
ETLYAK

Sound and Acoustics



Indholdsfortegnelse

1	Karakterisering af lyd	5
1.1	Lektion 01-02-2018	5
1.1.1	Lyd i et medium	5
1.1.2	Hørelsen	7
1.1.3	Ohms lov analogi	10
1.1.4	Vægtning	11
1.1.5	Lydens udbredelse	12
1.1.6	Opgaver	14
2	Lydens udbredelse i frit felt	15
3	Måling/opsamling af lyd	17
4	Gengivelse af lyd	19
5	Højtalerdesign	21
6	Lyddæmpning og lyddiffusion	23
7	Lydens opførsel i lukkede rum	25
8	Menneskets opfattelse af lyd	27

Karakterisering af lyd

1.1 Lektion 01-02-2018

1. Lyd i et medium
2. Hørelsen (opfattet lydniveau)
3. Ohms lov analogi
4. Vægtning (filtrering)
5. Lydens udbredelse (afstandsregel)

- **Pensum:**

1. Master Handbook Of Acoustics, ch. 1-3
2. Audio Meetering, sec. 1-6, 11, 13
3. Elektroakustik, TAS, p. 6

- **Opgaver:**

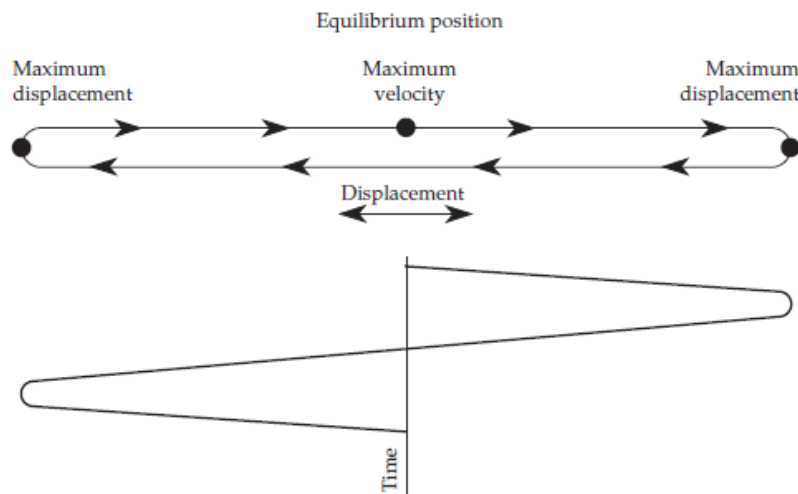
1. Lyd og Akustik - Lektion 1 - opgaver og øvelser

1.1.1 Lyd i et medium

Sound can be viewed as a wave motion in air or other elastic media. In this case, sound is a stimulus. Sound can also be viewed as an excitation of the hearing mechanism that results in the perception of sound. In this case, sound is a sensation.

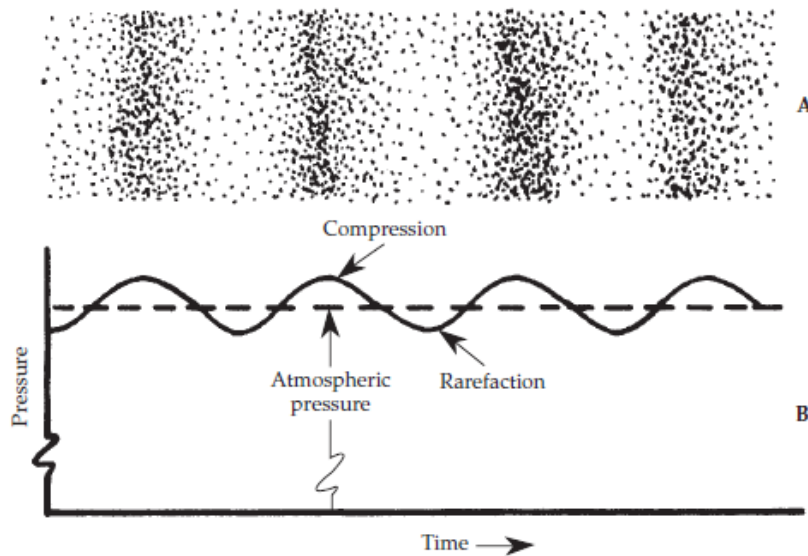
- Lyd er svingning i et medium omkring ligevægt. Uden et medium kan lyd ikke blive udbredt.

- Lyd kan udbredes i medier såsom luft, væsker og materialer af fast form. Lyd kan ikke udbredes i rummet, da mediet her er et vakuum.
- Hvis en luftpartikel bliver forskudt fra dens oprindelige position, vil elastiske kræfter forsøge at tilbagevende luftpartiklen til dens oprindelige position.



Figur 1.1: En luftpartikel der vibrerer rundt om dens medie som er i ligevægt (elastiske kræfter).

- Fluktuationerne i trykket omkring det atmosfæriske tryk er meget små.
 - Normal tale ses som små ripples i det atmosfæriske tryk.
 - Den mindste ændring i trykket et øre kan opfatte er således $20 \mu\text{Pa}$. Dette svarer til et tryk der er 5 millioner gange mindre end det atmosfæriske tryk.
- Lydens hastighed er $c = 344 \text{ m s}^{-1}$
 - Lydens udbredelse (hastighed) afhænger af mediets densitet.
 - * Jo større densitet, jo nemmere er det for partiklerne at overføre energi. Lyd udbredes derfor hurtigere i væsker og materialer i fast form end i luft.
 - Lydens udbredelse afhænger også af temperatur og luftfugtighed.
 - * Jo højere temperatur, jo hurtigere udbredes lyden.
 - * Jo højere luftfugtighed, jo hurtigere udbredes lyden.



Figur 1.2: (A) Variationer af lufttryk komprimerer luftpartiklerne.
(B) Variationerne ligger lige over og lige under det atmosfæriske tryk.

- Bølgelængde og frekvens
 - Frekvens (waveform repetitions per unit of time)

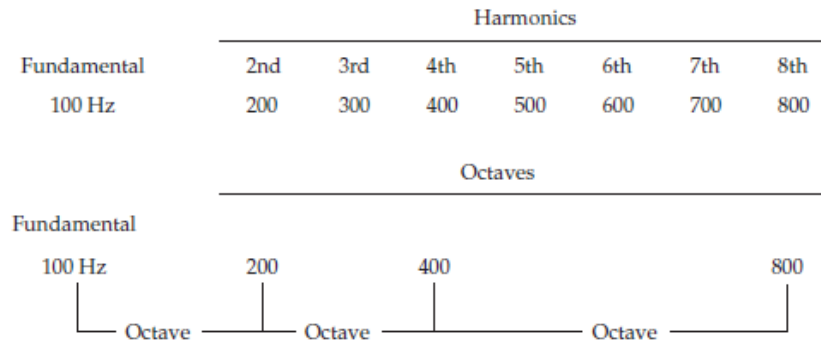
$$f = \frac{c}{T} \quad (1.1)$$

- – Wavelength (to complete one cycle)

$$T = \frac{c}{f} \quad (1.2)$$

1.1.2 Hørelsen

- Tonehøjden (pitch) af en frekvens høres forskelligt af øret.
- Tonehøjden for en **lav frekvens dæmpes** når intensiteten øges mens tonehøjden for en **høj frekvens øges** når intensiteten øges.
- Harmonisk er en lineær skala.
- Oktaver er en logaritmisk skala ofte anvendt i musik fordi den skalerer bedre til ørets opfattelse af lyd.
 - En oktav er defineret ved en 2:1 ratio af to frekvenser.
 - Intervallet fra 100 Hz til 200 Hz opfattes som værende større end intervallet fra 200 Hz til 300 Hz.



Figur 1.3: Sammenligning mellem harmoniske og oktaver.

$$\frac{f_2}{f_1} = 2^n \quad (1.3)$$

f_2 = frequency of the upper edge of the octave interval, Hz

f_1 = frequency of the lower edge of the octave interval, Hz

n = number of octaves

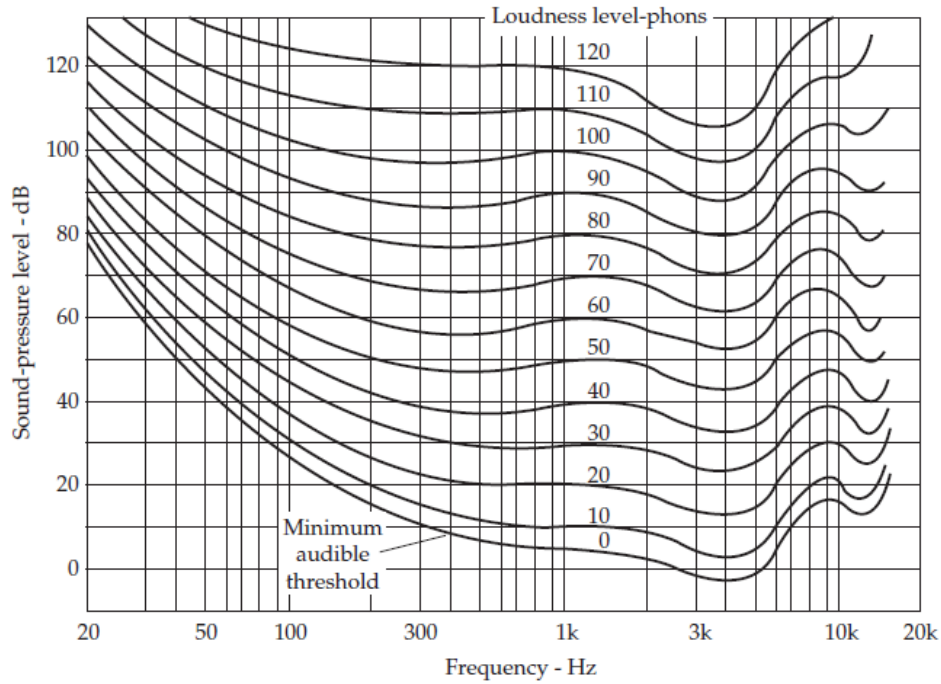
- Scopet af det hørbare spektrum er 20 Hz til 20 kHz.
 - Der er lyde der ikke kan høres af øret. Det er frekvenser der er lavere end det hørbare spektrum (infrasound) og frekvenser der er højere end det hørbare spektrum (ultrasound).
- Intensiteten af lyden I_L kan opgives i decibel [dB] ved at anvende reference $I_{ref} = 20 \mu\text{Pa}$ som er den mindste ændring i trykket et øre kan opfatte.
- Lydeffekten kan ligeledes opgives i dB ved at anvende reference effekt $L_p = 1 \text{ pW} = 10^{-12} \text{ W}$.

$$PW_L = 10 \log_{10} \frac{W}{W_{ref}} \quad (1.4)$$

PW_L = sound-power level, dB

W = sound power, watts

W_{ref} = a reference power, 10^{-12} W



Figur 1.4: Det menneskelige øres opfattelse af subjektivt konstant lydtryk.

- Lydintensitet er svært at måle. Men lydtryk (sound pressure level SP_L) er derimod det nemmeste at måle. Derfor anvendes lydtryk ofte.
 - SP_L er tæt på at være ens med I_L , hvor begge ofte bliver referet til som lydniveauet (sound level).

$$SP_L = 20 \log_{10} \frac{p}{p_{ref}} \quad (1.5)$$

SP_L = sound-pressure level, dB

p = acoustic pressure, μPa or other

p_{ref} = acoustic reference pressure, μPa or other

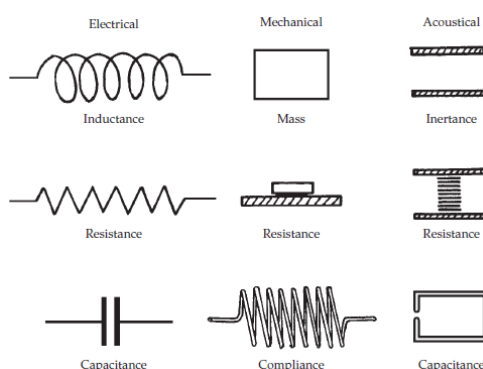
	Equation (1.4)	Equation (1.5)
Parameter	$10 \log_{10} \frac{a_1}{a_2}$	$20 \log_{10} \frac{b_1}{b_2}$
Acoustic		
Intensity	X	
Power	X	
Air particle velocity		X
Pressure		X
Electric		
Power	X	
Current		X
Voltage		X
Distance (From source-SPL; inverse square)		X

Figur 1.5: Om der skal bruges 10 log og 20 log.






- Når effekten fordobles svarer det til en 3 dB forøgelse uanset om effekten fordobles fra 1 W til 2 W eller fra 100 W til 200 W.

1.1.3 Ohms lov analogi

- Et akustisk system som en højttaler kan blive repræsenteret i termer der er ækvivalente med et elektrisk eller mekanisk system.



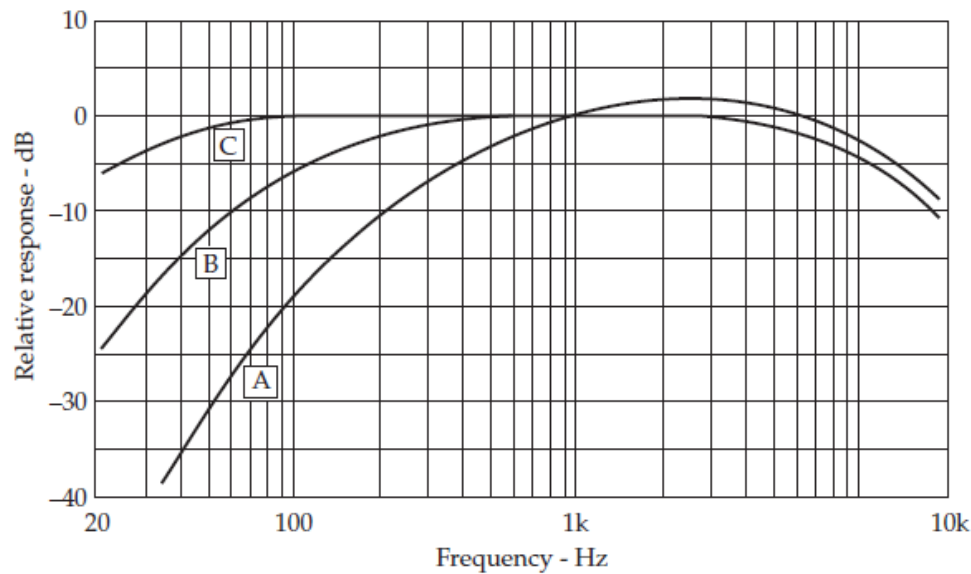
Figur 1.6: De 3 basale elementer af elektriske systemer og deres analogier i mekaniske og akustiske systemer.

System	Variable		Komponenter		
					
Elektrisk	Spænding	Strøm	Kapacitet	Modstand	Selvinduktion
Impedans: $V/A = \Omega$	V	A	$F = As/V$	$\Omega = V/A$	$H = Vs/A$
	$u(t)$	$i(t)$	$u = \frac{1}{C} \int i dt$	$u = R i$	$u = L \frac{di}{dt}$
Mekanisk	Kraft	Hastighed	Fjeder	Modstand	Masse
Impedans: $N/ms^{-1} = kg/s$	N	m/s	m/N	Ns/m	kg
	$F(t)$	$v(t)$	$F = \frac{1}{C} \int v dt$	$F = Rv$	$F = M \frac{dv}{dt}$
Akustisk	Tryk	Vol.hast.	Fjeder	Modstand	Masse
Impedans: $Nm^{-2}/m^3s^{-1} = kg/m^4s$	$Pa = N/m^2$	m^3/s	$1/m^3N$	Ns/m^5	kg/m^4
	$p(t)$	$q(t)$	$p = \frac{1}{C} \int q dt$	$p = Rq$	$p = M \frac{dq}{dt}$
Termisk	Temperatur	Effekt	Kapacitet	Modstand	(Ingen)
Impedans: K/W	K	W	J/K	K/W	(ingen)
	$T(t)$	$P(t)$	$T = \frac{1}{C} \int P dt$	$T = RP$	(ingen)

Figur 1.7: Analogier for komponenter i et elektrisk, mekanisk og akustisk system.

1.1.4 Vægtning

- Ved måling af lydtryk benyttes ikke blot en mikrofon og en forstærker. Hørelsen er kompleks og for at efterligne hjernens opfattelse af et lydniveau benyttes nogle elektriske filtre
- Filtrene A, B og C modificerer frekvensresponsen så den efterligner hørekurven ved lavt, middel og højt lydniveau.
 - A-vejning korrelerer godt til nedslidningen af hørelsen ved kraftige signaler og benyttes derfor ved støjmåling.
 - B-vejning benyttes ikke mere.
 - C-vejning bruges til specifikation af kortvarige spidser for måling af støjens skadevirkning ved klassifikation af en arbejdsplads for påbudt brug af høreværn.



Figur 1.8: A, B, and C weighting response characteristics for sound-level meters.

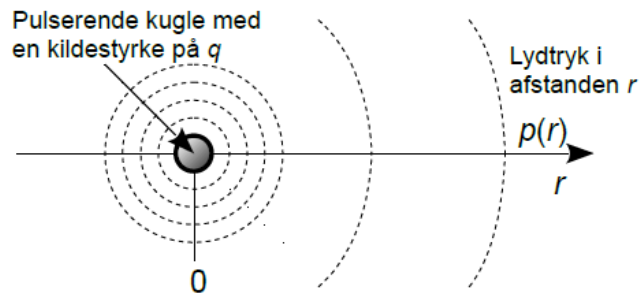
For sound-pressure levels of 20 to 55 dB, use network A.

For sound-pressure levels of 55 to 85 dB, use network B.

For sound-pressure levels of 85 to 140 dB, use network C.

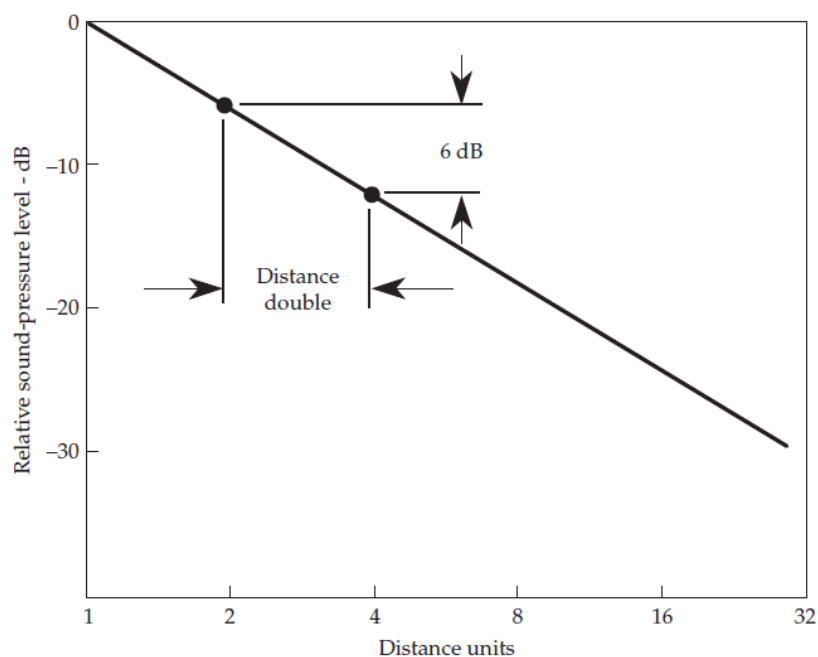
1.1.5 Lydens udbredelse

- Punktløydkilde: Lyden udbredes ligeligt i alle retninger.
 - Lyden fra en punktløydkilde ændrer **ikke** udseende ved stigende afstand.
 - En plan lydbølge er en matematisk abstraktion og følgende tilnærmelser anvendes:
 - * Lydens udbredelse i smalle rør (musikinstrumenter, fjernvarme).
 - * Lydens udbredelse i stor afstand fra lydkilden.
 - * Højtalerens nærfelt.



Figur 1.9: Lyden fra en punktkilde udbredes fra kildens centrum og lydtrykket aftager ved stigende afstand.

- Lydtrykket aftager med stigende afstand idet effekten i den kugleformede bølgefront fordeles over et areal, der vokser kvadratisk med afstanden.
 - Nærfelt: Lydtrykket varierer ikke – plane bølger.
 - Fjernfelt: -6 dB/fordobling – sfæriske bølger.



Figur 1.10: Afstandsregel.

1.1.6 Opgaver

1. Beregn dB værdien af det maksimalt mulige lydtryk.
2. Beregn det A-vægtede lydtryk af 76 dB ved 125 Hz.
3. Et lydtryk reduceres 8 dB, hvor mange gange er det?
4. Hvor meget lydtryk skal der til, for at vi opfatter lyden - ved 63 Hz og ved 2 kHz?

```
1 %% LYAK L1 01-02-2018
2 % 1. Beregn dB værdien af det maksimalt mulige lydtryk.
3 L = 20*log10(10^5/(20*10^-6));
4 disp(['Det maksimalt mulige lydtryk er ', num2str(L), ...
        ' dB'])
5
6 % 2. Beregn det A-vægtede lydtryk af 76 dB ved 125 Hz.
7 f = 125;
8
9 R_A = (12194^2*f^4)/((f^2+20.6^2)* ...
10 sqrt((f^2+107.7^2)*(f^2+737.9^2))*(f^2+12194^2));
11 A = 20*log10(R_A)+2;
12
13 disp(['Det A-vægtede lydtryk af 76 dB (125 Hz) er ', ...
        num2str(76+A), ' dB'])
14
15 % 3. Et lydtryk reduceres 8 dB, hvor mange gange er det?
16 gg = db2mag(8);
17 disp(['Lydtrykket reduceres 8 dB, hvilket svarer til ...
        ', num2str(gg), ' ganges reducereing'])
```

Lydens udbredelse i frit felt

Måling/opsamling af lyd

Gengivelse af lyd

Højtalerdesign

Lyddæmpning og lyddiffusion

Lydens opførsel i lukkede rum

Menneskets opfattelse af lyd
