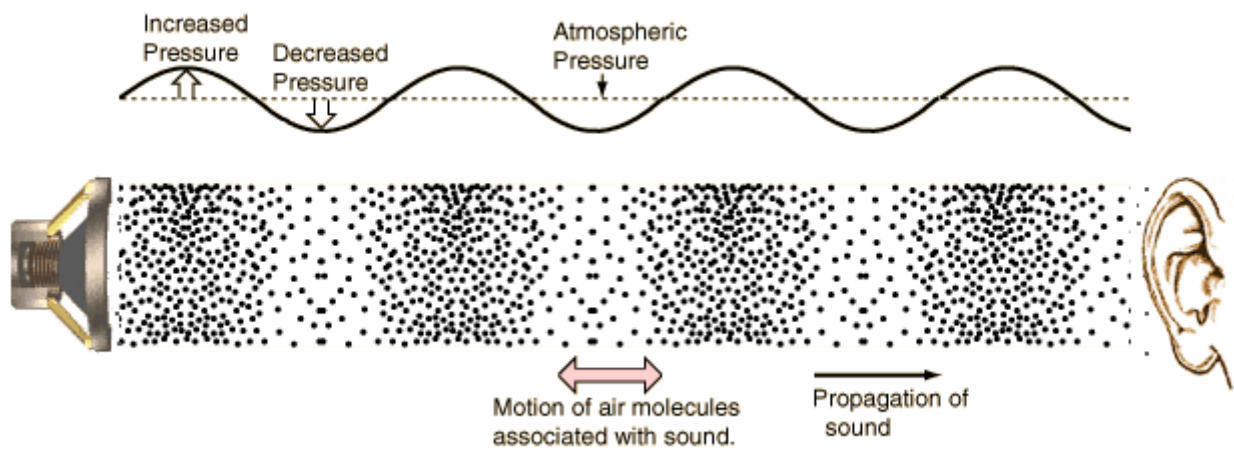


Bølgelære



Lyd er begrebet for det fysiske fænomen der opstår når genstande i tid og rum skubber til det omgivende medie; det være sig vand, luft eller en hvilken som helst samling molekyler i et 'elastisk medie' som ligger tæt nok til at kunne forårsage en slags kædereaktion når der stødes til dem. Som forsiddens tegning viser, er det ændringer i 'trykket' som afgør hvordan vi med vores ører opfatter lydens intensitet – styrken hvorved molekylerne rammer vores trommehinder. [1]

I fysikkens verden omtales lyd som bølger. Gad vide hvorfor det er så praktisk at visualisere lyd på den måde?

Jo, praktisk talt alting i vores fysiske virkelighed svinger, eller oscillerer. Al elektromagnetisk energi, inklusiv det synlige lys vi kan se, mikrobølger, radiobølger og røntgenstråler, kan repræsenteres ved hjælp af en såkaldt sinus-bølge. Hvis vi går ned på det mindste plan, oscillerer selv fast stof som en bølge men disse svingninger er så svage at de er næsten umulige at måle. [2]

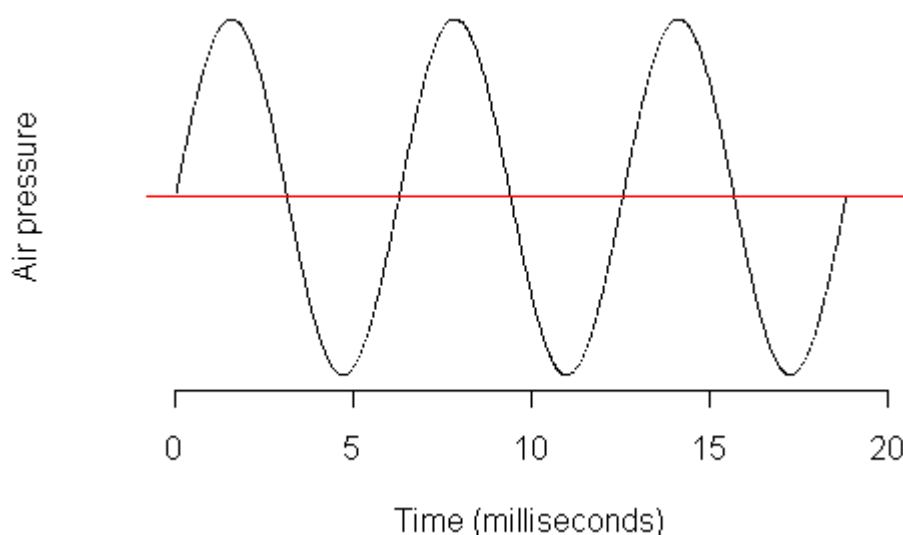


Illustration 1: Repræsentation af lydbølge via sinusfunktion

Lydbølger er ingen undtagelse, og kan ligeledes repræsenteres ved hjælp af en sinus-bølge. Repræsentationen skal forstås på den måde at den røde vandrette streg som deler bølgen, på illustration 1 ovenfor, er det atmosfæriske tryk. Altså den mere eller mindre statiske struktur af atmosfærens molekyler. Hvis vi lader en genstand falde til jorden eller hvis vi skaber en svingning med vort stemmebånd, eller på anden måde genererer en lyd, vil vi øge trykket i atmosfæren en smule – vi skubber altså til molekylerne og skaber et overtryk. På grund af det elastiske medie og partiklens inert, vil molekylerne ikke blot arrangere sig tilbage til nulpunktet, eller det atmosfæriske tryk, men vil fortsætte i den negative retning og derved skabe et undertryk i mediet.

Dette er typisk beskrevet via en fjeder med en vægt i enden. Hvis denne hænges op og man trækker i vægten, vil man akkumulere en potentiel energi som frigives når man slipper vægten. Men fjederen vil nu, i sit forsøg på at kompensere, fortsætte højere op end udgangspunktet og vice versa når vægten vil trække fjederen ned igen og sådan vil det fortsætte til inertien har gjort at tingene er tilbage i 0, eller udgangspunktet hvor fjederen står helt stille igen.

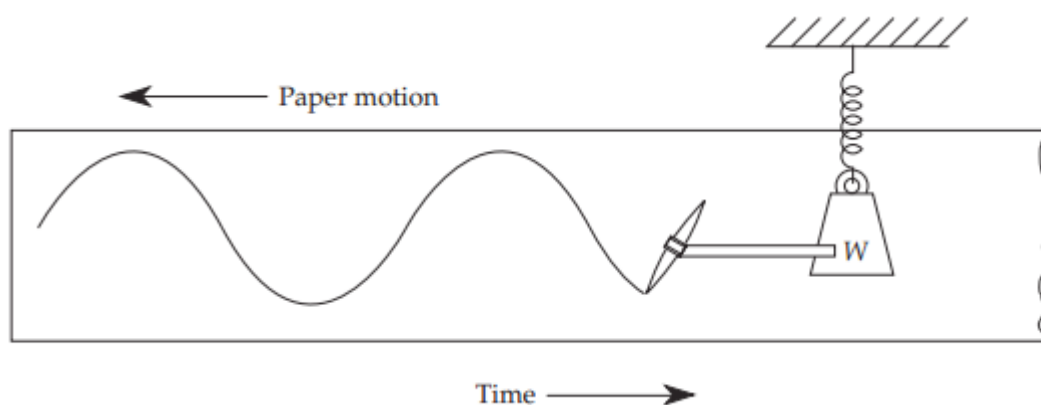


Illustration 2: Sinusbølge som resultat af en fjeder + vægt-konstellation

Sinus-bølgen har eksisteret som en matematisk model siden de gamle grækere og i 1822 påviste Joseph Fourier at alle komplekse bølgeformer, herunder komplekse lydsignaler, kan genskabes via sinus-bølger af forskellig frekvens, amplitude og fase. [6]

Sinusbølger optræder altså ingen steder naturligt men er alligevel så fundamental en "bestanddel" af universet når vi skaber modeller af fysiske fænomener, herunder lyd. Derfor er sinusfunktionen brugbar i musikkens verden til oversættelse og genskabning af lyd, herunder via FFT-analyse.

Luft er som sagt ikke det eneste medie lyd kan rejse i. Lyd transmitteres gerne igennem alle gasser, væsker og faste former så som luft, vand, stål, beton m.m. Men det kræver altså at vi har partikler som kan sættes i bevægelse før vi kan have nogen form for lyd. [3]

Det ydre rum er næsten et perfekt vakuum, med omkring 1 partikel pr. kubikmeter. [4]

Dette besværliggør det for lyd at rejse da der er så langt mellem partiklerne at de ikke kan støde til hinanden. Omvendt rejser lyden hurtigere i vand eller metaller, da molekylerne ligger tættere. Den rejser ca. 4,3 gange hurtigere i vand (1.484 m/s) og næsten 15 gange hurtigere i jern (5.120 m/s) end i luft ved 20 grader Celsius. (Her er farten 343 m/s) [5]

Så hvordan fungerer det helt præcist at vi kan sende et elektrisk signal til en højtalermembran som sættes i bevægelse og derved skaber over- og undertryk i atmosfæren og at vi til sidst modtager denne ændring i trykket med vores ører?

Jo, i virkeligheden er der over 1 million luftmolekyler i kun et par få kubikcentimeter. Når højtaleren sættes i bevægelse, slår membranen frem og tilbage mange gange i sekundet. Antallet af gange dette sker måles i hertz (Hz) som står for frekvens (f) eller 'antal svingninger pr sekund'.

Når der skubbes til luftmolekylerne, vil de forskydes ganske lidt og returnere til deres oprindelige position. Som vi kan se på *illustration 3* opstår der kompression (C) og 'fortynding' (R) i luftmolekylernes tæthed på grund af denne forskydning. De vandrette pile repræsenterer i hvor høj grad en partikel forskydes fra sin oprindelige position.

Denne forskydning skaber en slags domino-effekt mellem partiklerne og der vil forekomme en trykbølge gennem rummet. [7]

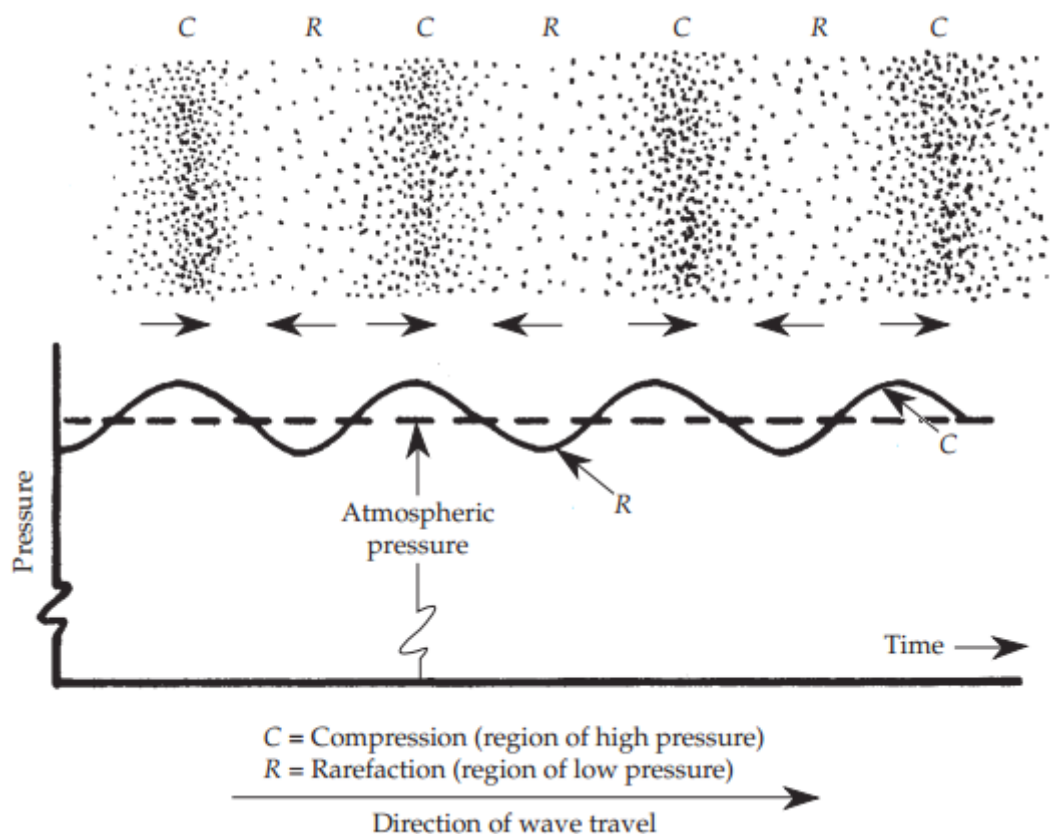


Illustration 3: Ændring i lufttryk skaber lydbølger

Lydtrykket kan derfor beskrives som både partikler og bølger. Vi kan se trykket beskrevet som en bølge i *illustration 3* hvor den stiplede linie er det atmosfæriske tryk og kompressionen (C) er

bølgens højdepunkt, bølgens lavpunkt repræsenterer fortyndingen (R) i trykket. [7]

Det 'atmosfæriske barometriske tryk' (den stiplede linie på *illustration 3*) repræsenterer altså en stilstand i molekylerne. Men selv disse førnævnte ændringer i trykket (C og R) er meget små udsving. Den svageste lyd det menneskelige øre kan høre ligger på omkring 2×10^{-5} Pa (20 mikropascal eller 0.02 mPa), 20 milliardtedele af det atmosfæriske tryk! [8]

I bunden af *illustration 3* kan vi se at en højrevendt pil repræsenterer bølgens retning den rejser i. Hvorfor rejser bølgens til højre?

På illustrationen kan vi se at molekylerne har en tendens til at hobe sig op der hvor to pile peger mod hinanden. Dette forekommer en anelse til højre for hvert kompressionspunkt, så når mediet vil strække sig i den modsatte retning, og molekylernes tæthed mindskes, vil "molekylehoben" have flyttet sig en anelse til højre. Dette fænomen gør rede for lydets retning.

Det er denne tryk-/lydbølge som slår mod vores trommehinder. Det er nu tydeligt at se at lydets hastighed er den tid det tager denne trykbølge at skubbe til luftens molekyler før den når vores ører. Som førnævnt er lydets hastighed ved havhøjde og i 20° C ~ 343 m/s (1.240 km/t). Ikke synderligt hurtigt i forhold til lysets hastighed som er 299.792.458 m/s – svimlende 874.000 gange hurtigere end lyden!

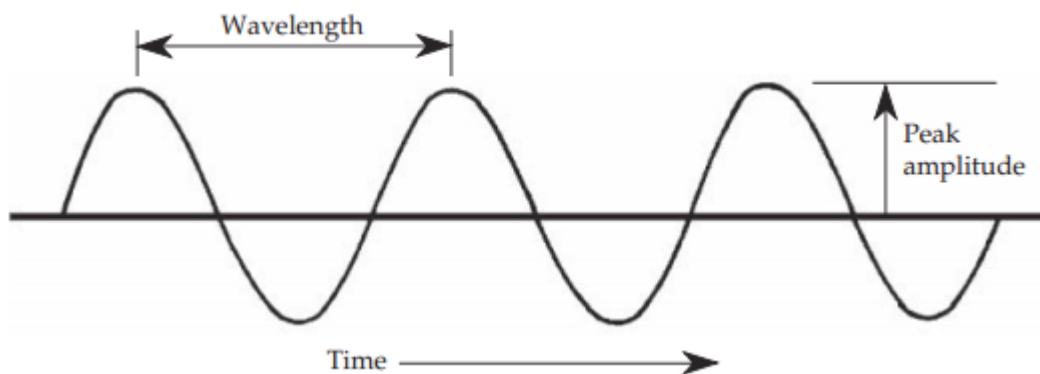


Illustration 4: Grafisk fremstilling af en bølgelængde

Bølgelængden (λ) repræsenterer den tid det tager for en periodisk bølge at rejse én cyklus. Denne længde kan måles mellem de to 'peaks' på bølgen eller mellem hvilke som helst korresponderende punkter på bølgen eller kan findes hvis man kender lydets frekvens (hz) og lydets hastighed (m/s). Relationen mellem disse 3 kan ses i følgende formel:

$$\text{Bølgelængden} = \text{Lydets hastighed} / \text{Frekvens}$$

'Cyklus' (engelsk: cycle) bruges til at forklare en sinus-bølges fasepunkter fra sit nulpunkt (0°), til sit højeste punkt, til sit laveste punkt og tilbage til 0. Denne cyklus kan oversættes til cirkel-analogien med sine 360° .

På grund af ørets anatomi vil visse intervaller mellem toner vise sig at virke 'musikalske' eller i højere grad velklingende end andre intervaller. Disse kaldes harmonier. De er dog ikke udelukkende fænomenologisk betingede, rent fysisk kan disse "velklingende" intervaller forklares ud fra de karakteristika især musik-instrumenter rummer. En guitarstreng er et godt eksempel – halverer man strengens længde vil man opleve en fordobling i hertz; vi har os en 'oktav'.

På *illustration 5* er det tydeligt at se hvordan disse fordoblinger/halveringer i strengens længde passer ind i hinanden og derved skaber konsonante svingninger.

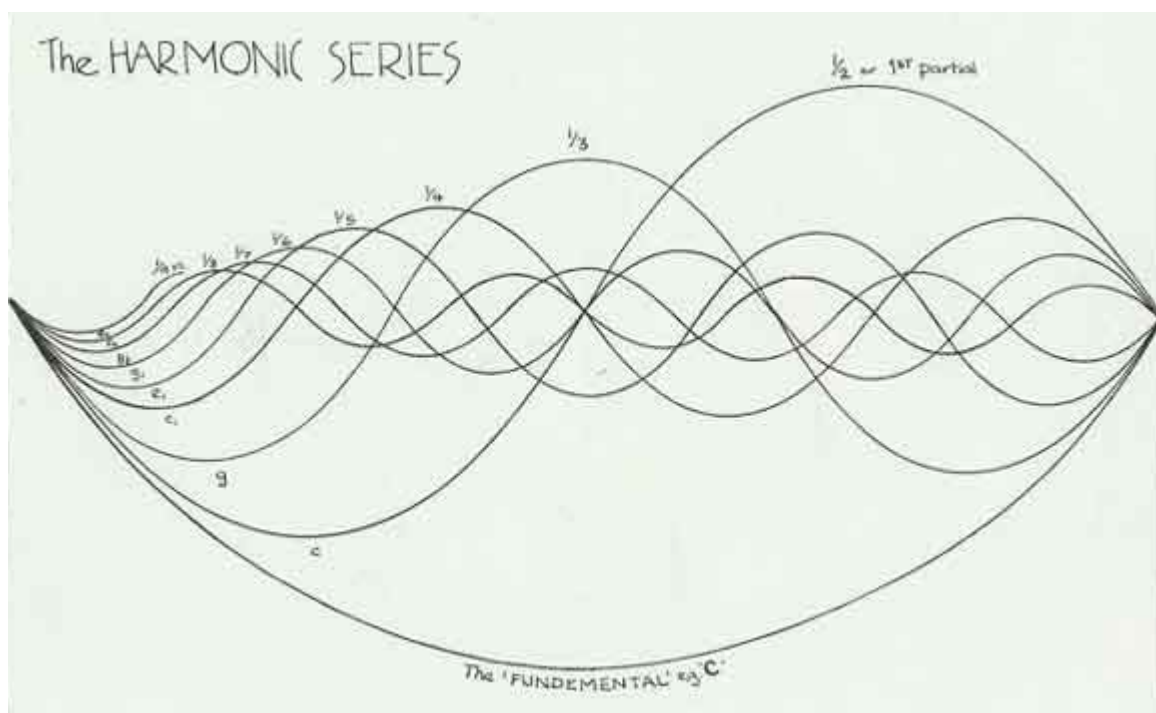


Illustration 5: En guitarists fremstilling af strengens synlige harmoniske intervaller.

Hvor harmonier er lineære, dvs. de har et lige langt interval mellem hver tone (eks. 100, 200 og 300 hz), er forholdene mellem oktaver logaritmiske. De er fordoblinger eller halveringer af en grundtone. Fra 100 hz til 200 hz er der en oktav. Mellem 200 hz og 400 hz er der igen en oktav; dernæst er der fra 400 til 800, fra 800, til 1600 osv. Dette viser at vores ører opfatter intervaller som forhold, frem for lineært inddelte skalaer. [9]

Meget af dette ledes hen i anatomi og psykoakustik, som denne opgave ikke vil berøre.

Kildehenvisninger:

- [1] Master Handbook of Acoustics, 5th edition af F. Alton Everest og Ken C. Pohlmann. Side 1.
- [2] <http://www.wisegeek.com/what-is-a-sine-wave.htm> (6 marts 2013 kl 22.20)
- [3] Master Handbook of Acoustics, 5th edition af F. Alton Everest og Ken C. Pohlmann. Side 3.
- [4] http://en.wikipedia.org/wiki/Vacuum#Outer_space (6 marts 2013 kl 22.48)
- [5] http://en.wikipedia.org/wiki/Speed_of_sound (6 marts 2013 kl 23.16)
- [6] Master Handbook of Acoustics, 5th edition af F. Alton Everest og Ken C. Pohlmann. Side 7.
- [7] Master Handbook of Acoustics, 5th edition af F. Alton Everest og Ken C. Pohlmann. Side 5.
- [8] http://www.engineeringtoolbox.com/sound-pressure-d_711.html (17. marts 2013 kl 22:15)
- [9] Master Handbook of Acoustics, 5th edition af F. Alton Everest og Ken C. Pohlmann. Side 12.