INF 1040
Sampling, kvantisering og lagring av lyd

- **Temaer i dag :**
  1. **Analog eller digital, kontinuerlig eller diskret**
  2. **Sampling, kvantisering, digitalisering**
  3. **Nyquist-Shannon teoremet**
  4. **Oversampling, undersampling, aliasing**
  5. **Avspilling av digitalisert lyd**
  6. **Maskering og redundans**
  7. **Maskering av lyd i praksis**
  8. **Standarder og fil-formater**
- **Pensumlitteratur: Læreboka, kapittel 11**
  NB! Bruk appendiks A !

Analog

- ”**Analog**: Any form of transmission of information
  where the transmitted signal’s amplitude or frequency
  is varied in direct proportion to the intensity
  of the sound,….”
  Chambers Dictionary of Science and Technology

- **I analog lagring av lyd er det**
  en direkte proporsjonalitet
  mellom den virkelige lydintensiteten
  og det vi lagrer,
  og den lagrede informasjonen er *kontinuerlig*.

Kontinuerlig

- Et kontinuerlig lydsignal

  er et lydsignal som funksjon av tid
  der signalstyrken kan ha uendelig høy presisjon,
  og signalet eksisterer for alle verdier av tiden
  innenfor et intervall i tid.

- En variabel t som er definert over et intervall

  $a < t < b$ er kontinuerlig
  dersom vi innenfor intervallet har uendelig oppløsning,
  slik at t kan ha hvilken som helst verdi innenfor grensene.

Digital

- Begrepet digital

  brukes for å beskrive at informasjonen

  er representert ved *diskrete signaler*,

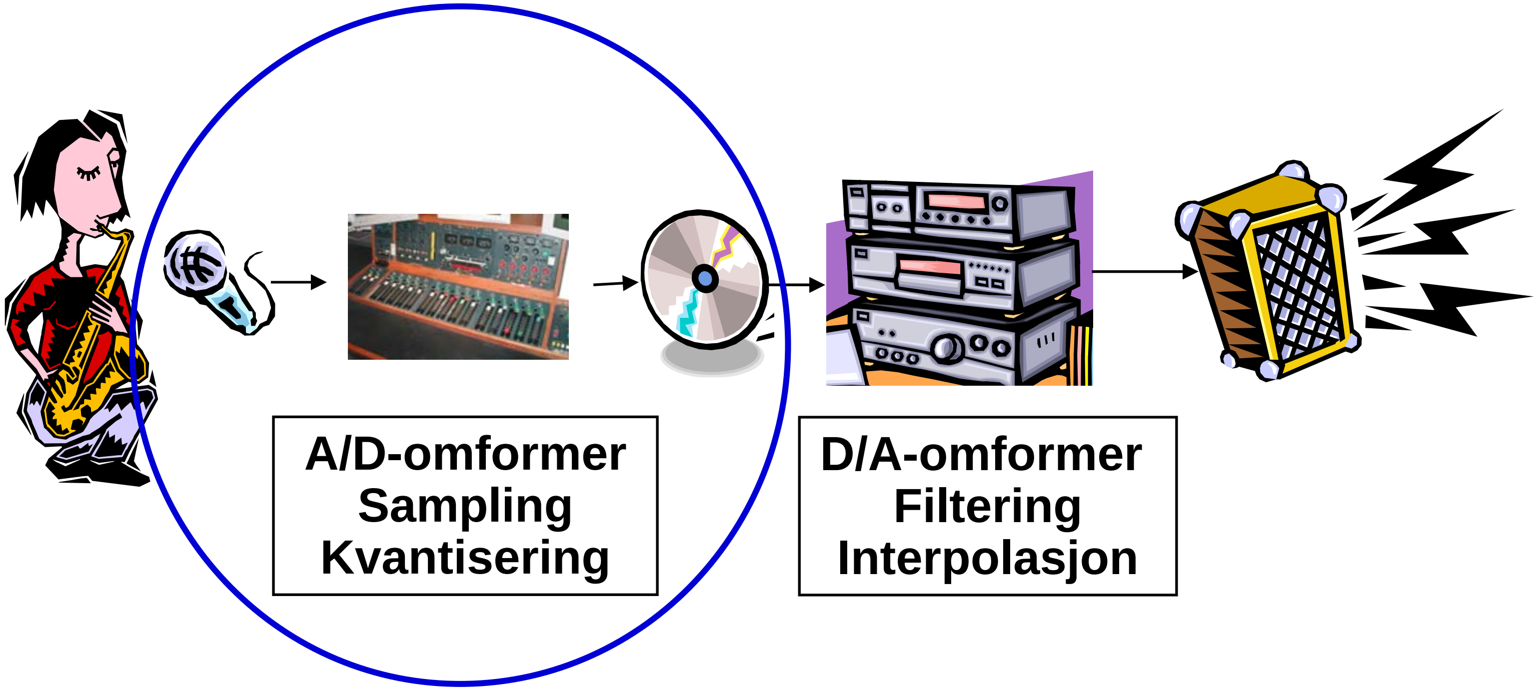
  eller ved at et bestemt signal finnes eller ikke finnes

  - i bestemte posisjoner,
  - til bestemte tider,
  - ved bestemte frekvenser;
  - eller ved kombinasjoner av disse.

Diskret

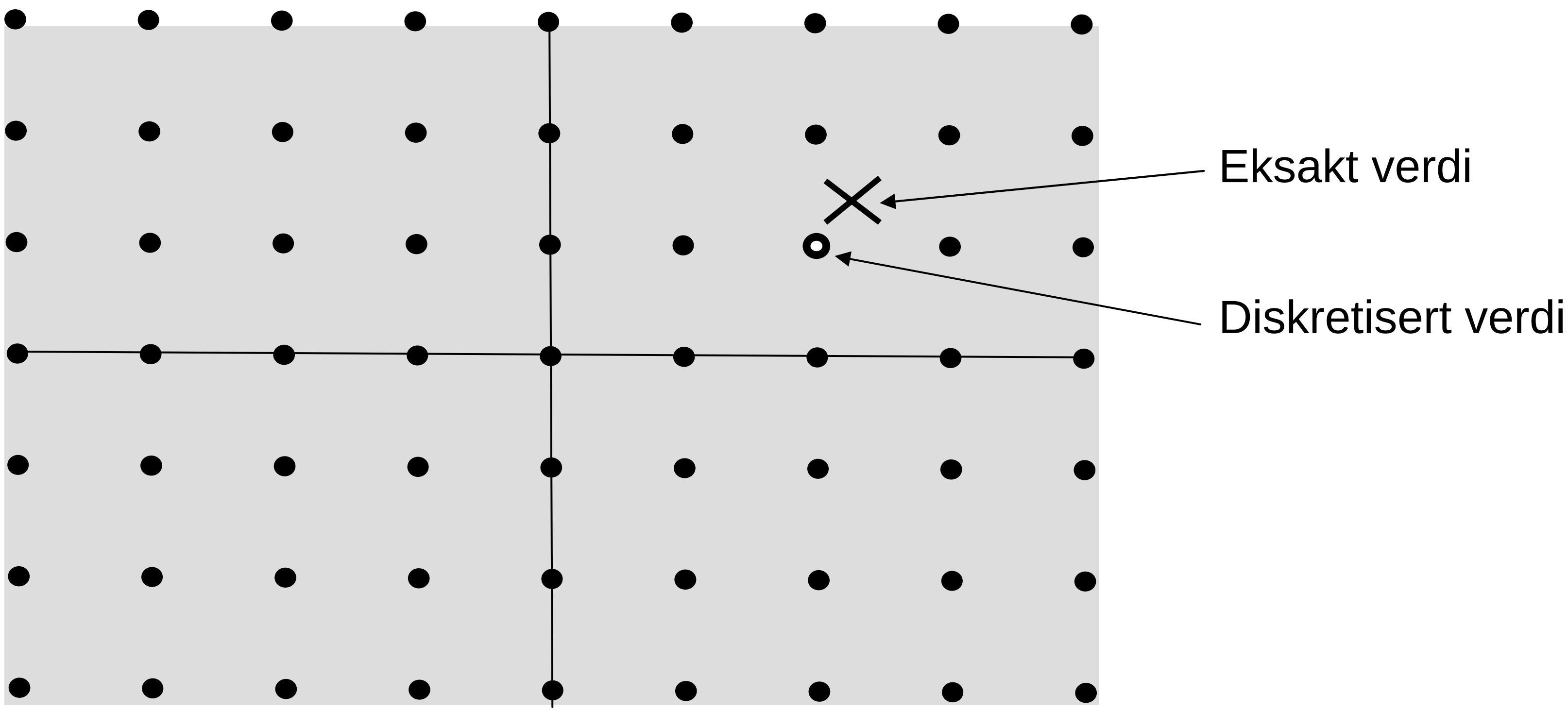
- Vi sier at en variabel t
  som er definert i et intervall $a < t < b$
  er diskret
  dersom vi har en endelig oppløsning innenfor intervallet,
  slik at settet med mulige verdier av t innenfor grensene
  er begrenset.
- En ***diskret-tid*** representasjon av et lydsignal
  er altså et lydsignal som bare er målt ***på visse tidspunkter***.

Fra artist via CD til ditt øre



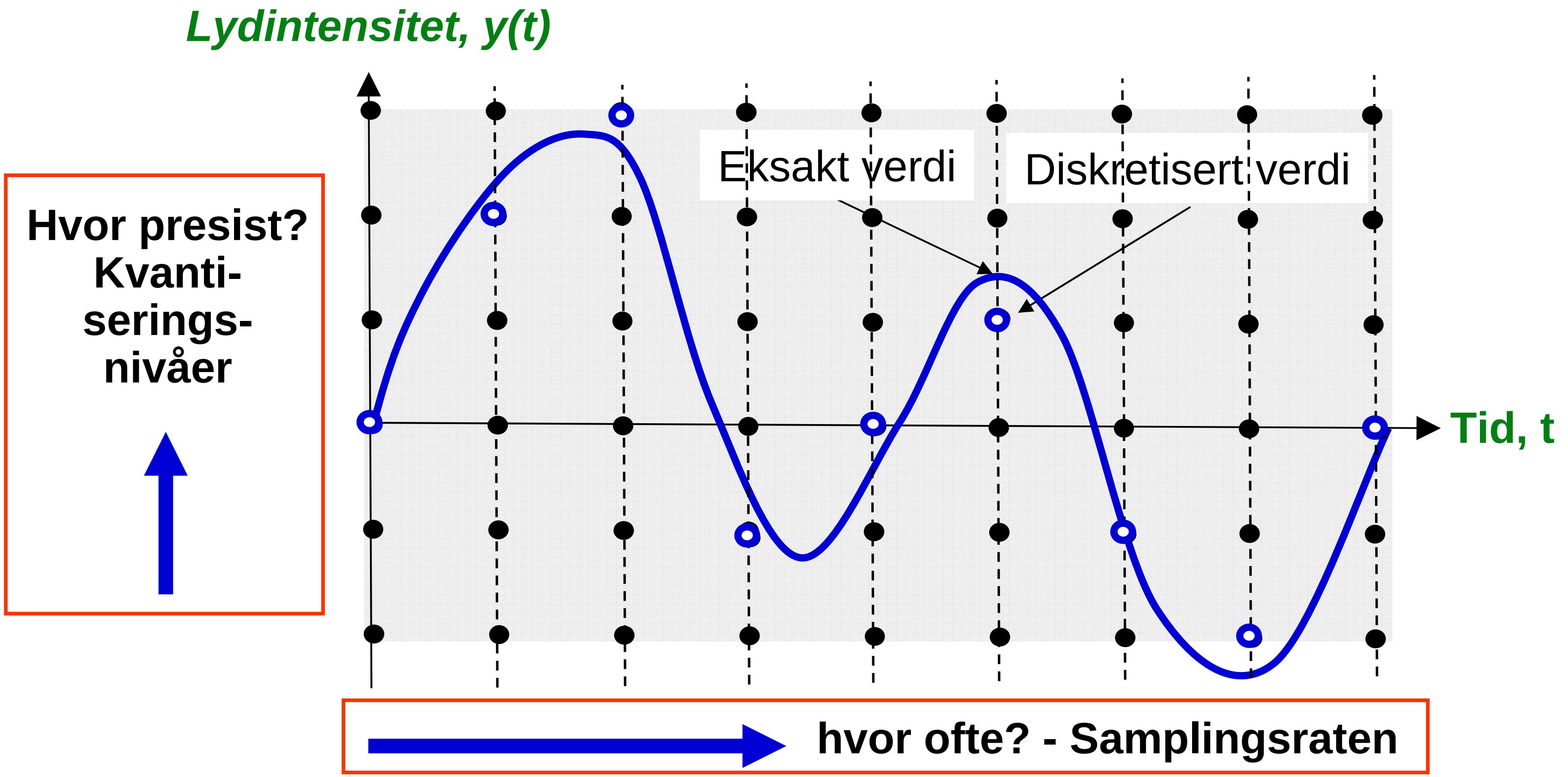
Repetisjon: Diskretisering i rommet

- Punkter i flerdimensjonale rom må ”snappes” til nærmeste representerbare punkt – på samme måte som tall (punkter i det endimensjonale rom) ”snappes” til nærmeste representerbare tall



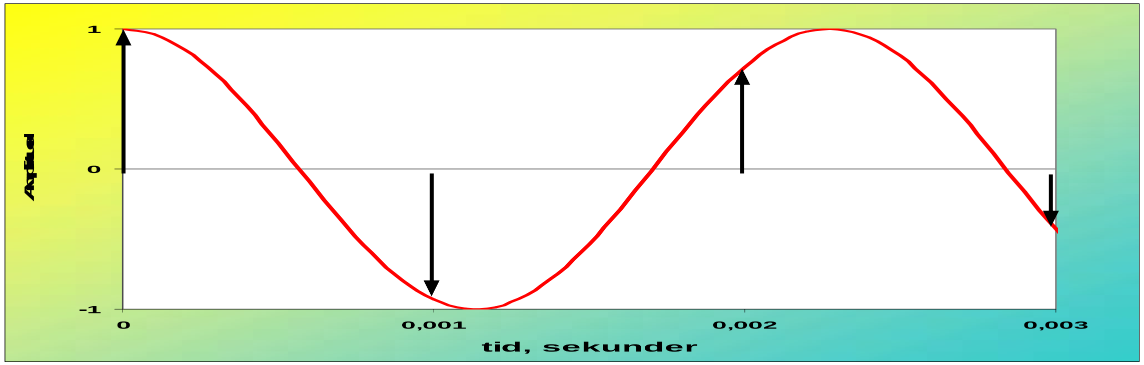
Diskretisering av lyd

- Vi bestemmer på forhånd *hvor ofte* vi skal måle ("sample") lydintensiteten. Dette er *samplingsfrekvensen*.
- Selve målingen *kvantiseres* ("snappes") til nærmeste (eller nærmeste mindre) representerbare verdi.



Diskret representasjon av et kontinuerlig lydsignal

- Alle lydsignaler må samples og kvantiseres for å kunne lagres digitalt.



Hvor ofte? - Samplingsraten

- Prosessen som gjør signalet *diskret i tid* kalles sampling.
- Å sample et signal vil si å plukke ut verdien til signalet
  på tidspunkter med gitte intervaller.
- Lydintensiteten ved tiden t, y(t) må så kvantiseres for å kunne lagres (f.eks. til un-signed byte som gir verdiene 0-255).

Samplingsintervall og samplingsfrekvens

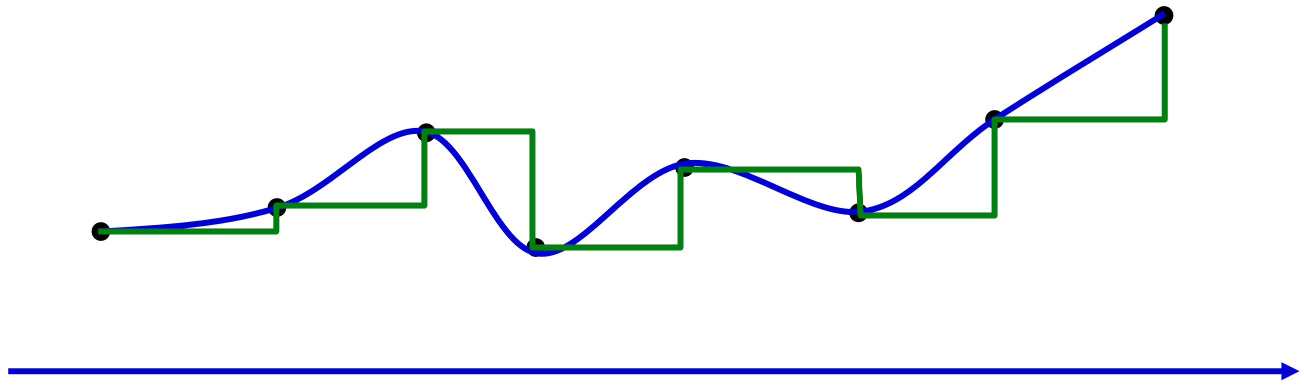
- **Sampling er første skritt i en digitalisering.**
- **Tiden diskretiseres, og vi tar bare vare på en sekvens av lydintensitetsverdier y(t) ved bestemte diskrete tidspunkter.**
- **Sekvensen y[n], for n = 0,1,2,3, …, N-1 er en diskret-tid (eller digital) representasjon av det kontinuerlige signalet y(t).**
- **Tidsavstanden mellom to sampler, gitt i sekunder (eller millisekunder) kalles *samplingsintervallet, T_s***
- **Hvis samplingsintervallet er det samme mellom alle sampler sier vi at vi har en *uniform sampling*.**
- ***Samplingsfrekvens* (også kalt *samplingsrate)* angis i Hz, og er det inverse av samplingsintervallet, $f_s = 1 / T_s$**
- **Samplingen gjøres av en *A/D-omformer* ved at lydintensiteten (i praksis mikrofonspenningen) holdes i et lite tidsintervall.**

Lydintensiteten holdes fast i samplingsintervallet

Den kontinuerlige kurven vi skal sample

Tidspunktene vi skal sample på

Sampling gjøres av A/D-omformeren ved at en lydintensitet / spenning holdes fast i et lite tidsintervall (samplingsintervallet)



Kvantisering - et begrep

- **fra latin (*quantitas*, mengde, antall; *quantus*, hvor stor).**
- ***kvantifisere***
  - **om det å uttrykke noe relativt presist i en målbar størrelse, til forskjell fra en kvalitativ, omtrentlig angivelse.**
- ***kvantisere***
  - **en prosess som avrunder signal-amplituden til alle leddene i en sekvens av sampler av et kontinuerlig signal y(t) til bestemte diskrete verdier – gjerne heltall.**
- **”*quantization”***
  - **“the division of the amplitude range of a continuously variable signal into discrete levels for the purpose of sampling and coding”**

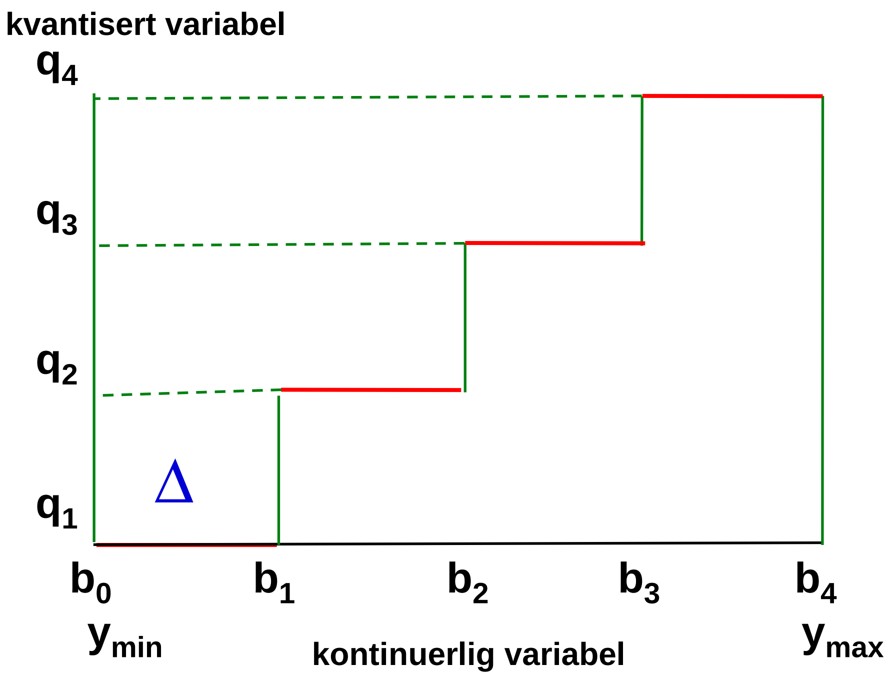
    Chambers Dictionary of Science and Technology
- **”*quantize”***
  - **“to limit a variable to values that are integral multiples of a basic unit.”**

    Collins English Dictionary

Uniform kvantisering

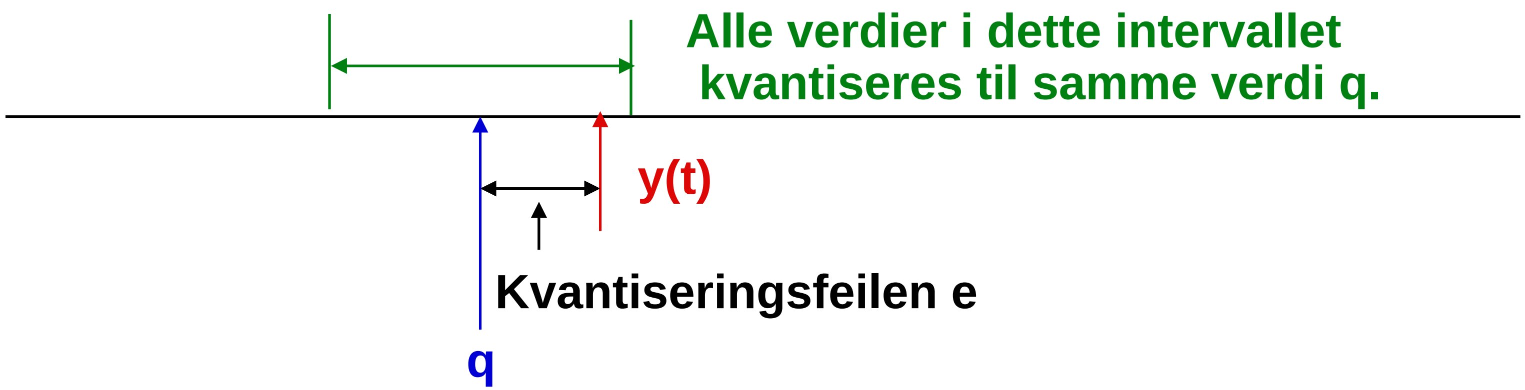
hvor presist?
Kvanti-
serings-
nivåer

- Anta at spenningen varierer mellom y_{min} og y_{max}.
- Anta at vi deler området mellom y_{min} og y_{max} i N ***kvantiseringsnivåer***.
- Da er $B = \{b_0, b_1, \ldots, b_N\}$ de N+1 ***beslutningsgrensene*** som bestemmer hvilket nivå en målt spenning y(t) havner i.
- Vi har N forskjellige outputverdier eller ***rekonstruksjonsnivåer***, $Q = \{q_1, q_2, \ldots, q_N\}$.
- Hvis alle kvantiseringsnivåene har lik bredde, Δ, kalles dette ***uniform kvantisering***.
- Her illustrert for N = 4 nivåer med lik bredde Δ.



Kvantiseringsfeil

- Anta at y(t) rekonstrueres til verdien q.
- Da får vi en kvantiseringsfeil e = y(t) - q.
- La oss si at vi velger q slik at den ligger midt i kvantiseringscellen (”midread”, se lysark INF1040-lyd2-18).
- Den største kvantiseringsfeilen vi kan få for et sampel er da halvparten av bredden på en kvantiseringscelle:



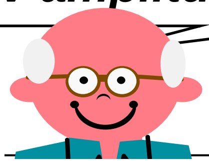
Signal/støyforhold

"Signal/støyforholdet" (Signal-to-Noise Ratio, SNR) uttrykkes ofte i desibel

- **En høy SNR-verdi forteller at støyen er lite hørbar i forhold til signalet.**
- **Hvis vi uttrykker omfanget av signalet med y og omfanget av støyen med s, så kan signal/støy-forholdet uttrykkes ved**

$$SNR = 10 \log_{10}\left(\frac{y^2}{s^2}\right) = 20 \log_{10}\left(\frac{y}{s}\right)$$

Husk at lydintensiteten, dvs. effekten i en lydbølge, er proporsjonal med <u>kvadratet</u> av amplituden.



Kvantiseringsstøy (for de interesserte)

- Kvantiseringsfeil kan gi opphav til hørbar kvantiseringsstøy.
- Anta at vi bruker N biter per sampel, og at det analoge signalet ligger i området fra $-y_{max}$ til $+y_{max}$.
- Da har signalet en største verdi på omtrent 2^{N-1}.
- Den største kvantiseringsfeilen er 1/2, som vi har sett ovenfor.
- Vi får da for det såkalte signal/kvantiseringsstøy-forholdet ("Signal-to-Quantization Noise Ratio"):

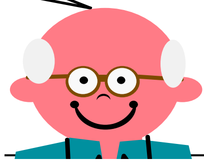
$$SQNR(dB) = 20 \log_{10} \frac{2^{N-1}}{1/2} = 20\, N \log_{10}(2) \approx 6\, N$$

- Hver ekstra bit vi bruker til et sampel gir oss ca 6 dB bedre SQNR.
- 16 biter (CD-standard) gir oss en SQNR på minst 16 x 6 dB = 96 dB.

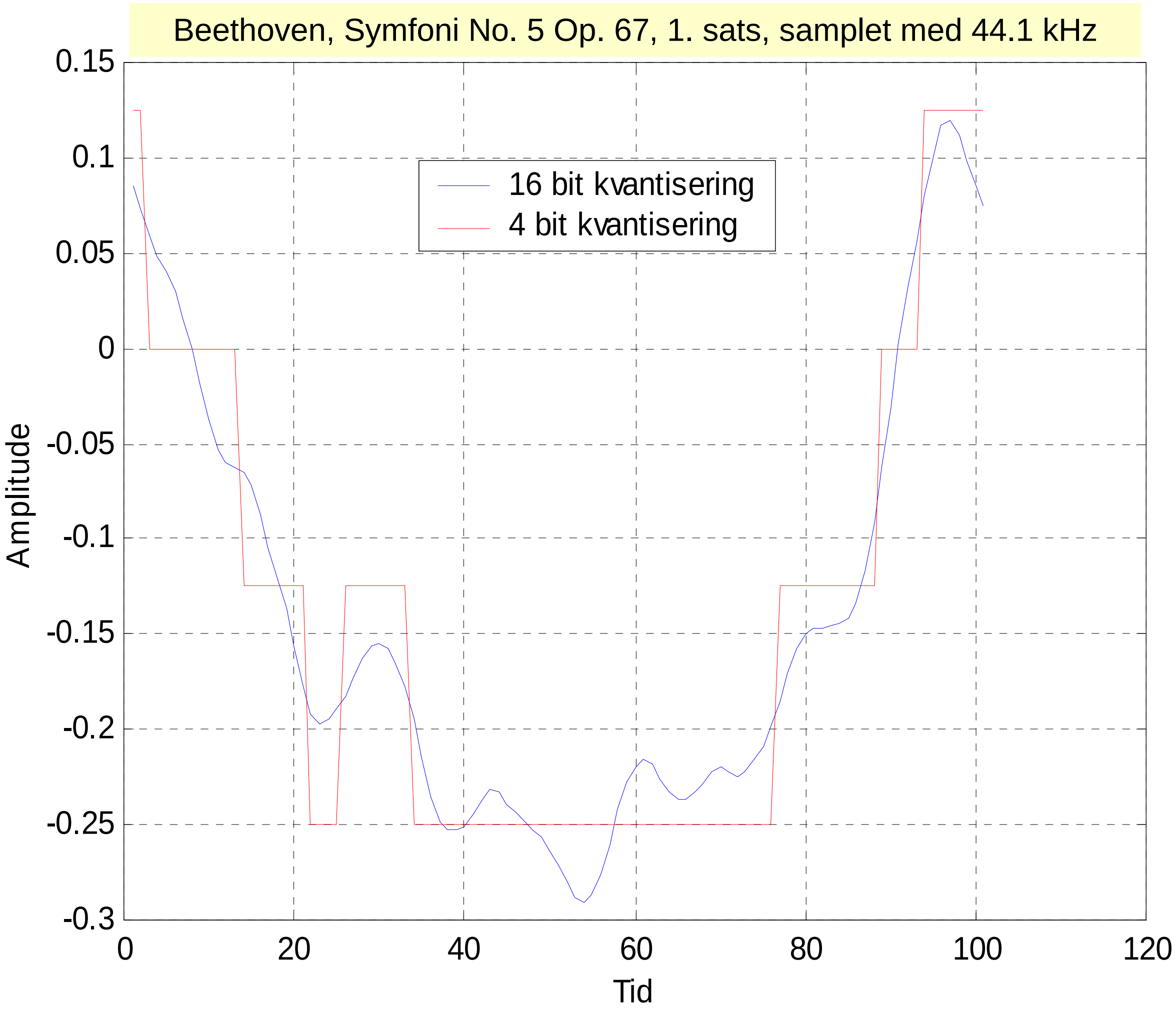
Hvor mange kvantiseringsnivåer trenger vi?

- **Når vi skal velge antall kvantiseringsnivåer, kan vi bruke det vi vet om hva øret kan oppfatte. Kvantiseringsfeil som er så små at vi ikke kan høre dem, er OK.**
- **Fordi vi stiller ulike krav til kvalitet, kan vi velge ulike nivåer for tale, musikk og telefoner.**
  - **Musikk-CD: 16 biter (65 536 nivåer), samplingsfrekvens 44 100 Hz**
  - **Digital telefon: 8 biter (256 nivåer), samplingsfrekvens 8 000 Hz**
- **Fordi kvantiseringsnivåene representeres i det binære tallsystemet, velger vi antall kvantiseringsnivåer som en potens av 2, altså 2^n.**
- **n er dermed antall biter per sampel (den såkalte *ordlengden*).**

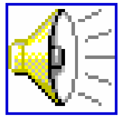
$$n = \log_2 (\text{antallNivåer})$$



Kvantisering av Beethovens 5. symfoni



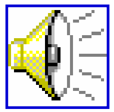
16 biters kvantisering høres slik ut:



lyd36.wav

Er det lurt å komprimere lydfilen ved å redusere ordlengden fra 16 til 4 biter?

4 biters kvantisering høres slik ut:



lyd37.wav

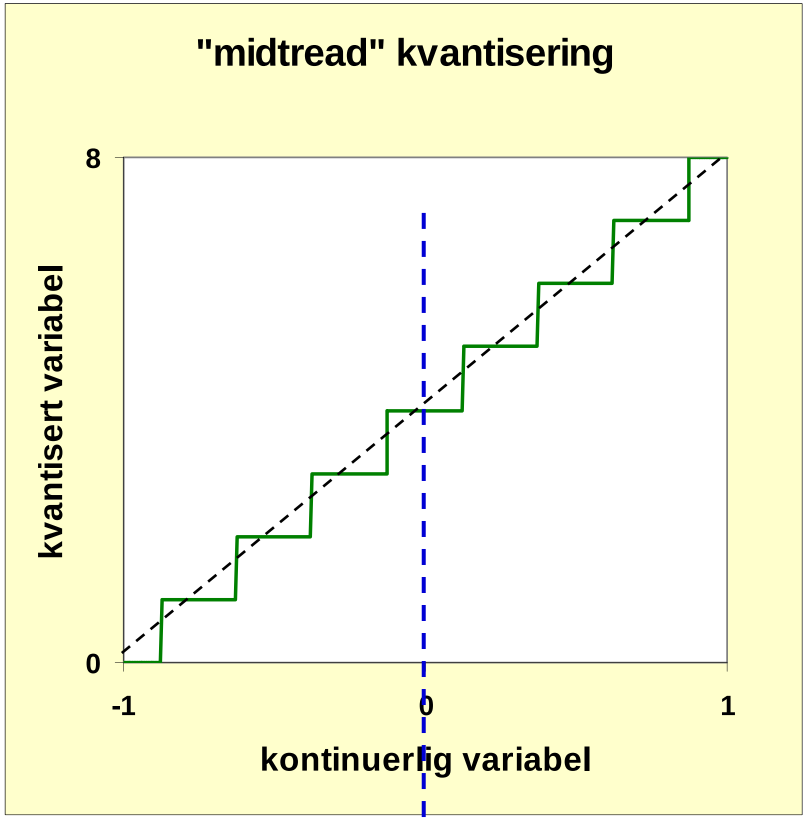
Altså: Ikke særlig lurt!

”Midtread” kvantisering

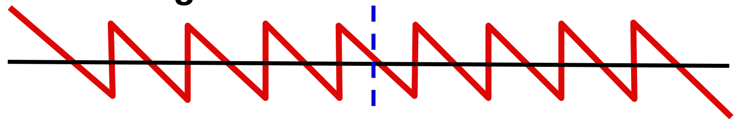
- Vi har så langt skalert og kvantisert en kontinuerlig variabel y(t) i området fra y_{min} til y_{max} til heltallene fra 0 til G-1 ved å runde av til nærmeste heltall:

$$f = Round\left(G \frac{y(t) - y_{\min}}{y_{\max} - y_{\min}} \right)$$

- Dette kalles ”medread”-kvantisering.
- ”Midread”-kvantisering gir oss bl.a. en kvantiseringscelle sentrert omkring null, hvilket kan være en fordel hvis inputsignalet y(t) ofte er 0.
- Ulempe: Vi får G+1 kvantiseringsnivåer, og første og siste kvantiseringscelle er ikke like brede som de andre.



kvantiseringsfeil:

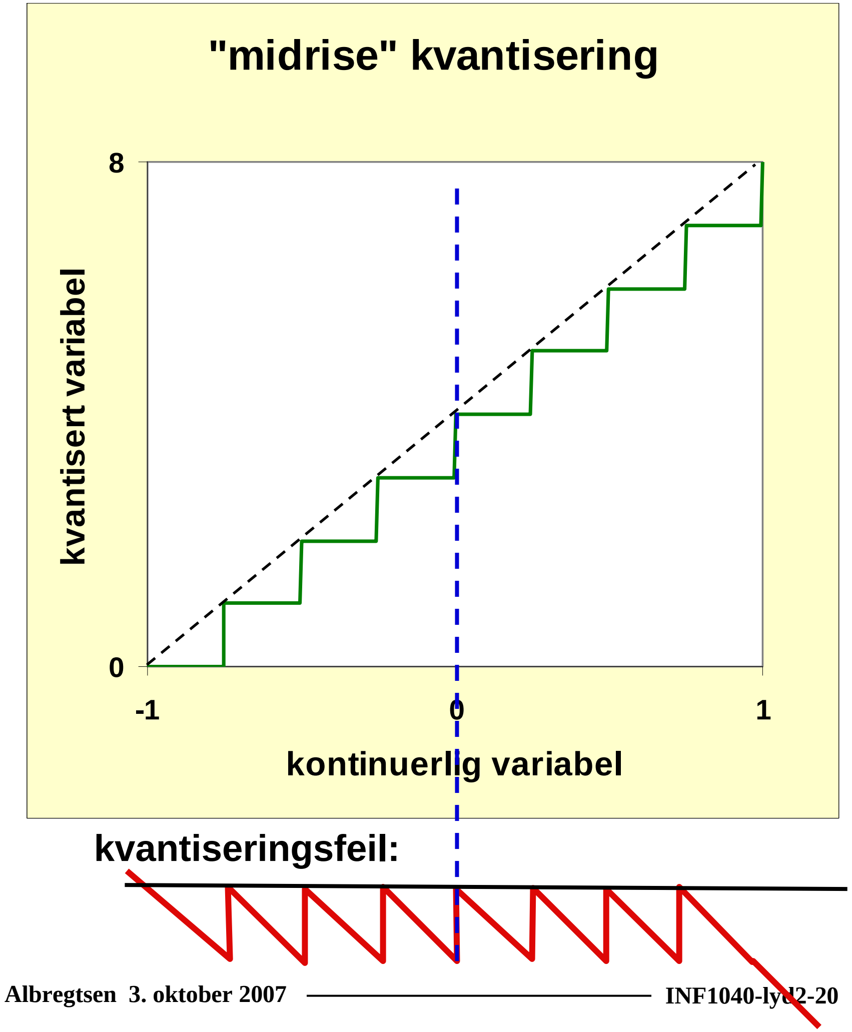


”Midrise” kvantisering

- Et alternativ er ”midrise”-kvantisering, der vi alltid går ned til største heltall mindre eller lik y(t) (floor-funksjonen).
- Da blir ligningen

$$f = Int\left(G \frac{y(t) - y_{\min}}{y_{\max} - y_{\min}} \right)$$

- Hvis vi i tilegg klipper verdien som svarer til y_{max}, får vi G output-verdier, og alle kvantiseringsceller er like brede.
- ”Midrise”-kvantisering kan imidlertid gi kvantiseringsstøy hvis signalet y(t) er nær 0.



Nyquist-teoremet

- **Vi har et fundamentalt spørsmål:**
- **Hvor ofte må vi måle lydintensiteten i et gitt lydsignal?**
- **Harry Nyquist og Claude Shannon ga oss følgende teorem:**

Anta at et analogt signal er *bånd-begrenset*, dvs. at det ikke har sinuskomponenter med frekvenser over et maksimum f_{max}. Signalet kan da rekonstrueres eksakt fra de samplene vi har, hvis samplingsfrekvensen $f_s = 1/T_s$ er større enn $2f_{max}$.

- **$2f_{max}$ kalles Nyquist-raten.**
- **Hvis vi sampler med en samplingsfrekvens f_s som er minst $2f_{max}$, så sampler vi i henhold til Nyquist-teoremet.**
- **Anta at vi skal sample lyd slik at vi kan rekonstruere alle hørbare frekvenser (opp til 20 000 Hz) uten noen feil eller forvrenging. Hva er f_s?**

Sampling med Nyquist-raten

- Diskret til analog rekonstruksjon gir som resultat den kombinasjon av sinusoider som
  - - er kompatibelt med det diskrete signalet
  - - har lavest mulige frekvenser
- Sampler vi med lavere frekvens enn Nyquist-raten og senere forsøker å rekonstruere det analoge signalet, får vi rekonstruert feil signal.
- I praksis oversampler vi med en viss faktor for å få god rekonstruksjon.

Oversampling og undersampling

- **Oversampling**

  betyr at vi sampler med en høyere samplingsrate enn $2f_{max}$.

  - **I rekonstruksjonen gjøres en filtrering/prosessering for å få tilbake det analoge signalet.**
  - **Denne filtreringen blir enklere og kan gjøres raskere hvis vi oversampler.**
  - **Vi vil også få redusert kvantiseringsstøyen.**
  - **Dersom vi oversampler med for høy faktor, øker lagringsbehovet unødvendig mye.**

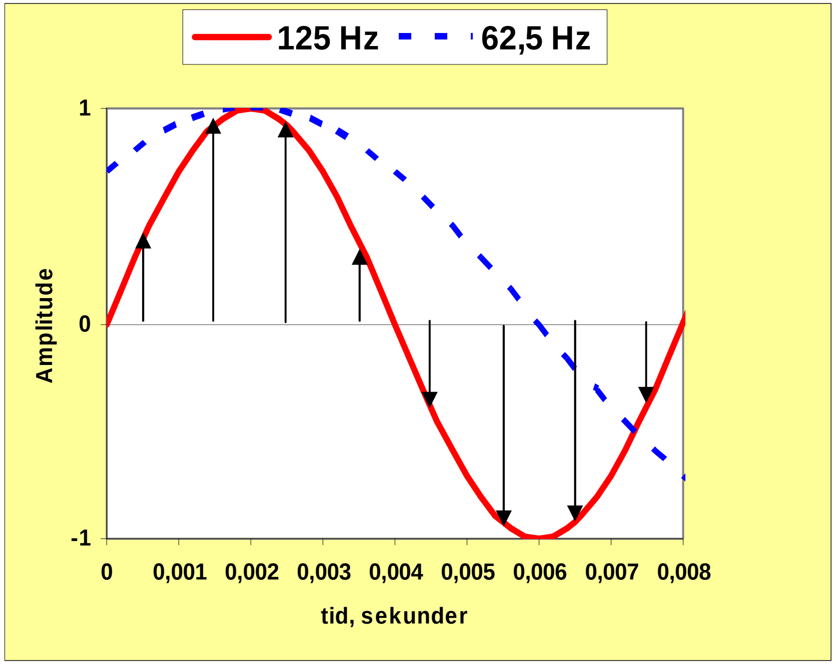
- **Undersampling**

  betyr at vi sampler med lavere samplingsrate enn $2f_{max}$.

  - **Da får vi forvrenginger i frekvensinnholdet/aliasing.**

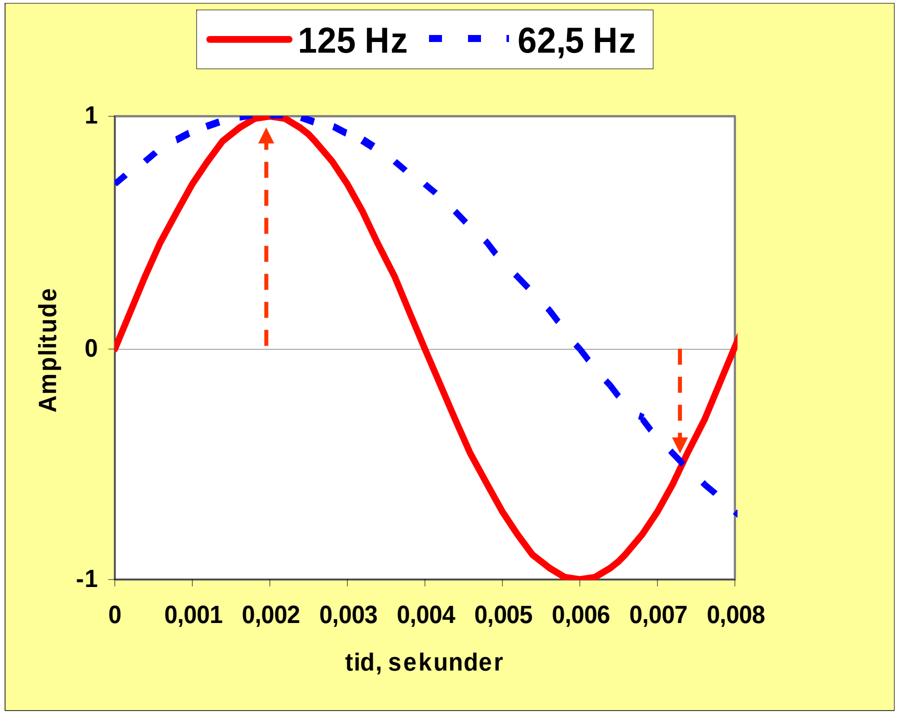
Oversampling

- Vi sampler for eksempel en f =125 Hz sinus med f_s=1 kHz som gir f_s/f = 1 000/125 = 8 sampler pr periode.
- Dette er en 4X oversampling (svarte piler i figuren).



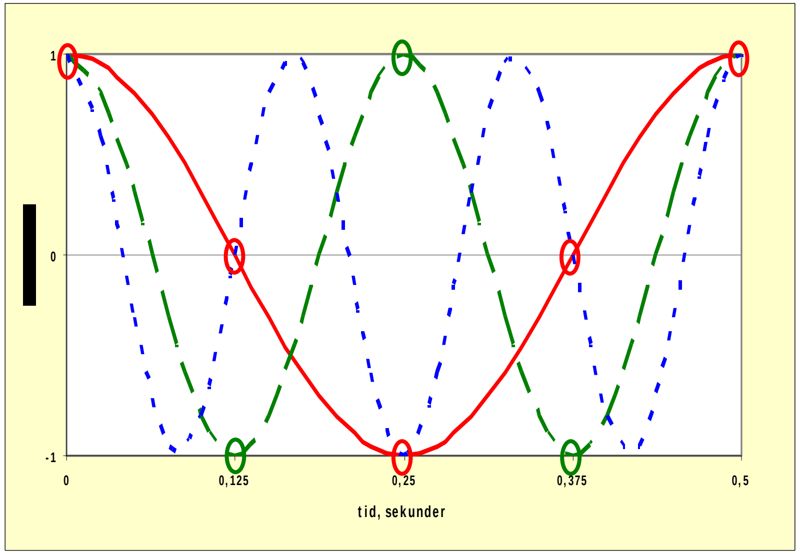
Undersampling og aliasing

- **Aliasing betegner det fenomenet at en sinusoid ved for lav samplingsrate gir opphav til samme diskrete signal som en sinusoid med lavere frekvens.**
- **Vi sampler for eksempel en f =125 Hz sinus med f_s = 1.5 f = 187.5 Hz.**
- **Dette gir for eksempel sampler ved t = 0.002 og ved t = 0.733 (stiplede røde piler).**
- **Rekonstruksjon gir sinus med f_a= 62.5 Hz, (stiplet kurve i figuren).**
- **Vi har fått en "aliasing".**
- **Merk at $f_a = f_s - f$ når $f < f_s < 2f$**

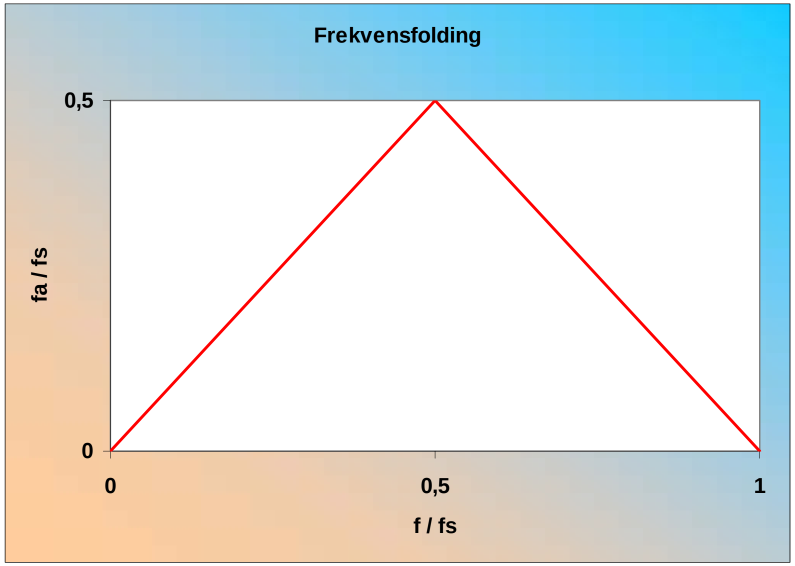


Frekvensfolding (for de interesserte)

- I figuren til høyre vises ½ sekund av tre sinus-funksjoner med frekvenser 2, 4 og 6 Hz.
- Vi sampler med en fast f_s = 8Hz
- Vi får rekonstruert sinusoider med henholdsvis f = 2, 4 og 2 Hz.

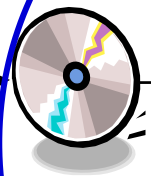


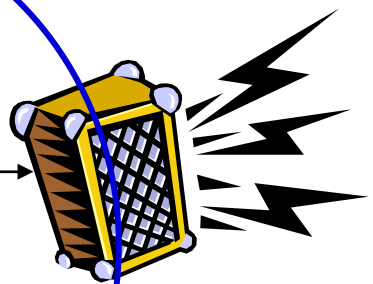
- f som er under halvparten av f_s blir rekonstruert til korrekt frekvens
- f mellom ½ f_s og f_s, blir rekonstruert til $f_a = f_s - f$



Fra artist via CD til ditt øre







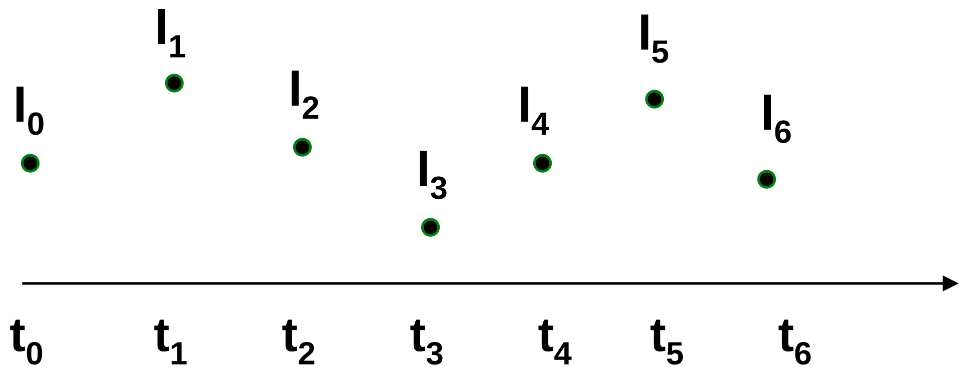
A/D-omformer
Sampling
Kvantisering

D/A-omformer
Filtering
Interpolasjon

Sample med 44 100 Hz
Kvantisere til 16 biter

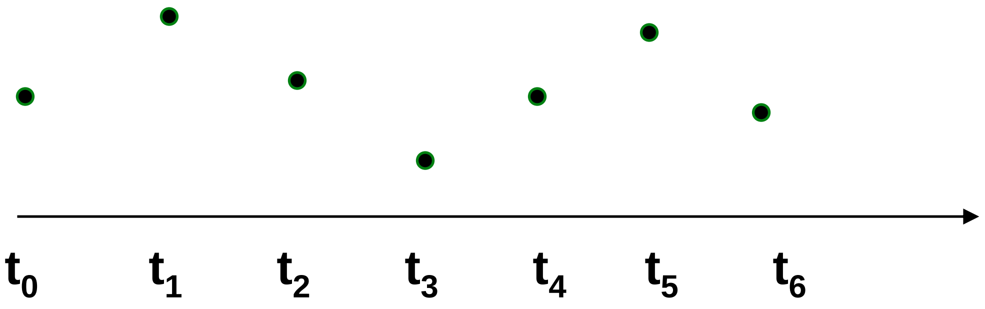
Fra samplede punkter til avspilling

- Når lydsignalet skal spilles av, må det konverteres tilbake til et kontinuerlig / analogt signal igjen.
- Denne konverteringen kalles D/A-omforming (Digital -> Analog) og gjøres f.eks. i CD-spilleren (eller i programmet play).
- For å spille av lydsignalet, må vi vite samplingsraten.
  - Vi må vite tidsintervallet mellom et sampel og det neste.
- Avspillingsprogrammet vet at på tidspunkt t_1 var lydstyrken I_1, og på tidspunkt t_2 var lydstyrken I_2.



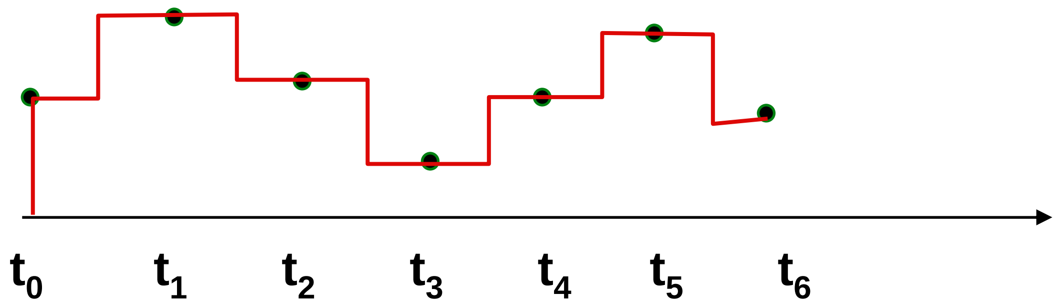
Mer om avspilling

- **Avspillingsprogrammet må også fylle ut med lydverdier mellom hvert sampel, dvs. f.eks. mellom tidspunkt t_0 og tidspunkt t_1.**
- **Dette kan gjøres på flere måter (algoritmer), f.eks. Ved**
  - **Sette inn kopier av forrige sampel**
  - **Lineær interpolasjon**
  - **Høyere-ordens interpolasjon**



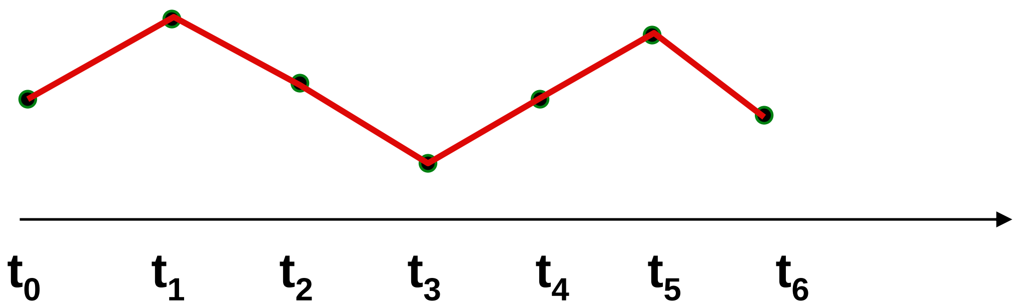
Avspilling ved å sette inn kopier av sampel

- Denne algoritmen sier at lydsignalet har samme lydstyrke på alle tidspunkt mellom samplene, f.eks. mellom tidspunkt t_0 og tidspunkt t_1.
- Dette gjøres vanligvis ved at vi sier vi skifter fra lydstyre l_0 til l_1 på et tidspunkt midt mellom sampel t_0 og t_1, osv.
- Med denne metoden skifter signalet brått fra en verdi til en annen. Brå skifter gir ikke alltid god lyd !
- Husk at for å representere slike brå skift trengs det mange frekvenskomponenter, helt opp til de mest høyfrekvente !



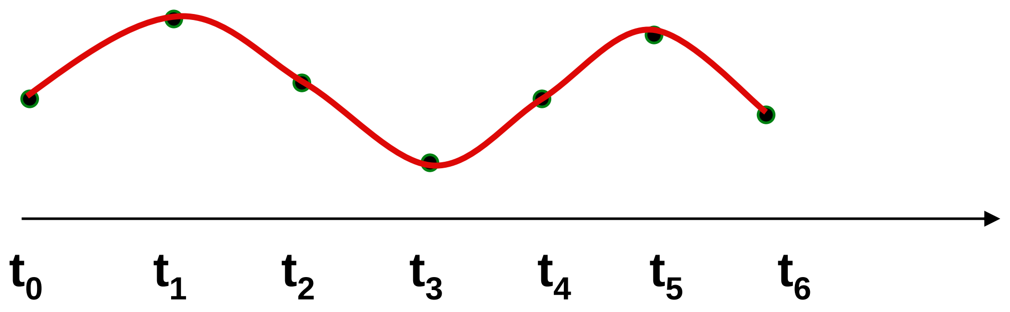
Avspilling ved lineær interpolasjon

- Algoritmen sier at lydsignalet har endrer seg gradvis
  fra den lydstyrken det hadde på tidspunkt t_0
  til den lydstyrken det skal ha på tidspunkt t_1.
- Lydstyrken på tidspunkt mellom t_0 til t_1 finnes ved å legge en rett linje mellom verdien på tidspunkt t_0 og verdien på tidspunkt t_1.
- Med denne måten blir det ikke så brå skifter i lydstyrke.
- Den avspilte lyden vil ikke inneholde så høye frekvenser som i forrige algoritme. (Husk lyden av trekant- og firkantpulser !)



Avspilling ved høyere-ordens interpolasjon

- Algoritmen antar at lydsignalet har endrer seg gradvis
  fra den lydstyrken det hadde på tidspunkt t_0
  til den lydstyrken det skal ha på tidspunkt t_1.
- Lydstyrken på tidspunkt mellom t_0 til t_6 finnes
  ved å tilpasse en glatt kurve (f.eks. et polynom)
  mellom verdiene på tidspunkt t_0 og verdien på tidspunkt t_1 , osv.
- Kurven skal gå gjennom alle punktene t_0, t_1, t_2, t_3, t_4, t_g og t_6,
  og den skal være glatt i skjøtene (for eksempel en spline-kurve).
- Med denne metoden blir det glatte overganger i lydstyrke .



Kommentar til avspilling i praksis

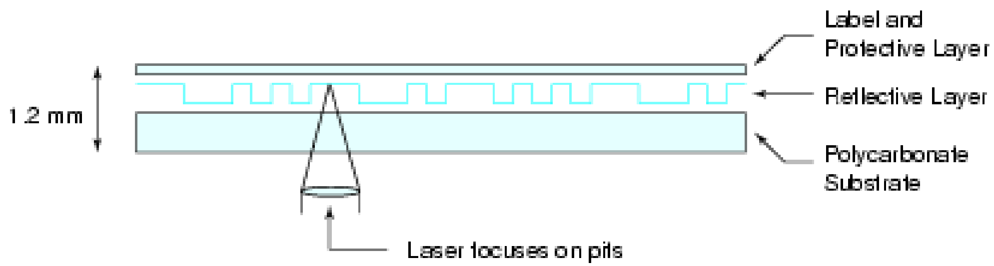
- I virkeligheten er det som skjer i en moderne CD-spiller en kombinasjon av både digital og analog signalbehandling.
- Lydsignalet oppsamples, og filtreres både med software (digitale filtere) og i elektronikken (analoge filtere).
- Når produsenter og selgere av CD-spillere reklamerer med for eksempel "8 X oversampling" ….
  - …så betyr det ikke at de tryller fram 7 ekstra sampler av det originale signalet
  - …det betyr bare at det legges inn 7 kopier av hvert sampel før filtrering og DA-konvertering for å få en enklere (og som regel litt bedre) rekonstruksjon av signalet.

Lagring av digital lyd

- **Anta at vi har samplet med samplingsraten f_s, og at vi har samplet minst i henhold til Nyquist raten.**
- **Hvis lydsignalet varer i N sekunder, må vi lagre $N*f_s$ sampler.**
- **Hvert sampel lagres med valgt datatype, vanligvis 16 bit integer.**
- **Hvis vi lagrer i stereo, lagrer vi 2 kanaler, hver med f.eks. 16 biter.**
- **Skal vi lagre 1 time musikk som er samplet med samplingsfrekvens 20 000Hz, blir lagringsbehovet**
  - **20 000*3 600*16 biter = 1 152 000 000 biter = 144 000 000 byte = 144 MB (288 MB i stereo).**

Hva ligger på en musikk-CD?

- Data lagres som bitmønstre i spesielle posisjonsceller/bins.

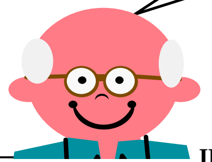


- Standard for CD audio kalles Red Book
- Audio-CD'er deles inn i følgende enheter:
  - Kapasiteten er 74 "minutter" a 60 "sekunder".
  - Enheten "sekund" har 75 "blokker"
  - En "blokk" består av 98 "rammer"
  - En "ramme" inneholder 24 byte data
- Avspilling skjer ved at rotasjonshastigheten varieres mens platen avspilles (innenfra og utover) slik at 75 blokker leses pr. sekund med datarate:
  - R = 44 100 sampler/s*2 byte*2 kanaler = 176 400 byte/s.

Redundans og maskering av lyd

- **Det er en god del lyd vi faktisk ikke kan høre på grunn av annen lyd, og som vi derfor heller ikke nødvendigvis trenger å lagre.**
- **Dette skyldes flere effekter:**
  - **Frekvensmaskering**
  - **Tidsmaskering**
  - **Stereoredundans**

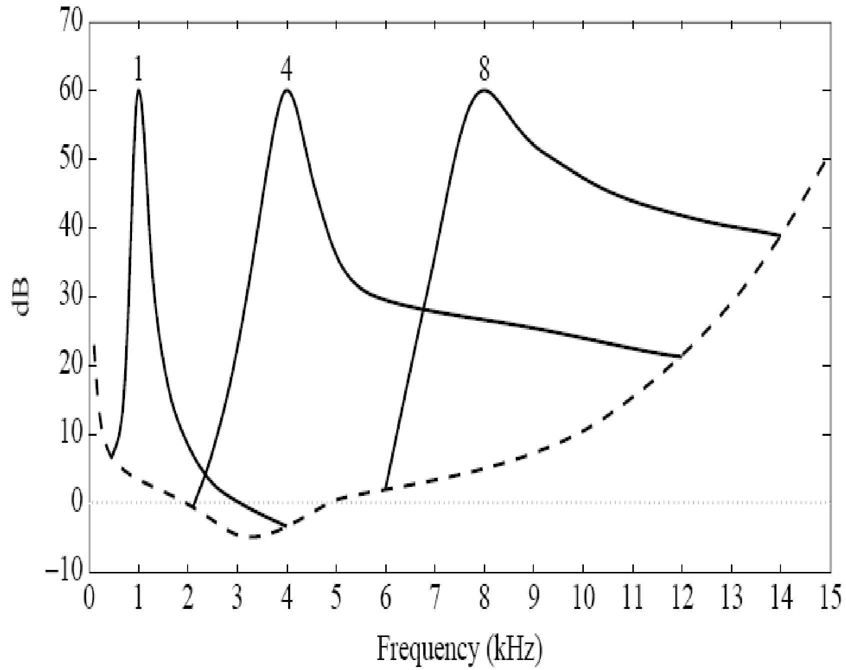
Dette er grunnlaget for avansert komprimering, for eksempel i MP3-lydformatet



Frekvensmaskering

- For en gitt frekvens finnes et ”kritisk frekvensbånd” der denne lyden vil maskere ut andre lyder. Figuren viser maskeringsterskelen for tre toner (lydintensitet 60 dB).

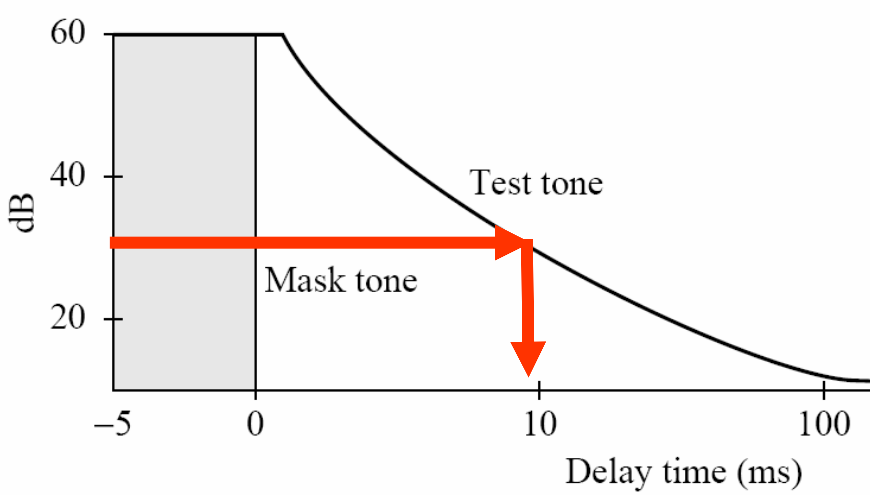
- Noen hovedpunkter :
  - Frekvensmaskeringen er asymmetrisk.
  - Jo høyere lydintensitet, dess bredere frekvensmaskering.
  - Frekvensmaskeringen er bredere for høyere frekvenser.

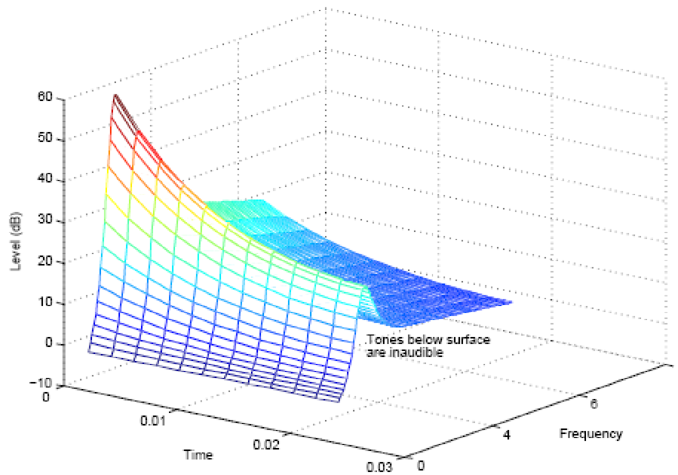


- Vi filtrerer lyden til separate signaler på 32 frekvensbånd, istedenfor å måtte ta vare på signalstyrken på alle frekvenser.

Tidsmaskering

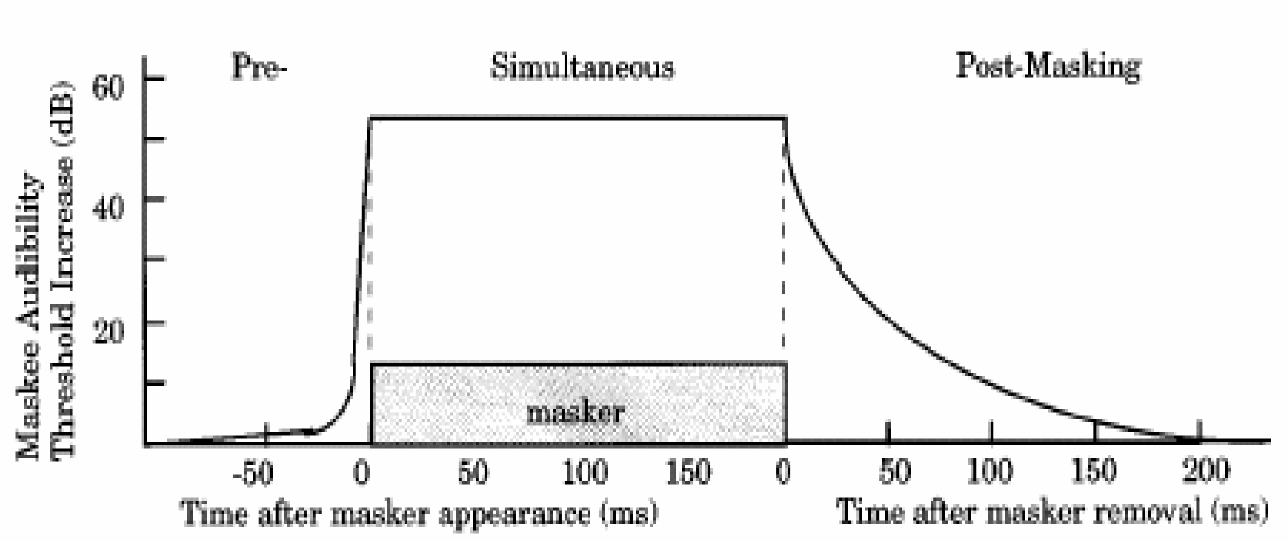
- Man kan spille en 1 kHz maskeringstone med lydintensitet 60 dB – og en nærliggende testtone, for eksempel 1.1 kHz med 30 dB.
- Pga frekvensmaskering kan ikke testtonen høres.
- Når maskeringstonen slås av kan vi høre den - men først etter at det har gått litt tid.
- Vi kan finne maskeringstiden for flere lydintensiteter og frekvenser, og finne 2D maskeringsterskel i frekvens og tid.





Postmaskering og premaskering

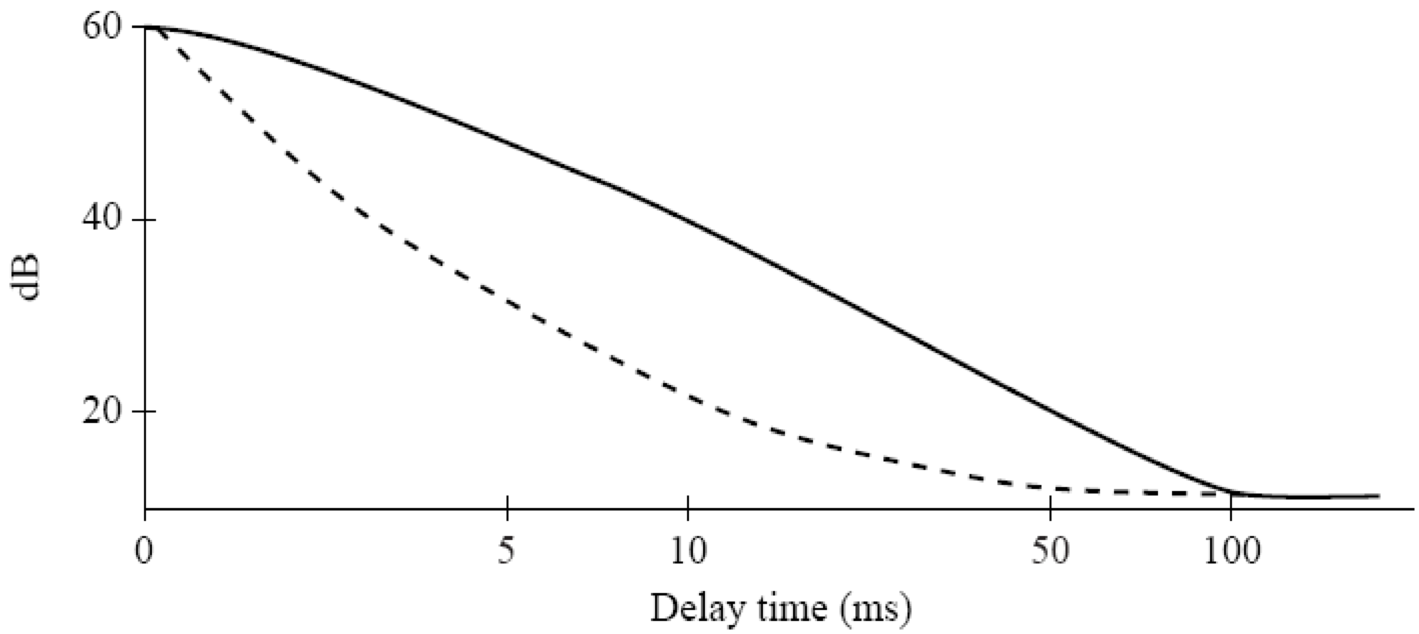
- **Tidsmaskering skyldes at hårcellene i det indre øre går i metning, og trenger litt tid før de igjen reagerer normalt.**
  - **"Postmaskering" har et effektivt tidsintervall på 50-200 ms.**
- **En sterk lyd kan maskere en svakere lyd som spilles like *før***
  - **"Premaskering" har mye kortere effektivt tidsintervall, 2-5 ms.**



Metning avhenger av varighet …

- **Metningsfenomenet avhenger av hvor lenge maskeringstonen har blitt spilt.**
  - **Stiplet kurve viser maskeringstid når tonen er spilt i 100 ms**
  - **Heltrukket kurve når tonen er spilt i 200 millisekunder.**

(Fra Li and Drew, Fundamentals of Multimedia, 2004).



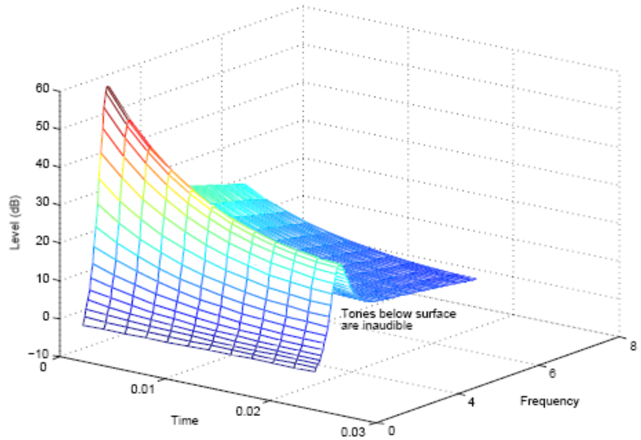
Stereoredundans

- To kanaler gir et mye rikere lydbilde enn bare en kanal.
- I mange tidsintervaller er det vanligvis stor likhet mellom signalene i de to kanalene.
- Vi kan beregne :
  - Korrelasjonen mellom kanalene
  - Differansen mellom kanalene
- Det kan være mest effektivt å lagre
  - det ene signalet…
  - … pluss differansen mellom dem.
- Da kan vi alltid komme tilbake til de to originale signalene.

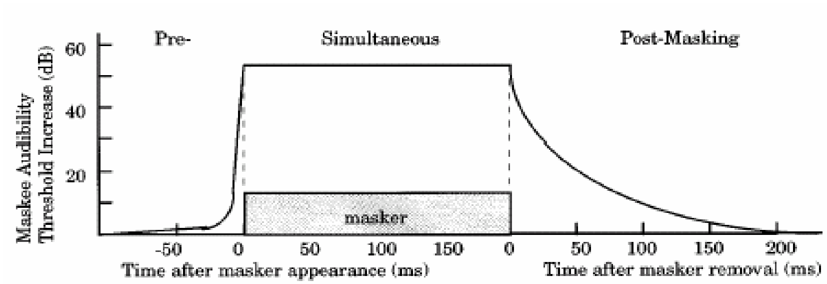
Maskering av lyd

- Maskering: "Én lyd er ikke hørbar samtidig med en annen lyd"

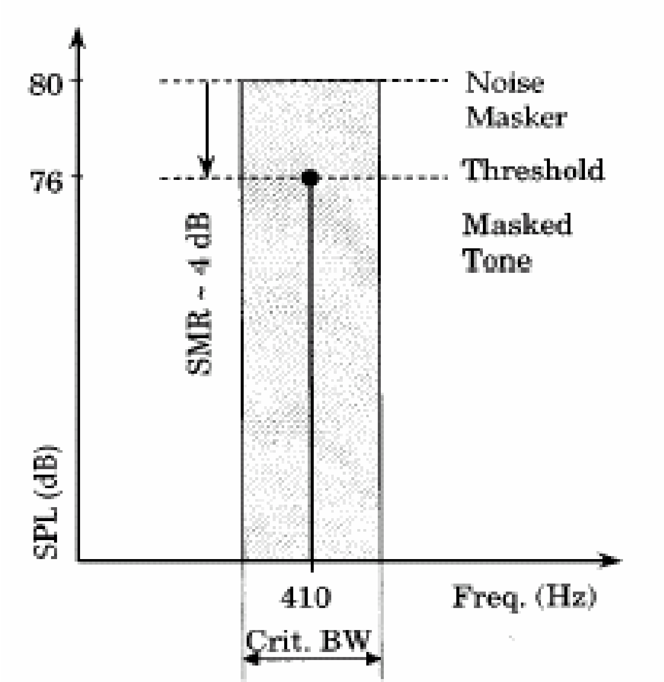
1. Simultan maskering
   - Støy kan maskere en tone
   - En tone kan maskere støy
   - Støy kan maskere støy



2. Tidsmaskering
   - Premaskering (ca 2 ms)
   - Postmaskering (ca 100 ms)



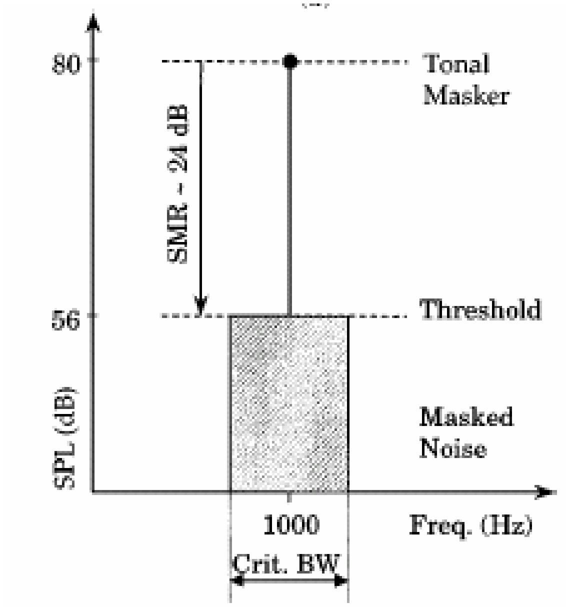
Eksempel 1: Støy kan maskere en tone



Vi kan ikke høre en sinusoid som ligger i samme kritiske bånd som støyen hvis lydtrykknivået er under en viss terskel.

Filtrert støy	Tone 1	Tone 2	Støy + Tone 1	Støy + Tone 2
Senter 410 Hz Bredde 111 Hz	820 Hz 5 dB under støyen	410 Hz 5 dB under støyen		
			Ikke maskert	Maskert

Eksempel 2: En tone kan maskere støy



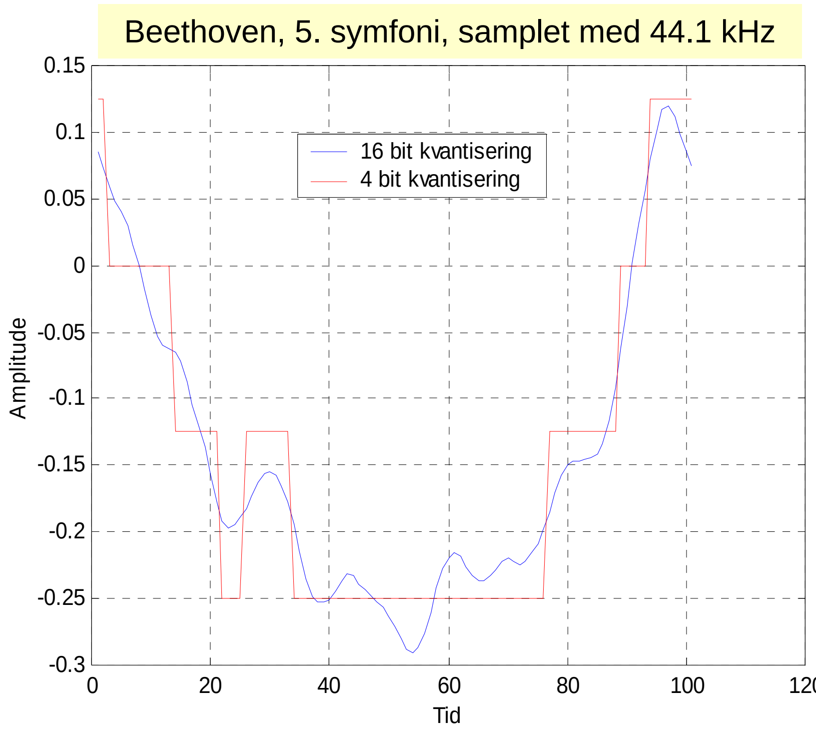
Vi kan ikke høre en filtrert støy som ligger i det samme kritiske bånd som en sinusoid, hvis lydtrykket er under en viss terskel.

Filtrert støy	Tone 1	Tone 2	Støy + Tone 1	Støy + Tone 2
Senter 1 kHz Bredde 162 Hz - 15 dB	2 kHz	1 kHz		
			Ikke maskert	Maskert

Hvordan kan vi utnytte maskering?

Hvis en lyd er maskert, så kan vi ikke høre den.

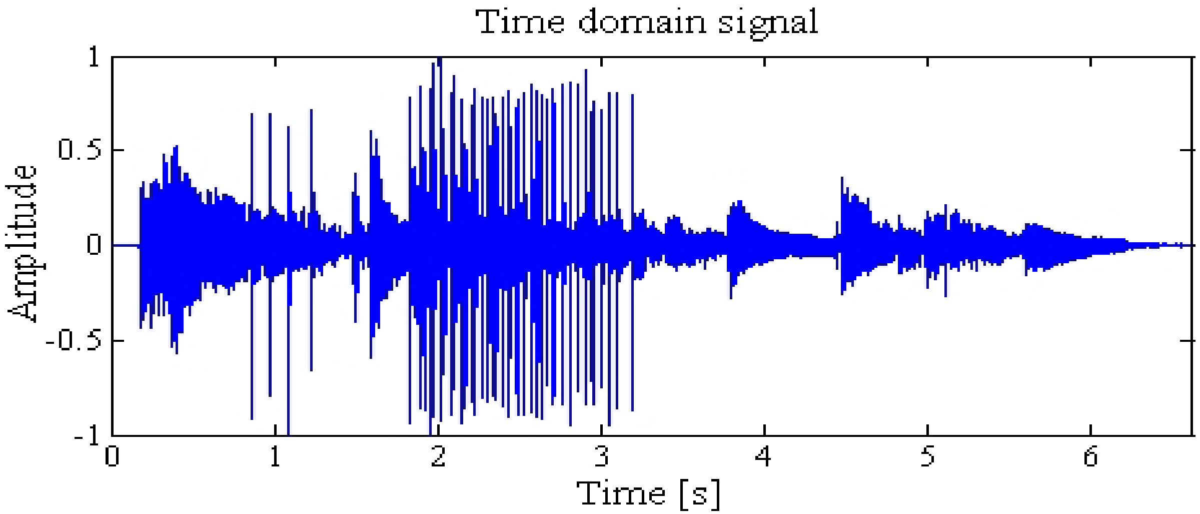
- **Gjør en frekvensanalyse av signalet, og finn maskeringsterskelen.**
- **Sørg for at kvantiseringsstøyen ligger under maskeringsterskelen.**
- **Når dynamikken endres med tiden, så brukes bare noen få kvantiseringsnivåer der hvor amplituden er liten.**
- **Del opp signalet i tidsvinduer:**
  - **Finn max amplitude i vinduet.**
    - **Finn skalafaktor.**
  - **Normaliser med skalafaktor.**
  - **Kvantiser.**
    - **Nå brukes hele det dynamiske området til kvantiseringen.**
  - **Send skala-faktor og kvantiserte sampler.**

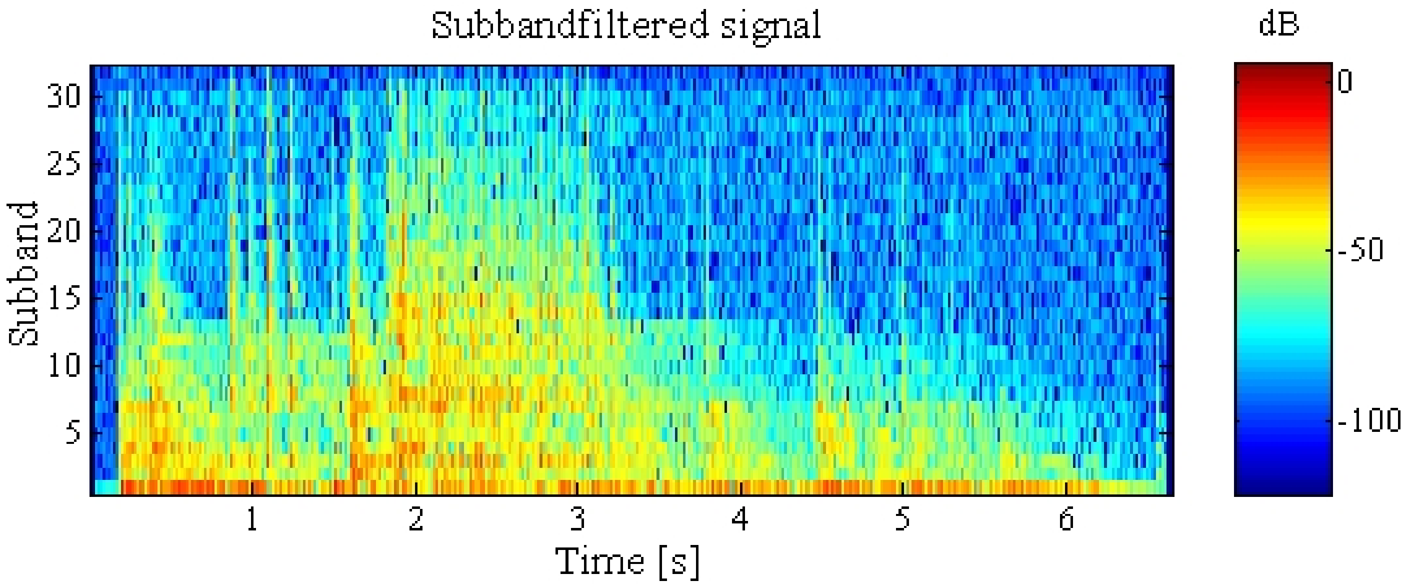


Bitallokering og -maskering

- Maskeringsterskelen i hvert delbånd gir en JND-grense "Just Noticeable Distortion" for hvert bånd.
- Vi tilordner bit til delbånd slik at kvantiseringsstøyen faller under eller så lite over JND som mulig.
- Da vil "Signal to Quantization Noise Ratio" (SQNR) ligge under JND.

Lydeksempel: Kastanjetter og gitar





Eksempler på kompresjon av lyd

Kompresjonsfaktor	2	4	8
Direkte kvantisering - kvantiseringsfeil (SQNR)	8 biter	4 biter	2 biter
Nedsampling (halv samplingsfrekvens) og kvantisering	16 biter	8 biter	4 biter
MP1 - kompresjonsfeil (SQNR)		4biter	2 biter

Noen kjente lydformater

- .MP3 (En del av Motion Picture Experts Group (MPEG), layer3, ~64 Kb/s (ukomprimert CD 44 100 x 16 = 705.6 Kb/s))
- .AU (Sun's lydformat, 8-12 bit, noe brukt på Internett)
- .WAV (Microsoft/IBM, offisiell standard for PC)
- .MID (For MIDI koder, ikke all slags lyd)
- .MOD (Krysning mellom .WAV og .MID)

Digitalisering av lyd – oppsummering

- Et kontinuerlig lydsignal er en reell funksjon y(t) av tiden t.
- Digitaliseringsprosessen består av tre enkle steg:
  1. Bestem samplingsintervallet T_s (bruk Nyquist-kriteriet!) og ta N diskrete sampler y[n], n=0,1,2,3, …, N-1.
  2. Skalér verdien av alle samplene, for eksempel til verdiområdet 0–255 (8 biter).
  3. Kvantiser verdiene av de skalerte samplene ved å avrunde til nærmeste heltallsverdi (eller gå ned til nærmeste heltallsverdi).
- Legg merke til at vi ikke trenger å ta vare på verdien av tiden eller verdien av n for hvert sampel.
  Så lenge vi lagrer dem etter hverandre og kjenner T_s,
  er tidspunktet for hvert sampel implisitt gitt.
- Vi kan spare plass ved å la være å lagre det vi ikke hører.