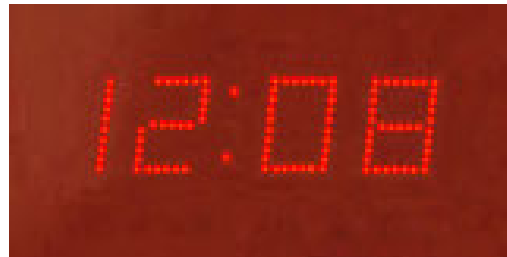


Van analog naar digital, een beknopt overzicht.

Een van de eerste “digitale dingen” waar de modale burger op grote schaal bewust geconfronteerd werd is mogelijk het digitale polshorloge. Ik weet het, er zijn nog een half dozijn andere dingen te vinden, maar dat polshorloge laat mij toe om op een overzichtelijke manier de overgang van analoge naar digitale meettechnieken te illustreren.

Hieronder de Pulsar Hamilton horloge de eerste digitale polshorloge op de markt, in 1972, kostprijs toen : 2100 \$.



Eerst was er de zon.

De mens leefde volgens het ritme van de seizoenen, van de dag en de nacht. Tot iemand ongetwijfeld vond dat dat nauwkeuriger moest. Zo zijn we via o.a. [zonnewijzers](#), zandlopers, mechanische klokken, elektrische klokken tot aan de [atoomklok](#) gesukkeld.

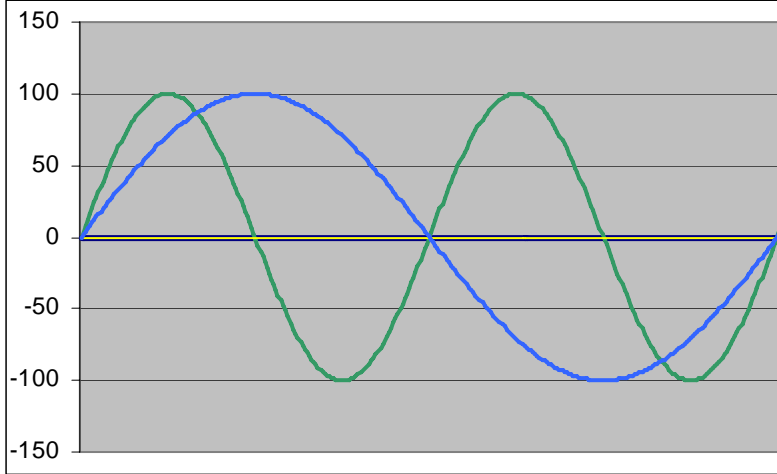
De zon, die draaide rond de aarde, of zo leek het toch, je kon dus van die cirkelvormige beweging gebruik maken om een zonnewijzer te construeren die toeliet om die dag in kleinere eenheden op te delen (uren). Men had nu een instrument dat de tijd kon meten, en dat deed op een manier die visueel analoog was aan de beweging van de zon. Als men dan later klokken is gaan ontwikkelen, is men die klok opnieuw “analoog gaan bouwen aan de zonnewijzer, m.a.w. de cirkelvormige beweging die de (uren)wijzer maakt is analoog aan de schijnbare cirkelvormige beweging die de zon maakt (vroeg klokken hebben een 24 uren wijzerplaat). Uiteraard is men voor het definiëren van die uren, minuten seconden gebruik gaan maken van getallen, getallen die “digitaal” cijfermatig weergaven wat er van de zonnewijzer/klok afgelezen kan worden.

In een volgende stap heeft men de analoge voorstelling van tijd helemaal laten vallen en doet de digitale klok zijn intrede.

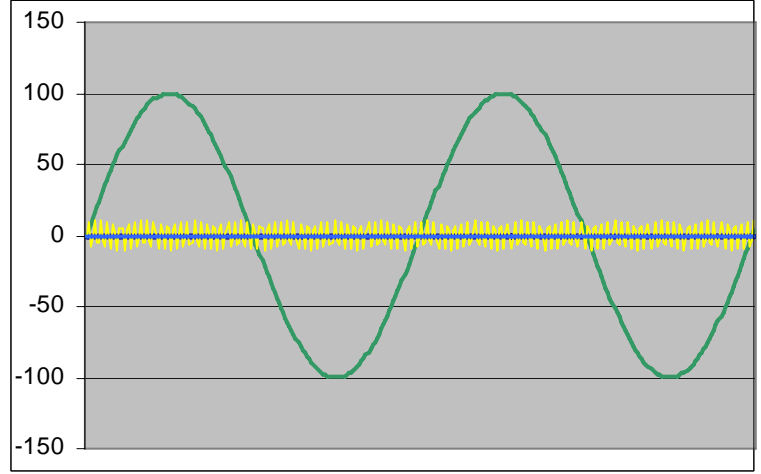
Wat heeft dit nu met digitaal beeld/geluid te maken.

Zoals reeds gezegd is zowel beeld als klank om te zetten naar een (analoog) video- en audio signaal dat zich manifesteert als variaties in stroomsterkte, over een verloop van tijd. We gebruiken daar respectievelijk microfoons en ccd's voor.

Die variaties in stroomsterkte zijn analogoog met het signaal, een klankvoorbeeld



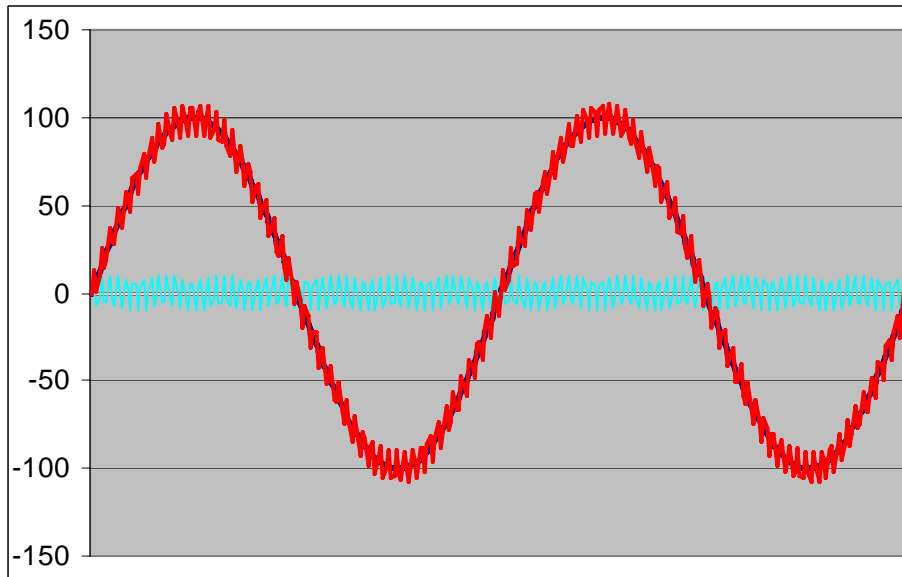
figuur 1



figuur 2

voor meer informatie over de eigenschappen van geluid, zie ook [hier](#)

twee voorstellingen van telkens twee geluiden met een vaste frequentie. De tekening is (alweer) een analoge voorstelling van verschillen in stroomsterkte, weergegeven op de verticale as, over een verloop van tijd, de horizontale as. Stel dat de tekening 1 seconde voorstelt, dan zien we in tekening 1 een signaal van 1 Herz (blauw) en een signaal van 2 Herz, (groen), met dezelfde amplitude, dus allebei even luid. Tekening twee is dan datzelfde signaal van 2 Herz, en een signaal van 100 Hz, maar wel 10 maal stiller



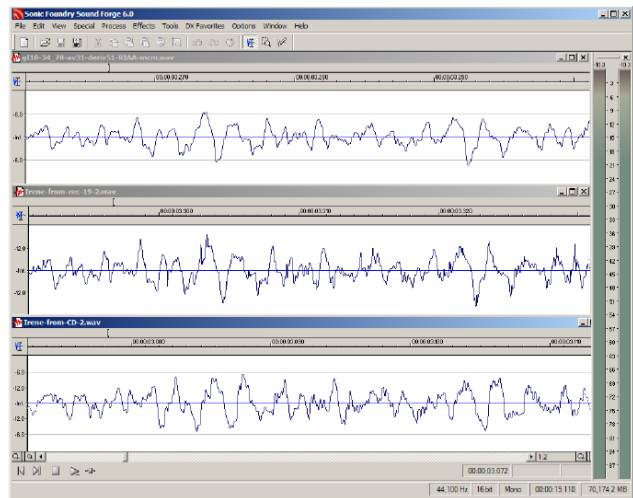
In het rood zien we datgene wat we horen, en dus ook zal geregistreerd worden : de optelsom van signaal 1 + 2 .

Voor video gelden dezelfde principes, zij het uiteraard voor een complexer signaal. Omwille van die reden zal ik voor de verdere uitleg gebruik maken van klankvoorbeelden.

Nemen we bijvoorbeeld een 33-toeren vinyl plaat, en zouden we de groef die door de naald wordt afgetast zeer sterk uitvergroot, dan zouden we zien dat en langsdorende ervan verbazend sterk zou lijken op wat klankmontageprogramma's als "waveforms" laten zien.



Pick-up naald



screenshot van soundforge

Dit analoge systeem heeft nogal wat nadelen, vooral bij het kopiëren van beeld en klank. Bijvoorbeeld, zowel de band, als de audio/video recorder voegen aan het nuttige signaal hun eigen "ruis" toe, dit in meerdere of minder mate, afhankelijk van de gebruikte materialen en apparatuur. Dat wil zeggen dat bij veelvuldig kopiëren steeds maar meer "ruis" zal toegevoegd worden aan het "nuttige" signaal.

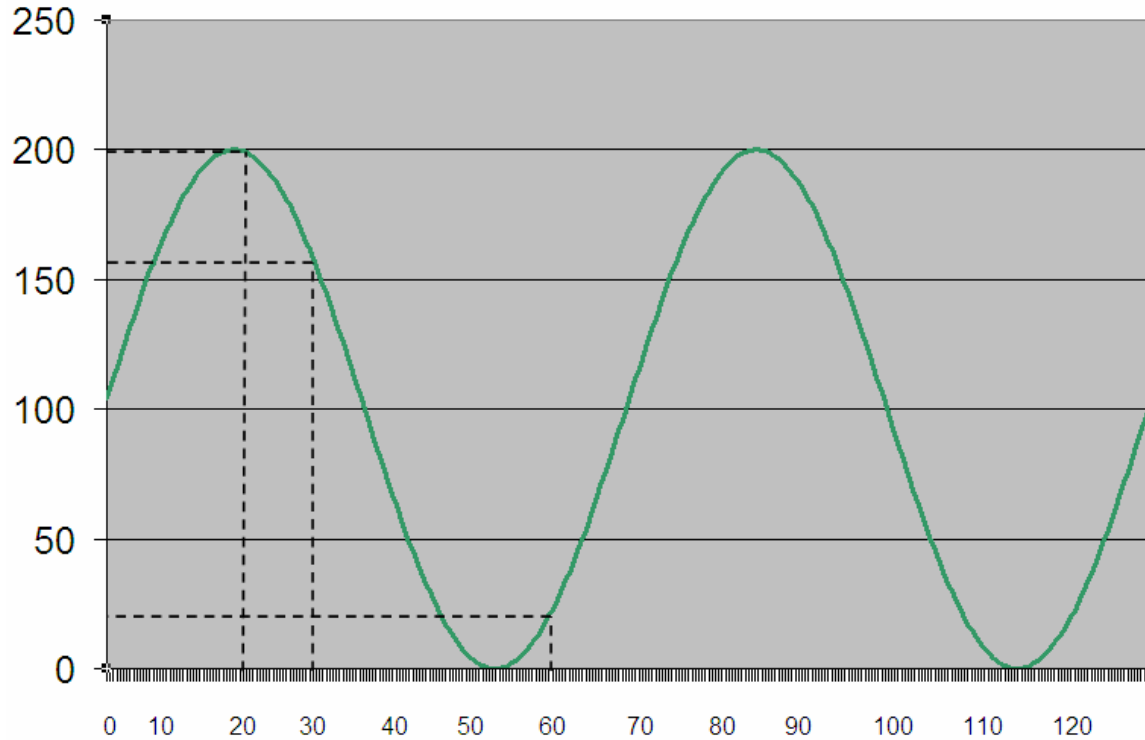
Een voorbeeld uit de analoge klank postproductie van speelfilms (Daens, 1993 bijvoorbeeld) +/- 15 jaar geleden :

- Opname op de set op Naga, ¼ inch tape
- kopie op 35 mm magneetband
- Montage op filmmontagetafel, met slijtage en beschadiging van de magneetband tot gevolg
- Premixage dialogen = kopie naar multitrack 48 sporenbandopnemer
- Eindmixage = kopie naar multitrack 48 sporenbandopnemer
- Reductie naar 4 track voor 4.0 dolby stereo in de bioscoop
- Kopie naar optisch negatief
- Kopie van het optisch negatief op de distributiepopen

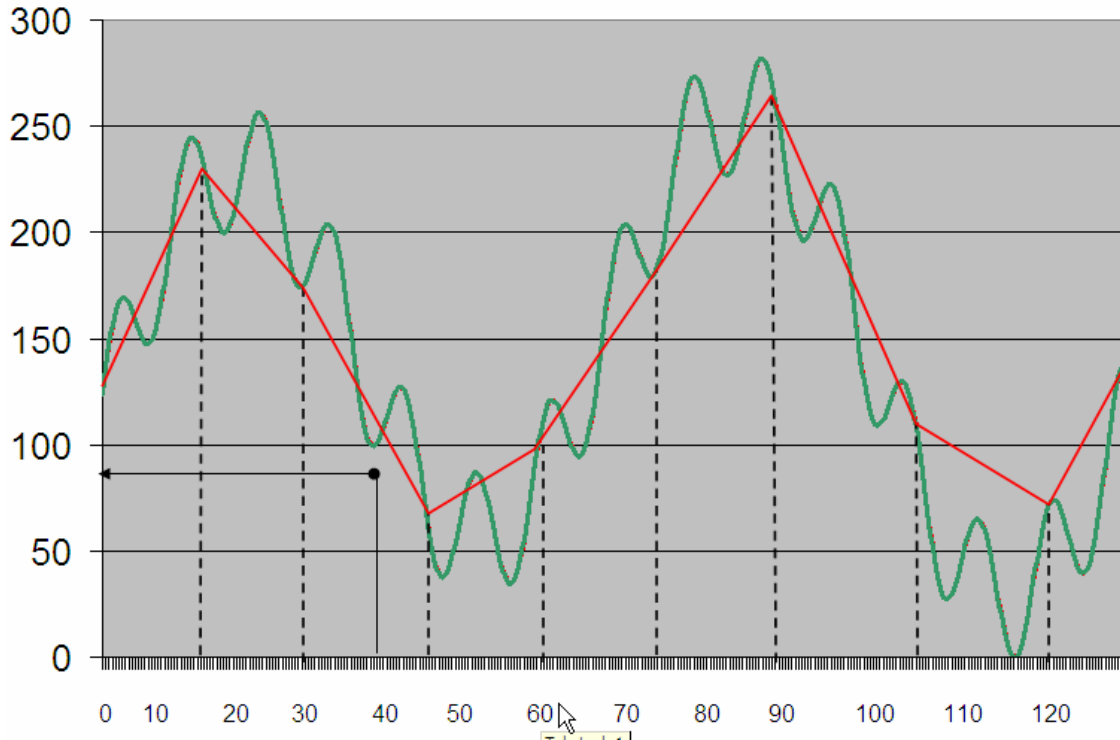
Dat zijn dus heel wat kopijen, heel wat electronica die gepasseerd is geweest, en zelfs een heleboel fysieke manipulatie van het material.

Terug naar de tekeningen

Op de grafische voorstelling, of als je heel snel zou kunnen lezen op een heel snelle en gevoelige VU meter, kan je per tijdseenheid een waarde voor de stroomsterkte aflezen op de verticale schaal. (getallen op de tekening zijn ter illustratie, en verwijzen niet naar reële waarden)



Dat is dus precies wat er gebeurt tijdens de digitalisatie van beeld/klank. Het analoge signaal wordt bemonsterd (gesampled) met een van te voren bepaalde regelmaat, de **samplerate**. Voor een audio-CD is dat 44.1 kHz ofwel 44.100 Hz, m.a.w. 44.100 keer per seconde. 44.100 keer per seconde wordt het signaal dus “gemeten”, en het resultaat van die meting wordt, ook 44.100 keer per seconde op de band/schijf/cd/DVD weggeschreven. Dat is het werk van de AD (voor analoog / digitaal) converter. De DA converter zal er bij de weergave voor zorgen dat al die waarden die weer worden gelezen, opnieuw in een analoog audiosignaal wordt omgezet. Om na AD/DA conversie de oorspronkelijke klank terug te vinden moeten er genoeg samples genomen zijn, moet de samplerate hoog genoeg zijn. In bovenstaande tekening: als we op elk punt tussen 0 en 120 een sample hebben genomen, zal de “reconstructie” van het analoge signaal nagenoeg perfect zijn, samplen we maar om de 15 eenheden en een complexer signaal, dan geeft dat het volgende resultaat (rode lijn), met veel “detail” verlies tot gevolg.



We kunnen dus stellen dat de kwaliteit van de digitale klank recht evenredig is aan de samplerate.

Waarom er voor 44,1 kHz gekozen is kan je in de volgende link achterhalen (als je tenminste een wiskunde knobbel hebt).

[Nyquist-Shannon sampling theorem](#)

Blijft er nog de kwaliteit van de samples zelf.

Nogmaals in de tekening hierboven kan je zien dat de amplitude alle waarden kan hebben tussen 0 en 280 (nogmaals, de waarden hier zijn louter illustratief).

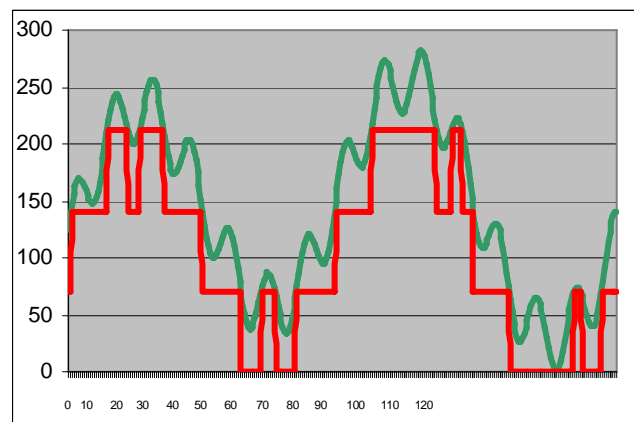
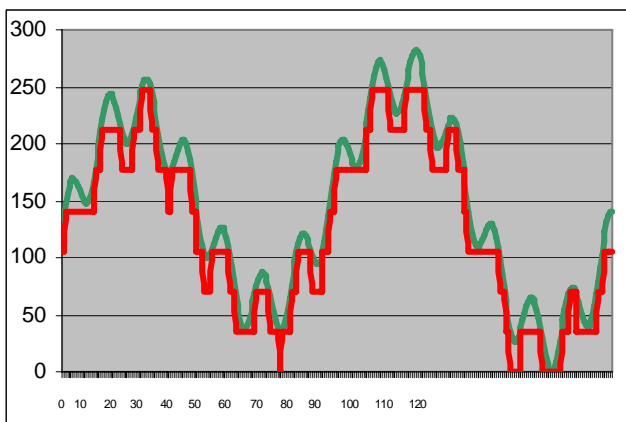
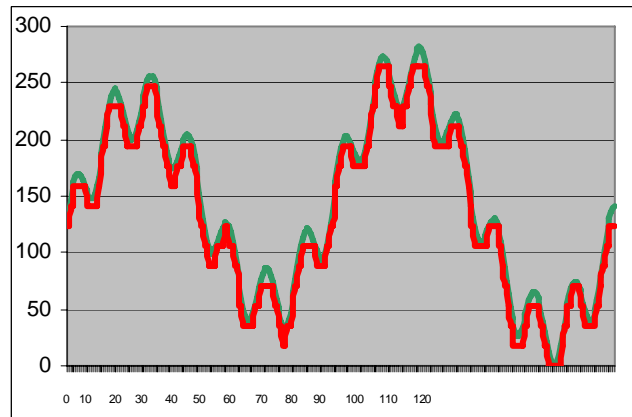
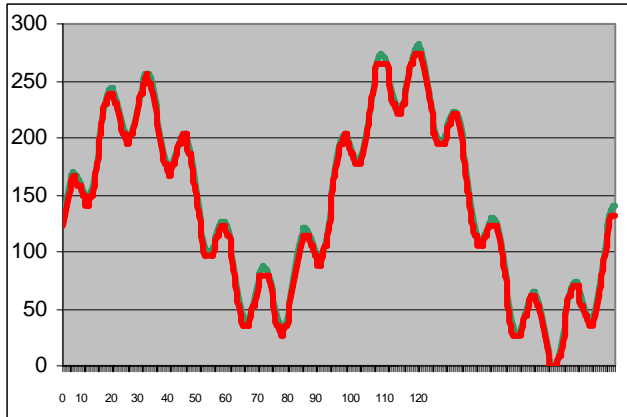
Dit is dus de volgende bepalende factor voor de kwaliteit : de **sample depth**.

Sample depth wordt steeds uitgedrukt in bits.

Audio-CD's hebben klank die gesampled is met een bit depth van 16 bits. D.w.z. elke sample wordt gedefinieerd als een [binair getal](#). Een binair getal van 16 bits kan maximaal 2 tot de 16^{de} macht zijn = 65536.

Hieronder weer een vereenvoudigd voorbeeld :

Respectievelijk 5 bits = 32 (hier dus stappen van $275/32 = 8.6$)
 4 bits = 16 (hier dus stappen van $275/16 = 17.1$)
 3 bits = 8 (hier dus stappen van $275/8 = 34.4$)
 2 bits = 4 (hier dus stappen van $275/4 = 78.7$)



Waaruit ook hier blijkt dat:

de klankkwaliteit is rechtevenredig aan de bit depth

hoe nauwkeuriger de onderverdeling van de verticale schaal, hoe beter de definitie van de klank zal zijn. Veel voorkomende waarden zijn 12 (bv. MiniDV), 16 (audio CD), 24 (nagra DII, met een sample rate van 96kHz momenteel een van beste audiorecorders)