hz.
4. Tag nu en vinflaske, pust hen over flaskens åbning og skab derved en resonanstone i flasken. Pust først med normal styrke og prøv herefter at lave højere hyletoner ved at puste hårdere (der skal pustes ret hårdt). Den laveste tone kalder vi grundtonen for vinflasken, og højere toner kaldes overtoner. Brug programmet til at se hvilke frekvenser tonerne ligger på.

Vi er nu klar til at foretage en række målinger på vinflasken, ligesom Tycho Brahe gjorde det med planeternes bevægelse. Det der kan være interessant er at analysere grundfrekvensen i vinflasken. Hvordan ændrer denne sig som funktion af flaskens størrelse (højde / indre volumen)? Dette kan vi gøre ved at fylde vand i flasken. På den måde hæver vi bunden indeni, hvilket medfører at grundfrekvensen ændrer sig. Når vi har en række gode målinger i hus, vil vi prøve at finde en fysisk model til beskrivelse af vinflaskens grundtone.

## Målinger

5. Start med at undersøge vinflasken: Mål hvor høj flasken er, og bedøm hvor høj selve flaskehalsen er. Mål den indre diameter af flaskehalsen (brug en skydelære) og vurder den indre diameter nede i selve flasken. Beregn eller mål flaskens indre volumen, både voluminet af hele flaskens indre og voluminet af den nederste del (uden flaskehalsen).
6. Lav en måleserie for grundfrekvensen af vinflasken. Start med en tom vinflaske og fyld 50 mL vand på ad gangen. Skiller første måling sig ud i forhold til resten? Hvor meget kan flasken fyldes? Mål grundfrekvensen og væskehøjden hver gang og skriv ned. Bemærk hvordan det indre





Figur 1: Tidsforløb og toner ved fløjtning af den kendte melodi: 'Dengang jeg drog afsted; min pige ville med...'

volumen ændrer sig med højden.

7. Lav et plot af hvordan grundfrekvensen ændrer sig som funktion af flaskens indre volumen/ flaskens indre højde. Brug OpenOffice Calc, Microsoft Excel, OriginPro, el.lign.

## Første analyse

Vi er nu klar til at analysere den måleserie vi har optaget af grundfrekvensen i vinflasken. For at starte et sted, kan vi forsøgsvis kaste et blik på orgelpibe-modellen. Er det muligt at betragte vinflasken som en slags orgelpibe?

Her er idéen at luften skaber stående bølger inde i flasken når der pustes hen over åbningen. Luften vil da bevæge sig hurtigt oppe ved munden og stå helt stille nede i bunden. Man siger at der er en svingningsbug ved munden af flasken og svingningsknude i bunden. Afstanden melle bug og knude svarer til en kvart bølgelængde af en svingning (lukket orgelpibe, lukket i bunden). Dette giver anledning til følgende grundfrekvens:

$$f_0 = \frac{v}{4L} \quad (1)$$

Her er  $v$  lydens hastighed og  $L$  er pibens længde (flaskens højde). I almindelig luft og ved stuetemperatur er lydens hastighed  $343 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ . Andre svingningsmønstre er tilladte, hvor luften står stille i bestemte niveauer i flasken. Dette giver anledning til en hel serie af tilladte frekvenser  $f_n = (2n + 1)\frac{v}{4L}$  hvor  $n = 0$  svarer til grundfrekvensen ovenfor.

8. Prøv at se hvordan orgelpibe-modellen passer med den måleserie I har optaget. Beregn først størrelsen af grundfrekvensen ved en given flaskehøjde, og sammenlign med den målte. Hvilken højde skal her benyttes, den med eller uden flaskehals?
9. Undersøg da hvordan grundfrekvensens højde-afhængighed passer med orgelpibe-modellen. Prøv at fitte de målte frekvenser med den funktionelle afhængighed,  $\frac{1}{L}$ . Dette kan f.eks. gøres ved at oprette en ny kolonne hvor  $\frac{1}{L}$  beregnes for de målte højder, og se da om dette kan fittes med en ret linje.
10. Hvordan passer henholdsvis den beregnede størrelsesorden og den funktionelle afhængighed af grundfrekvensen? Diskuter hvor brugbar orgelpibe-modellen er til beskrivelse af dette fysiske fænomen.
11. Hvad kan vi stole mest på? Vores teoretiske model eller de målte resultater. Prøv at lave enkelte af målingerne igen og vurder hvor reproducerbare de er, og sammenhold dette med afvigelserne fra teorien.

Det viser sig at være essentielt at betragte henholdsvis størrelsesordenen og den funktionelle afhængighed af grundfrekvensen. Hvis vi skal forsøge at forbedre ovenstående, eller måske endda finde en helt alternativ model til beskrivelsen, skal vi derfor finde ud af, hvad der har indflydelse på fænomenet.

12. Diskuter hvilken fysisk og/eller geometrisk forskel der er på en orgelpibe og en vinflaske. Hvilke fysiske parametre skal vi bruge for at beskrive tonen i vinflasken? Hvilke variable har vi i vores system? Kan vi ændre/tilføje nogle parametre for at forbedre orgelpibe-modellen?
13. Undersøg om en anden funktionel afhængighed vil gøre vores model bedre. Hvilke andre funktioner af højden,  $L$ , kan vi beskrive den optagne måleserie med? Prøv at fitte de oprindelige måledate (ikke dem omregnet til  $\frac{1}{L}$ ) med forskellige funktioner. Lav som minimum et fit med en potensfunktion og se hvilken potens der passer bedst.

## Efterskrift

Vi er nu kommet med et bud på, hvordan vi fysisk kan beskrive den grundtone, der fremkommer, når man puster hen over åbningen på en vinflaske. Læser du denne vejledning på forhånd, skal du vide, at der følger en anden og tredje analyse efter ovenstående. Vi vil i fællesskab arbejde videre, indtil vi har skabt en model der passer helt perfekt. Vejledningen til denne sidste del, vil blive udleveret mens I arbejder med forsøget på DTU.