

HVERDAGSFYSIK

Hvordan kan en højttaler spille
flere frekvenser samtidigt?

Forfatter: Jens Christian Hansen

Redaktør: Søren Storm

Korrekturlæst og faktatjekket af:

Vibeke Axelsen (Egaa gymnasium)

Kim Vedel Pedersen (Nørre Gymnasium)

Margit From

Støttet af: **novo nordisk fonden**

Hej elever!

I jeres undersøgelse skal I:

1. Opstille en hypotese der forklarer en observation fra videoen
2. Opstille et eksperiment der kan afkræfte eller bekræfte jeres hypotese
3. Udføre eksperimentet og opsamle data
4. Bekræfte eller afkræfte hypotesen ud fra en analyse af de opsamlede data

Følg punkterne herunder. Der er hjælp på side 2 og 3.

1. Hypotesen

Gå sammen i grupper. Skriv en observation fra videoen i kassen. Opstil en hypotese der forklarer observationen. Bestem den uafhængige og den afhængige variabel i din hypotese.

Observation	Hypotese	Uafhængig variabel
(Der er hjælp på side 2)		
		Afhængig variabel

2. Eksperimentet

Kort beskrivelse af jeres eksperiment
(Der er hjælp på side 3)

3. Opstil og udfør eksperimentet

Nu kan I udføre eksperimentet. Tjek efter at der kun er 2 variable i spil: Den afhængige og den uafhængige. Når I har opsamlet data, kan I gå videre til punkt 4. Der er hjælp på side 3.

4. Databehandling

Ved en analyse af data, vurderer I om hypotesen kan be- eller afkræftes. Der er hjælp på side 3.

Eksempler på observationer

- Lydstyrken fra et stereoanlæg falder, jo længere væk du er fra højttaleren
- Dybe frekvenser kan høres på lang afstand (fx fra en koncert)
- Når du lytter til musik, afspiller højttaleren mange frekvenser samtidigt

Hjælp til hypoteser

Første skridt er, at noget du har observeret, bliver omskrevet til en hypotese. Herunder har du et eksempel.

Observation	Hypotese	Uafhængig variabel
Lydstyrken fra en højttaler høres lavere, når man bevæger sig væk fra højttaleren.	En lydbølges amplitude, aftager lineært med afstanden til højttaleren (1)	Afstanden fra højttaleren
		Afhængig variabel
		Lydbølgens amplitude

Bemærk her, at hypotesen (1) beskriver en matematisk sammenhæng, mellem temperaturen og den relative luftfugtighed.

Hjælp til afhængige og uafhængige variable.

Hypotesen (1) er formuleret på en sådan måde, at den kun udtaler sig om, hvordan én variabel (den afhængige) afhænger af en anden variabel (den uafhængige). Det kalder man også for variabelkontrol. Det gør man for at undgå, at andre variable, end den man vil undersøge, har indflydelse på resultatet.

I vores eksempel på en hypotese, vil mikrofonens afstand til højttaleren, være den uafhængige variabel og den målte amplitude den afhængige variabel. Den uafhængige variabel er altså den vi kontrollerer, mens den afhængige er den vi måler.

Hjælp til hjemmemålinger

Som tonegenerator kan du fx benytte <https://www.szynalski.com/tone-generator/>
 Dataopsamling kan ske med appen "physics toolbox", som man kan hente til sin telefon.
 Denne app kan opsamle og sende data i .csv format.

Hjælp til et eksperiment

Eksempel på beskrivelse:

For at teste hypotesen (1) måler vi:

- 1) Amplituden (den afhængige variabel)
- 2) Afstanden (den uafhængige variabel).

Vi skal altså bruge et stativ, en lydkilde (fx din mobiltelefons højttaler), et målebånd og en mikrofon (fx en anden mobiltelefon).

Mikrofonen placeres med munden i retning og højde som din lydkilde. På tonegeneratoren vælges frekvens og en lydstyrke. Lydstyrken skal være høj, da det giver mindre usikkerhed på aflæsningen af lydbølgens udsving, på alle afstande. Vælg en opsamlingsfrekvens og tid, der giver ca. 50 målepunkter per periode.

Undgå 'skjulte' variable:

- Samme frekvens på lyden
- Samme volumen
- Mål i et stille lokale
- Undgå for stor afstand mellem højttaler og mikrofon (undgår absorption af lydbølgens energi i luften)

Eksempel på et forsøgsskema:

Amplituden aflæses i dataene, som det maksimale udsving for hver afstand. Nedenfor ses et udsnit af et datasæt. Du kan hente alle datapunkterne [her](#).

Afstand x (m)	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	...
Amplitude A (V)	2,17	1,04	0,61	0,45	0,38	...

Download filer fra et eksperiment

Hvis I ikke har mulighed for selv at teste jeres hypotese eksperimentelt, er der data fra et kontrolleret forsøg, til både regneark og Logger Pro, [her](#).

Hjælp til databehandling

Hvis hypotesen skal kunne bekræftes, skal en efterfølgende regression på datasættet af formen $y = a \cdot x + b$, resultere i en forklaringsgrad $R^2 \geq 0,95$. Der er hjælp til databehandling i videoen [her](#). R^2 beregnes i videoen til 0,56, og det ses desuden tydeligt, at der ikke er overensstemmelse mellem model og data. Vi kan derfor afkræfte hypotesen.



Ekstraopgaver

Opgave 1 (C/B/A)

Prøv at identificere de uafhængige og afhængige variable i hypoteserne

Hypotese	Uafhængig variabel	Afhængig variabel
Når man blander lydbølger med flere forskellige frekvenser, dannes det samlede lydbillede som summen af de enkelte lydbølgers udsving (1)		
Når man blander lydbølger med flere forskellige frekvenser, bliver frekvensen af det samlede lydbillede summen af de enkelte bølges frekvens		
Hvis man måler udsvinget for en lydbølge i større og større afstand fra en højttaler, vil udsvinget aftage.		

Opgave 2 (C/B/A)

Lydens hastighed, ved et normalt lufttryk på 101,3 kPa og Kelvintemperaturen T , er bestemt ved

$$v = 331,4 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot \sqrt{\frac{T}{273,15 \text{ K}}}$$

- a) Beregn lydens hastighed ved temperaturerne 0 °C og ved 20 °C

En trompet har en grundtone på 185 Hz, ved 20 °C

- b) Beregn bølgelængden af trompetens grundtone ved 20 °C

En vintermorgen, hvor temperaturen er 0 °C, skal trompetisten spille til et udendørsarrangement

- c) Hvorfor lyder trompeten nu lidt anderledes, når grundtonen spilles?

Opgave 3 (C/B/A)

I et lydforsøg er en mikrofon placeret 1 m fra højttaleren. Temperaturen i lokalet er 20 °C.

- a) Beregn, hvor lang tid der går fra lyden udsendes fra højttaleren til, den når mikrofonen.

Højttaleren udsender en klar tone med frekvensen 440 Hz.

- b) Hvor mange bølgelængder udgør afstanden 1 m?

Man måler også den elektriske spænding over højttaleren.

- c) Hvor stor er faseforskydningen mellem spændingen over højttaleren, og den tone mikrofonen registrerer?



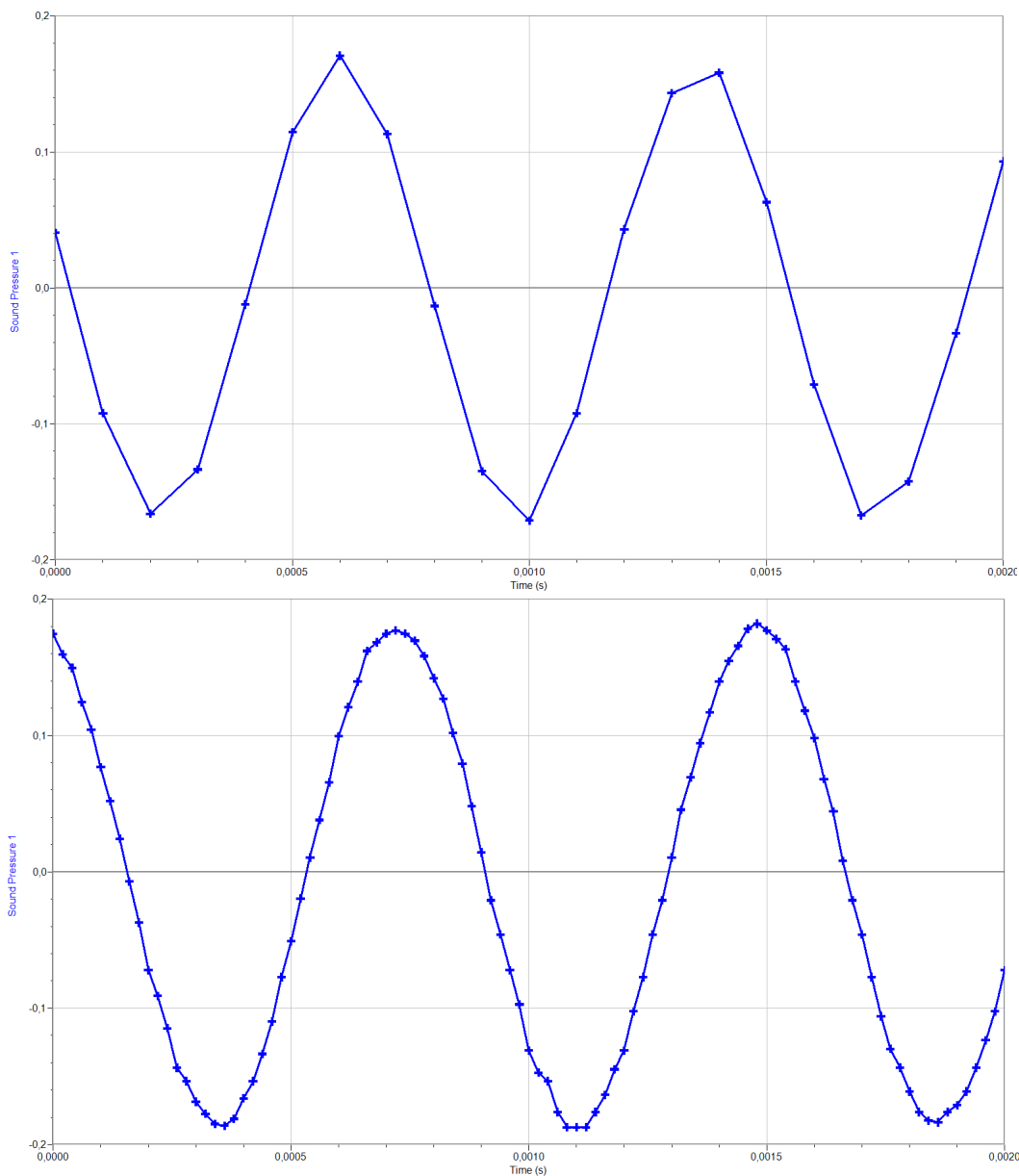
Opgave 4 (C/B/A)

I et lydforsøg måles der over 0,01 sekund. Dataloggeren er sat til at opsamle 10.000 målinger pr. sekund. Temperaturen i forsøgslokalet er 22 °C, og højttaleren udsender en tone med frekvensen 880 Hz.

- Beregn lydens hastighed i lokalet
- Beregn bølgelængden og perioden for tonen
- Hvor mange perioder måles i alt i løbet af 0,01 s
- Hvor langt, målt i cm, bevæger bølgen sig, mellem hver dataopsamling?
- Hvor mange målinger foretages der i løbet af én periode?
- Grafen ser kantet ud og er svær at aflæse. Hvorfor det?

Opgave 5 (B/A)

I et lydforsøg måles samme tone to gange. Ved begge målinger måles der i 0,002 s. Grafer over de to målinger ses herunder.



- Bestem hvor mange målinger der udføres pr. sek. ved første hhv. anden måling.
- Vurdér, hvilken frekvens den udsendte tone har.

Opgave 6 (B/A)

Åben [Geogebra-fil 1](#) og undersøg ved hvilke faseforskydninger φ , der dannes konstruktiv og destruktiv interferens

Opgave 7 (B/A)

Åben [Geogebra-fil 2](#)

- a) Bestem, for en superposition af to bølger med frekvenserne 10 Hz og 12 Hz, perioden for svingningen med den korte periode. Bestem også perioden for den 'overlejlrede' svingning med en længere periode. Teoretisk frekvenserne være 11 Hz og 1 Hz. Passer det?

Ved en superposition af to bølger med frekvenserne ν_1 og ν_2 , vil der dannes to toner: Én med frekvensen $\frac{\nu_1 + \nu_2}{2}$ og én med frekvensen $\frac{|\nu_1 - \nu_2|}{2}$

- b) Brug ovenstående, til at bestemme frekvenserne fra to lydbølger, med frekvenserne 438 Hz og 442 Hz. Hvilke frekvenser ville du høre fra superpositionen af de to bølger?

Test eventuelt ved at bruge online tonegeneratoren:

<https://www.szynalski.com/tone-generator/>

Tip: Du kan åbne to tonegeneratorer, en i hver sin fane i browseren, og afspille en frekvens per fane.

Facitliste

Opgave 1

Uafhængig variabel	Afhængig variabel
De valgte frekvenser og udsving	Det målte udsving
De valgte frekvenser	Den målte frekvens
Afstanden mellem mikrofon og højttaler	Det målte udsving

Opgave 2

- $331,4 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ hhv. $343,3 \frac{\text{m}}{\text{s}}$
- 1,86 m
- Bølgelængden har ændret sig til 1,79 m, så resonansen/styrken bliver mindre.

Opgave 3

- 2,91 ms
- $\sim 1,3$ bølgelængder
- Tidsforsinkelsen er 0.002913 s, hvilket svarer til en faseforskydning på $1,7618 \cong 0,56\pi$
 $(2\pi \cdot 440 \text{ Hz} \cdot 0,002913 \text{ s} = 8,04499,$
 $8,04499 - 2\pi = 1,7618)$

Opgave 4

- $334,5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ ($344,5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$)
- 0,392 m (0,391 m) og 1,14 ms
- 8,8 perioder
- 3,44 cm
- 11,4 måling
- For lav dataopsamlingshastighed

Opgave 5

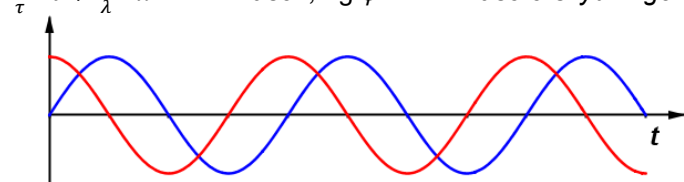
- 10000 målinger pr. sek. (sample rate 10 kHz) hhv. 50000 målinger pr. sek. (sample rate 50 kHz)
- Perioden er ca. 0,75 ms, hvilket en frekvens på $\sim 1,3$ kHz

Opgave 6

- Konstruktiv interferens ved $\varphi = 0, 2\pi, 4\pi, 6\pi \dots$ Destruktiv interferens ved $\varphi = \pi, 3\pi, 5\pi, \dots$

Opgave 7

- En periode for den 'lange' periode er 1,75 s $- 0,75 \text{ s} = 1,0 \text{ s}$, så frekvensen er 1,0 Hz
En periode for den 'korte' perioden. 11 perioder er 1,0 s, så frekvensen er 11 Hz.
- En grundtone på 440 Hz og en overlejrret 'stødtone' på 2 Hz.

Symbol/Formel	Beskrivelse	Enhed
T	Kelvintemperatur $T = t \cdot \frac{\text{K}}{^\circ\text{C}} + 273,15 \text{ K}$	K
t	Celsiustemperatur $t = T \cdot \frac{^\circ\text{C}}{\text{K}} - 273,15 \text{ }^\circ\text{C}$	$^\circ\text{C}$
v	Lydens hastighed i luft ved temperaturen T $v = 331,5 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot \sqrt{\frac{T}{273,15 \text{ K}}}$	$\frac{\text{m}}{\text{s}}$
λ	Bølgelængde	m
τ	Perioden. Den tid en bølge er om at udbrede sig en bølgelængde.	s
f	Frekvens $f = \frac{1}{\tau}$	$\text{Hz} = \text{s}^{-1}$
v	En bølges udbredelseshastighed $v = \lambda \cdot f$	$\frac{\text{m}}{\text{s}}$
E	Energi	J
t	Tid	s
p	Lydtryk	Pa
A	Amplitude. Størsteudsvinget fra ligevægt for en bølge. Ved en måling vil en lydmåler typisk omsætte trykvariationen til en elektrisk spænding, så amplituden vil ofte måles i V (volt)	
$y(t, x)$	Bølgeformlen for en harmonisk bølge $y(t, x) = A \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{\tau} \cdot t + \frac{2\pi}{\lambda} \cdot x + \varphi\right)$ $\frac{2\pi}{\tau} \cdot t + \frac{2\pi}{\lambda} \cdot x$ kaldes <i>fasen</i>, og φ kaldes <i>faseforskydningen</i>  Den med rødt markerede bølge er faseforskydet $\pi/2$	