

Introduksjon til lyd



Temaer i dag:

- Hvordan kan vi høre lyd?
- Lyd og lydbølger
- Amplitude, frekvens, periode og bølgelengde
- Hvordan representere lydsignaler matematisk?
- Hvordan illustrere lydsignaler grafisk?

Tilhørende tekst fra læreboka “Digital representasjon”:

- Kapittel 9: Hørselen – hvordan virker den?
- Kapittel 10: Lydbølger – hvordan ser de ut?

Litt praktisk informasjon

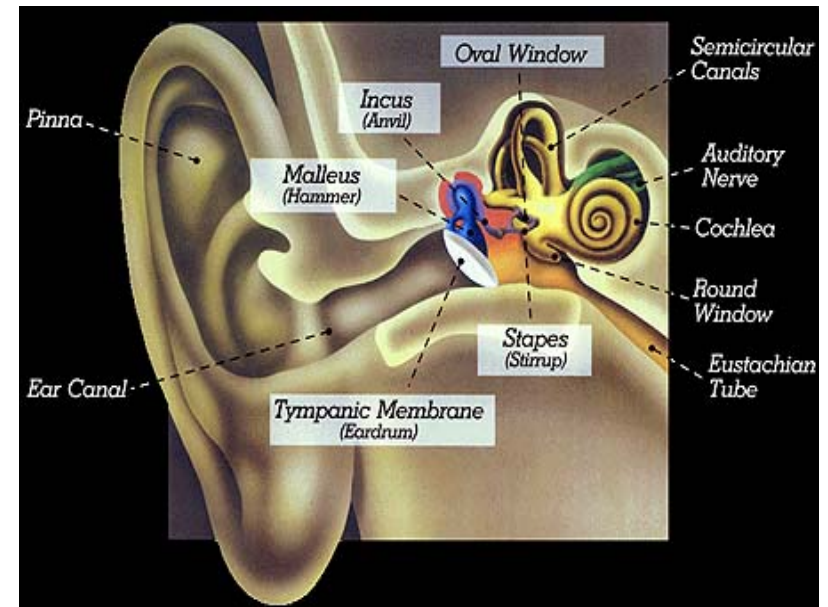
- ❑ Husk øretelefoner på øvelsestimene denne uken og en stund framover.
- ❑ Lydeksempelene som avspilles på denne forelesningen ligger som WAV-filer på
~inf1040/www_docs/lydfiler/lyd1.wav lyd23.wav.
Du kan høre dem med f.eks. programmet **play**.

Fra lydbølger til nerveimpulser

- Lydbølger detekteres av øret, omformes til nerveimpulser, og disse sendes til høresenteret i hjernen.



- Øret har tre deler:
 - Det ytre øret
 - Mellomøret
 - Det indre øre

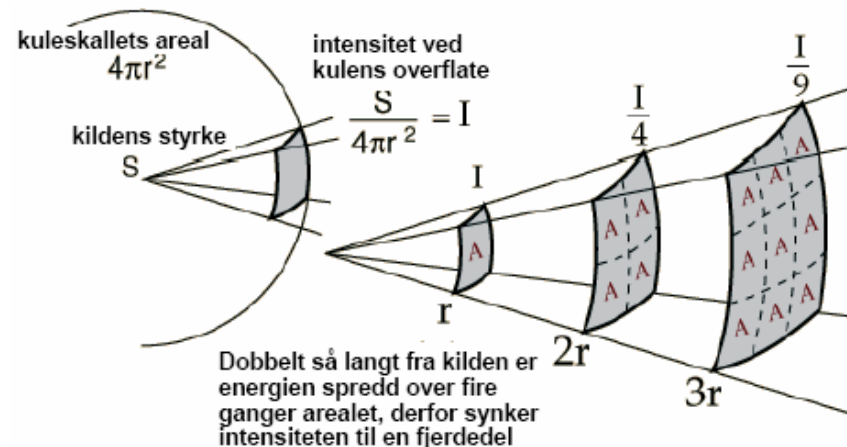


Trykkbølgene omdannes til nervesignaler.

Mer på f.eks. <http://www.glenbrook.k12.il.us/gbssci/phys/mmedia/waves/edl.html>

Det ytre øret

- ❑ Det ytre øret fanger opp lydbølger og sender dem innover i ørekanalen, der de får trommehinna til å vibrere
- ❑ Lyd fra en punktkilde brer seg i alle retninger i rommet
 - Dobler vi radien i en kule, fordeles energien over en fire ganger så stor flate.
 - Tre ganger så stor radius gir ni ganger så stor flate.
- ❑ Det ytre øret sensitiviteten med en faktor 2 – 3.
- ❑ Resonans i øregangen øker følsomheten for lyder ved 3 000 – 4 000 Hz.
 - Dette er viktig for oppfattelse av tale.

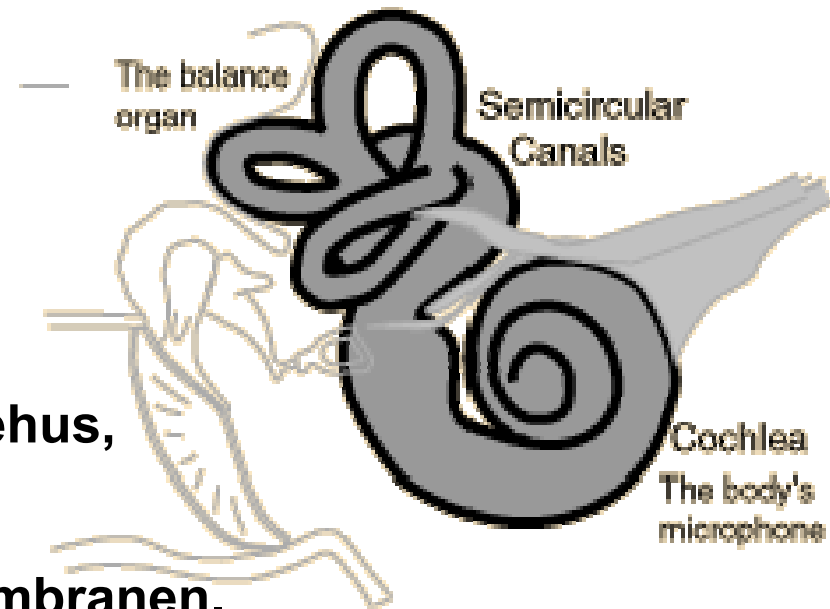


Mellomøret

- ❑ Trommehinna er en membran som beskytter hørselssystemet, men som vibrerer i takt med lydbølgene som treffer øret.
- ❑ Lyden forplanter seg videre gjennom mellomøret via hammeren, ambolten og stigbøylen.
- ❑ Stigbøylen er festet til "det ovale vindu", som danner overgangen til det indre øre.
- ❑ Trommehinna er ca 15 ganger større enn det ovale vindu => 15 ganger forsterkning.
- ❑ Hammeren, ambolten og stigbøylen fungerer som vektstenger som forsterker svingningene med opptil en faktor 3.
- ❑ Vektstangsystemet er adaptivt: Demper altfor sterke svingninger.

Det indre øret

- ❑ I det indre øre finnes to organer: balanseorganet og cochlea, som er kroppens mikrofon.
- ❑ Cochlea er formet som et sneglehus, og er delt i tre parallelle kanaler.
- ❑ I den midterste ligger basilarmembranen.
- ❑ Her sitter 16 000 – 20 000 hårceller som registrerer lyd med forskjellige frekvenser. Hver hårcelle har flere hår.
- ❑ Vibrasjonene fra trykkbølger bøyer hårene, ionekanaler i bunnen av cellene åpnes, og en liten strømpuls sendes langs en nervefiber.



Hårceller

- Hårceller på forskjellige steder langs membranen reagerer på lyd med forskjellig frekvens.

- Høyfrekvente lyder registreres langt ute i sneglehuset.
- Bass-lyder registreres lenger inne i sneglehuset.

- To toner som er nesten like vil konkurrere om de samme hårcellene.

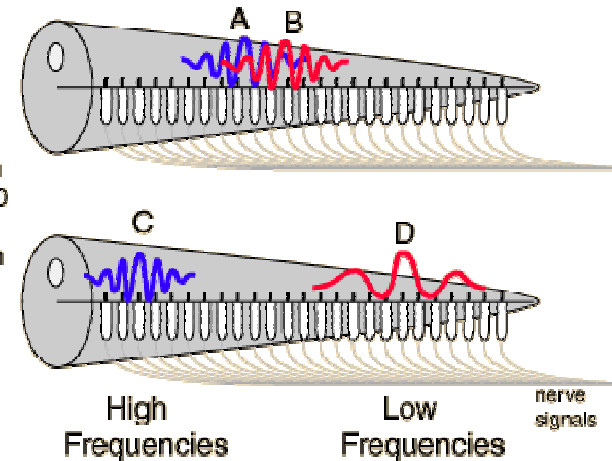
- De vil ikke høres like sterke ut som hvis de lå lenger fra hverandre.

- Dette utnyttes i kompakt lagring av lyd (for eksempel mp3).

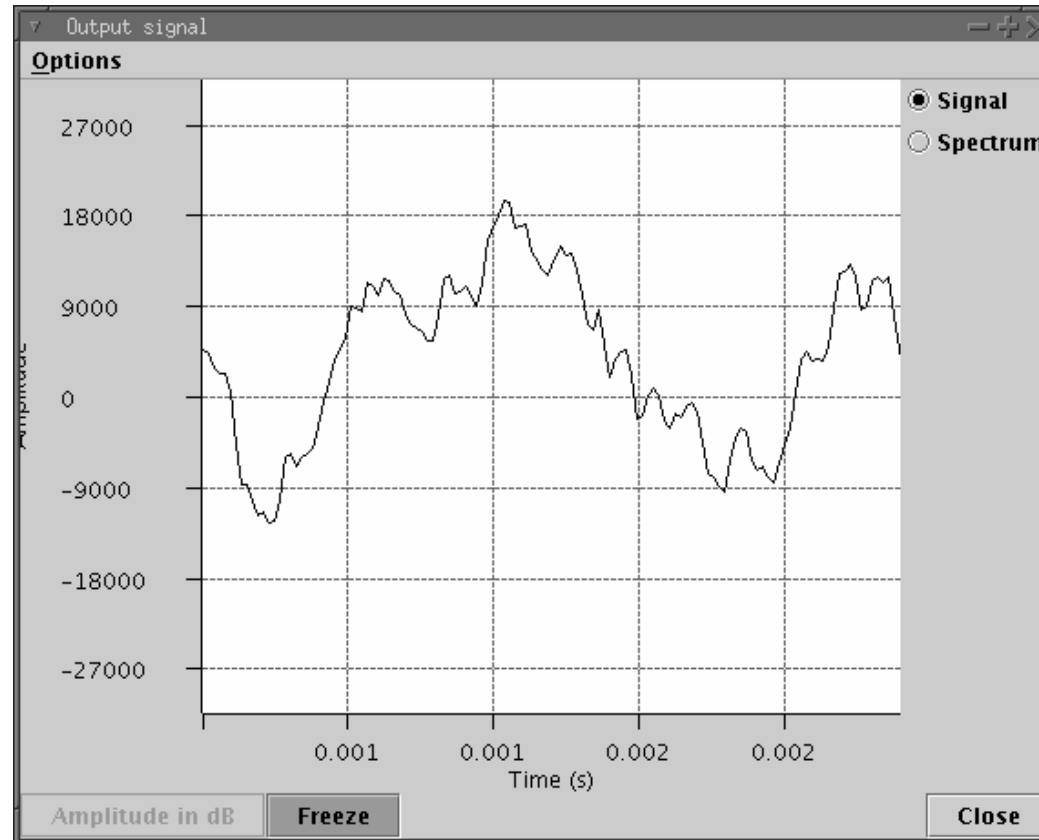
- Hvis hårceller for en gitt frekvens knekker (pga for høy lyd) er hørselen på denne frekvensen svekket eller tapt for alltid.

Se f.eks. <http://facstaff.uww.edu/bradleys/radio/hlsimulation/>

If sounds A, B, C, D are adjusted to have identical loudnesses when sounded alone, then the combination C+D would be expected to sound louder than A+B because C and D are not competing for the same nerve endings in the inner ear.



Lyd som en funksjon av tid



lyd1.wav

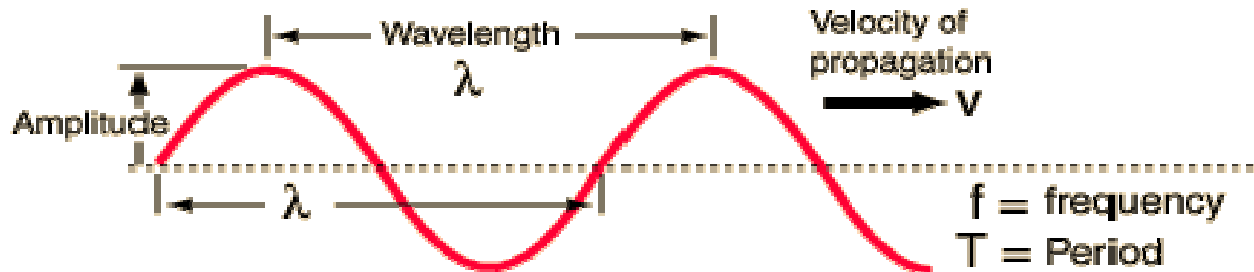
**Her ser vi hvordan lydstyrken eller amplituden endrer seg med tiden
Legg merke til hvor raskt signalet endrer seg (millisekunder)**

Lydens svingninger - frekvens

- ❑ Hvordan lyden høres ut, avhenger av hvor raske svingninger den inneholder.
- ❑ Antall svingninger per sekund er **frekvensen** til en tone.
 - Frekvensen til en tone måles i Hz ($\equiv \text{s}^{-1}$)
- ❑ Vi hører lydbølger
 - som svinger mellom 18 ganger per sekund og 20 000 ganger per sekund
 - høreterskelen er bare 2/10 000 000 000 av standard atmosfærisk trykk
 - Smerteterskelen svarer til en lydintensitet som er 10 000 000 000 000 = 10^{13} ganger høreterskelen.
- ❑ Hørselen svekkes med alderen.
 - Svekkelsen er ikke lik for alle frekvenser.
 - De ca 30 000 endepunktene for hørenervene slites / knekker.
- ❑ De fleste lyder består av flere rene toner med ulik frekvens.
- ❑ Øret er veldig følsomt for forandringer i frekvens (0.3% endring).

Bølgelengde og lyd hastighet



- Bølgelengden λ er den fysiske lengde mellom to punkter på samme sted i svingningen.



- Hastigheten til en bølge er lik produktet av bølgelengde og frekvens

$$v = f \lambda$$

(gjelder generelt, både for lydbølger og elektromagnetiske bølger)

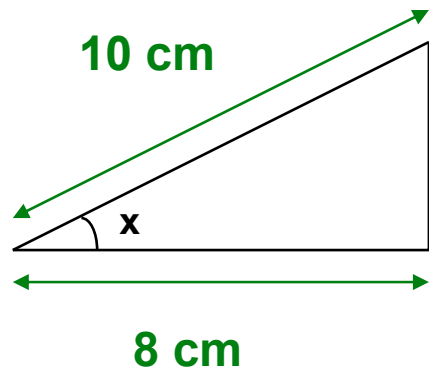
- Bølgelengden for hørbare lydbølger
 - går fra $\lambda = 17$ m for $f = 20$ Hz til $\lambda = 1,7$ cm for $f = 20\,000$ Hz.
- En A på $f = 440$ Hz har en bølgelengde på $\lambda = 75$ cm, 
mens en A som er en oktav lavere ($f = 220$ Hz) har $\lambda = 1,5$ m. 

Lyd som sinusoider

- ❑ Sinusoider er et felles navn på funksjonene $\cos(x)$ og $\sin(x)$.
- ❑ Periodisk signal:
et periodisk signal gjentar seg etter en viss tid.
- ❑ Sinus og cosinus-funksjoner beskriver periodiske signaler.
- ❑ De brukes til å forklare hva slags informasjon et lydsignal inneholder.
- ❑ Vi trenger å lære litt om sinusoider for å skjønne hvordan lydsignaler lagres.

Funksjonen $\cos(x)$

- $\cos(x)$ er kjent fra geometrien for å måle sidene i en trekant. Da er x en vinkel som måles i radianer (0 til 2π) eller grader (0-360°).

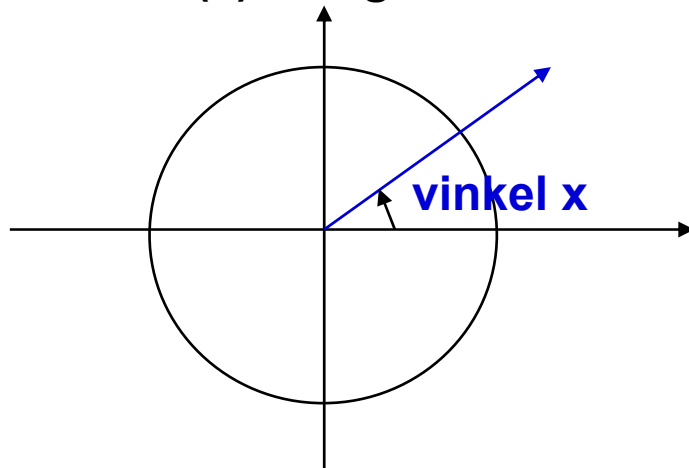


Vinkel x finnes ved at

$$\cos(x) = 8/10$$

$$\text{Da blir } x = \cos^{-1}(8/10) = 36.8^\circ$$

- $\cos(x)$ svinger mellom 1 og -1 når x varierer mellom 0 og 2π i radianer.

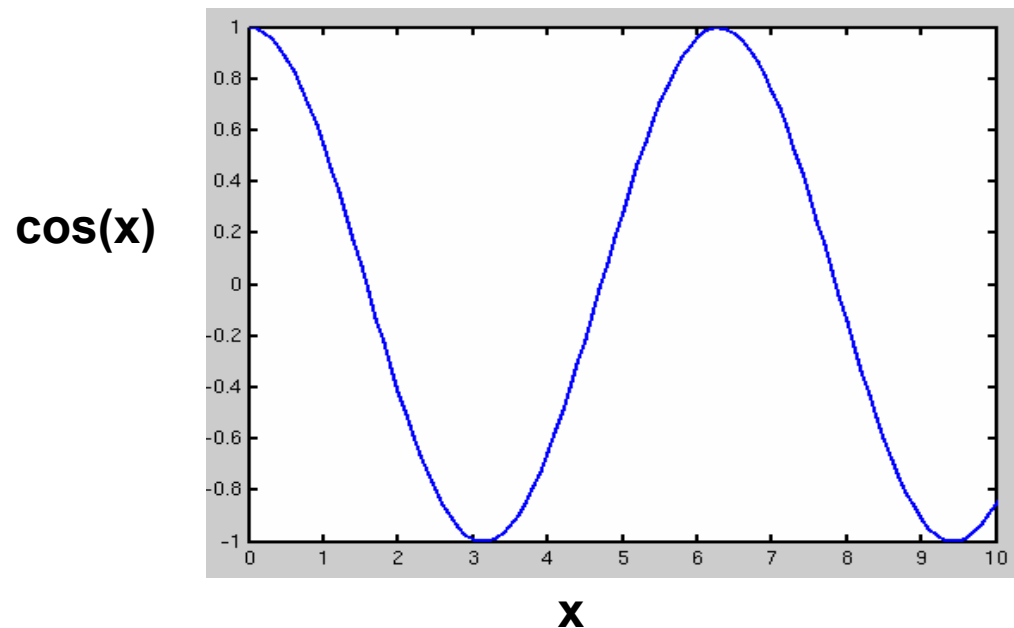


$x = 0$	(0°)	$\cos(x) = 1$
$x = \pi/2$	(90°)	$\cos(x) = 0$
$x = \pi$	(180°)	$\cos(x) = -1$
$x = 3\pi/2$	(270°)	$\cos(x) = 0$
$x = 2\pi$	(360°)	$\cos(x) = 1$

Dette gjentar seg når x roterer en gang til.

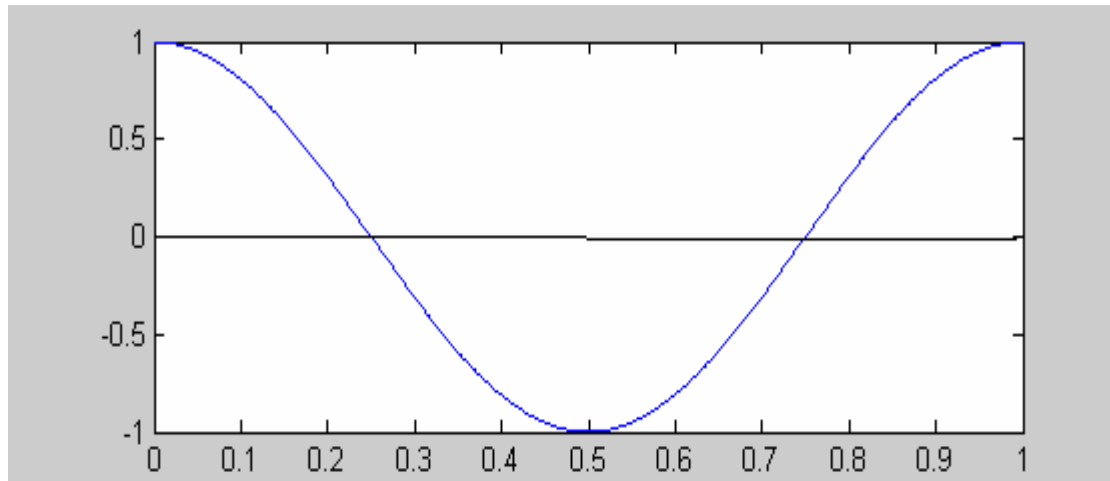
Funksjonen $\cos(x)$

- $\cos(x)$ svinger mellom 1 og -1 når x varierer mellom 0 og 2π , og den svinger på samme måte når x varierer mellom 2π og 4π .
- Hvis x måles i radianer, og x ligger mellom 0 og 10 ser funksjonen $\cos(x)$ slik ut:



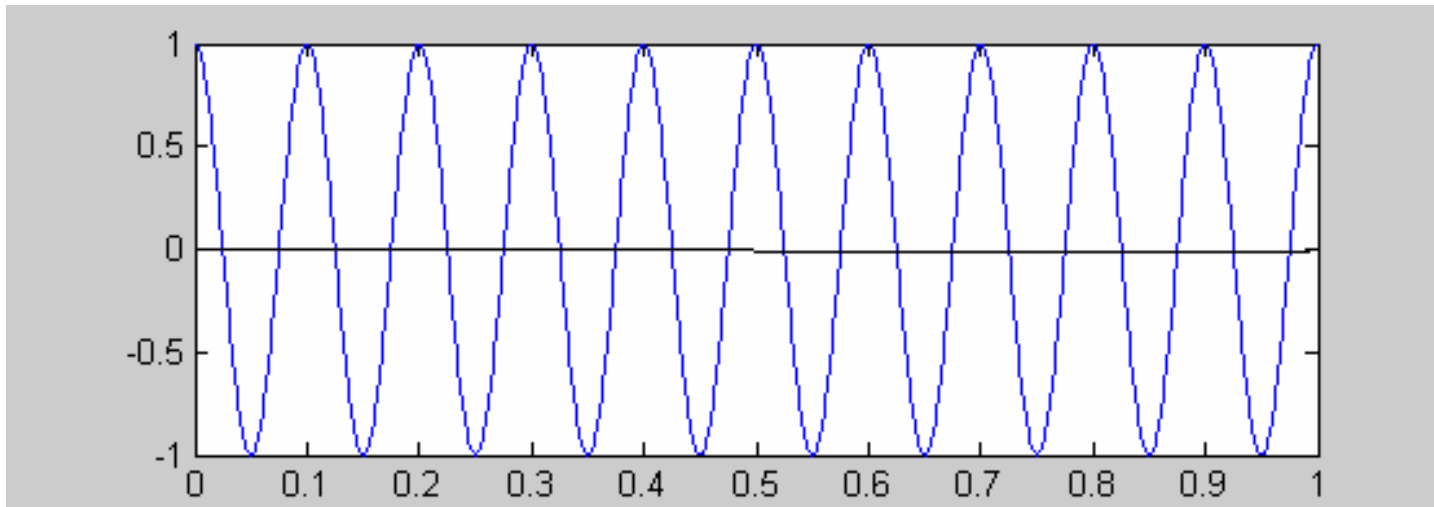
cos(t) for tidssignaler

- Ser på signaler som varierer med tiden t.
- Vi er interessert i antall svingninger pr. sekund.
 - Dette forteller oss frekvensen til signalet.
- Et triks vi bruker er å se på funksjonen $y(t) = \cos(2\pi t)$.
 - Dette gir oss noe som svinger fra 1 til -1 og tilbake til 1 i løpet av 1 sekund.



$\cos(2\pi ft)$

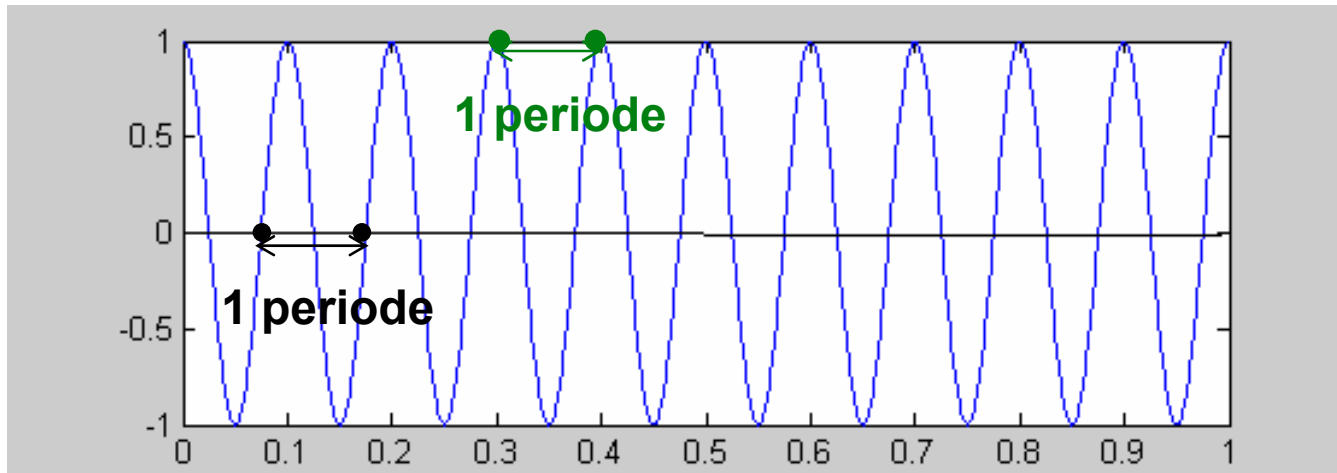
- Ser vi på $y = \cos(2\pi ft)$ der f er et heltall (f.eks. 10), får vi noe som svinger f ganger (10 ganger) pr. sekund:



- f er antall svingninger pr. sekund og kalles frekvens.
- Frekvensen f måles i hertz (Hz).
(1 kHz er 1000 svingninger i sekundet).

Periode

- ❑ Funksjonen $y = \cos(2\pi 10t)$ gjentar seg selv 10 ganger pr. sekund.

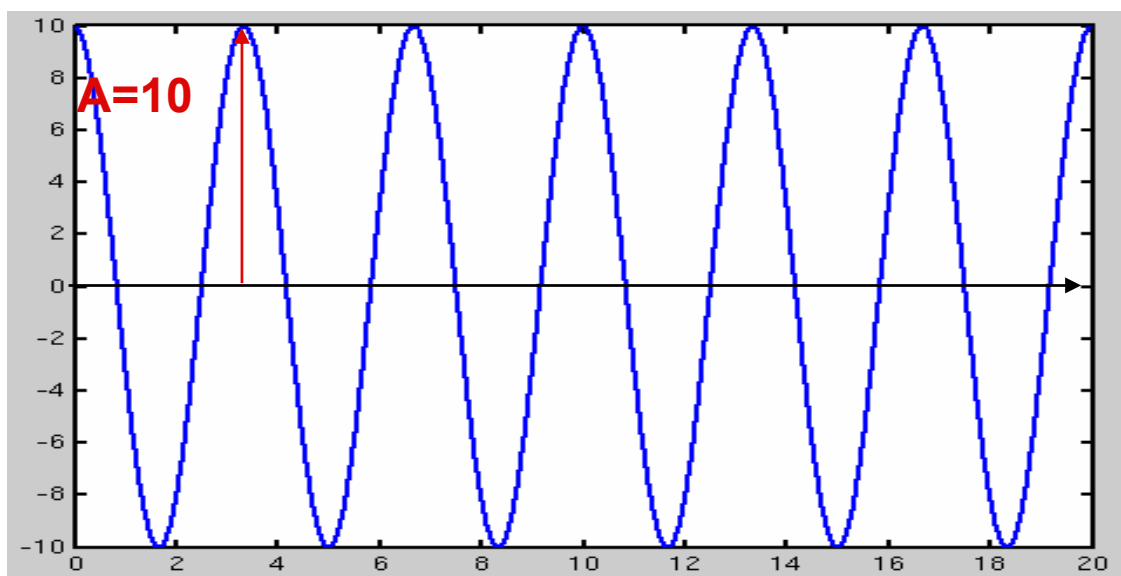


- ❑ Perioden kaller vi for T.
- ❑ Vi kan regne ut frekvensen som $f = 1/T$, eller $T = 1/f$.
- ❑ For å finne perioden ser vi på avstanden i sekunder mellom to punkter på samme sted i svingningen, for eksempel der funksjonen går fra negative til positive verdier (krysser null).
- ❑ Her kan vi måle at avstanden, dvs. perioden er 0.1 sekund.

Amplitude

Amplituden forteller hvor stort det maksimale trykk-utslaget er.

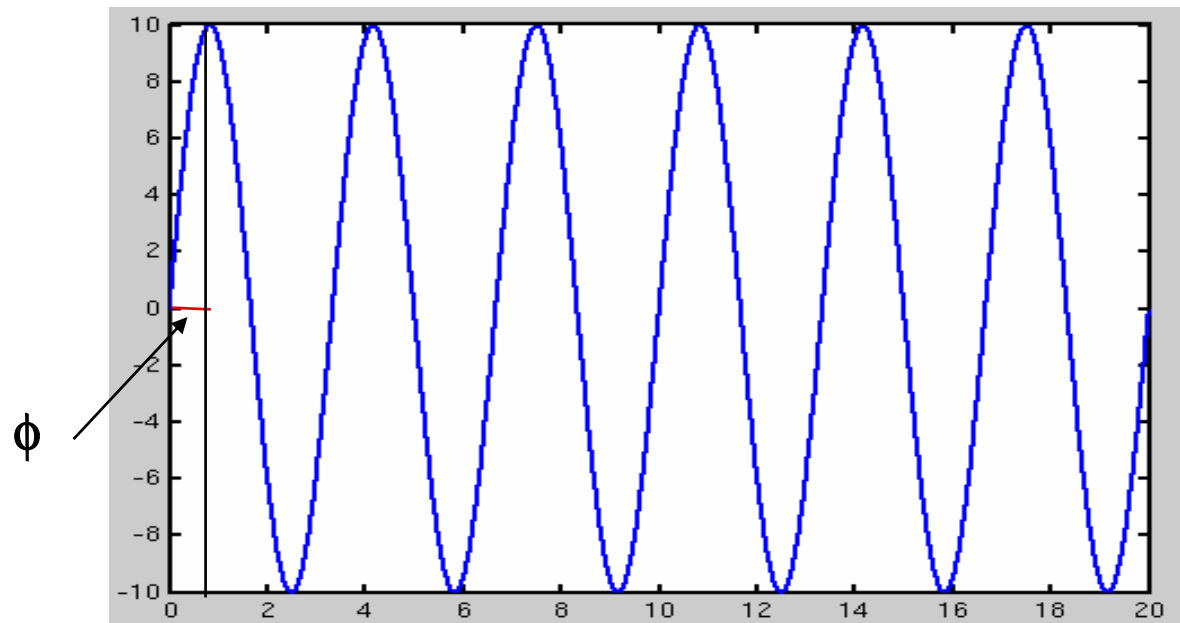
$$y(t) = A \cos(2\pi f_0 t)$$



Amplituden A til en cosinus-funksjon er maksimumsverdien funksjonen kan ha.

Faseforskyvning (bare for de viderekomne)

Vi ser på funksjonen $y(t) = A \cos(2\pi f_0 t + \phi)$



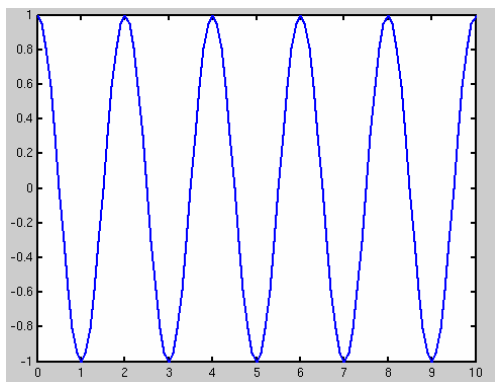
Sammenligner med funksjonen $y(t) = A \cos(2\pi f_0 t)$
Ser at vi har fått en forskyvning med et beløp ϕ
(startpunktet er forskjellig fra 0)

ϕ kalles “faseforskyvning”

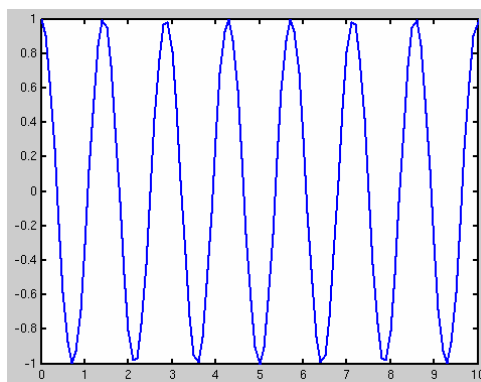
Frekvens til cosinussignaler

□ Vi ser på $y(t) = A \cos(2\pi f_0 t)$

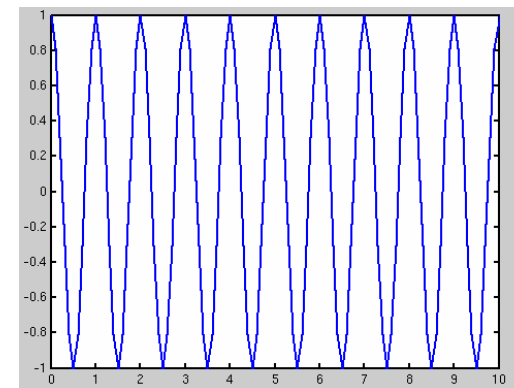
- t er tiden
- f_0 er frekvensen:



$$\cos(2\pi \cdot 0.5 \cdot t)$$
$$f_0 = 0.5$$



$$\cos(2\pi \cdot 0.7 \cdot t)$$
$$f_0 = 0.7$$



$$\cos(2\pi t)$$
$$f_0 = 1$$

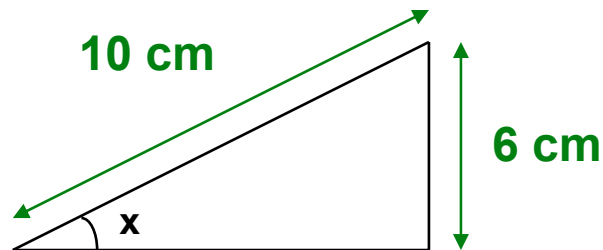
Høy frekvens: signalet varierer fort

Lav frekvens: signalet varierer langsomt



Funksjonen $\sin(x)$

- $\sin(x)$ er kjent fra geometrien for å måle sidene i en trekant. Da er x en vinkel som måles i radianer (0 til 2π) eller grader (0 - 360°).

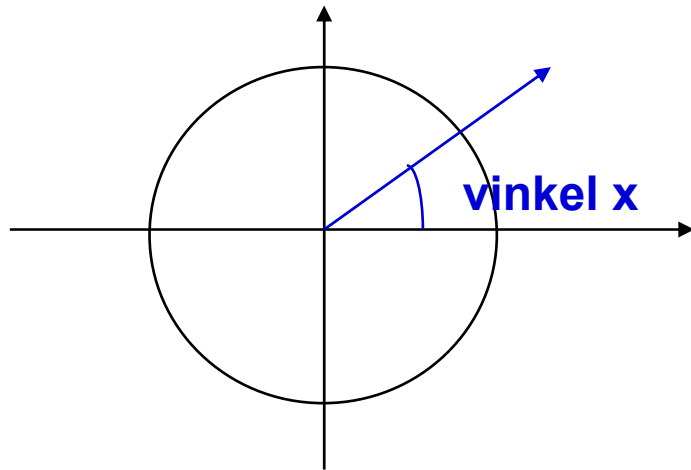


Vinkel x finnes ved at

$$\sin(x) = 6/10$$

$$\text{Da blir } x = \sin^{-1}(6/10) = 36.8^\circ$$

- $\sin(x)$ svinger fra 0 til 1 til 0 til -1 til 0 når x varierer mellom 0 og 2π i radianer.

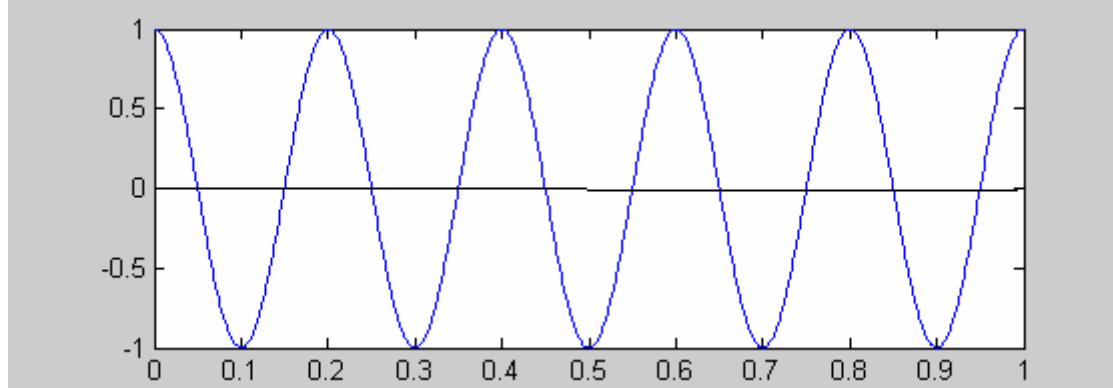


$x = 0$	(0°)	$\sin(x) = 0$
$x = \pi/2$	(90°)	$\sin(x) = 1$
$x = \pi$	(180°)	$\sin(x) = 0$
$x = 3\pi/2$	(270°)	$\sin(x) = -1$
$x = 2\pi$	(360°)	$\sin(x) = 0$

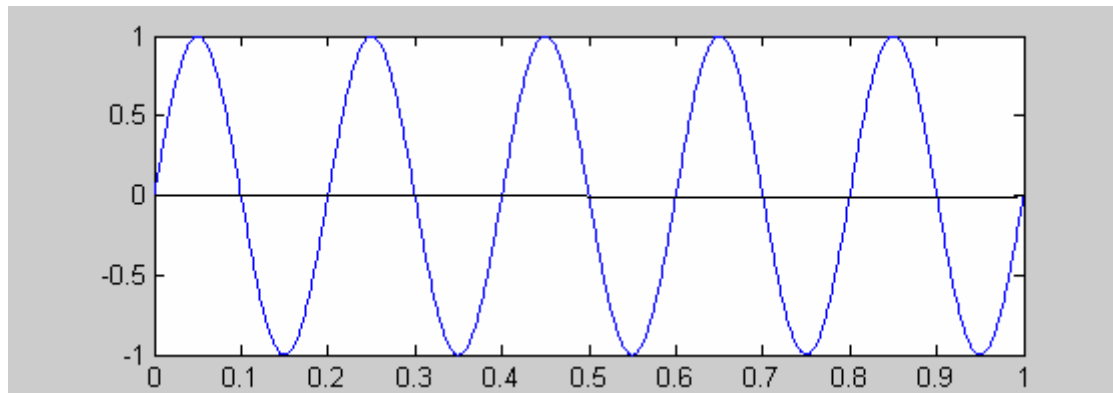
Dette gjentar seg når x roterer en gang til.

Hva er forskjellen på $\sin(2\pi ft)$ og $\cos(2\pi ft)$?

- $\cos(2\pi 5t)$ starter på 1, varierer 5 ganger i sekundet.



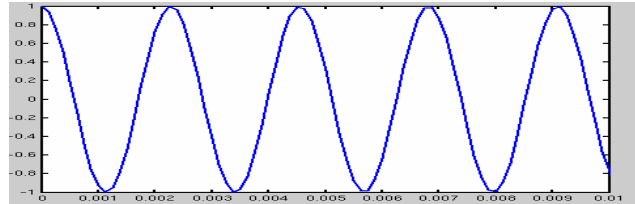
- $\sin(2\pi 5t)$ starter på 0, varierer 5 ganger i sekundet.



Bare startpunktet,
dvs.
faseforskyvningen,
er forskjellig.

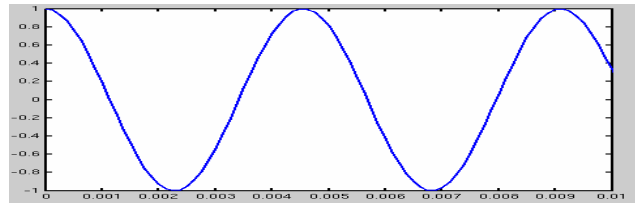
Lyd fra cosinuser

- En kammertone (A) har frekvens på 440 Hz:



lyd3.wav

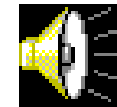
- En A som er en oktav lavere har halvparten så høy frekvens: 220 Hz



lyd4.wav

- I den tempererte tolvtoneskalaen:

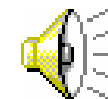
- Det er et konstant frekvensforhold mellom nabotoner
- Vi får neste halvtone ved å multiplisere frekvensen med $k = 2^{(1/12)}$
- Frekvensen for en vilkårlig note N er gitt ved
 - $f = 440 * (2^{1/12})^{(N-49)}$ der N er tonenr. fra keyboard (49 for kammertonen)
 - A-dur skala lages ved N = 37, 39, 41, 42, 44, 46, 48, 49



Sound (OLE2)

Toner og frekvenser

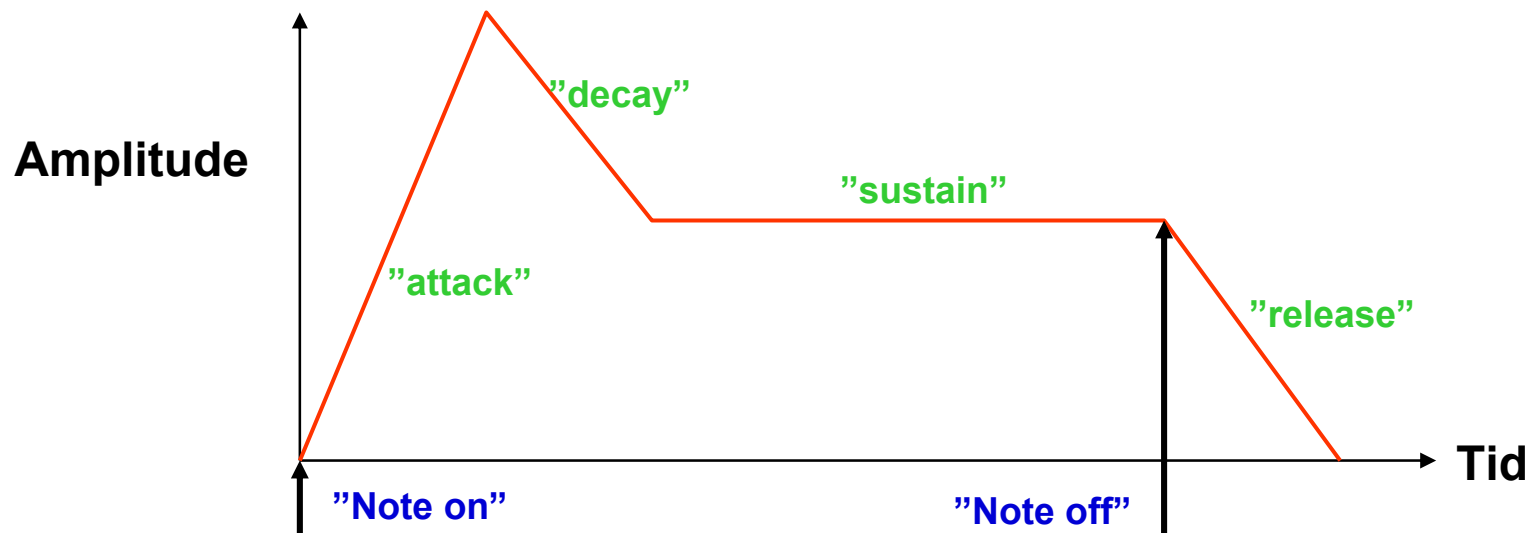
- ❑ Tonens lydstyrke bestemmes av dens amplitude.
- ❑ Øret vårt hører godt forskjeller i frekvens
(hvor hurtig en tone med samme styrke svinger),
og vi hører lett forskjell på ulike toner
(og om to instrumenter ikke er stemt høres det surt ut).
- ❑ En A på piano og klarinett høres likevel helt forskjellig ut:
 - Tonen har samme frekvens, 440Hz, dvs. de har en bølgeform som gjentar seg 440 ganger i sekundet.
 - Innen hver periode har lyden fra et piano og lyden fra en klarinett ulik kurve.
 - Tonen fra et piano består ikke bare av en ren sinus, men er satt sammen av mange sinuser med ulik frekvens og periode.
 - Ulike instrumenter har også ulik ansats, romklang, etterklang etc.



lyd6.wav

Forløpet av en tone

- Det er flere ting som bestemmer forløpet av en tone.
 - Hvilket instrument det er
 - Hvordan man spiller på det
- Lydstyrken er ikke konstant over tid.
- Ved syntetisering av lyd har man flere parametre:



Toner og overtoner

□ En tone i musikken består av:

- en grunntone (fundamental frekvens)
- overtoner - harmonisk relaterte frekvenser (høyere frekvenser satt sammen som $k \cdot$ fundamental frekvens)

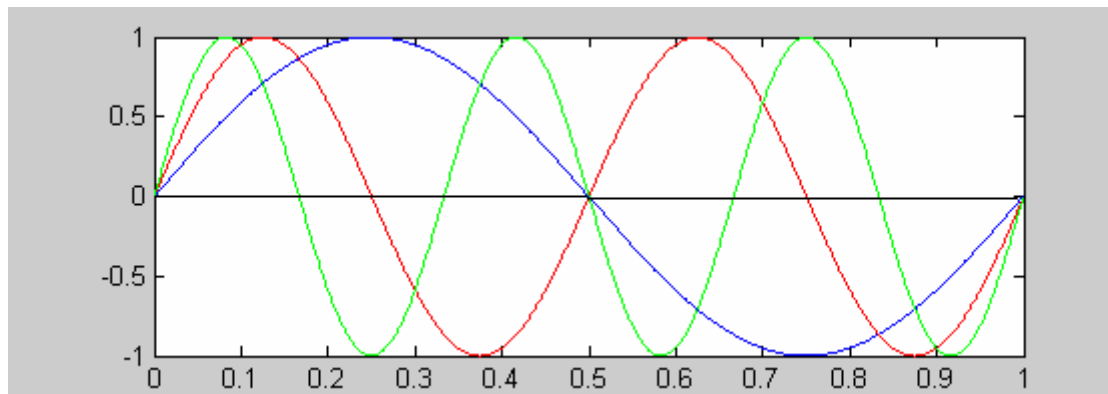
- Grunnfrekvens 1 Hz ($\sin(2\pi t)$)
- 1. harmoniske komponent 2 Hz ($\sin(2\pi 2t)$)
- 2. harmoniske komponent 3 Hz ($\sin(2\pi 3t)$)

 lyd11.wav

 lyd12.wav

 lyd13.wav

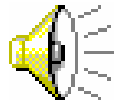
 lyd14.wav



Hva om vi summerer cosinuser?

- Vi hørte at $\cos(2\pi \cdot 300 \cdot t) + \cos(2\pi \cdot 500 \cdot t)$ ga oss to toner samtidig.

lyd15.wav



- Hvis vi lager et signal

$$f(t) = \sum_{i=1}^N A_i \cos(2\pi f_i t)$$

- A_i er amplituden/styrken til komponent i
- f_i er frekvensen til komponent i

så kan vi lage mange lyder hvis N er stor.

A-dur treklang

$$\cos(2\pi 220t) + \cos(2\pi 292t) + \cos(2\pi 330t)$$

lyd16.wav



Alle tonene i en skala samtidig

lyd17.wav

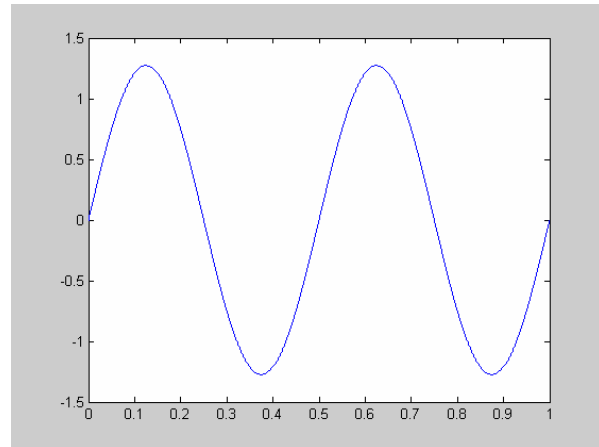


En tone pluss støy
(hvit støy - et jevnt sus av støy
på mange frekvenser)

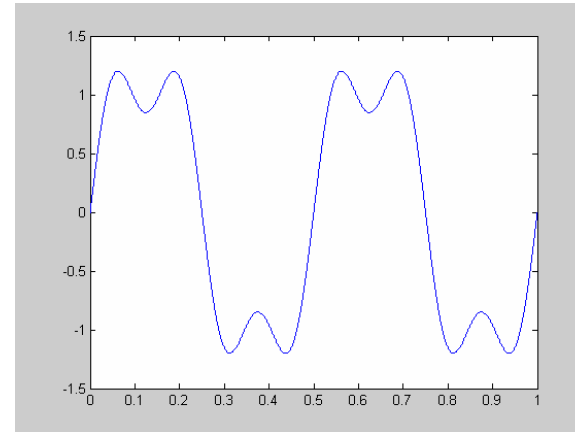
lyd18.wav



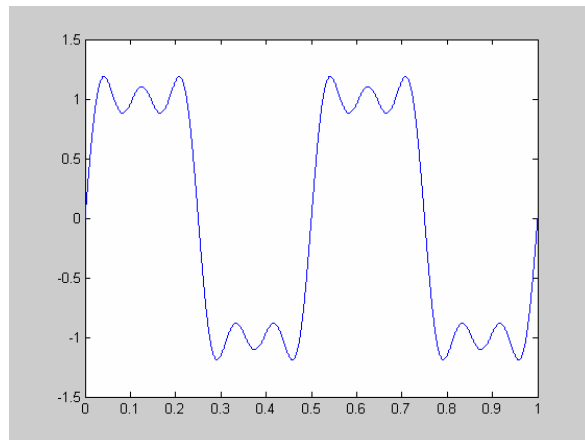
Sum av harmoniske sinus-komponenter



$$4/\pi \sin(2\pi ft), f=2$$

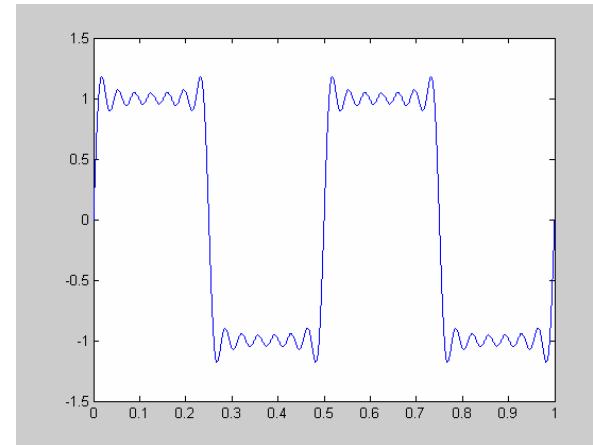


$$4/\pi(\sin(2\pi ft) + 1/3\sin(2\pi 3ft))$$



$$4/\pi(\sin(2\pi ft) + 1/3\sin(2\pi 3ft) + 1/5\sin(2\pi 5ft))$$

Sum av 3 harmoniske sinuser



$$4/\pi(\sin(2\pi ft) + 1/3\sin(2\pi 3ft) + \dots + 1/13\sin(2\pi 13ft))$$

Sum av 7 harmoniske sinuser

Hvordan kan vi se hvilke frekvenser en lyd inneholder?

- ❑ Vi trenger et verktøy for å se hvilke frekvenskomponenter en lyd inneholder.
- ❑ Til dette bruker vi **frekvensspekteret**.
- ❑ Frekvensspekteret er basert på å ta Fourier-transformen til lydsignalet
 - Fourier-transformen dekomponerer lydsignalet i ulike basis sinus- og cosinuskomponenter med ulik frekvens og finner hvor sterkt bidrag hver komponent har.

Generelle lydsignaler

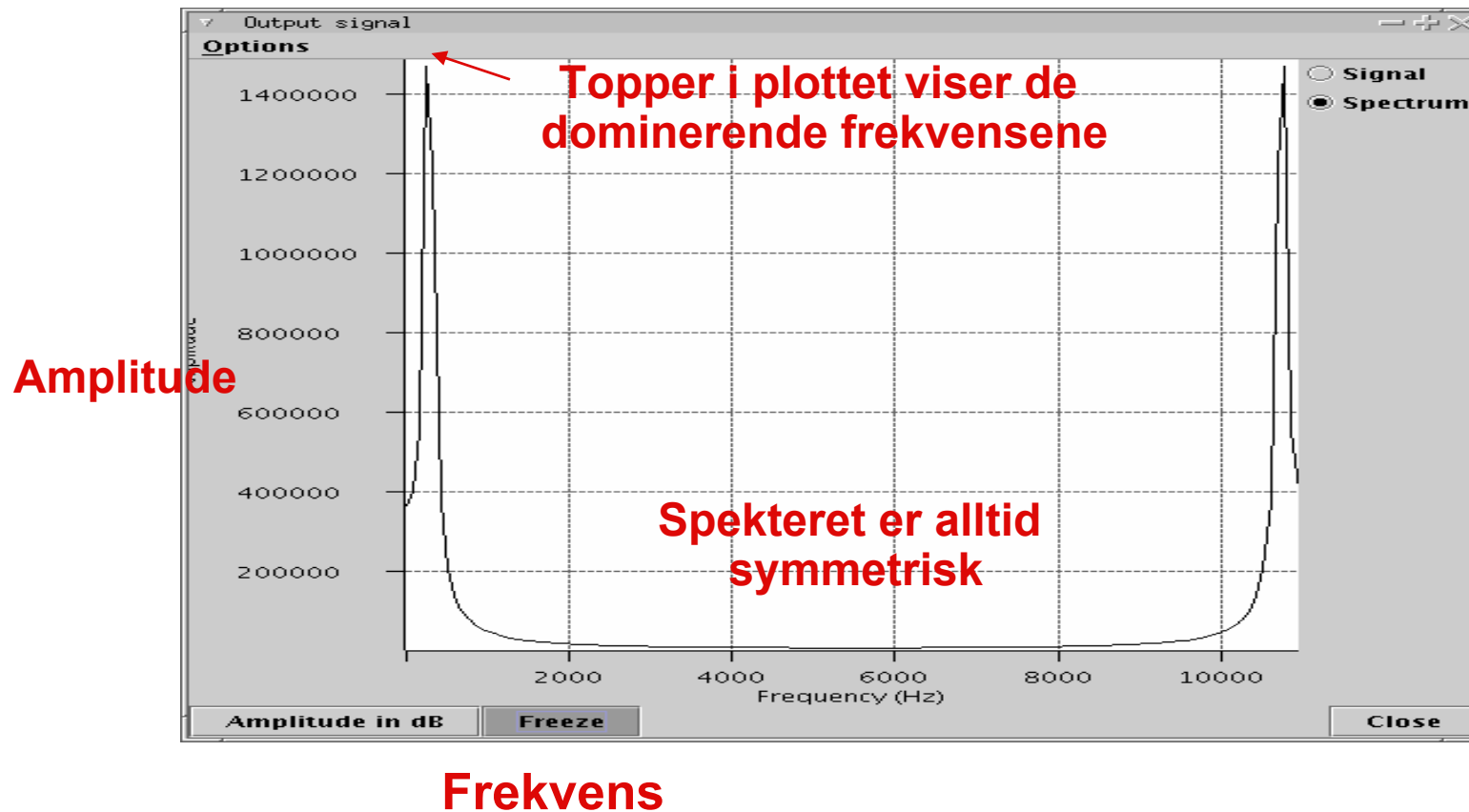
- ❑ Vi kan uttrykke et vilkårlig periodisk signal $y(t)$ som en sum av N sinusoider med hver sin amplitude A , frekvens f og fase ϕ .

- ❑ Vi kan skrive dette som

$$y(t) = A_0 + \sum_{k=1}^N A_k \cos(2\pi f_k t + \phi_k)$$

- ❑ Matematikken er ikke viktig her – det viktige er konseptet!
- ❑ Ved å plote frekvensspekteret til signalet, kan vi se hvilke frekvenser signalet inneholder
- ❑ Du lærer mer om dette i kurs i Digital Signalbehandling
 - Se på <http://www.ifi.uio.no/dsb>

Hvordan ser frekvensspekteret ut?

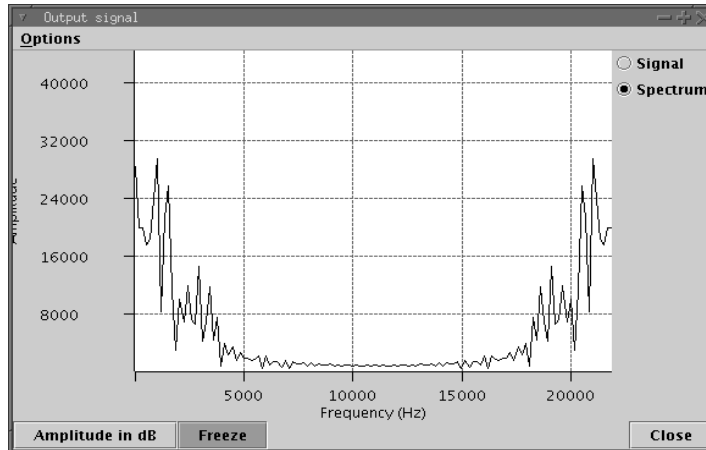


Frekvensspektret til et rent cosinus-signal med frekvens 300 Hz

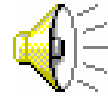
Noen lyder og frekvensspektere



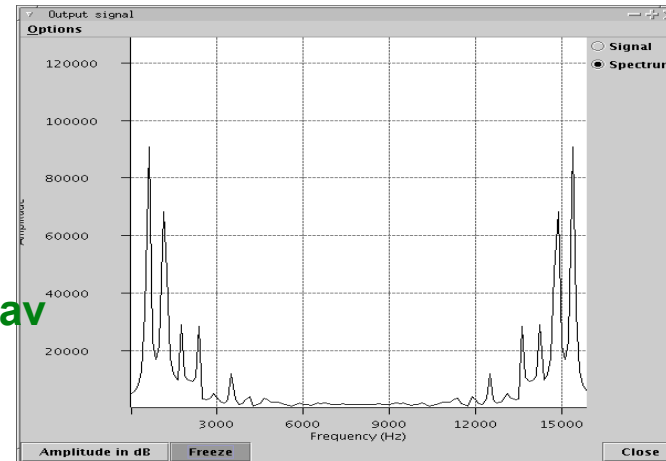
lyd7.wav



Messinginstrument



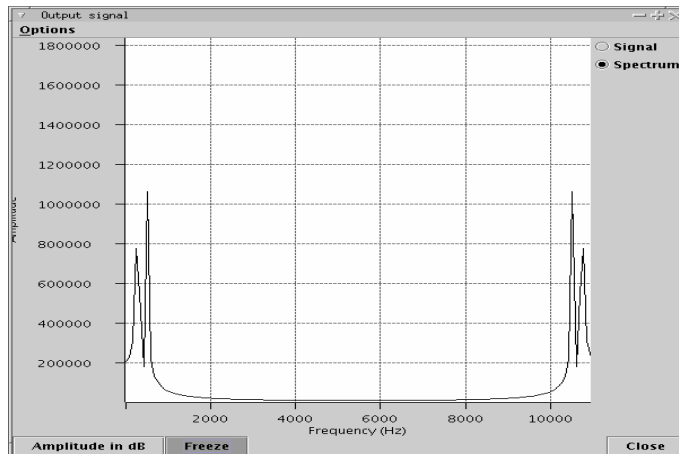
lyd8.wav



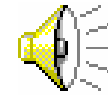
Klarinett



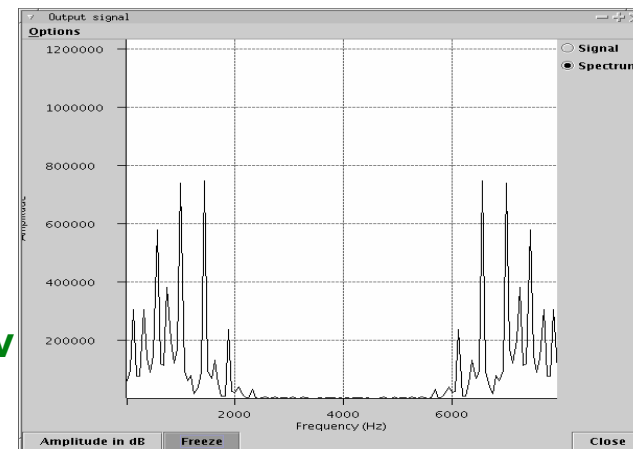
lyd9.wav



$$a_1 \cos(2\pi 300 t) + a_2 \cos(2\pi 500 t)$$



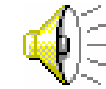
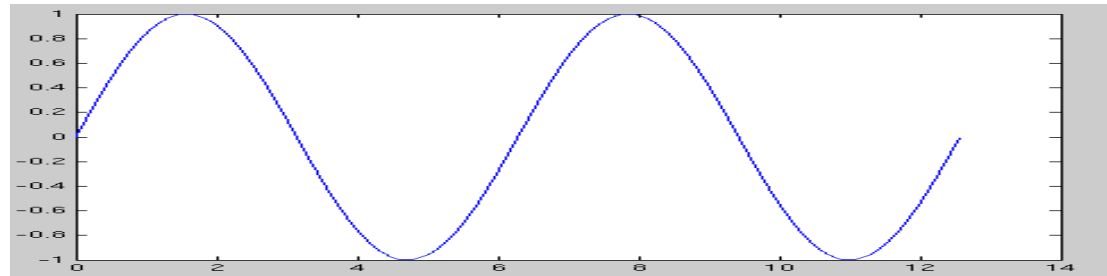
lyd10.wav



Klokke

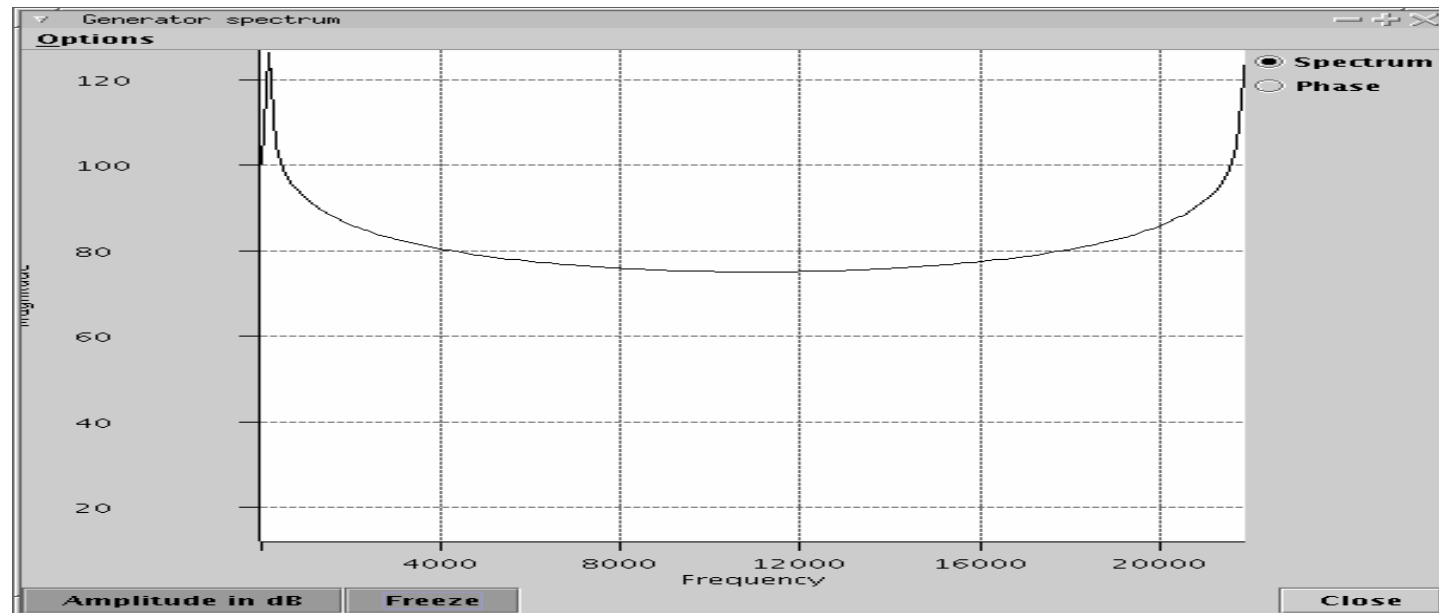
Kan vi bruke andre bølgeformer enn sinus og cosinus?

Sinus



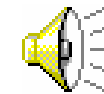
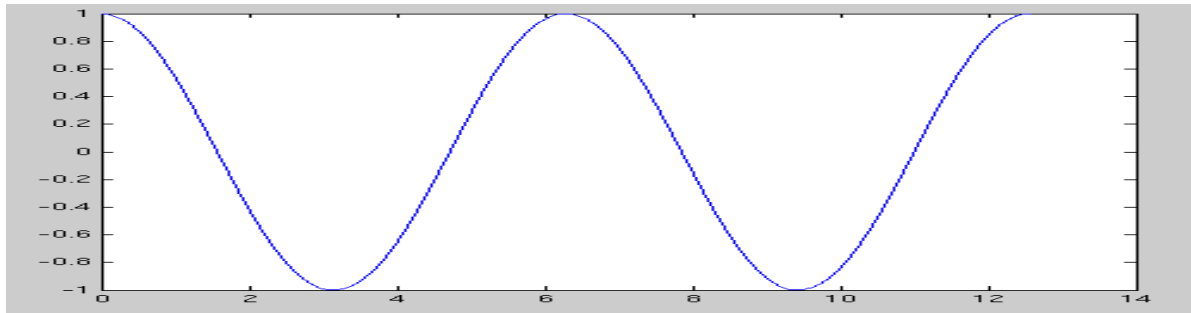
lyd19.wav

Frekvens-
spekteret



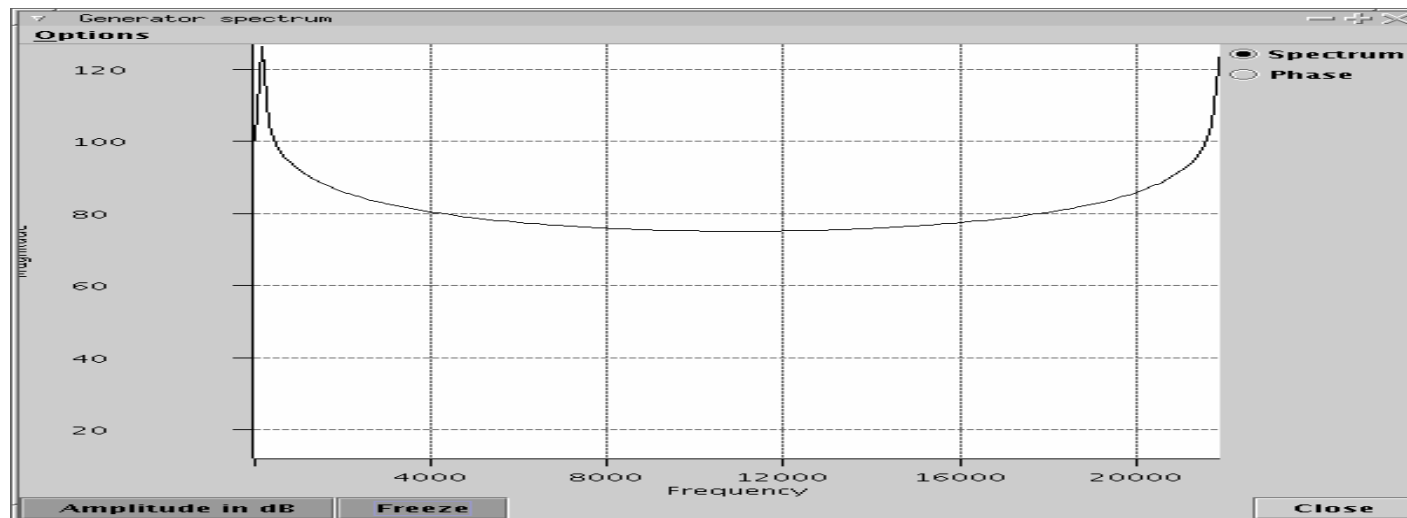
Lyd fra cosinus

cos()



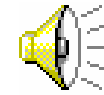
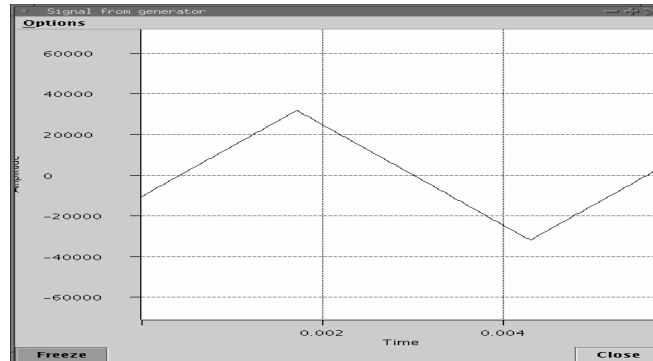
lyd20.wav

Spekteret



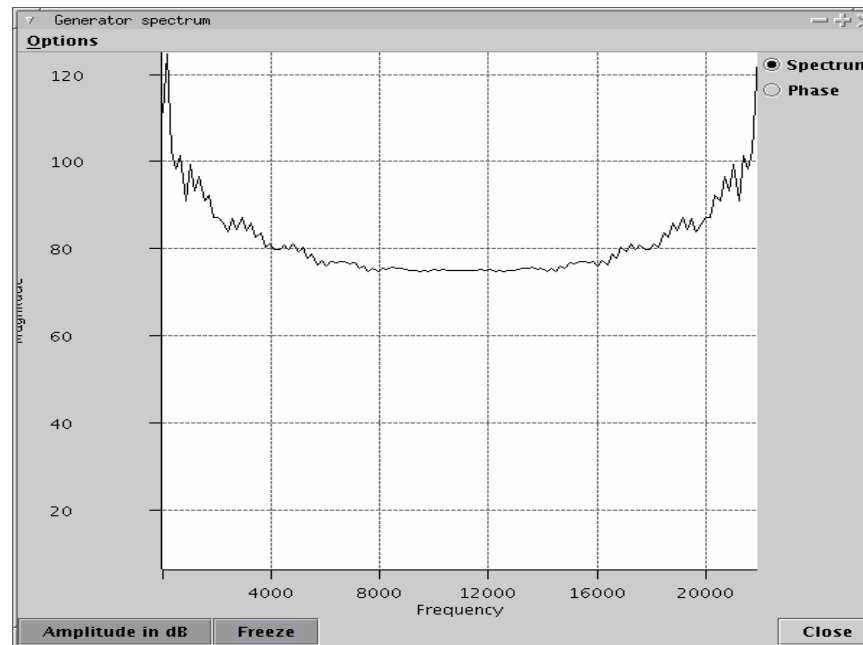
Lyd fra trekantpuls

Trekantpuls



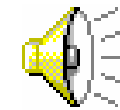
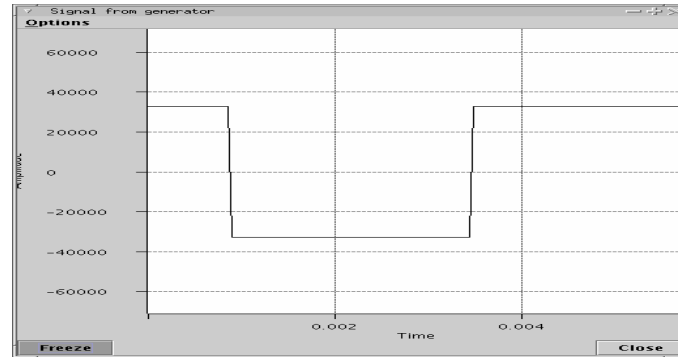
lyd22.wav

Spekteret
til trekantpuls



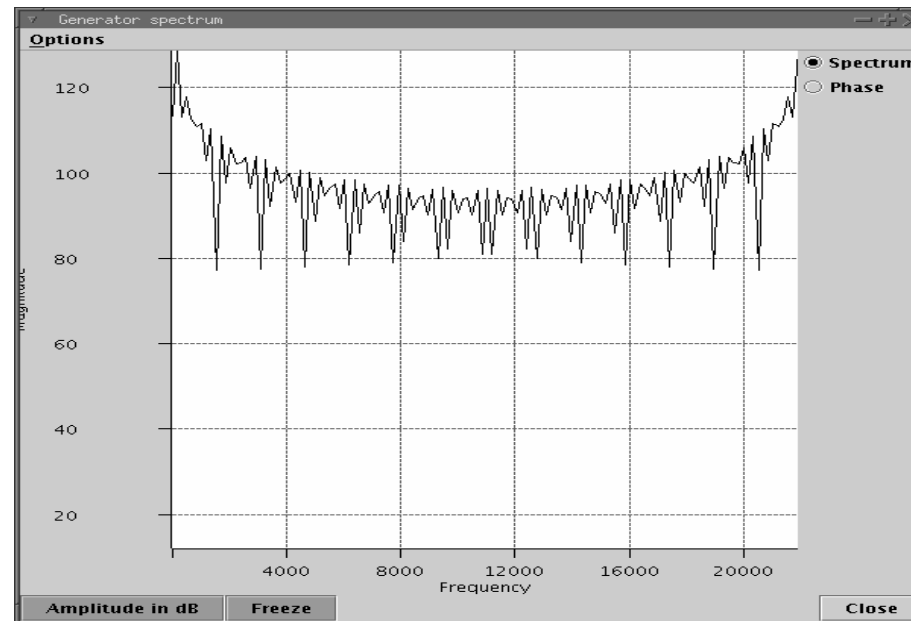
Lyd fra firkantpuls

Firkantpuls



lyd21.wav

Spekteret til
firkantpuls



Andre lyder

- ❑ En kompleks lyd som øret ikke oppfatter som en bestemt tone består av mange ulike frekvenskomponenter, og frekvensene er ikke harmonisk relaterte.
- ❑ En skarp lyd som f.eks. et dunk inneholder mange frekvenskomponenter
 - Vi trenger mange komponenter for å beskrive noe som endrer seg fort, f.eks. lyden av at en gjenstand faller i gulvet.
- ❑ Tale inneholder vanligvis færre frekvenser enn musikk (mindre båndbredde).

Frekvensinnhold og båndbredde

- ❑ Alle ydsignaler inneholder et endelig sett av ulike frekvenser.
- ❑ Begrepet båndbredde beskriver hvor mange frekvenser som finnes.
- ❑ Skal spille signaler opp til 20 000 Hz, må vi ha en båndbredde på 20 kHz.
- ❑ Dette må vi ta hensyn til når vi skal lagre lyd f.eks. på en CD.

- ❑ Ulike lydsignaler inneholder ulike bånd av frekvensspekteret:
 - Musikk setter store krav til båndbredde (20 000 Hz).
 - Tale ligger på max. 3 kHz. Øret mest følsomt mellom 1 og 4 kHz.
 - Dette brukes i telefonoverføringer (max 4 000 Hz).

- ❑ Kutter vi i båndbredden kan det gå ut over kvaliteten.
- ❑ Det mest sentrale er den **maksimal frekvensen** vi ønsker å representere.

Eksempel på ulike båndbredder

lyd30.wav  Odd Børretzen med full CD-kvalitet, frekvenser opp til 44 100 Hz

lyd31.wav  Odd Børretzen - kun frekvenser opp til 22 050 Hz

lyd32.wav  Odd Børretzen - kun frekvenser opp til 11 025 Hz

lyd33.wav  Odd Børretzen - kun frekvenser opp til 8 000 Hz

lyd34.wav  Odd Børretzen - kun frekvenser opp til 4 000 Hz

lyd35.wav  Odd Børretzen - kun frekvenser opp til 1 000 Hz

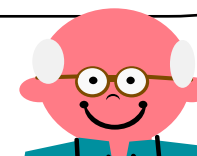
Lydintensitet

- Intensiteten er den mengde energi som passerer gjennom en flate pr tidsenhet, og vi måler dette i W/m^2 .
- Vi kan høre lyder over et stort omfang av intensiteter:
 - fra $I_0 = 10^{-12} W/m^2$, **Høreterskelen** til $10 W/m^2$, **Smerteterskelen**
- Oftest angir vi ikke absolutt lydintensitet i W/m^2
 - Vi angir intensiteten i forhold til høreterskelen I_0
 - Vi bruker en logaritmisk skala, **decibelskalaen**, forkortet dB

$$\beta(dB) = 10 \log_{10} \left(\frac{I}{I_0} \right)$$

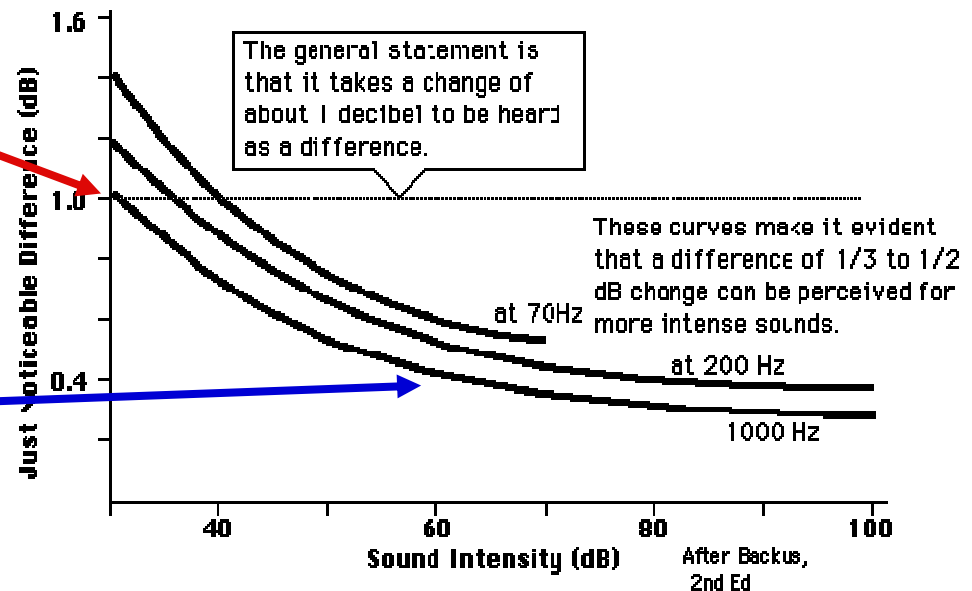
Decibel kommer av enheten bel, oppkalt etter Alexander Graham Bell

- Logaritmen med basis 10 til et tall x , er den potensen vi må opphøye basistallet 10 i for å få tallet x .
- Eksempel1: $\log_{10}(100) = 2$ fordi $100 = 10 \cdot 10 = 10^2$
- Eksempel 2: $\log_{10}(1\ 000\ 000) = 6$ fordi $1\ 000\ 000 = 10^6$



Mer om lydintensitet

- ❑ Decibel måler intensiteten til en lyd i forhold til den svakeste lyden vi kan høre.
- ❑ En økning på 10 dB svarer til at lydintensiteten er økt med en faktor 10.
- ❑ Hvis en lyd har intensitet 40 dB og en annen 60 dB (økning = 20 dB) så har den andre lyden $10^2 = 100$ ganger høyere intensitet.
- ❑ Den minste hørbare endring i lydintensitet er ca 1 dB for en 1 000 Hz tone ved 30 dB.
- ❑ Vi kan høre mindre endringer ved høyere lydintensitet, og ved høyere frekvenser.



Noen eksempler på lydintensitet

Kilde	Intensitet (W/m ²)	Intensitet i dB	#ganger sterkere enn TH
Terskel for hørsel ved 1 kHz (TH)	$1 \cdot 10^{-12}$	0 dB	
Blader som rasler i vinden	$1 \cdot 10^{-11}$	10 dB	10
Hvisking	$1 \cdot 10^{-10}$	20 dB	$100=10^2$
Normal tale	$1 \cdot 10^{-6}$	60 dB	$1\ 000\ 000=10^6$
Rushtrafikk	$1 \cdot 10^{-5}$	70 dB	10^7
Støvsuger	$1 \cdot 10^{-4}$	80 dB	10^8
Symfoniorkester	$1 \cdot 10^{-3}$	98 dB	$10^{9.8}$
Walkman på max., hørselskader over lengre tid	$1 \cdot 10^{-2}$	100 dB	10^{10}
Rockekonsserter (ved scenen)	$1 \cdot 10^{-1}$	110 dB	10^{11}
Smerteterskel	$1 \cdot 10^1$	130 dB	10^{13}
Jagerfly (takeoff)	$1 \cdot 10^2$	140 dB	10^{14}
Trommehinnen sprekker	$1 \cdot 10^4$	160 dB	10^{16}

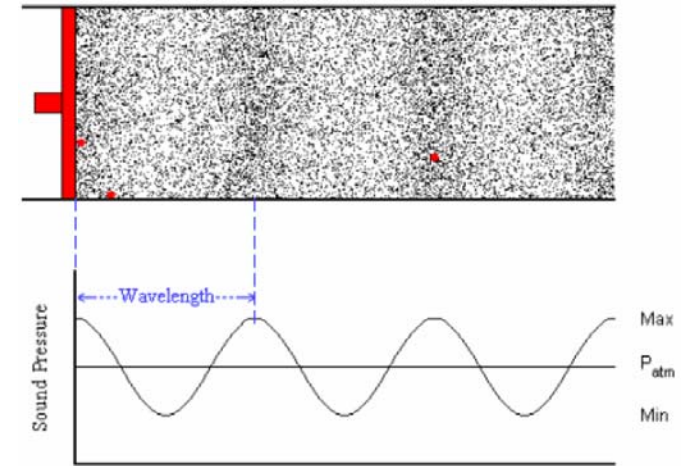
Lydtrykk

- Hørbar lyd er trykkbølger, eller tetthetsbølger.
- Både atmosfæretrykket og trykk-amplitude **P** måles i Pascal ($\text{Pa} = \text{N}/\text{m}^2$).

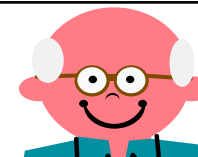
- $1 \text{ atm} = 101,325 \text{ kPa} = 1013,25 \text{ hPa}$ ($1 \text{ hPa} = 1 \text{ millibar}$, brukt i meteorologi)
- Høreterskelen er $P_0 = 2 \times 10^{-5} \text{ Pa}$
- Lydtrykket i dB beregnes fra trykk-amplituden **P** :

$$L_p = 10 \log_{10} \left(\frac{P}{P_0} \right)^2 = 20 \log \left(\frac{P}{P_0} \right)$$

- Faktoren 20 kommer av at 10-er logaritmen til kvadratet av et tall er 2 ganger logaritmen til tallet.

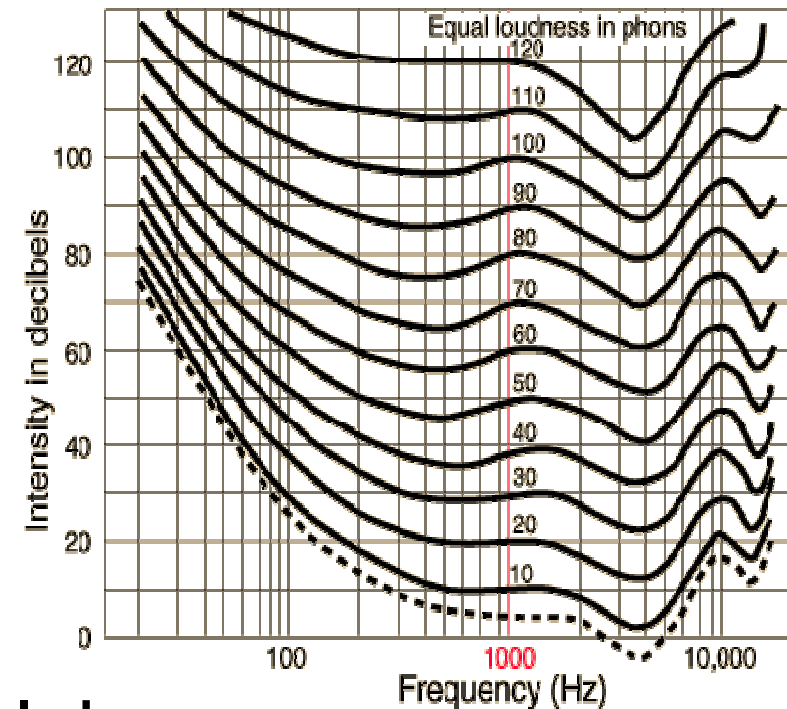


Effekten i en trykkbølge er proporsjonal med kvadratet av trykkamplituden.

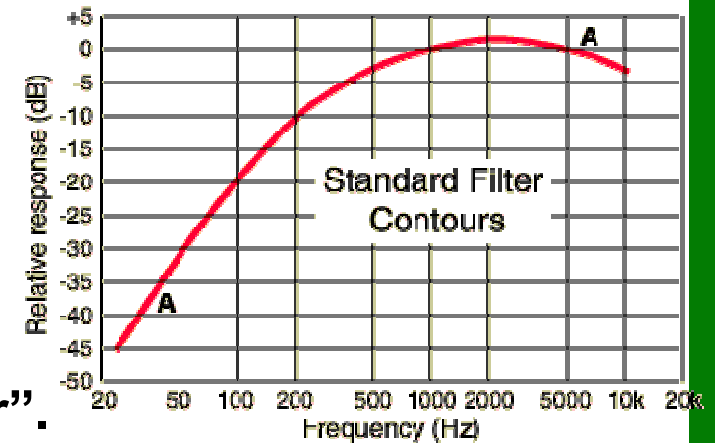


Lydstyrke angitt i “phon”

- ❑ **Subjektiv lydstyrke er ikke det samme som objektiv lydintensitet.**
- ❑ **Vi må ta hensyn til ørets følsomhet for lyd på ulike frekvenser.**
- ❑ **Med 1 000 Hz som referanse kan vi plote**
 - **den intensitet som skal til for at vi skal oppfatte den samme lydstyrke på andre frekvenser.**
- ❑ **Dette er basis for lydstyrke i “phon”.**
 - **Hvis en lyd på en gitt frekvens er like sterk som en 60 dB lyd på 1000 Hz, så har den en styrke på 60 phon.**
- ❑ **Den subjektive lydstyrken doubles for hver 10 phon.**
- ❑ **Øret er mindre følsomt for svake bass-lyder.**
- ❑ **Øret er spesielt følsomt ved 3 000 – 4 000 Hz**



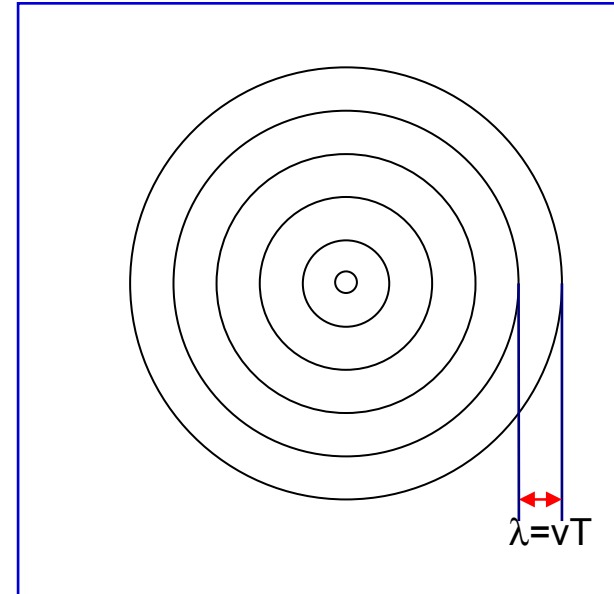
Måling av lyd



- ❑ Måling av lyd gjøres gjerne med et "A-filter".
- ❑ Filteret demper responsen på lave frekvenser.
- ❑ Dette gir en en tilnærming til ørets hørenivå ved 40 dB.
 - Betegnelsen dB indikerer at alle hørbare frekvenser er behandlet likt (ufiltrert)
 - Lydintensiteter angitt i dBA svarer omtrent til lydstyrke angitt i phon.
 - Det finnes et B-filter som tilnærmer en gjennomsnitts hørenivåkurve for middels sterke lyder.
 - C-filteret er en tilnærming til hørekurven for veldig sterke lyder, og brukes for eksempel ved kartlegging av trafikkstøy.

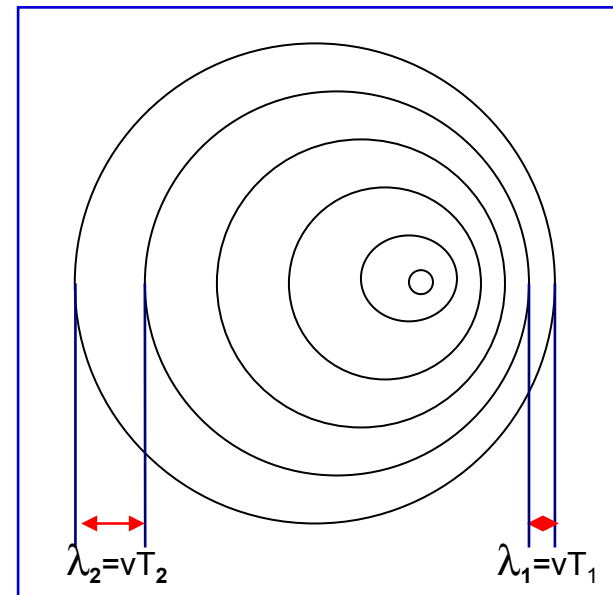
Bølgemønstre fra en lydkilde i ro

- ❑ Antar at lydkilden er i ro.
- ❑ Frekvensen til lydkilden er $f = 1/T$
- ❑ Lydhastigheten i mediet er v
- ❑ Bølgelengden er gitt ved
 - $\lambda = v/f = v T$
 - $\lambda = \text{lydhastighet} \times \text{periode}$
- ❑ Vi tegner en ring for hvert maksimum i trykkamplituden til lydbølgen
 - *Bølgelengden – og dermed også frekvensen til lyden er den samme i alle retninger*



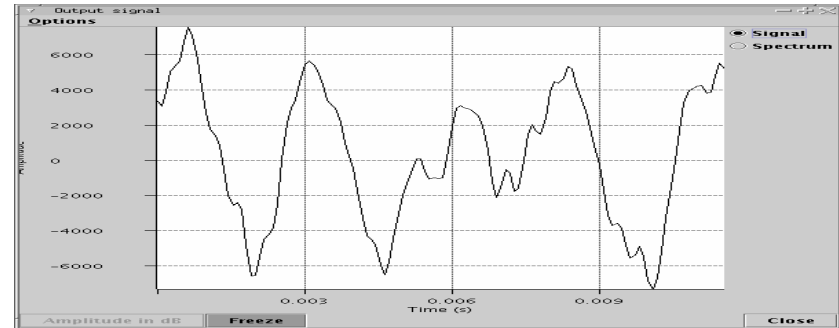
Lydkilde i bevegelse – Doppler-effekt

- ❑ Anta at lydkilden kommer mot deg med en hastighet v_s
- ❑ Frekvensen til lydkilden og lyd hastigheten i mediet er uforandret.
 - I perioden T har en bølge beveget seg en lengde vT
 - Lydkilden har i mellomtiden beveget seg $v_s T$
 - Neste bølge ligger derfor bare $\lambda_1 = (v - v_s) T$ bak
- ❑ Resultat: Du opplever en mindre periode
 - $T_1 = \lambda_1 / v$
- ❑ Dermed hører du en høyere frekvens
 - $f_1 = 1 / T_1 = v / \lambda_1 = f v / (v - v_s)$
 - fordi flere lydbølger passerer per tidsenhet enn om lydkilden hadde stått i ro.
- ❑ *En lydkilde som fjerner seg gir tilsvarende en lyd med lavere frekvens:*
 - $f_2 = \underline{f v / (v + v_s)}$

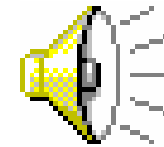


Fra analog til digital lyd

- ❑ Lydbølgene er kontinuerlige (**analoge**) signaler.
- ❑ For å kunne lagre lyd på en CD eller PC, må vi representere signalet **digitalt**.
- ❑ Dette gjøres ved å **sample** det analoge signalet
(plukke ut verdier med bestemte intervaller).
- ❑ Signalets **lydintensitet** på et bestemt tidspunkt må også **kvantiseres** til et endelig antall ulike verdier.



10 ms av et musikkstykke



lyd2.wav

Nye begreper i neste forelesning:

Analog til digital konvertering

Sampling og kvantisering