

MMT205

Lydproduksjon

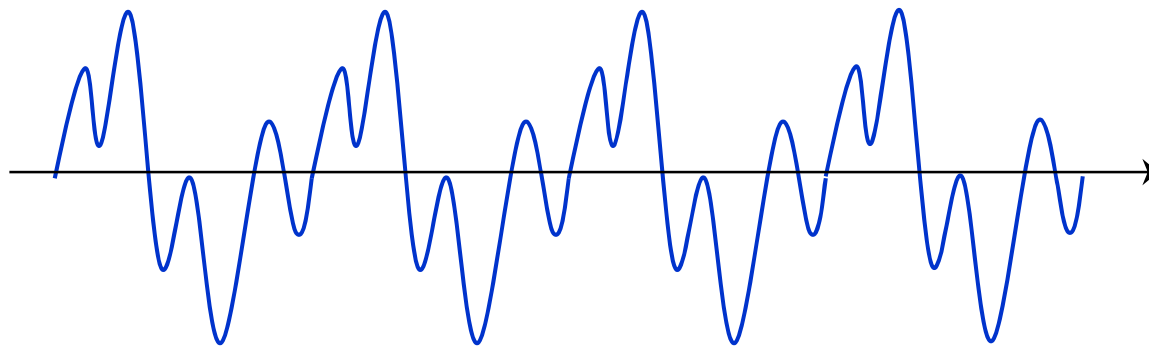
Forelesning 2
Lyd og bølger fortsatt

F2 - Agenda

- Lyd – fysiske karakteristika – parametre
- Spekter og overharmoniske
- Tidsenvelope / tidsforløp

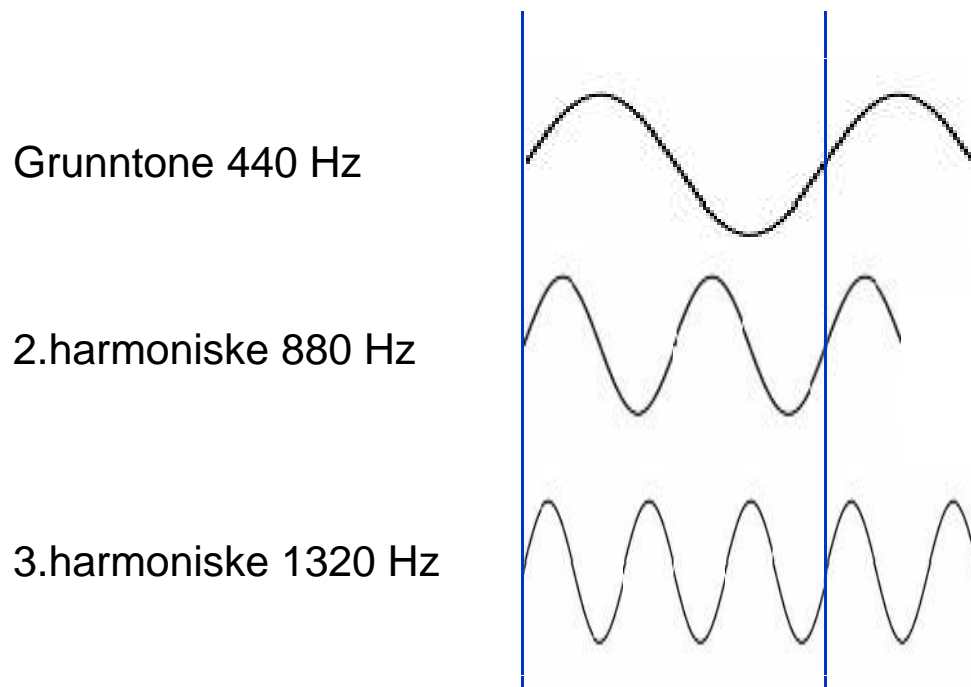
Overtoner og spekter

- Naturlige lyder er sjelden enkle sinusbølger.
- De fleste lyder vi lager og hører, kan sees på som en *sum av mange sinusbølger med ulike frekvenser og amplituder*.
- Kaller bølgeene *grunntone* og *overtoner*
- Resultatet blir en ny bølge med et mer 'kaotisk' innhold av topper og bunner:



Eksempel

- Dersom tilleggstonene (utenom grunntonen) har dobbel, 3 ggr, 4 ggr, osv. frekvens av grunntonen kalles de *harmoniske* overtoner.
- Sammen kaller vi dette for lydens spekter.



Spekter fortsatt...

- Vi finner det samme hos lys: Sollys (som vi oppfatter som hvitt/gult) egentlig består av alle regnbuens farger.
- Med et spesialverktøy (prisme) kan vi skille dem:



Overtoner og spekter fortsatt...

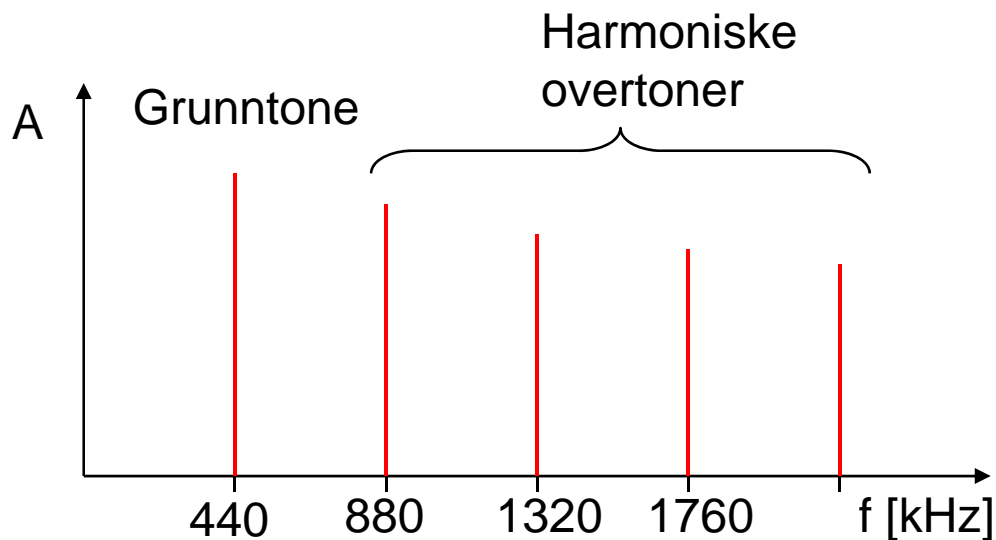
- Det finnes også verktøy for å skille ut 'fargene' eller frekvensene en lydbølge er satt sammen av:
 - Matematikk: Fourier-transformasjon
 - Måleinstrumenter: Spektrumsanalyser etc.
 - Programvare (f.eks. ProTools)
 - Ørene våre!
- Ørene våre er veldig gode til å merke seg 'fargeinnholdet' i lyder. Det er slik vi er i stand til å skille ulike stemmer, instrumenter etc. fra hverandre!!!

Overtoner og spekter

- Eksempel: Vi legger sammen fem sinusbølger;
 1. Frekvens = 1 kHz, amplitude = 10
 2. $f = 2$ kHz, $A = 8$
 3. $f = 3$ kHz, $A = 6$
 4. $f = 4$ kHz, $A = 5$
 5. $f = 5$ kHz, $A = 4,5$

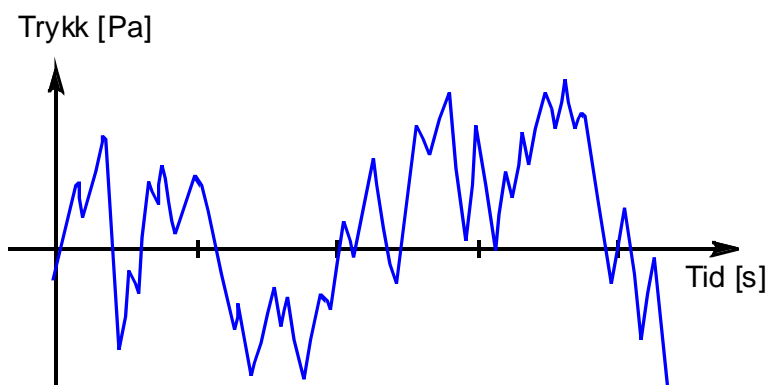
Grafisk framstilt:

En slik figur kalles
frekvensspekteret
til lyden.



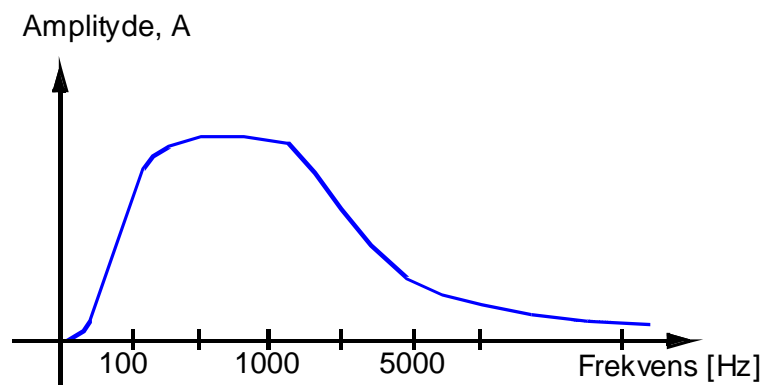
Periodiske og ikke-periodiske lyder

- Lyder hvor vi ikke hører har en bestemt 'tone' er ikke-periodiske:
- Hos disse er spekteret sammenhengende, og det er ingen klar orden i de harmoniske. (Jfr. mp3)



Bølgeform i tid

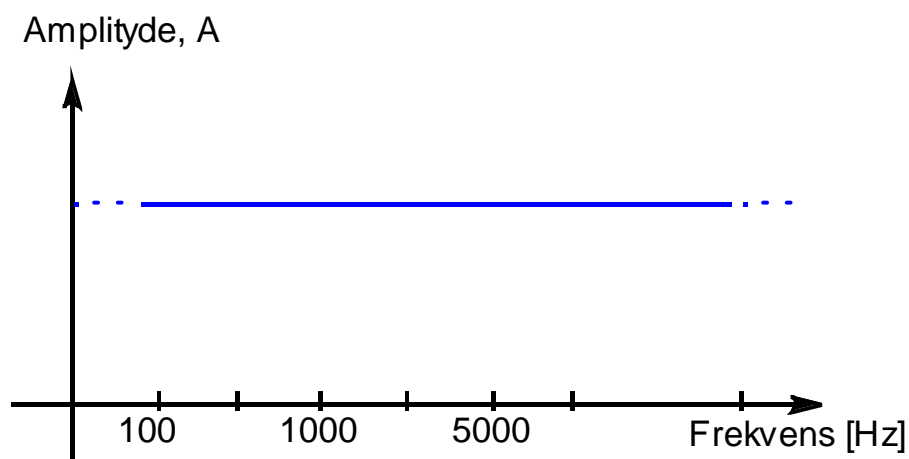
Ikke-periodisk bølge med frekvensspekter



Frekvensspekter

Eksempel på ikke-periodisk lyd:

- Hvit støy:
 - Inneholder alle frekvenser
 - Høres ut som sus, gammeldags TV-lyd



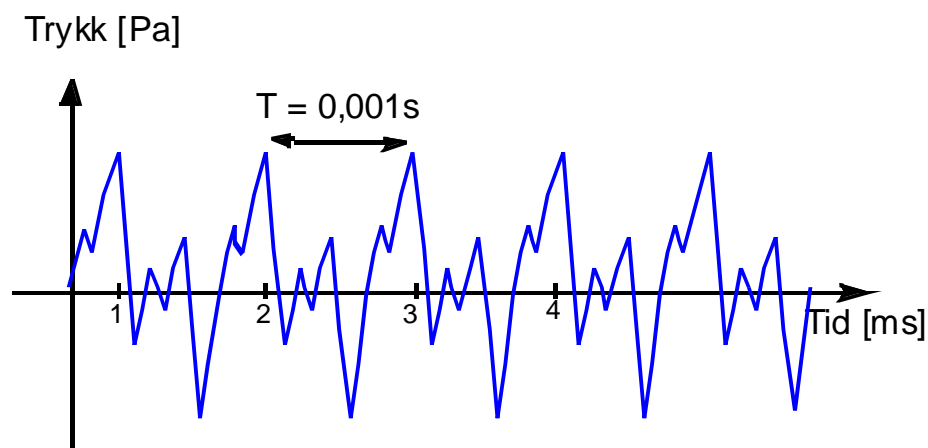
'Hvit støy' (frekvensspekteret)

Lyder 'med tone'

- Lyder med en hørbar pitch, er periodiske, dvs. har et mønster som gjentar seg.
- Hovedmønsteret bestemmer *grunntonen*
- Overtoneene er harmoniske, dvs kommer med faste mellomrom, nærmere bestemt lik grunntonefrekvensen.
- De fleste lyder i musikk-sammenheng er grunnleggende periodiske, men med innslag av ikke-harmoniske frekvenser innimellom.

Eksempel på periodisk lyd

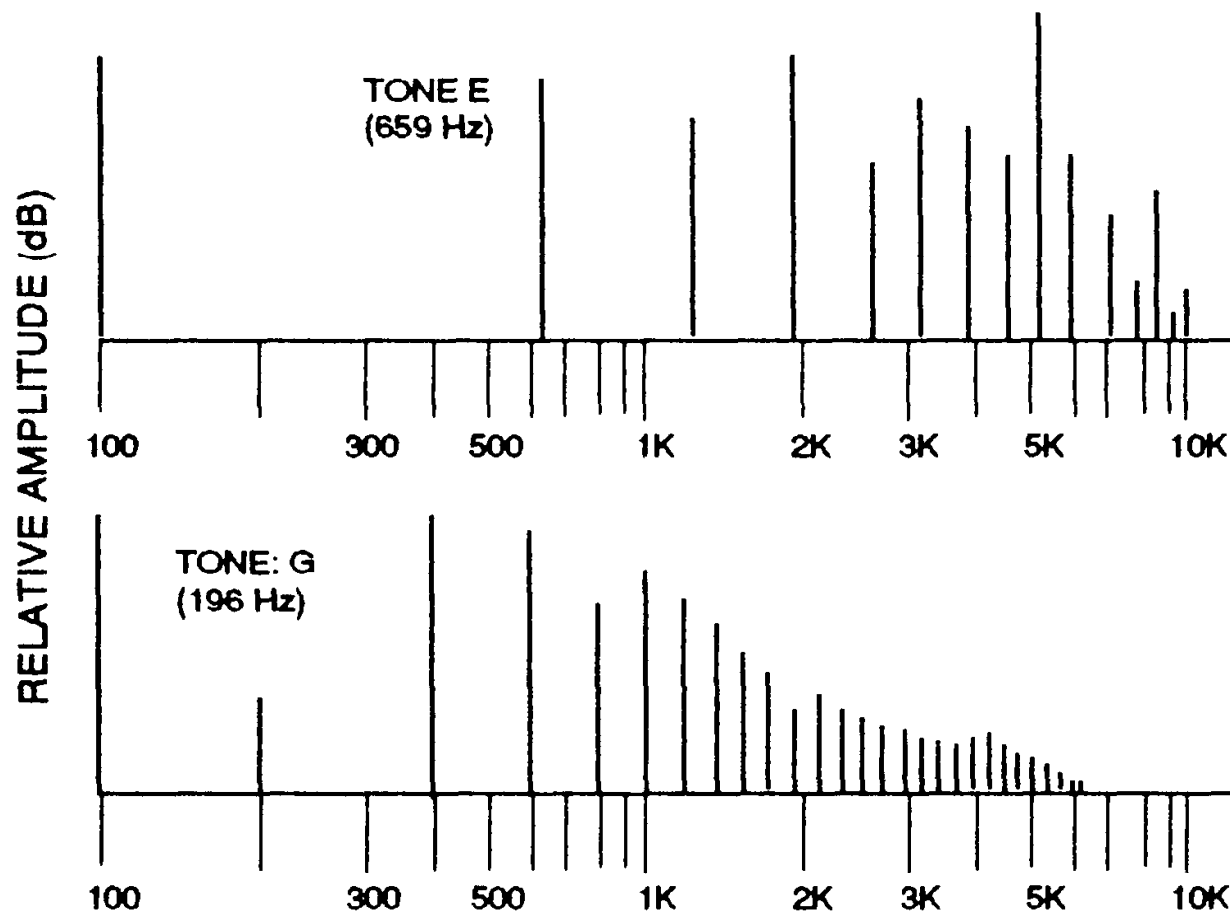
- Perioden?
- Frekvens?
- Spekter?



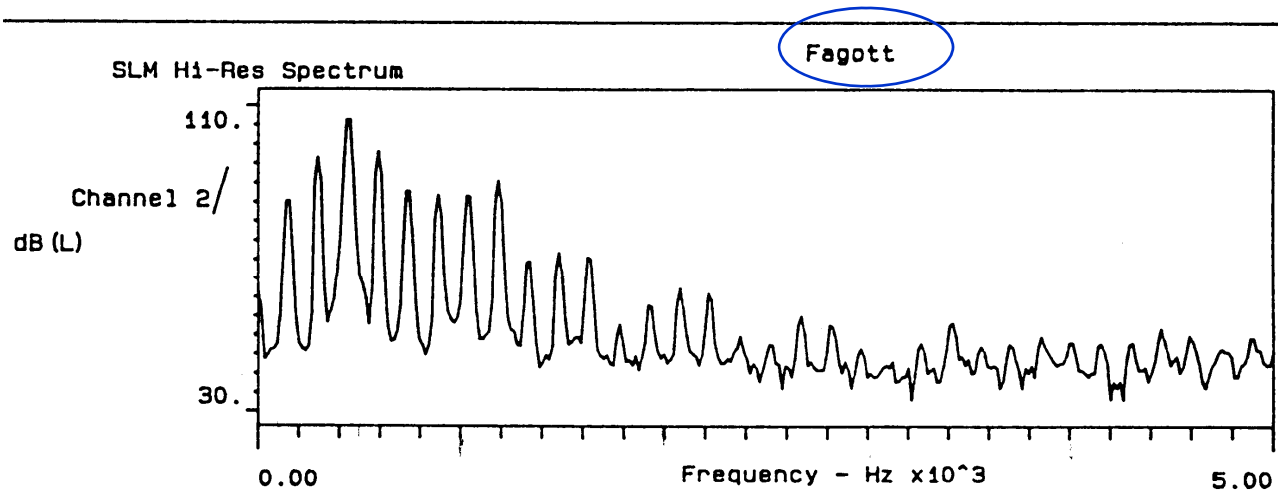
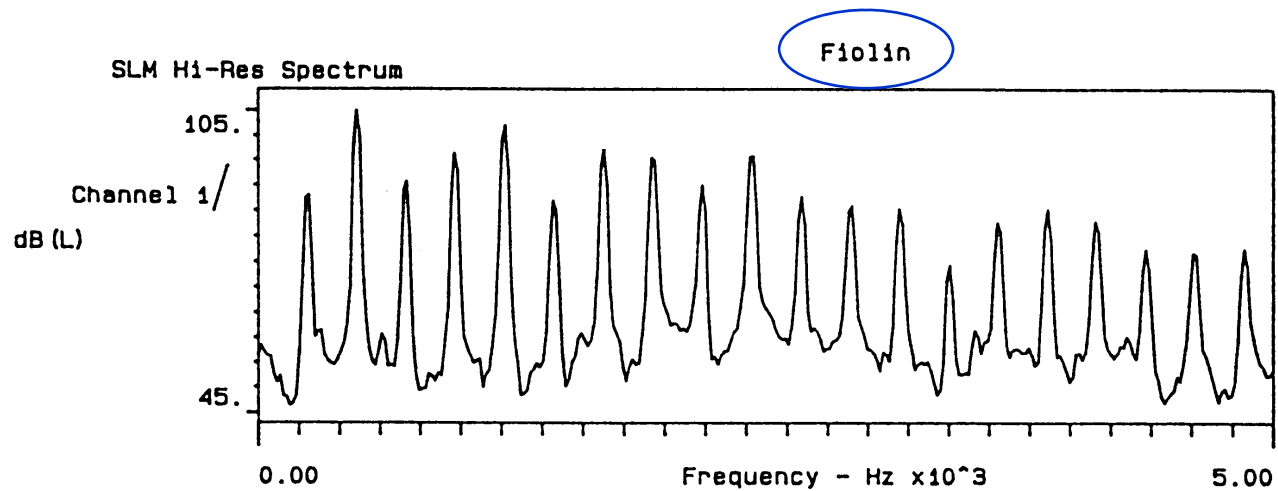
En periodisk bølgeform

Flere spektre...

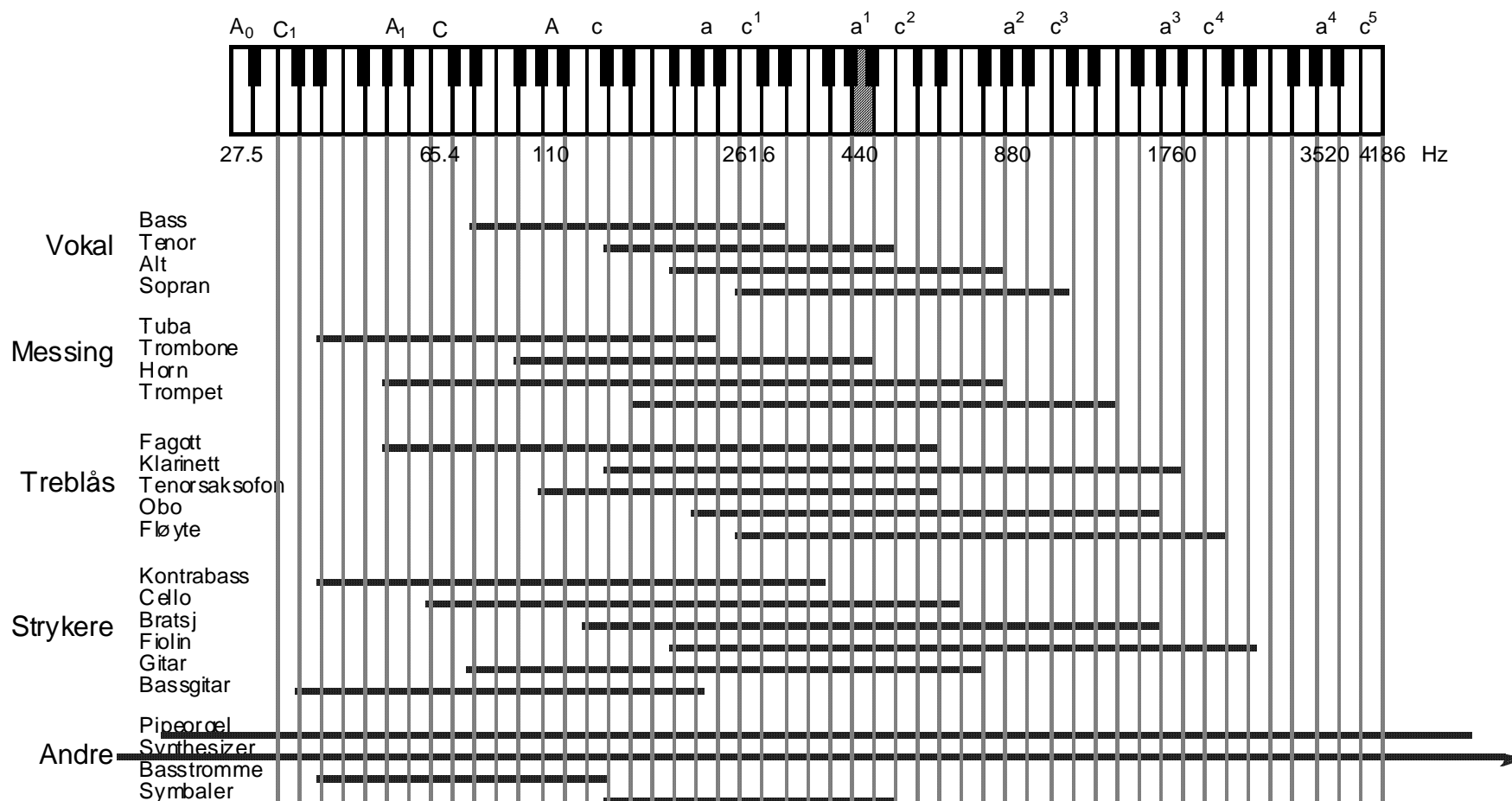
Fiolin, tonene E og G (enstrøkne)



Spektre fortsatt...



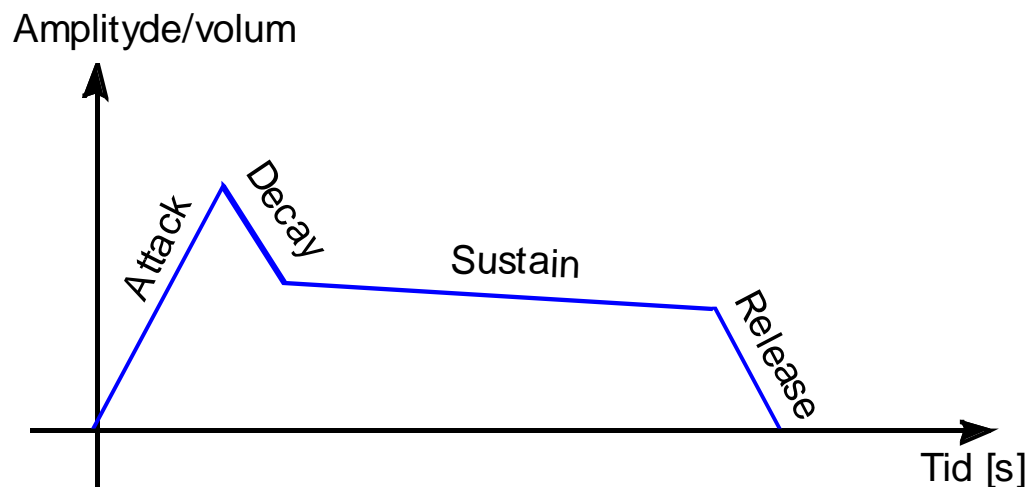
Grunntoner og instrumenter



Grunntonebeliggenhet hos noen vanlige instrumenter og stemmer

Tidsforløp 'envelope'

- Akustisk 'envelope': Tidsforløpet av amplitude og spekter.
- Måten en lydbølge starter, vedvarer og slutter kan variere mye.



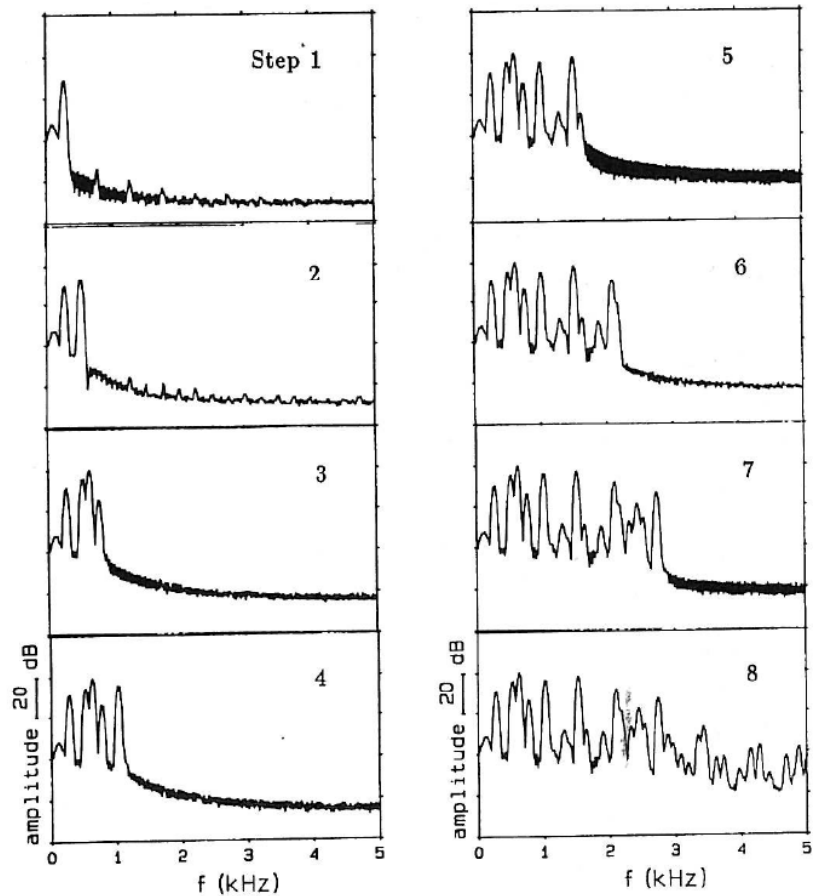
ADSR - kurve

Lydeksempler – spekter vs timbre

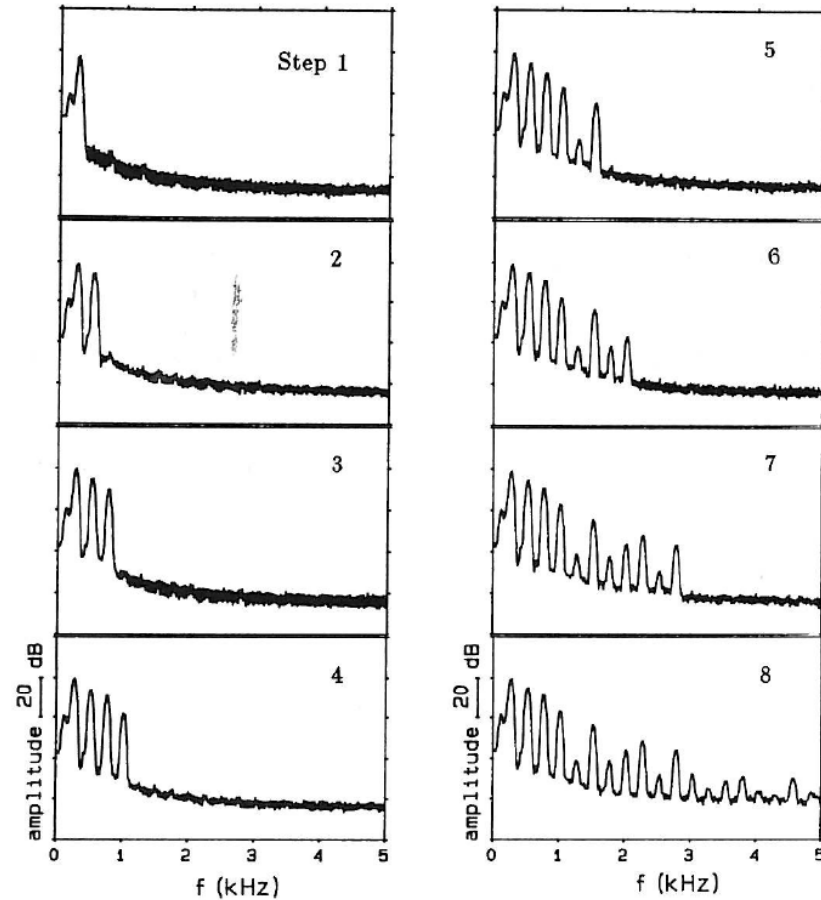


Klokke

Gitar



Bell Tone Spectra



Guitar Tone Spectra

Hva er desibel?

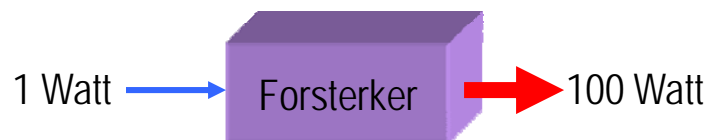
- I dagligtale: Mål på lydstyrke
- Opprinnelse:
 - Etter Alexander Graham Bell (far til telefonen...)
 - desiBel – en tiendedels Bel.
 - Angir egentlig *forholdet mellom to effektstørrelser*.
- Hensikt med bruken:
 - *Forholdstall* ofte mer interessante enn eksakte tall
 - Gjør store tall mindre (forenkling)
 - Passer til ørets karakteristika

Matematikk og desibel

Matematisk definisjon:

$$\text{dB} = 10 \cdot \log\left(\frac{\text{Effekt 2}}{\text{Effekt 1}}\right)$$

Eksempler på forholdstall:



$$\text{Forsterkning} = 10 \cdot \log\left(\frac{100 \text{ W}}{1 \text{ W}}\right) = 20 \text{ dB}$$



$$\text{Forsterkning} = 10 \cdot \log\left(\frac{10 \text{ W}}{0,1 \text{ W}}\right) = 20 \text{ dB}$$



$$\text{Forsterkning} = 10 \cdot \log\left(\frac{5 \text{ W}}{0,05 \text{ W}}\right) = 20 \text{ dB}$$

Store tall blir mindre

Noen eksempler på forholdstall og tilhørende desibeltall:

Tall 1	Tall 2	Forhold	Desibel
1	2	1 : 2	3 dB
1	4	1 : 4	6 dB
0,001	0,01	1 : 10	10 dB
0,000001	0,0001	1 : 100	20 dB
0,001	1	1 : 1000	30 dB
1	1000	1 : 1000	30 dB
0,001	1000	1 : 1000000	60 dB

Reduksjon gir minus

- Dersom noe blir mindre, f.eks. fra 10 til 5 får vi minusfortegn foran desibeltallet:

10	5	10 : 5	'Halvering'	-3 dB
10	1	10 : 1	10-deling	-10 dB
10	0,1	10 : 0,1	100-deling	-20 dB

Foreløpig oppsummering

- Desibel angir ofte hvor mye noe øker eller minker.
- I lyd-teknologi-sammenhenger øker/minker ting ofte med STORE tall. Dette blir mer praktisk med dB.
- Forsterkning (dvs. økning): Positiv dB, f.eks. 100 dB.
- Demping (dvs. reduksjon): Negativ dB, f.eks. – 3 dB

Desibel som eksakt mål

- Dersom vi er enige om en fast referanse, kan dB være et absolutt mål på noe.

- Eks 1:

Referanse: $P_0 = 1 \text{ mW}$

Da er 20 dBm 20 desibel sterkere enn 1 mW, dvs. 100 mW.

Dette brukes ofte i lydutstyr som forsterkere, mikserer etc.

Viktig å skrive dBm, slik at vi vet hva som er referansen.

- Eks 2:

Referanse: Lydtrykk, $p_0 = 2 \text{ mikroPascal (0,000002)}$

Da er 20 dB SPL 20 desibel sterkere enn 2 mikroPascal.

Dette er den vanlige desibelbruken om lydstyrke!

(SPL = Sound Pressure Level, dvs. lydtrykksnivå)

Lydtrykksnivå i dB_{SPL}

Situasjon	dB _{SPL}
0,45 Colt pistol, ca 8 meter unna	140
Smerteterskel	125
Studiomonitorer	110
Høy, akustisk klassisk musikk	95
Tung gatetrafiikk, 2 meter unna	90
Inne i flykabin i marsjfart	80
Vanlig samtale, 1 meters avstand	60
Vanlig forstadsleilighet i by, kveldstid	50
Lav hvisking, 1 meters avstand	25
Fallende bjørkeløv	15
Ekkofritt rom	10
Høreterskel (lite barn)	0

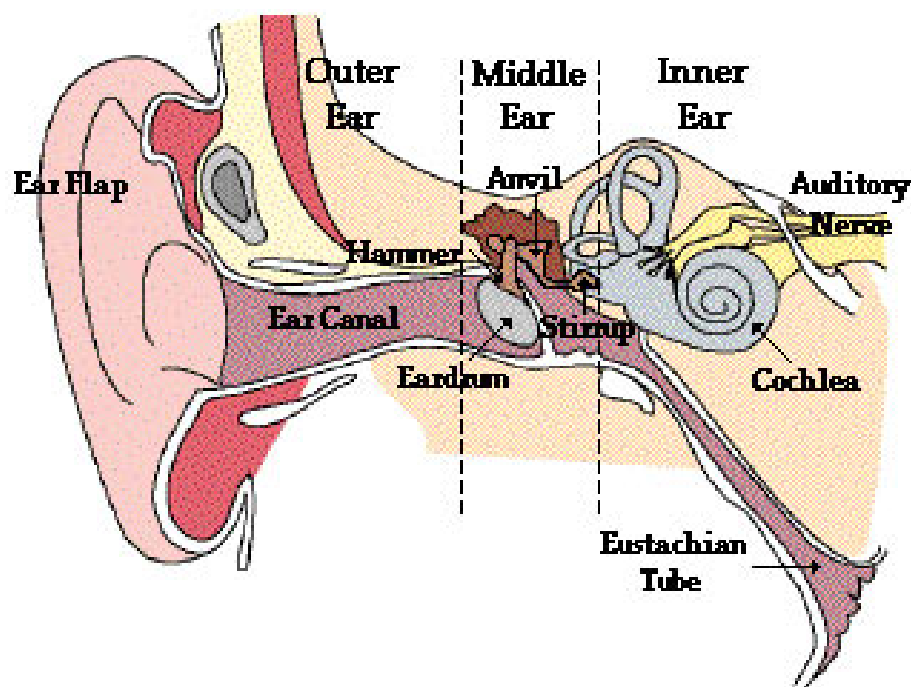
Oppsummering om desibel (foreløpig)...

- dBm er gjeldende enhet på det meste av lydutstyr, dvs. viktig!
- Dersom en øker signalet med 1 dBm på mikseren, øker det også med 1 dB_{SPL} ut av høytalerne.
- En 1 dBm økning er knapt hørbart for de fleste ører.
- En 3 dBm signaløkning betyr å doble signalstyrken, men oppfattes på langt nær som en dobling av lydstyrken!
- En -3 dBm demping halverer signalstyrken(, men høres ikke slik ut).
- En økning av lydstyrken på +10dB oppleves som dobling av lydstyrken (subjektivt!),
- I en kjede med flere ledd (forsterkere, effektbokser etc) kan en summere dB-tallene for hvert ledd og slik få den totale signalpåvirkningen av kjeden.

Hørsel (del I)

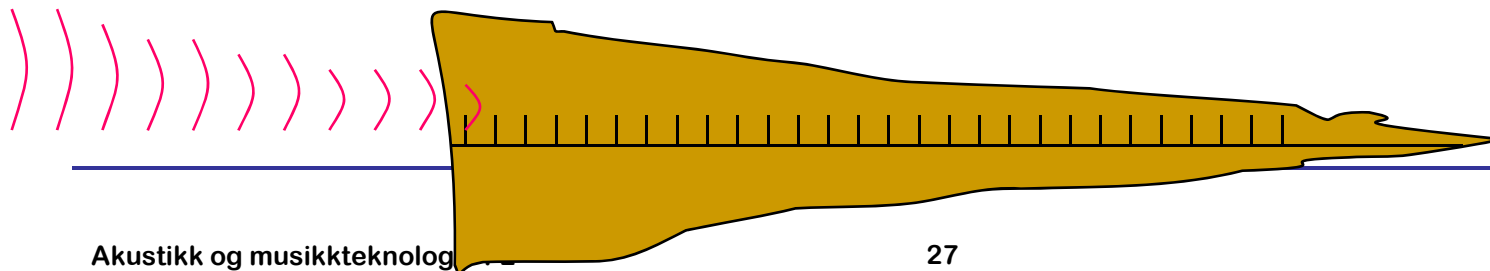
- De viktigste egenskaper ved vår hørsel:
 - **Hørestyrke** (loudness)
 - **Tonehøyde** (pitch)
 - **Klangfarge** (timbre)
 - **Lokalisering** (localization)
- Det finnes også flere egenskaper/mekanismer ved hørselen, men disse er de mest sentrale.
- Disse størrelsene er alle opplevde, subjektive størrelser.

- Viktige deler i øret:
 - Ørebrusken (pinna)
 - Ørekanalen
 - Trommehinna
 - Hammeren, ambolten og stigbøylene (småbein)
 - Sneglehuset (Cochlea)



Ørets funksjon veldig forenklet...

- Trommehinna settes i bevegelse av trykkforandringene i lufta.
- Trommehinna setter tre små bein i bevegelse: Hammeren, ambolten og stigbøylen. Disse forsterker vibrasjonene i trommehinna.
- Stigbøylen trykker mot ny hinne i det ovale vindu, og vi setter veske i bevegelse.
- Veska går inn i sneglehuset (cochlea), hvor små hårceller påvirkes til å sende elektriske signaler til hjernen via hørselsnerven.
- Hvis vi ruller ut sneglehuset blir det ca slik:
- De ytterste hårene fanger de høyeste frekvensene og v.v.



Fakta om hørsel

- Øret kan fange opp trykkendringer fra $2 \mu\text{Pa}$ til 20 Pa . (1 atm trykk, dvs. det vanlige lufttrykket rundt oss er 101325 Pa .)
- Tilsvarende: $0 \text{ dB}_{\text{SPL}}$ – $140 \text{ dB}_{\text{SPL}}$
- Frekvensområde: 20 Hz – 20000 Hz (men ulineært)
- Sterke lyder gir harmonisk forvrengning: Eks: 1 kHz tone vil oppfattes til å være 1 kHz , pluss 2 kHz , 3 kHz osv.
- Ulike frekvenser oppfattes som å ha ulik hørestyrke.
 - 1 kHz regnes som referanse
 - Basslyder og diskantlyder oppleves subjektivt som svakere.

Persepsjon vs. fysiske størrelser (del I)

- Hvordan henger vår oppfattelse av lyd sammen med fysiske egenskaper ved lyden?

Persepsjon

Tonehøyde, pitch

Klangfarge, timbre

Hørestyrke, loudness

Fysiske egenskaper

Grunntonefrekvens

Overtoneinnhold/spekter (++)

Amplitude

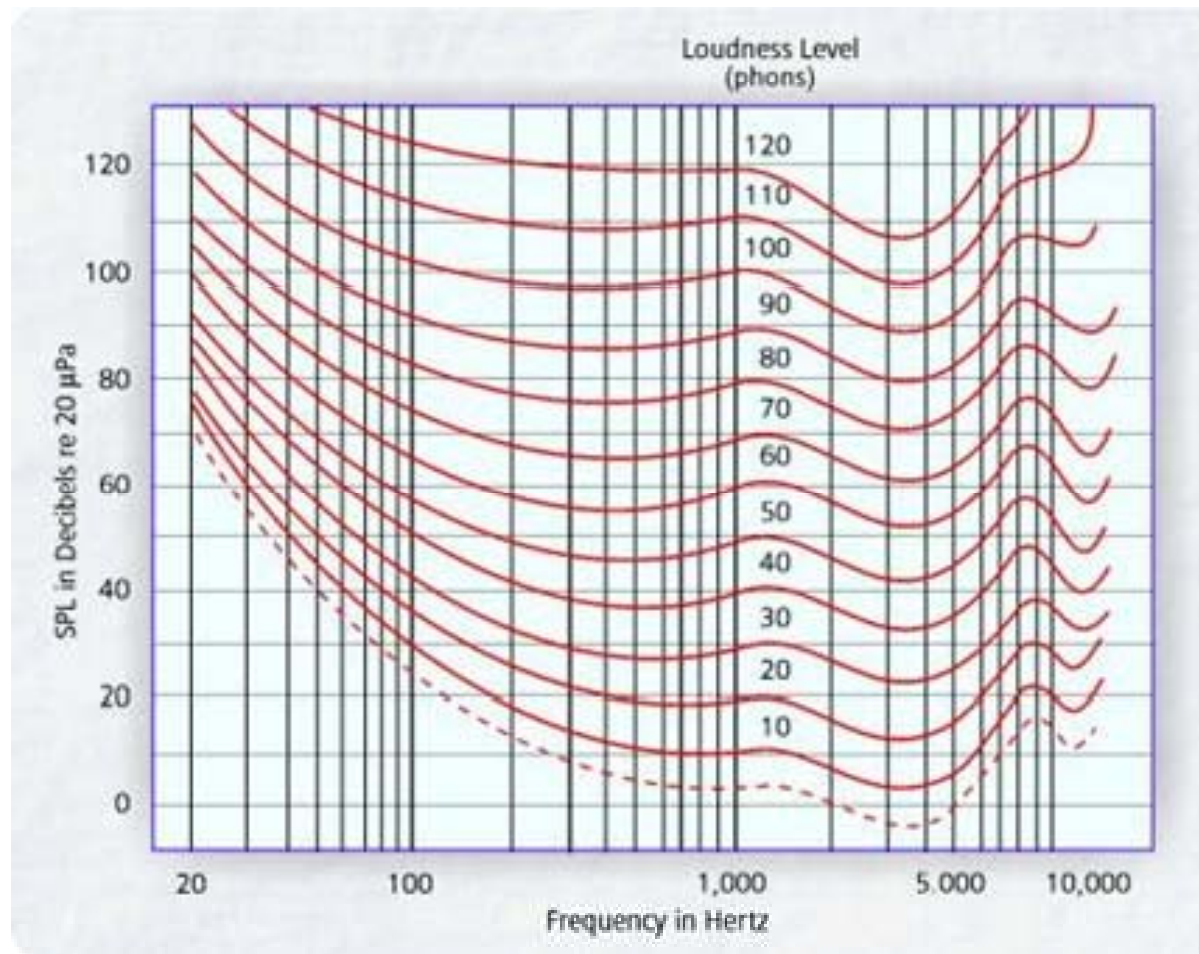
- Andre oppfattede egenskaper ved lyd som vi berører litt senere:
 - Svevetoner (beats), kombinasjonstoner, maskering.
 - Lokalisering , dybde, oppfattelse av romlighet etc.

Tonehøyde (pitch)

- Den opplevde tonehøyde (pitch) bestemmes primært av ørets oppfattelse av periodisitet i lyden.
- Øret/hjernen kan også lage virtuell grunntone ut fra differansen mellom overtonene.
- Vi skiller ikke bedre enn mellom 3.6 Hz ved lave frekvenser og ikke bedre enn 0.7% ved høyere frekvenser.
- Ved stemming av instrumenter bruker vi svevetoner for å oppnå bedre nøyaktighet (0.1 %).
- Stor endring i styrken gir endring i oppfattet pitch (eks):
 - 100Hz tone: 40 til 100 dBSPL oppleves som senket med 10%
 - 500Hz tone: 40 til 100 dBSPL oppleves som senket med 2 %

Hørestyrke/loudness

- Hørestyrken er en subjektiv størrelse og meget frekvensavhengig:



Likelydskurven - forklaring

- Kurven leses slik:
 - Sinustoner på 1000 Hz oppfattes med samme antall phon som angitt dB-nivå midt i kurven.
 - Ved å følge passende kurve til høyre eller venstre ser vi hvor mye høyere (eller lavere) en annen frekvens må være for at den skal oppfattes like sterk som 1kHz-tonen.
 - Eks: En tone på 100 Hz må ha et lydstyrkenivå på 60 dBspl for å høres like sterk ut som en tone på 1000 Hz med styrke 50 dBspl, dvs 10 dB forskjell.

Hørestyrke (II)

- Ved å studere likelydskurvene kan en finne flere viktige opplysninger:
- Ved høye lydstyrker (f.eks. 110 dB_{SPL}) må dype basstoner (< 100 Hz og lyse diskantlyder (>8 kHz) heves *noe* for å lyde like sterkt som en 1 kHz-tone. Toner rundt 3 – 5 kHz vil høres mye sterkere ut enn øvrige frekvenser.
- Ved lave lydstyrker (f.eks. 50 dB_{SPL}) må bass og diskant heves mye (+ 30 dB eller mer) for å høres like sterke som en 1kHz-tone. (Derav loudness-knappen på mange stereoanlegg.)
- Optimalt lyttenivå (f.eks. i studiomonitorer) for riktig frekvensbalanse er ca 85 dB_{SPL}.


Klangfarge (timbre)


- Bestemmes av overtoneinnholdet.
- Svært viktig i forståelse av tale (formanter)
- Viktig i musikk for å skille instrumenter fra hverandre, gjenkjenning.
- Tidsvariasjon i overtoneinnholdet gir ytterligere særpreg hos den enkelte lyd.


Svevning og kombinasjonstoner


- Svevning (beats) oppstår når to toner med nesten samme frekvens spilles samtidig med ca samme amplitude. Opplevs som vibrerende/svevende fenomen i tillegg til tonene. Brukes til stemming av instrumenter.

- Eksempler:

440 Hz 
440 Hz

440 Hz 
441 Hz

440 Hz 
445 Hz

440 Hz 
450 Hz

- Kombinasjonstoner kan oppstå som sum/differanse av toner med mer enn 50 Hz forskjell i frekvens.
 - Eks: En 2000 Hz- og en 2500Hz-tone kan skape opplevelse av en 500 Hz-tone i tillegg. (Altså $f_1 + f_2$ eller $f_1 - f_2$)

2 kHz 

2.5 kHz 

2 kHz + 2.5 kHz 

Maskering

- Maskering: Toner nært hverandre i frekvens kan føre til at vi ikke hører den ene av dem. Viktig ved miksing av mange (og like) instrumenter.
- Eks: En 4 kHz-tone vil kunne maskere en 3.5 kHz-tone, men vil ikke maskere en svak 1 kHz-tone.
- Sterke overtoner i en lyd kan også maskere andre lyder.
- Viktig i en stor miks av mange instrumenter: Bruk evt. equaliser til å dempe maskerende frekvenser for å slippe fram andre instrumenter.
- Utnyttes i mp3-komprimering.
- Finnes mye nøyaktig dokumentasjon på dette.

To eksempler:



1 kHz



1 og 4 kHz



3.5 kHz



3.5 og 4 kHz

3.5k-tonen maskeres
(delvis) av 4 k-tonen